

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

DOKTORA TEZİ

**KAUÇUK KARIŞIMLARINDA YENİ TAKVİYE
MALZEMELERİNİN ÖZELLİKLERE ETKİLERİNİN
ARAŞTIRILMASI**

ATTİLA ALKAN

KOCAELİ 2019

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

DOKTORA TEZİ

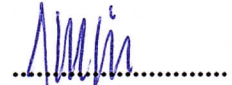
KAUÇUK KARIŞIMLARINDA YENİ TAKVİYE
MALZEMELERİNİN ÖZELLİKLERE ETKİLERİNİN
ARAŞTIRILMASI

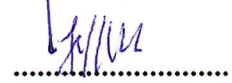
ATTİLA ALKAN

Prof. Dr. Muzaffer ZEREN
Danışman, Kocaeli Üniv.
Doç. Dr. Şeyda POLAT
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniv.
Prof. Dr. Ahmet ÜNAL
Jüri Üyesi, Yıldız Teknik Üniv.
Prof. Dr. Erdoğan TARCAN
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniv.
Prof. Dr. İbrahim Etem SAKLAKOĞLU
Jüri Üyesi, Ege Üniv.











Tezin Savunulduğu Tarih: 27.12.2019

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Son yıllarda lastik endüstrisinde kauçuk karışımlarında kullanılan yeni takviye malzemelerinin ticarileşmesi, yapılan patent çalışmalarıyla yaygınlaşmaktadır. Bu çalışmada, ağırlıklı olarak kullanılan karbon elyaf (CF) ile birlikte, Kevlar® EE ve Sulfron takviye malzemelerine de yer verilmiştir. Çalışmalarda bu yeni takviye malzemelerinin uygun reçetelerle hazırlanan karışımlara katıldığında, elde edilen lastik karışımlarının fiziksel özelliklerinin nasıl etkilendiği, kontrol karışımlarıyla karşılaştırılarak araştırılmıştır.

Bu konudaki çalışmalar çoğunlukla lastik üreticileri ve karbon elyaf üreticileri tarafından ağırlıklı olarak son 10 yılda yapılmıştır. Konu ticari olduğu için, bu konuda araç lastiğinde uygulamaya yönelik ilgili patentlerden ağırlıklı olarak yararlanılmıştır. Yapılan patent taramalarında aramid ve karbon elyafın lastik karışımlarında kullanımı ile ilgili 127 adet patent çalışması bulunmuş ve bunların %70'i son 10 yılda tescil edilmiştir.

Bu tez çalışmasında doktora tez danışmanlığımı üstlenen, bilgi ve yardımlarını esirgemeyen, daima bana destek olan ve yol gösteren saygıdeğer hocam Prof. Dr. Muzaffer ZEREN'e teşekkürlerimi sunarım.

Brisa'da birlikte çalıştığımız uzun yıllar boyunca, kendisinden çok şey öğrendiğim ve doktora tez sürecinde de büyük desteğini gördüğüm, tez izleme komitesinde yer alan saygıdeğer hocam Sayın Doç Dr. Şeyda POLAT'a paha biçilmez katkılarından dolayı minnet ve şükranlarımı sunarım.

“Tez izleme komitemde yer alan ve her zaman bana destek olup cesaretlendiren saygıdeğer hocam Sayın Prof. Dr. Ahmet ÜNAL'a teşekkürlerimi sunarım.

Uzun yıllar çalıştığım ve benim için çok değerli bir okul olan BRİSA Ar-Ge merkezi, doktora tezimin gerçekleşmesinde en büyük desteği vermiştir. Başta doktora çalışmama izin veren BRİSA'nın değerli yöneticilerine, deney tasarımlarında ve çalışmalarında büyük desteklerini gördüğüm Yük. Kimyager Sezgin GÖKÇESULAR, Dr. Seda YURTERİ, Yük. Kimyager Koray PEHLİVANOĞLU, Ayhan BABAOĞLU, Nejat COŞKAN, Levent KAYA ve emeği geçen tüm arkadaşlara teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmalarım kapsamında karbon elyaf malzemelerine RFL uygulanması ile aramid takviye malzemelerinin (Kevlar® EE ve Sulfron 3001) temini ve ilgili literatür çalışmaları konusunda, destek veren KORDSA'nın değerli yöneticilerine ve Ar-Ge personeline teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarında kullandığım karbon elyaf malzemelerini ve gerekli her tür bilgiyi sağlayıp destek veren DowAksa'nın değerli yöneticilerine ve İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi öğretim üyesi Prof. Dr. Mehmet Özgür SEYDİBEYOĞLU'na teşekkür ederim.

Tez yazım aşamasında desteklerini esirgemeyen Yük. Müh. Nursel KARAKAYA, Dr. Yasemin TABAK, Yük. Müh. Hakan ÜNSAL ve Arş. Gör. Gülşah AKTAŞ ÇELİK'e teşekkür ederim.

Eğitim hayatım boyunca beni bilime teşvik eden ve destekleyen babam Kemal ALKAN'ı rahmetle anıyorum. Yaşamı boyunca daima birbirimizi desteklediğimiz ve doktora yapmam konusunda beni motive eden sevgili eşim Yrd. Doç. Dr. Rezan ALKAN'ı da rahmetle anıyorum. Onun yokluğunda geçen son iki senede bana büyük destek olan annem Süha, kardeşim Sevil, sevgili çocuklarım ile eşleri Tolga, Selen, Buket, Babur ve bana yaşama sevinci veren sevgili torunum Meriç'e sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum.

Bu tez sevgili eşim Rezan'a ithaf edilmiştir.

Aralık – 2019

Attila ALKAN

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
TABLolar DİZİNİ	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xvii
ÖZET.....	xx
ABSTRACT	xxi
GİRİŞ	1
1. ARAÇ LASTİĞİ	3
1.1. Temel Kavramlar.....	3
1.2. Araç Lastiklerinin Sınıflandırılması	4
1.2.1. Kullanım alanlarına göre sınıflandırma.....	4
1.2.2. Hız limitine göre sınıflandırma	5
1.2.3. Yapılarına göre sınıflandırma.....	5
1.2.4. Desenlerine göre sınıflandırma	8
2. LASTİK TEKNOLOJİSİNDE KULLANILAN HAMMADDELER	10
2.1. Kauçuklar	11
2.1.1. Doğal kauçuk.....	11
2.1.2. Sentetik kauçuk	11
2.2. Kordlar.....	15
2.3. Kimyasallar	27
2.3.1. Dolgular.....	27
2.3.1.1. Karbon siyahı	27
2.3.1.2. Karbon siyahı dışındaki dolgu maddeleri.....	33
2.3.2. Proses kolaylaştırıcılar	34
2.3.3. Yumuşatıcılar	36
2.3.3.1. Fiziksel yumuşatıcılar.....	36
2.3.3.2. Kimyasal yumuşatıcılar	36
2.3.4. Koruyucular.....	37
2.3.5. Vulkanizasyon maddeleri	37
2.3.5.1. Pişiriciler	37
2.3.5.2. Aktivatörler	39
2.3.5.3. Hızlandırıcılar.....	39
2.3.5.4. Geciktiriciler.....	40
2.3.6. Diğer.....	40
3. ARAÇ LASTİKLERİNİN ÜRETİMİ.....	41
3.1. Karışım Hazırlama	42
3.2. Ekstruderde Profilli Bileşenlerin Hazırlanması.....	45
3.3. Kalenderleme.....	46
3.4. Lastik İmal.....	48
3.5. Pişirme.....	49
3.6. Ürün Kontrolü	51
4. LASTİK KARIŞIMLARININ DİNAMİK ÖZELLİKLERİ.....	52

5. LASTİK KARIŞIMLARINDA KULLANILAN YENİ TAKVİYE MALZEMELERİ	57
5.1. Aramid Elyaf	58
5.1.1. Sulfron 3001	59
5.1.2. Kevlar® EE	61
5.2. Karbon Elyaf	62
5.2.1. Karbon elementinin özellikleri	62
5.2.2. Karbon elyafın özellikleri	63
5.2.3. Buhar fazından elde edilen karbon nano elyaf (VGCNF)	71
5.3. Aramid ve Karbon Elyafın Lastik Teknolojisindeki Kullanım Alanları	73
5.3.1. Patentler	73
5.3.2. Ticari uygulamalara örnekler	90
5.3.2.1. Dunlop SP Sport Maxx® TT lastiklerinde Kevlar® EE kullanımı	90
5.3.2.2. Sumitomo üretimi patlak yol alabilen lastiklerde aramid ve karbon elyaf kullanımı	90
5.3.2.3. Goodyear üretimi Eagle F1 dört mevsim lastiğinde karbon elyaf ve DuPont Kevlar kullanımı	94
6. MALZEME VE YÖNTEM	96
6.1. Malzeme	96
6.1.1. Takviye malzemelerinin özellikleri	96
6.1.1.1. Karbon elyaf	97
6.1.1.2. Kevlar® EE	97
6.1.1.3. Sulfron	99
6.1.2. Karışımlarda kullanılan diğer hammaddeler	100
6.1.3. Lastik karışım reçeteleri	100
6.2. Yöntem	102
6.2.1. Örneklerin hazırlanması (mikser, milled ve pişirme aşamaları)	102
6.2.2. Testler	105
6.2.2.1. Mooney viskozimetre	105
6.2.2.2. Reometre	108
6.2.2.3. Çekme testi	111
6.2.2.4. Yaşlandırma	113
6.2.2.5. Sertlik ölçümü	113
6.2.2.6. Sekme esnekliği	114
6.2.2.7. Özgül ağırlık	114
6.2.2.8. Yorulma	115
6.2.2.9. Fleksometre	116
6.2.2.10. Aşınma	117
6.2.2.11. Lastik proses analizörü	117
6.2.2.12. Işık mikroskobu	118
6.2.2.13. Elektron Mikroskoplar	120
7. BULGULAR VE TARTIŞMA	121
7.1. Karbon Elyaf Katkı Miktarının Karışımın Özelliklerine Olan Etkisinin Saptanması	121
7.1.1. Kullanılan reçeteler	121
7.1.2. Karışımların pişme özellikleri	123
7.1.3. Karışımların çekme ve yaşlandırma testleri	124

7.1.4. Karışımların sertlik, özgül ağırlık, yorulma testleri	129
7.2. RFL Kaplama ile Yapılan Denemeler	130
7.2.1. Kullanılan reçeteler	130
7.2.2. Işık mikroskobu ve taramalı elektron mikroskop çalışmaları	131
7.3. Kevlar® EE ve Sulfron 3001 Takviye Malzemeleri ile Yapılan Denemeler	135
7.3.1. Kullanılan reçeteler	136
7.3.2. Karışımların pişme özellikleri	137
7.3.3. Karışımların çekme ve yaşlandırma testleri	138
7.3.4. Karışımların sertlik, özgül ağırlık, yorulma ve sekme esnekliği testleri.....	145
7.4. Farklı Termoplastik Kaplı CF Takviye Malzemeleri ile Yapılan Denemeler	146
7.4.1. Kullanılan reçeteler	146
7.4.2. Karışımların pişme özellikleri	147
7.4.3. Karışımların çekme testleri	150
7.4.4. Karışımların sertlik, özgül ağırlık, yorulma ve sekme esnekliği testleri	151
7.5. Poliimid Kaplı CF ile Yapılan Denemeler	153
7.5.1. Kullanılan reçeteler	153
7.5.2. Karışımların pişme özellikleri	154
7.5.3. Karışımların çekme ve yaşlandırma testleri	157
7.5.4. Karışımların sertlik, özgül ağırlık, yorulma ve sekme esnekliği testleri	164
7.5.5. Fleksometre testleri	165
7.5.5.1. Isı üretimi test sonuçları	165
7.5.5.2. Dinamik mekanik test sonuçları	168
7.5.6. Lambourn aşınma testleri	169
7.5.7. RPA testleri	173
7.5.7.1. Ham karışımların 100 °C'da viskoelastik özellikleri	173
7.5.7.2. Karışımların 145 °C'da pişme özellikleri.....	176
8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	179
KAYNAKLAR	184
EKLER.....	199
KİŞİSEL YAYINLAR VE ESERLER	203
ÖZGEÇMİŞ	207

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1.	Lastik yanağında lastik ile ilgili bilgilerin gösterimi.....	3
Şekil 1.2.	Lastik tanımlamada kullanılan bazı temel kavramların gösterimi.....	4
Şekil 1.3.	Çapraz ve radyal yapıları lastiklerin karşılaştırılması.....	6
Şekil 1.4.	Çapraz ve radyal lastiğin bileşenlerinin tanımlanması	7
Şekil 1.5.	Desenlerine göre lastik tipleri; (a) Düz tip, (b) Dişli tip, (c) Blok tip, (d) Düz-Dişli tip, (e) Kar-Çamur tip	9
Şekil 2.1.	Lastik hammaddeleri.....	10
Şekil 2.2.	Doğal kauçuk (NR) yapısı	11
Şekil 2.3.	Stiren bütadien kauçuk (SBR) yapısı.....	12
Şekil 2.4.	Bütadien kauçuk (BR) yapısı.....	12
Şekil 2.5.	Akrilonitril bütadien kauçuk (NBR) yapısı .	13
Şekil 2.6.	Kloropren kauçuk (CR) yapısı.....	13
Şekil 2.7.	Bütül kauçuk (IIR) yapısı	13
Şekil 2.8.	Etilen-propilen kauçuk (EPM) yapısı	14
Şekil 2.9.	EPDM kauçuk yapısı; dien monomer: disiklopentadien	14
Şekil 2.10.	EPDM kauçuk yapısı; dien monomer: etilden norbornen	14
Şekil 2.11.	EPDM kauçuk yapısı; dien monomer: 1,4 heksadien.....	14
Şekil 2.12.	Elyaf sınıflandırması.....	15
Şekil 2.13.	Lastik teknolojisinde kullanılan kauçuk ve çeşitli elyafların gerilim (σ) – gerinim (ϵ) eğrileri; (1) Pamuk, (2) Viskoz rayon, (3) Polinozik rayon, (4) Naylon 6.6, (5) Naylon 6, (6) Polyester, (7) Aramid, (8) Cam, (9) Çelik, (10) Karbon, (11) Kauçuk.....	16
Şekil 2.14.	Dyneema mukavemet özelliklerinin karşılaştırmalı olarak gösterimi	16
Şekil 2.15.	Kordun temel bileşenleri; (1) Filaman (lif, iplikçik), (2) Demet (yarn, iplik), (3) Kord, (4) Spiral sargı, (a) Çelik kord ve (b) tekstil kord.....	17
Şekil 2.16.	Çeşitli liflerin çaplarının karşılaştırılması.....	18
Şekil 2.17.	Bir binek lastiğin anatomisi (ağırlıkça)	20
Şekil 2.18.	Bir ticari lastiğin anatomisi (ağırlıkça)	20
Şekil 2.19.	Rayonun kimyasal yapısı	21
Şekil 2.20.	Naylon 6'nın kimyasal yapısı	22
Şekil 2.21.	Naylon 6.6'nın kimyasal yapısı	22
Şekil 2.22.	Polyesterin (PET) kimyasal yapısı.....	22
Şekil 2.23.	Aramidin kimyasal yapısı	23
Şekil 2.24.	Poliyeten naftalat'ın (PEN) kimyasal yapısı	23
Şekil 2.25.	Poliolenin keton'un (POK) kimyasal yapısı.....	23
Şekil 2.26.	Ergiyikten iplik üretim yönteminin şematik gösterimi (İng. melt spinning process).....	24
Şekil 2.27.	Tekstil kordların ve dip malzemesinin kauçuk karışımı içerisindeki (a, b) SEM ve (c) LM görüntüleri	25

Şekil 2.28.	Farklı çelik kord türleri; (a)Normal kord, (b) Lang büküm kordu, (c) Açık kord, (d) Kompakt kord, (e) Yüksek uzamalı kord, (f) Betru® kordu, (g) Yüksek darbe dayanımlı kord.....	26
Şekil 2.29.	Kauçuk-pirinç arayüzeyinin şematik gösterimi	26
Şekil 2.30.	Çelik kord üretim süreci	28
Şekil 2.31.	Karbon siyahı; (a) parçacıklar, (b) salkım, (c) topak.....	29
Şekil 2.32.	2 µm kalınlığındaki lastik kesitinde dağılmamış karbon siyahı topraklarının ışık mikroskopu görüntüsü (a), 100 nm kalınlığındaki lastik kesitinde karbon siyahı toprakları ve salkımları ile polimer fazları ve çinko oksit parçacıklarının TEM görüntüsü (b), karbon siyahı salkımının büyütülmüş TEM görüntüsü (c).....	30
Şekil 2.33.	Karbon siyahı yapısının yüzey alanı ile ilişkisi	31
Şekil 2.34.	Dağılmamış silika topraklarının IM görüntüsü (a), bir silika topağının SEM görüntüsü (b), silika salkım ve topraklarının TEM görüntüsü (c).....	34
Şekil 2.35.	Kükürt vulkanizasyonunun şematik gösterimi	38
Şekil 2.36.	Kükürt vulkanizasyonunda değişik bağlanma şekilleri; (1) mono sülfür bağı, (2) di sülfür bağı, (3) poli sülfür bağı ($x>2$), (4) zincir modifikasyonu (çiklik sülfür yapısı), (5) kükürt zinciri	38
Şekil 2.37.	Çapraz bağ yoğunluğunun vulkanizat özelliklerine etkisi.....	39
Şekil 3.1.	Lastik üretim süreci; (1) Tekstil hammaddeler, (2) Doğal kauçuk, (3) Sentetik kauçuk ve diğer kimyasallar, (4) Çelik hammaddeler, (5) Mikser, (6) Topuk, çelik kat/kuşak üretimi, (7) Tekstil bez üretimi, (8) Çelik kalender, (9) Tekstil kalender, (10) Çapraz kesici, (11) Ekstruder, (12) Çelik kat/kuşak kesim, (13) Topuk demetinin üretimi, (14) Lastik üretim makinası, (15) Pişirme presi, (16) Görsel kontrol, (17) Balans kontrolü, (18) Üniformite kontrolü (RFV, Radial Force Variation), (19) X-ışını kontrolü, (20) Ürün	41
Şekil 3.2.	Açık karıştırıcı şematik görünümü	43
Şekil 3.3.	Açık karıştırıcı ile karışım hazırlanması.....	43
Şekil 3.4.	Kapalı karıştırıcı şematik görünümü]	43
Şekil 3.5.	Bir kapalı karıştırıcının görünümü.....	44
Şekil 3.6.	Kauçuk karışımlarının kapalı karıştırıcıda hazırlanması	44
Şekil 3.7.	Profilli bileşenlerin ekstruderde hazırlanması	45
Şekil 3.8.	Ekstruderde üretilen lastik bileşen örnekleri	46
Şekil 3.9.	İplikten tekstil bez üretimi	46
Şekil 3.10.	Tekstil bezlerin kalenderde kauçuk karışımı ile kaplanması	47
Şekil 3.11.	Çelik bezlerin kalenderde üretimi.....	47
Şekil 3.12.	Bir çelik kalenderin görünümü	47
Şekil 3.13.	Topuk demeti üretimi.....	48
Şekil 3.14.	Lastik imal adımları	48
Şekil 3.15.	Lastik pişirme presleri	49
Şekil 3.16.	Lastik pişirme prosesi	50
Şekil 3.17.	(a) Ham lastiğin pişirme presine girişi, (b) Pişmiş lastiğin pişirme presinden çıkışı	50
Şekil 3.18.	Kauçuk karışımı modül değerinin pişme süresi ile ilişkisi.....	50

Şekil 4.1.	Sinüzoidal bir deformasyon altında elastik ve viskoz bileşenlerin ayrışımı.....	53
Şekil 4.2.	RPA cihazının şematik gösterimi	56
Şekil 5.1.	para-Aramid homopolimerin kimyasal yapısı	58
Şekil 5.2.	para-Aramid elyaf yapısı	59
Şekil 5.3.	Kevlar® para-aramid'in ticari formları; (a) pulpa, (b) iplik, (c) liflenmiş.....	59
Şekil 5.4.	Karbon siyahı içeren bir lastik karışımına Sulfron 3001 katılması ile Payne etkisinde meydana gelen değişiklik.....	60
Şekil 5.5.	(a) Kevlar® EE katkılı karışım, (b) Kevlar® EE katkısız karışım	61
Şekil 5.6.	Bir doğal kauçuk karışımında Kevlar® EE ve karbon siyahının takviye malzemesi olarak karşılaştırılması	62
Şekil 5.7.	Karbonun allotropları; (a) Elmas (kovalent bir yapıya sahip ve çok sert bir malzeme), (b) Grafit (altıgen karbon tabakalardan oluşur), (c) Lonsdaleite (altıgen elmas yapıda çok sert bir malzeme) (d, e, f) Fullerene (bütünüyle karbon atomları tarafından oluşmuş, içi boş küre, elipsoid ve tüp şeklinde yapılar; (d) C60 Buckminsterfullerene, (e) C540 Fullerite, (f) C70), (g) Amorf karbon, (h) SWCNT (tek çeperli karbon nanotüp).....	63
Şekil 5.8.	Karbon elyaf kullanım alanlarına örnekler; (a) Boeing 787 Dreamliner uçağında karbon elyaf kullanımı, (b) Dragon uzay kapsülünün ısı kalkanında karbon elyaf kullanımı, (c) McLaren firması tarafından üretilen aracın karbon elyaf monokok (İng. monocoque) şasisi, (d) Mazda RX-8 aracında kullanılan karbon elyaf takviyeli hidrojen tankı, (e) Crumpton (USA) firması tarafından üretilen karbon elyaf iskeletli bisiklet, (f) dünyada ilk kez %100 karbon elyaf ile üretilen Paragon Super Sport 28 tekne, (g) ESE firması tarafından çelik ve alüminyum jantlara alternatif olarak üretilen karbon elyaf jantlar, (h) SITA Composites s.r.l firması tarafından üretilen karbon elyaf rüzgar enerjisi türbin kanatları, (ı) yapıların sismik, balistik korunmasında, hasarlı bölgelerin onarımında ve su geçirmezlik sağlanmasında karbon elyaf kullanımı	64
Şekil 5.9.	Farklı elyafların kopma dayanımı-modül diyagramı	66
Şekil 5.10.	(a) 400 GPa modüle sahip PAN esaslı bir karbon elyafın grafen tabakalarının dalgalı kurdela yapısı, (b) PAN esaslı karbon elyafın elementel mikrodokusal biriminin (EMU; İng. Elemental Microtextural Unit) modeli, EMU birçok temel mikroyapısal birimden oluşur (BMU; İng. Basic Microstrutal Unit), (c) PAN esaslı karbon elyafın mikroyapısal modeli	68
Şekil 5.11.	Karbon elyaf üretim süreci	69
Şekil 5.12.	Global karbon elyaf talebi (x1000 ton), yüzde değerler yıldan yıla değişimi göstermektedir.....	69
Şekil 5.13.	(a) VGCF'nin SEM görüntüsü, (b) VGCF'nin ultra ince katalitik metal parçacıklar kullanılarak üretimi, (c) elyaf üretiminde katalitik parçacığın aktif olduğu ve boyuna büyümeyi sağladığı ilk aşama, (d) ilk oluşan lifler üzerinde karbon tabakalarının pirolitik birikmesi ile lifin kalınlaşması.....	72
Şekil 5.14.	VGCF'nin SEM görüntüsü	72

Şekil 5.15.	Aramid ve karbon elyafın lastikteki kullanımı ile ilgili patentlerin firmalara dağılımı (Nisan 2019 tarihine kadar alınmıştır).....	74
Şekil 5.16.	Aramid ve karbon elyafın lastikteki kullanımı ile ilgili patentlerin yıllara göre dağılımı (Nisan 2019 tarihine kadar alınmıştır).....	74
Şekil 5.17.	Patlak yol alabilen lastik ile standart bir lastiğin kesit görüntüleri.....	75
Şekil 5.18.	Bir RFT'nin bileşenlerinin gösterimi.....	75
Şekil 5.19.	Bridgestone JP2004249888A no'lu patentte, RFT'de VGCNF'nin yanak ve topuk bölgelerinde (şekilde 5 ve 2 no'lu bölgeler) kullanımı.....	76
Şekil 5.20.	Bridgestone JP2007211194A no'lu patentte, VGCNF'nin gövde katı kaplama karışımında (şekilde 2 no'lu bölge) mekanik özellikleri geliştirmek ve lastiğin dayanımını (İng. durability) arttırmak üzere kullanımı	76
Şekil 5.21.	Bridgestone JP2009184510A no'lu patentte, RFT'de katran tabanlı karbon elyafın kesik iplik (İng. staple yarn) şeklinde yanak bölgesinde (şekilde 5 no'lu bölge) ısı iletkenliği artırmak için kullanımı	77
Şekil 5.22.	Bridgestone JP2012172141A no'lu patentte VGCNF'nin lastiğin kuşak kaplama karışımında (şekilde 5 no'lu bölge) ısı birikimini azaltmak üzere kullanımı	77
Şekil 5.23.	Bridgestone JP2013095385A no'lu patentte VGCNF'nin lastiğin yanak bölgesinde çatlak direncini geliştirmek üzere kullanımı; (a) patentte 20 no'lu bölge VGCF'nin kullanıldığı ısı bariyer bölgesidir, (b) VGCF karışım içerisinde 21 no ile gösterilmiştir	78
Şekil 5.24.	Goodyear EP0604807A1 ve US5323829A no'lu patentlerde sürekli karbon elyafın kuşak ve topuk dolgusunda takviye malzemesi olarak kullanımı; (a) 22 no'lu bölge, (b) 36 ve 38 no'lu bölgeler, (c) 32 no'lu bölge	79
Şekil 5.25.	Goodyear US2007221303A1 no'lu patentte kırılmış karbon elyafın sırt bölgesinde kullanımı (3 ve 8 no'lu bölgeler).....	80
Şekil 5.26.	Goodyear EP1923233A1 ve US2008115871A1 no'lu patentlerde kırılmış karbon elyafın yanak bölgesinde kullanımı (2 no'lu bölge)	80
Şekil 5.27.	Goodyear EP2159075A1 no'lu patentte kırılmış karbon elyafın topuk dolgusu ve kuşak kaplama bölgesinde kullanımı (24, 26 ve 8 no'lu bölgeler)	80
Şekil 5.28.	Goodyear EP2159075A1 no'lu patentte kırılmış karbon elyafın topuk dolgusu-yanak (EMT insert) bölgesinde kullanımı (150 no'lu bölge) EMT: Extended Mobility Technology (Run on Flat Tire)	81
Şekil 5.29.	Goodyear EP2072283B1 no'lu patentte aramid elyafın (Sulfron 3000) topuk bölgesinde kullanımı; topuk dolgusunda (İng. apex), topuk demeti ve topuk dolgusu etrafında (İng. flipper), kat ve topuk takviye bezi (İng. chafer)	

	arasında (İng. chipper) kullanımı (sırasıyla 16, 24, 26 no'lu bölgeler).....	81
Şekil 5.30.	(a) Goodyear US8439095B2 no'lu patentte kırılmış aramid elyafın dış sırt (İng. cap) ve iç sırt (İng. base) arasına, (1 ve 3 no'lu bölgeler) yerleştirilen geçiş bölgesinde (2 no'lu bölge) kullanımı, (b) düz aramid elyaf, (c) dallanmış (İng. fibrillated) aramid elyaf	82
Şekil 5.31.	Sumitomo JP2016222165A no'lu patentte karbon elyafın sürekli takviye malzemesi olarak ikinci katta (İng. second body) kullanımı (66 no'lu bölge).....	82
Şekil 5.32.	Sumitomo JP5091652B2, JP2009119976A, JP2009132234A, EP2072289B1 ve JP5204577B2 no'lu patentlerde, RFT'de aramid elyafın sürekli takviye malzemesi olarak gövde katında, sürüş kararlılığını ve lastik dayanımını artırmak amacıyla, kullanımı (6a ve 6b no'lu bölgeler)	83
Şekil 5.33.	Sumitomo JP2009256516A no'lu patentte aramid elyafın jant bölgesinde karışımında kullanımı (4G no'lu bölge)	83
Şekil 5.34.	Michelin WO2016046201A1 no'lu patentte, farklı lastik konstrüksiyonlarında, karbon ve aramid elyafın sürekli fiber olarak gövde katında kullanımı (21 no'lu bölge).....	84
Şekil 5.35.	Michelin WO2017112630A1, WO2017111898A1 ve US2019009488A1 no'lu patentlerde, sürekli karbon elyafın topuk demetinde topuk teli yerine kullanımı (112 no'lu bölge)	85
Şekil 5.36.	Michelin US2017327977A1 no'lu patentte, sürekli aramid elyafın kat ve kuşak malzemesi olarak kullanımı (sırasıyla 107 ve 106 no'lu bölgeler).....	85
Şekil 5.37.	Continental DE4318825C1 no'lu patentte, sürekli aramid elyafın kat ve topuk malzemesi olarak kullanımı (sırasıyla 1 ve 3 no'lu bölgeler).....	86
Şekil 5.38.	Continental DE4135599A1 no'lu patentte; (a) sürekli aramid elyafın üst kuşakta kullanımı (6 no'lu bölge), (b) elyafın bükümü	86
Şekil 5.39.	Yokohama JP2011241248A no'lu patentte, aramidin kısa elyaf olarak sırt karışımında kullanımı (3 no'lu bölge)	87
Şekil 5.40.	Yokohama JP5652160B2 no'lu patentte, aramidin kısa elyaf olarak kuşak kenar kapama şeridinde (İng. belt edge tape) kuşak kenar ayrılmasını önlemek üzere kullanımı (3 no'lu bölge).....	87
Şekil 5.41.	Yokohama JP5740932B2 no'lu patentte, aramidin kısa elyaf olarak kuşak kaplama karışımında kullanımı (7 no'lu bölge)	88
Şekil 5.42.	Karbon elyafın araç lastiğinde potansiyel kullanım yerleri ve sağladığı avantajlar	89
Şekil 5.43.	Kordsa WO2017123167A1 no'lu patentte, karbon elyafın PET ve naylon 6.6 ile melez kord olarak lastikte topuk teli yerine kullanımı; 1-topuk demeti kesiti, 2-kauçuk matriks, 3-melez kord, 4-PET/naylon 6.6 iplik, 5-karbon elyaf.....	89
Şekil 5.44.	(a) Dunlop SP Sport Maxx® TT lastiklerinde Kevlar® EE'nin topuk dolgusunda kullanımı (sarı bölge), (b) lastiğin kesiti	90
Şekil 5.45.	Dunlop Denovo lastiği; (a) yapısı, (b) çalışma prensibi	90

Şekil 5.46.	1. nesil RFT (DSST) (a-b) lastik kesitinde takviye tabakalarının gösterimi	91
Şekil 5.47.	1. Nesil (DSST) ile 2. nesil (CTT) RFT'nin karşılaştırılması	92
Şekil 5.48.	CTT profiline ek olarak daha düşük ısı üreten karışımların kullanıldığı 3. nesil RFT kesiti	92
Şekil 5.49.	4. Nesil RFT'de kullanılan 4 tescilli teknoloji.....	93
Şekil 5.50.	Çevresel doğrultuda dizilmiş karbon elyaf içeren karışım kullanımı	93
Şekil 5.51.	Yanakta 8 mm çapında gamzeler.....	94
Şekil 5.52.	RFT teknolojisindeki gelişmeler.....	94
Şekil 5.53.	Goodyear üretimi Eagle F1 dört mevsim lastiğinde (a) kesitte her iki yanakta karbon elyaf takviyesi (ok ile gösterilen), (b) yanakta karbon elyaf takviyesi (taralı mavi bölgeler), ultra yüksek performans için sırt merkezinde sürekli dış (İng. center rib) ve omuz blokları (İng. shoulder blocks) (kırmızı bölgeler), kar ve ıslak koşullarda çekiş sağlayan dört mevsim bölgeleri (sırtta düz mavi bölgeler).....	95
Şekil 6.1.	CF malzemesinin (a) makro, (b) lastik kestinde LM, (c) tek bir kırılmış elyaf için SEM, (d) tek bir lifin fasulye şeklindeki SEM görüntüleri	97
Şekil 6.2.	Kevlar® EE malzemesinin (a) granüllerinin makro görüntüsü, (b) ve (c) SEM görüntüleri.....	98
Şekil 6.3.	Sulfron 3001 malzemesinin (a) granüllerinin makro görüntüsü, (b) SEM görüntüsü.....	99
Şekil 6.4.	Kontrol ve 5 phr CF içeren deneme karışımları için örnek bir mikser karıştırma yöntemi tablosu.....	103
Şekil 6.5.	Farrel, "BR" Banbury mikser	104
Şekil 6.6.	Farrel, 6"x13" mil.....	104
Şekil 6.7.	Platen pres, Fontijne, TP600.....	104
Şekil 6.8.	Monsanto, MV 2000E Mooney viskozimetre ve rotor haznesi	106
Şekil 6.9.	Mooney viskozimetrede karışımın konulduğu rotor haznesi.....	106
Şekil 6.10.	Tipik bir Mooney test çıktısı (1 dakika ön ısıtma esnasında rotor hareketsiz)	107
Şekil 6.11.	Büyük rotor kullanılarak elde edilen tipik bir Mooney eğrisi	107
Şekil 6.12.	MDR (Moving Die Rheometer) reometre yapısı ve test örneği	109
Şekil 6.13.	İki jelatin arasına yerleştirilmiş halde MDR'da test edilmiş örnek	109
Şekil 6.14.	(a) Alpha, MDR 2000 reometre, (b) titreşen alt kalıp	110
Şekil 6.15.	İdeal bir lastik pişirme eğrisi ve MDR'da kullanılan terimler.....	110
Şekil 6.16.	Dumbbell kesici #3 bıçağı (JIS K6251).....	111
Şekil 6.17.	Tensometre örnekleri (uzunluk: 100 mm, orta genişlik: 5 mm, kalınlık~2 mm).....	111
Şekil 6.18.	Alpha, T2020 tensometre.....	112
Şekil 6.19.	Kadran göstergeli kalınlık ölçme aygıtı (Mitutoyo 547-315).....	112
Şekil 6.20.	Heraeus etüvler (UT12)	113
Şekil 6.21.	Sertlik ölçüm cihazı Zwick/Roell (Shore A)	113
Şekil 6.22.	Schob sarkaçlı sekme esnekliği ölçüm cihazı Zwick/Roell 5109	114
Şekil 6.23.	Densitometre (Toyo Seiki model D-S)	115

Şekil 6.24.	FTFT cihazı.....	115
Şekil 6.25.	(a) Fleksometre (BFGoodrich Flexometer) (b) örnek odası	116
Şekil 6.26.	(a) Aşınma test cihazı (Ueshima Lambourn AB-2010), (b) test odasının şematik gösterimi (1: aşındırıcı tekerlek, 2: test örneği, 3: test odası, 4: test örneği üzerine yük uygulama düzeneği, 5: talk damlatma düzeneği)	117
Şekil 6.27.	(a) Alpha RPA 2000, (b) örnek odası, (c) örnek hazırlayıcı (Alpha Cutter 2000R)	118
Şekil 6.28.	(a) Leica cam bıçak hazırlayıcı, (b) cam bıçaklar, (c) Leitz 1400 kızaklı mikrotom, (d) Lam üzerine yayılan 2 µm kalınlığındaki lastik kesitleri, (e) Olympus SZH stereo zoom mikroskop	119
Şekil 6.29.	Olympus BH-2 BHSM ışık mikroskop.....	119
Şekil 6.30.	Jeol JSM 840A SEM üzerine takılı EDS (IXRF Systems) ve Olmpus SIS görüntü analiz sistemi.....	120
Şekil 6.31.	Jeol JEM 2000FX STEM üzerine takılı EDS (IXRF Systems) ve Olmpus SIS görüntü analiz	120
Şekil 7.1.	Yaşlandırılmamış (0 saat) örneklerin kopma dayanımı değerlerinin CF katkısı ile değişimi.....	124
Şekil 7.2.	Yaşlandırılmamış (0 saat) örneklerin kopmada uzama değerlerinin CF katkısı ile değişimi.....	125
Şekil 7.3.	Yaşlandırılmamış (0 saat) katkılı örneklerin modül değerlerinin kontrole göre indeks grafiği.....	125
Şekil 7.4.	Yaşlandırılmamış (0 saat) örneklerin kontrole göre, en yüksek modül değerleri artışına ulaştığı %25 uzamadaki, modül değerlerinin CF katkısı ile değişimi.....	126
Şekil 7.5.	24 saat Yaşlandırılmış CF katkılı örneklerin modül değerlerinin kontrole göre indeks grafiği.....	128
Şekil 7.6.	48 saat Yaşlandırılmış katkılı örneklerin, kontrole göre indeks grafiği.....	128
Şekil 7.7.	96 saat Yaşlandırılmış katkılı örneklerin, kontrole göre indeks grafiği.....	129
Şekil 7.8.	CF demeti ve üzerindeki RFL kaplama (24 µm kalınlıkta).....	131
Şekil 7.9.	Çekme kalıbında pişirilmiş bir karışım tabakasından, milleme yönüne dik ve paralel olarak alınan	132
Şekil 7.10.	Milleme yönüne paralel olarak kırılan yüzey	132
Şekil 7.11.	Milleme yönüne dik olarak kırılan yüzey	133
Şekil 7.12.	Milleme yönüne paralel olarak çekme testi gerçekleştirilen örneğin farklı büyütmelelerde kopma yüzey görüntüleri (a) 200x, (b) 700x, (c) 4000x.....	134
Şekil 7.13.	Yorulma testi sonrası kopan örneğin farklı büyütmelelerde kopma yüzey görüntüleri (a) 300x, (b) 4000x	135
Şekil 7.14.	Yaşlandırılmamış (0 saat) örneklerin, milleme yönüne paralel çekme test sonuçlarının kontrole göre indeks grafiği	141
Şekil 7.15.	Yaşlandırılmamış (0 saat) örneklerin, milleme yönüne dik çekme test sonuçlarının kontrole göre indeks grafiği	141
Şekil 7.17.	24 Saat yaşlandırılmış örneklerin milleme yönüne paralel çekme test sonuçları.....	144

Şekil 7.18.	48 Saat yaşlandırılmış örneklerin milleme yönüne paralel çekme test sonuçları.....	144
Şekil 7.19.	96 Saat yaşlandırılmış örneklerin milleme yönüne paralel çekme test sonuçları.....	145
Şekil 7.20.	Yaşlandırılmamış (0 saat) katkılı örneklerin, kontrole göre indeks grafiği	151
Şekil 7.21.	Mooney test sonuçları grafiği	156
Şekil 7.22.	MDR test sonuçları grafiği	156
Şekil 7.23.	Maksimum tork değerlerinin CF katkısı ile değişimi	157
Şekil 7.24.	Yaşlandırılmamış (0 saat) örneklerin kopma dayanımı değerleri.....	158
Şekil 7.25.	Yaşlandırılmamış (0 saat) örneklerin kopmada uzama değerleri	159
Şekil 7.26.	Yaşlandırılmamış (0 saat) CF katkılı örneklerin modül değerlerinin kontrole göre indeks grafiği.....	159
Şekil 7.27.	Yaşlandırılmamış (0 saat) örneklerin kontrole göre, en yüksek modül değerleri artışına ulaştığı %25 uzamadaki, modül değerlerinin CF katkısı ile değişimi.....	160
Şekil 7.28.	24 saat Yaşlandırılmış CF katkılı örneklerin modül değerlerinin kontrole göre indeks grafiği.....	161
Şekil 7.29.	48 saat Yaşlandırılmış CF katkılı örneklerin modül değerlerinin kontrole göre indeks grafiği.....	162
Şekil 7.30.	96 saat Yaşlandırılmış CF katkılı örneklerin modül değerlerinin kontrole göre indeks grafiği.....	163
Şekil 7.31.	Yaşlandırma ile kopma dayanımı değerlerinin değişimi	164
Şekil 7.32.	Yaşlandırma ile kopmada uzama değerlerinin değişimi.....	164
Şekil 7.33.	KA kontrol örneği ısı üretim grafiği	166
Şekil 7.34.	5C3A örneği ısı üretim grafiği.....	167
Şekil 7.35.	10C3A örneği ısı üretim grafiği.....	167
Şekil 7.36.	15C3A örneği ısı üretim grafiği.....	167
Şekil 7.37.	Kontrol ve CF katkılı örneklerin ısı üretimi grafiği.....	168
Şekil 7.38.	Ağırlık kaybının kayma hızı ile değişimi	171
Şekil 7.39.	Doğrusal aşınma hızının kayma hızı ile değişimi	172
Şekil 7.40.	Kontrol karışımı için G' ve G" değerlerinin gerinim ile değişimi.....	174
Şekil 7.41.	Kontrol karışımı için tan δ değerlerinin gerinim ile değişimi.....	174
Şekil 7.42.	Kontrol ve deneme karışımları için G' değerlerinin gerinim ile değişimi.....	175
Şekil 7.43.	Kontrol ve deneme karışımları için G" değerlerinin gerinim ile değişimi.....	175
Şekil 7.44.	Kontrol ve deneme karışımları için tan δ değerlerinin gerinim ile değişimi.....	175
Şekil 7.45.	145 °C'a ısıtılan karışımların 5. dakikada ölçülen tan δ değerleri	177
Şekil 7.46.	Karışımlarda maksimum tork değerlerinin CF katkısı ile değişimi.....	178

TABLolar DİZİNİ

Tablo 1.1.	Araç lastiklerinin hız sınıfları	5
Tablo 2.1.	Liflerin özellikleri	18
Tablo 2.2.	Kordların özellikleri.....	19
Tablo 2.3.	Kordların avantaj ve dezavantajları	19
Tablo 2.4.	Lastik endüstrisinde kullanılan karbon siyahlarının ASTM sınıflandırması	31
Tablo 2.5.	Karbon siyahı parçacık boyutunun proses ve ürün özelliklerine etkisi.....	32
Tablo 2.6.	Karbon siyahı yapısının proses ve ürün özelliklerine etkisi	33
Tablo 2.7.	Proses aşamalarında oluşabilecek problemler, kullanılan proses kolaylaştırıcı hammaddeler ve etkileri.....	35
Tablo 2.8.	Kauçuk malzemelerin bozulmasına neden olan dış etkenler ve etkileri	37
Tablo 3.1.	Tipik bir karışım reçetesinde hammadde kullanım aralıkları	42
Tablo 3.2.	Karışım özelliklerinin lastik performansı ile ilişkileri.....	45
Tablo 5.1.	Aramid ve karbon elyaf özelliklerinin çelik ile karşılaştırılması.....	57
Tablo 5.2.	PAN esaslı karbon elyafların özellikleri.....	67
Tablo 5.3.	Katran esaslı karbon elyafların özellikleri	67
Tablo 5.4.	DowAksa tarafından üretilen sürekli karbon elyaf ürünler ve özellikleri	69
Tablo 5.5.	DowAksa tarafından üretilen kırılmış karbon elyaf ürünler ve özellikleri	70
Tablo 5.6.	Karbon elyaf ürünleri ve kullanım alanları.....	70
Tablo 5.7.	Yüksek performans ticari elyafların özellikleri	73
Tablo 6.1.	Takviye malzemesi kodları	96
Tablo 6.2.	Karışım reçetelerinde kullanılan hammaddeler	100
Tablo 6.3.	A reçetesi (ana karışım)	100
Tablo 6.4.	A reçetesi (son karışım)	100
Tablo 6.5.	B reçetesi (ana karışım)	101
Tablo 6.6.	B reçetesi (son karışım)	101
Tablo 6.7.	Karışım kodları	101
Tablo 7.1.	Ana karışım reçeteleri (kısım olarak)	121
Tablo 7.2.	Ana karışım reçeteleri (ağırlık olarak).....	122
Tablo 7.3.	Son karışım reçeteleri (kısım olarak).....	122
Tablo 7.4.	Son karışım reçeteleri (ağırlık olarak)	122
Tablo 7.5.	Mooney test sonuçları (130 °C'de).....	123
Tablo 7.6.	MDR test sonuçları (160 °C'de).....	123
Tablo 7.7.	Yaşlandırılmamış (0 saat) örneklerin çekme test sonuçları.....	124
Tablo 7.8.	24 saat Yaşlandırılmış örneklerin çekme test sonuçları.....	126
Tablo 7.9.	48 saat Yaşlandırılmış örneklerin çekme test sonuçları.....	127
Tablo 7.10.	96 saat Yaşlandırılmış örneklerin çekme test sonuçları.....	127
Tablo 7.11.	Sertlik, özgül ağırlık ve yorulma test sonuçları	129
Tablo 7.12.	5C2A Ana karışım reçetesi	130

Tablo 7.13.	5C2A Son karışım reçetesi	130
Tablo 7.14.	5C2A Deneme karışımının milleme yönüne paralel ve dik örneklerin çekme test sonuçları	133
Tablo 7.15.	5C2A Sertlik, özgül ağırlık ve yorulma sonuçları	134
Tablo 7.16.	Ana karışım reçeteleri (kısım olarak)	136
Tablo 7.17.	Ana karışım reçeteleri (ağırlık olarak).....	136
Tablo 7.18.	Son karışım reçeteleri (kısım olarak).....	136
Tablo 7.19.	Son karışım reçeteleri (ağırlık olarak)	137
Tablo 7.20.	Mooney test sonuçları (130 °C'de).....	138
Tablo 7.21.	MDR test sonuçları (160 °C'de).....	138
Tablo 7.22.	Yaşlandırılmamış (0 saat) örneklerin, milleme yönüne paralel çekme test sonuçları.....	139
Tablo 7.23.	Yaşlandırılmamış (0 saat) örneklerin, milleme yönüne dik çekme test sonuçları.....	139
Tablo 7.24.	Yaşlandırılmamış (0 saat) milleme yönüne dik çekme örneklerinin, paralele göre indeksli çekme test sonuçları.....	140
Tablo 7.25.	24 Saat yaşlandırılmış örneklerin milleme yönüne paralel çekme test sonuçları.....	142
Tablo 7.26.	48 Saat yaşlandırılmış örneklerin milleme yönüne paralel çekme test sonuçları.....	143
Tablo 7.27.	96 Saat yaşlandırılmış örneklerin milleme yönüne paralel çekme test sonuçları.....	143
Tablo 7.28.	Sertlik, özgül ağırlık, yorulma ve sekme esnekliği sonuçları.....	145
Tablo 7.29.	Ana karışım reçeteleri (kısım olarak)	146
Tablo 7.30.	Ana karışım reçeteleri (ağırlık olarak).....	146
Tablo 7.31.	Son karışım reçeteleri (kısım olarak).....	147
Tablo 7.32.	Son karışım reçeteleri (ağırlık olarak)	147
Tablo 7.33.	C1 için Mooney test sonuçları (130 °C'de)	148
Tablo 7.34.	C3 için Mooney test sonuçları (130 °C'de)	148
Tablo 7.35.	C4 için Mooney test sonuçları (130 °C'de)	149
Tablo 7.36.	C1 için MDR test sonuçları (160 °C'de)	149
Tablo 7.37.	C3 için MDR test sonuçları (160 °C'de)	149
Tablo 7.38.	C4 için MDR test sonuçları (160 °C'de)	150
Tablo 7.39.	Yaşlandırılmamış (0 saat) çekme test sonuçları	151
Tablo 7.40.	C1 takviye malzemesi kullanılan karışımların sertlik, özgül ağırlık, yorulma ve sekme esnekliği sonuçları.....	152
Tablo 7.41.	C3 takviye malzemesi kullanılan karışımların sertlik, özgül ağırlık, yorulma ve sekme esnekliği sonuçları.....	152
Tablo 7.42.	C4 takviye malzemesi kullanılan karışımların sertlik, özgül ağırlık, yorulma ve sekme esnekliği sonuçları.....	152
Tablo 7.43.	Ana karışım reçeteleri (kısım olarak)	153
Tablo 7.44.	Ana karışım reçeteleri (ağırlık olarak).....	154
Tablo 7.45.	Son karışım reçeteleri (kısım olarak).....	154
Tablo 7.46.	Son karışım reçeteleri (ağırlık olarak)	154
Tablo 7.47.	Mooney test sonuçları (130 °C'de).....	156
Tablo 7.48.	MDR test sonuçları (160 °C'de).....	157
Tablo 7.49.	Yaşlandırılmamış (0 saat) örneklerin çekme test sonuçları.....	158
Tablo 7.50.	24 saat Yaşlandırılmış örneklerin çekme test sonuçları.....	161

Tablo 7.51.	48 saat Yaşlandırılmış örneklerin çekme test sonuçları.....	162
Tablo 7.52.	96 saat Yaşlandırılmış örneklerin çekme test sonuçları.....	163
Tablo 7.53.	Sertlik, özgül ağırlık, yorulma ve sekme esnekliği sonuçları.....	165
Tablo 7.54.	Isı üretimi test sonuçları.....	166
Tablo 7.55.	Dinamik mekanik test sonuçları	168
Tablo 7.56.	Aşındırma test sonuçları (% 5 kayma hızı).....	170
Tablo 7.57.	Aşındırma test sonuçları (% 7 kayma hızı).....	170
Tablo 7.58.	Aşındırma test sonuçları (% 10 kayma hızı).....	170
Tablo 7.59.	Aşındırma test sonuçları (% 12 kayma hızı).....	171
Tablo 7.60.	Aşındırma test sonuçları (% 15 kayma hızı).....	171
Tablo 7.61.	Ham KA örneğinin farklı gerinimlerde viskoelastik özellikleri (100 °C).....	173
Tablo 7.62.	Ham 5C3A örneğinin farklı gerinimlerde viskoelastik özellikleri (100 °C)	173
Tablo 7.63.	Ham 10C3A örneğinin farklı gerinimlerde viskoelastik özellikleri (100 °C)	174
Tablo 7.64.	Ham 15C3A örneğinin farklı gerinimlerde viskoelastik özellikleri (100 °C)	174
Tablo 7.65.	KA örneğinin pişmede viskoelastik özellikleri.....	176
Tablo 7.66.	5C3A örneğinin pişmede viskoelastik özellikleri.....	176
Tablo 7.67.	10C3A örneğinin pişmede viskoelastik özellikleri.....	177
Tablo 7.68.	15C3A örneğinin pişmede viskoelastik özellikleri.....	177
Tablo 7.69.	Karışımların RPA ile elde edilen pişme özellikleri (145 °C)	178

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

C1	: Poliüretan kaplı karbon elyaf
C2	: Epoksi + RFL kaplı karbon elyaf
C3	: Poliimid kaplı karbon elyaf
C4	: Poliamid kaplı karbon elyaf
D'	: Elastik komplians, (MPa ⁻¹)
D''	: Viskoz komplians, (MPa ⁻¹)
D*	: Kompleks komplians, (MPa ⁻¹)
E'	: Elastik modül, (MPa)
E''	: Viskoz modül, (MPa)
E*	: Kompleks modül, (MPa)
G'	: Elastik dinamik kayma modülü, (MPa)
G''	: Viskoz dinamik kayma modülü, (MPa)
G*	: Kompleks dinamik kayma modülü, (MPa)
IV	: Initial viscosity (başlangıç viskozitesi), (MU)
J'	: Elastik komplians, (MPa ⁻¹)
J''	: Viskoz komplians, (MPa ⁻¹)
J*	: Kompleks komplians, (MPa ⁻¹)
KE	: Kevlar® EE
M1	: %1 Uzamadaki modül değeri, (MPa)
M10	: %10 Uzamadaki modül değeri, (MPa)
M100	: %100 Uzamadaki modül değeri, (MPa)
M200	: %200 Uzamadaki modül değeri, (MPa)
M25	: %25 Uzamadaki modül değeri, (MPa)
M300	: %300 Uzamadaki modül değeri, (MPa)
M5	: %5 Uzamadaki modül değeri, (MPa)
M50	: %50 Uzamadaki modül değeri, (MPa)
M75	: %75 Uzamadaki modül değeri, (MPa)
M _H	: Maximum tork, (dNm)
M _H -M _L	: Pişme sonucu net tork artışı, (dNm)
M _L (1+4)	: 5. Dakikadaki viskozite, (MU)
M _L	: Minimum tork, (dNm)
MV	: Minimum viskozite, (MU)
S'	: Elastik tork, (dNm)
S''	: Viskoz tork, (dNm)
S*	: Kompleks tork, (dNm)
S'@t ₁₀	: t ₁₀ 'daki tork değeri, (dNm)
S'@t ₅₀	: t ₅₀ 'deki tork değeri, (dNm)
S'@t ₉₀	: t ₉₀ 'daki tork değeri, (dNm)
S'@t _{s2}	: t _{s2} 'deki tork değeri, (dNm)
SU	: Sulfron 3001
t ₁₀	: %10 Net pişmeye ulaşmak için gerekli süre, (dak)

t_{35}	: Minimum viskoziteden 35 mooney birimi sonraki pişme zamanı, (dak)
t_5	: Minimum viskoziteden 5 mooney birimi sonraki pişme başlangıcı, (dak)
t_{50}	: %50 Net pişmeye ulaşmak için gerekli süre, (dak)
t_{90}	: %90 Net pişmeye ulaşmak için gerekli süre, (dak)
$\tan \delta$: Tanjant delta
t_{s1}	: Minimum tork'tan bir birim artışa ulaştığı süre, yanık zamanı, (dak)
t_{s2}	: Minimum tork'tan iki birim artışa ulaştığı süre, yanık zamanı, (dak)
Δt_L	: Kür indeksi ($t_{35} - t_5$), (dak)
ε	: Gerinim, (%)
η'	: Reel dinamik viskozite, (Pa.s)
η''	: Sanal Dinamik Viskozite, (Pa.s)
η^*	: Kompleks Dinamik Viskozite, (Pa.s)
σ	: Gerilim, (MPa)

Kısaltmalar

1-D	: 1 Boyutlu
2-D	: 2 Boyutlu
3-D	: 3 Boyutlu
6PPD	: N-(1,3-Dimethylbutyl)-N'-Phenyl-p-Phenylenediamine (Antiozonant)
Aramid	: Poly Para-Fenilenterefitalamid (Aromatik Poliamid)
BIIR	: Bromobutyl Rubber (Bromobütül kauçuk)
BMU	: Basic Microstructural Unit (Temel Mikroyapısal Birim)
BR	: Butadiene Rubber (Bütadien Kauçuk)
C/C	: Carbon / Carbon (Karbon / Karbon)
CB	: Carbon Black (Karbon Siyahı)
CBR	: <i>cis</i> Polybutadiene Rubber (<i>cis</i> Polibütadien Kauçuk)
CBS	: N-Cyclohexyl-2-Benzothiazole Sulfenamide (Hızlandırıcı)
CF	: Carbon Fiber (Karbon Elyaf)
CFRP	: Carbon Fiber Reinforced Plastic (Karbon Elyaf Takviyeli Plastik)
CFRTP	: Carbon Fiber Reinforced Thermoplastic (Karbon Elyaf Takviyeli Termoplastik)
CIIR	: Chlorobutyl Rubber (Klorobütül Kauçuk)
CR	: Chloroprene Rubber (Kloropren Kauçuk)
CTT	: Combined Technology Tire
CVD	: Chemical Vapor Deposition (Kimyasal Buhar Biriktirme)
DCPD	: Dicyclopentadiene (Sertleştirici Reçine)
DMT	: Dynamic Mechanical Testing (Dinamik Mekanik Test)
DSST	: Dunlop Self-Supporting Technology
DWNT	: Double Walled Carbon Nano Tube (Çift Duvarlı Carbon Nano Tüp)
EMT	: Extended Mobility Technology (Genişletilmiş Hareketlilik Teknolojisi)
EMU	: Elemental Microtextural Unit (Elementel Mikrodokusal Birim)
EPDM	: Ethylene Propylene Diene Rubber (Etilen Propilen Dien Kauçuk)
EPM	: Ethylene Propylene Rubber (Etilen Propilen Kauçuk)
FTFT	: Fatigue To Failure Tester
HD	: Highly Dispersible
IIR	: Butyl Rubber (Isobutylene-Isoprene Rubber, Bütül Kauçuk)
IR	: Polyisoprene Rubber (Poliisopren Kauçuk)
KA	: Kontrol A Karışımı

KB	: Kontrol B Karışımı
LM	: Light Microscope (Işık Mikroskobu)
MDR	: Moving Die Rheometer
MWNT	: Multi Walled Carbon Nano Tube (Çok Duvarlı Carbon Nano Tüp)
NBR	: Acrylonitrile Butadiene Rubber (Akrilonitril Bütadien Kauçuk)
NR	: Natural Rubber (Doğal kauçuk)
PA	: Polyamid (Poliamid, Naylon)
PAN	: Polyacrylonitrile (Poliakrilonitril)
PC	: Polycarbonate (Polikarbonat)
PEEK	: Polyether Ether Ketone (Polieter Eterketon)
PEN	: Polyethylene Naphthalate (Polietilen Naftalat)
PET	: Polyethylene Terephthalate (Polietilen Teraftalat, Polyester)
phr	: Part per Hundered Rubber (Kısım)
POK	: Polyolefin Ketone (Poliolenin Keton)
POSS	: Polyhedral Oligomeric Silsesquioxanes
PP	: Polypropylene (Polipropilen)
PPA	: Polyphthalamide (Polifitalamid)
PPS	: Polyphenylene sulfide (Polifenilen Sülfid)
RFL	: Resorcinol Formaldehyde Latex (Resorsinol Formaldehit Lateks)
RFT	: Run on Flat Tire ((Patlak Yol Alabilen Lastik)
RPA	: Rubber Process Analyser
SBR	: Styrene-Butadiene Rubber (Stiren Bütadien Kauçuk)
SEM	: Scanning Electron Microscope (Taramalı Elektron Mikroskop)
STEM	: Scanning Transmission Electron Microscope (Taramalı Geçirimli Elektron Mikroskop)
SWNT	: Single Walled Carbon Nano Tube (Tek Duvarlı Carbon Nano Tüp)
TBBS	: N-Tert-Butyl-2-Benzothiazyl Sulfenamide (Hızlandırıcı)
TCU	: Temperature Control Unit (Mikser)
TEM	: Transmission Electron Microscope (Geçirimli Elektron Mikroskopu)
TESPT	: Bis(triethoxysilylpropyl)tetrasulfide (Bis (trietoksisililpropil) tetrasülfid)
TMQ	: 2,2,4-Trimethyl-1,2-Dihydroquinoline (Antiozonant)
UHMWPE	: Ultra high molecular weight polyethylene
VGCNF	: Vapor Grown Carbon Nano Fiber (Buhar Fazından Elde Edilen Karbon Nano Elyaf)

KAUÇUK KARIŞIMLARINDA YENİ TAKVİYE MALZEMELERİNİN ÖZELLİKLERE ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI

ÖZET

Son yıllarda araç lastiklerinde otomotiv endüstrisinden gelen taleplerin karşılanabilmesi için, yeni takviye malzemelerinin denenmesi ve kullanımı gündeme gelmiştir. Bu çalışmada, kırılmış karbon elyaf ile aramid bazlı Sulfron 3001 ve Kevlar® EE gibi takviye malzemeleri lastik karışımlarına katılarak, özelliklere olan etkileri incelenmiştir.

Ticari olmayan karışım reçetelerine belli oranlarda takviye malzemeleri katılarak deneme karışımları ve takviye içermeyen kontrol karışımları laboratuvar ortamında hazırlanmıştır. Ham karışımların pişme özellikleri, Mooney Viskozimetre, Reometre ve Lastik Proses Analizörü gibi cihazlar kullanılarak test edilmiştir. Çekme, yaşlandırma, sertlik ölçümü, sekme esnekliği, özgül ağırlık, yorulma, fleksometre ve aşınma testleri için de ham karışımlardan alınan örnekler, uygun kalıplarda pişirilerek ilgili cihazlarda test edilmiştir. Deneme karışımlarının fiziksel ve mekanik özellikleri kontrol karışımları ile karşılaştırılarak değerlendirilmiştir.

Yapılan çalışmalar, aramid bazlı takviye malzemelerinin ve yüzeyi farklı kaplamalar içeren kırılmış karbon elyafın, karışımların mukavemetini arttırdığını ve ısıl yaşlanma özelliklerini iyileştirdiğini ortaya koymuştur. Mukavemet artışı özellikle düşük uzamalarda kendini büyük ölçüde göstermiştir. Katkı miktarının, karışım reçetesinin ve takviye malzemesinin yüzey özelliklerinin uygun olması halinde, Sulfron 3001, Kevlar® EE ve karbon elyaf araç lastiklerinde kullanım için büyük potansiyel taşımaktadır.

Anahtar Kelimeler: Aramid, Karbon Elyaf, Kevlar® EE, Lastik Karışımı, Sulfron.

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF NEW REINFORCING MATERIALS ON THE PROPERTIES OF RUBBER COMPOUNDS

ABSTRACT

In recent years, the testing and use of new reinforcing materials in vehicle tires has come into the agenda in order to meet the high demands of the automotive industry. In this study, chopped carbon fiber and aramid based reinforcing materials like Sulfron 3001 and Kevlar® EE were added to the rubber compounds and their effects on the properties were investigated.

Trial compounds having varying amounts of reinforcing materials and control compounds having no reinforcement were prepared in the laboratory using non-commercial compound recipes. Green compounds were tested using Mooney Viscometer, Rheometer and Rubber Process Analyzer in order to determine their curing properties. Test samples were prepared by curing the green compounds in proper molds and tensile, thermal aging, hardness, resilience, specific gravity, fatigue, flexometer and wear tests were carried out. The physical and mechanical properties of the trial compounds were evaluated by comparing them with the control ones.

Studies showed that aramid-based reinforcing materials and chopped carbon fibers with different surface coatings increased the strength of the compounds and improved thermal aging properties. The increase in the strength was more prominent at low elongations. It can be concluded that Sulfron 3001, Kevlar® EE and carbon fiber have great potential to be used in vehicle tires depending on their surface properties and loading amount as well as proper selection of the compound recipe.

Keywords: Aramid, Carbon Fiber, Kevlar® EE, Rubber Compound, Sulfron.

GİRİŞ

Araç lastiği, gelişimi disiplinler arası Ar-Ge faaliyeti gerektiren bir yüksek mühendislik ürünüdür. Makroskopik performansı, santimetre ile nanometre boyut aralığındaki hammaddelerden hazırlanan lastik karışımlarının özelliklerine bağlıdır. Lastik karışımları, ana hammaddeleri polimer, mikro/nano dolgular ve kordlar olan mikro/nano kompozitlerdir. Araç lastiği teknolojisi, sihirli üçgen diye adlandırılan ve üçgenin köşelerinde yer alan “yuvarlanma direnci”, “aşınma direnci” ve “ıslak yol tutuş” özelliklerinin optimizasyonu üzerine kurulmuştur. Bu optimizasyon, yeni malzemelere olan ihtiyacı ortaya koymaktadır. Düşük yuvarlanma direnci yakıt ekonomisi açısından, yüksek aşınma direnci uzun lastik ömrü açısından, geliştirilmiş ıslak yol tutuş özelliği ise emniyet açısından önem kazanmaktadır. Araç lastiği tasarımında güvenlik, yakıt tasarrufu, uzun ömür hedeflerini karşılamak üzere, geri dönüştürülebilir, sürdürülebilir ve hafif hammadde seçimi göz önüne alınmaktadır [1-6].

Karbon siyahı, 1920’lerin başından itibaren lastik karışımlarında kullanılan ilk nano boyutlu takviye malzemesidir [7]. Parçacık boyutu 10 – 100 nm aralığında olup, yüksek yüzey alanına sahiptir ve lastik karışımlarına 50 – 60 kısım katılır. Karışımın mekanik özelliklerini (sertlik artışı, kopma, aşınma ve yırtılmaya dayanım) geliştirir ve ısı üretimini (İng. heat build-up) düşürür. Yeni geliştirilen yüksek yapılı karbon siyahları, düşük yüzey alanına sahip olmalarına rağmen, mekanik özelliklerde kayıp olmaksızın karışımlarda düşük histerezis sağlamaktadır [8]. Karışım içerisinde daha iyi bir dağılım sağlayarak yuvarlanma direncini düşüren yüzey modifiye karbon siyahları da yeni malzemeler arasında yer almaktadır [9]. Bunların yanı sıra parçacık morfolojisi geliştirilmiş yeni nesil karbon siyahları, karışım içerisinde daha iyi bir dağılım sağlayarak, yuvarlanma direncinde kayıp olmaksızın aşınma direncini arttırmaktadır [10]. Çöktürülmüş silika (İng. precipitated silica) lastik karışımlarında 20. yüzyılın başlarından itibaren kullanılmasına rağmen, TESPT (Bis(trietoksisililpropil) tetrasülfid) gibi silan bağlayıcı ajanların 1970’lerde ortaya çıkmasına kadar karışımın

mekanik özelliklerini yeterince geliştirmemekte idi. Bu malzeme, günümüzde tek başına ya da karbon siyahı ile birlikte yaygın olarak kullanılan bir lastik takviye dolgusudur. Parçacık boyutu 2-20 nm aralığında olup, bağlayıcı ajan ile birlikte karışıma 50-80 kısım katıldığında, özellikle yuvarlanma direnci ve ıslak yol tutuş özelliklerini önemli ölçüde geliştirir [1, 3]. Karışım içerisinde yüksek dağılım gösteren yeni nesil silikaların (İng. highly dispersible (HD) silica) geliştirilmesi ile karışımın aşınma direnci, kopma/uzama gibi mekanik özellikleri daha da iyileştirdiği görülmüştür [11].

Son yirmi yıl içerisinde, araç lastiklerinde otomotiv endüstrisinden gelen taleplerin karşılanabilmesi için, karbon siyahı ve silika gibi 3 boyutu (3-D) nano ölçekte olan takviye malzemelerinin yanı sıra en-boy oranı (İng. aspect ratio) yüksek 2 boyutu (2-D) ya da 1 boyutu (1-D) nano ölçekte olan tabakalı/lifli yapılar da takviye amaçlı olarak kullanılmaya başlanmıştır [2-6]. Bunlar arasında; nano oksitler (silika, alümina), polyhedral oligomeric silsesquioxanes (POSS) gibi 3-D nano malzemeler, organo-modifiye silikatlar, karbon nanotüp, nano selüloz, karbon elyaf, polimer esaslı nano elyaflar gibi 2-D nano malzemeler ve grafen, nano kil (montmorillonite) gibi 1-D nano malzemeler önde gelmektedir [5, 12-19].

Bu tez kapsamında, lastik karışımlarında kullanım potansiyeli olan aramid ve karbon esaslı malzemeler ele alınmış ve ticari olmayan reçetelerde denenmiştir. Farklı miktarda katkı içeren deneme karışımları, katkı içermeyen kontrol karışımları ile karşılaştırılarak; pişme özellikleri, mekanik özellikleri, yaşlanma özellikleri, yorulma dayanımı, ısı üretimi, aşınma direnci, viskoelastik özellikleri incelenmiştir.

1. ARAÇ LASTİĞİ

Araç lastiği, aracın yol ile temasını sağlayan ve aracın hareket etmesini, yük taşımalarını, yol almasını ve durmasını mümkün kılan en önemli parçası olup, kauçuk, kord (çelik ve tekstil) ve çeşitli kimyasal maddelerin bileşiminden oluşan kompozit bir yapıdır. Lastiğin cinsine bağlı olarak kullanılan bileşen sayısı otuza, hammadde sayısı da altmışa kadar çıkabilmektedir.

1.1. Temel Kavramlar

Lastik tanımlamada kullanılan bazı temel kavramlar aşağıda verilmiş ve Şekil 1.1 ve Şekil 1.2’de gösterilmiştir [20, 21].



Şekil 1.1. Lastik yanağında lastik ile ilgili bilgilerin gösterimi [20]

A. Kesit genişliği

Yanaktan yanağa milimetre cinsinden ölçülen kesit genişliğidir.

B. Kesit oranı

Kesit yüksekliğinin, kesit genişliğine yüzde olarak oranıdır. Örneğin 55 kesit oranı lastik yüksekliğinin genişliğinin %55'i kadar olduğu anlamına gelir.

C. Jant çapı

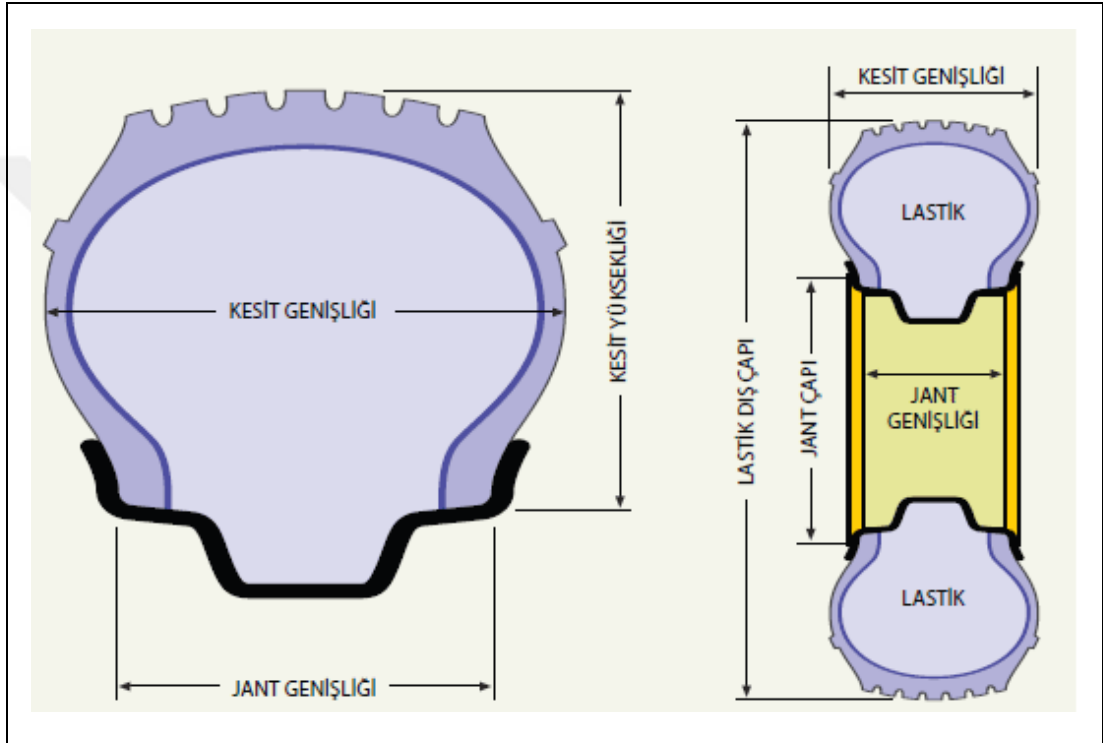
Jant çapı ise, lastiğin topuklarının oturduğu dairenin çapıdır.

D. Yük endeksi

Lastiğin yük endeksi maksimum taşıma kapasitesi (kg olarak) ile ilgilidir. Örneğin yük endeksi 91 olan bir lastik 615 kg ağırlık taşıyabilir.

E. Hız sınıfı

Hız sınıfı, doğru şekilde şişirildiğinde ve yük altında kullanıldığında lastiğin ulaşabileceği maksimum hızdır. Hız sınıfı yanakta yük endeksi değerinden sonra gelen harftir. Örneğin, hız sınıfı V olan bir lastik saatte maksimum 240 km hıza ulaşabilir.



Şekil 1.2. Lastik tanımlamada kullanılan bazı temel kavramların gösterimi [21]

1.2. Araç Lastiklerinin Sınıflandırılması

Lastikler; kullanım alanlarına, çıkabilecekleri güvenli maksimum hıza, yapılarına, desenlerine vb. göre çeşitli şekillerde sınıflandırılırlar [22, 23].

1.2.1. Kullanım alanlarına göre sınıflandırma

Kullanım alanlarına göre araç lastikleri aşağıdaki şekilde sınıflandırılır;

- Binek aracı lastikleri
- Ticari araç lastikleri
- Tarım aracı lastikleri

- Yol dışı hizmet aracı lastikleri
- Endüstri hizmet aracı lastikleri
- Askeri araç lastikleri
- Bisiklet – motorsiklet lastikleri
- Uçak lastikleri
- Uzay aracı lastikleri

1.2.2. Hız limitine göre sınıflandırma

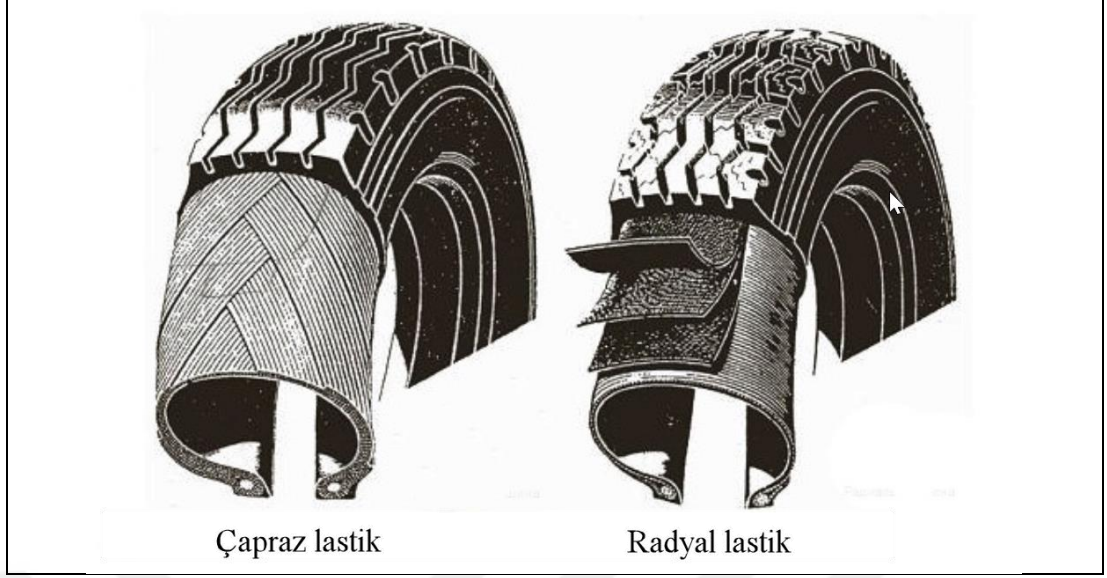
Çıkabilecekleri güvenli maksimum hıza göre de sınıflandırılır (Tablo 1.1) [24].

Tablo 1.1. Araç lastiklerinin hız sınıfları [24]

Sınıf	Hız (km/h)	Sınıf	Hız (km/h)
L	120	U	200
M	130	H	210
N	140	V	240
Q	160	Z	240+
R	170	W	270
S	180	Y	300
T	190	(Y)	300+

1.2.3. Yapılarına göre sınıflandırma

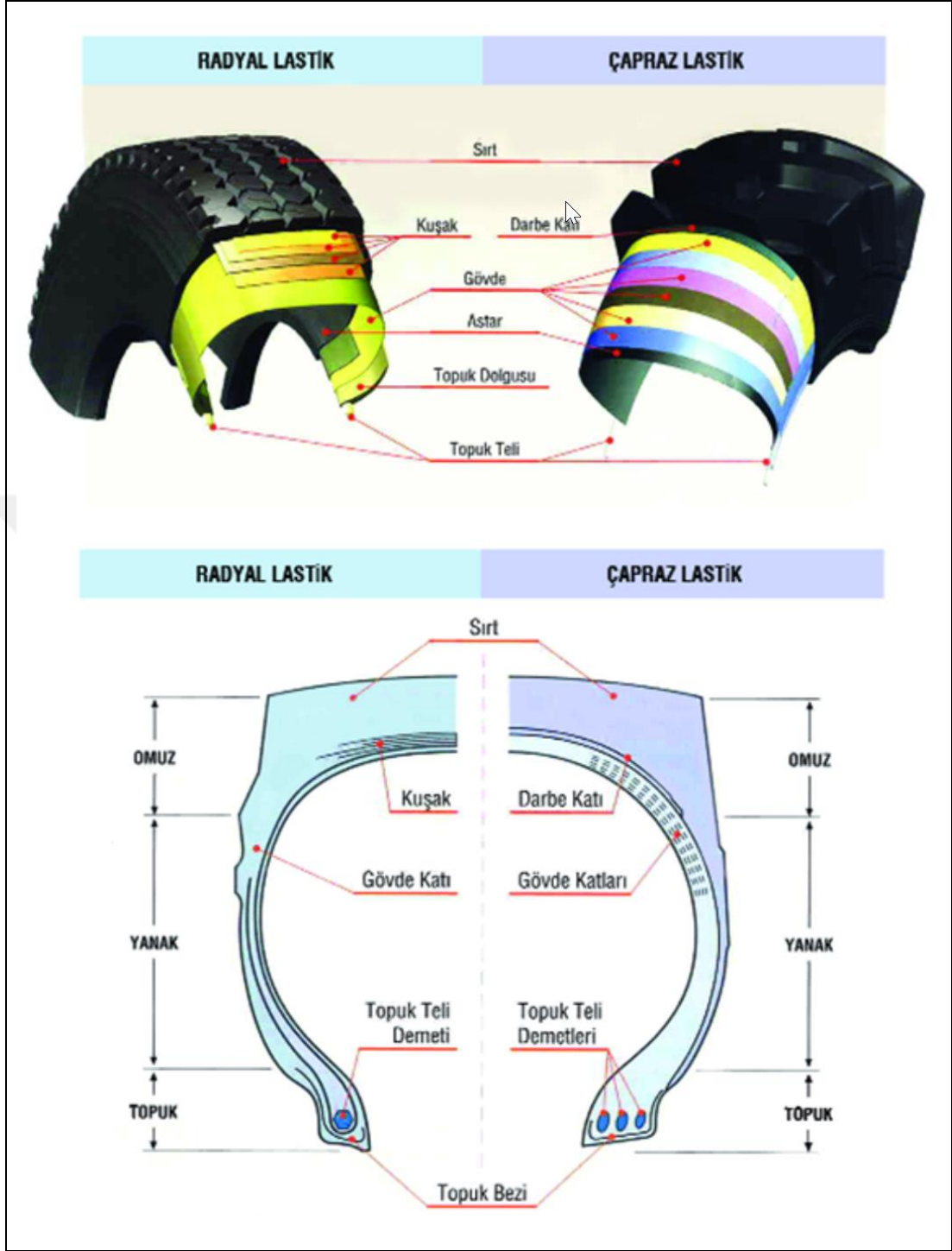
Yapılarına göre lastikler; çapraz ve radyal olarak sınıflandırılırlar. Çapraz yapıda her gövde katı sırt merkez çizgisi ile açılı, ancak zıt yönlerde üst üste yerleştirilmiştir. Radyal yapıda ise gövde katları topuktan topuğa aynı radyal düzlem içinde uzanır (Şekil 1.3) [25]. Günümüz binek lastiklerinde çoğunlukla radyal yapı kullanılır. Radyal lastiklerin özellikleri; daha az malzeme gereksinimi, düşük yakıt tüketimi, mükemmel yol tutuş, yüksek hızda güvenli kullanım ve uzun ömürdür.



Şekil 1.3. Çapraz ve radyal yapılı lastiklerin karşılaştırılması [25]

Lastikler başlıca 4 ana bölümden oluşur (Şekil 1.4) [21]. Lastiğin yerle temas eden ve desenin bulunduğu kısmına sırt, lastik bilgilerinin bulunduğu yan bölüme yanak, lastiğin janta oturan bölümüne topuk, sırt ile yanağın geçiş bölgesine de omuz adı verilir.

Sırt, imalat sırasında kuşakların üstüne yerleştirilir. Lastik karkası lastiğin gövdesidir, hava basıncını lastik içinde tutan yükü taşıyan sarsıntıları taşıyan kısımdır. Kuşak, gövdenin üst kısmına yerleştirilir ve gövde ile sırt arasında lastiği çevresel olarak sararak yapıyı güçlendirir. Kuşağın ana fonksiyonu lastiğin sırt bölgesine denge sağlamak, aşınma, sürüş ve çekişe katkıda bulunmaktadır. Astar lastikte hava geçirgenliğini önleyen ve eski teknolojilerde kullanılan iç lastiğin işlevini yerine getiren kısımdır. Lastiğin janta temas eden bölgesinde bulunan lastik bileşenlerin tümüne topuk denir. topuk telleri, topuk dolgusu, jant yastığı başlıca topuk bileşenleridir.



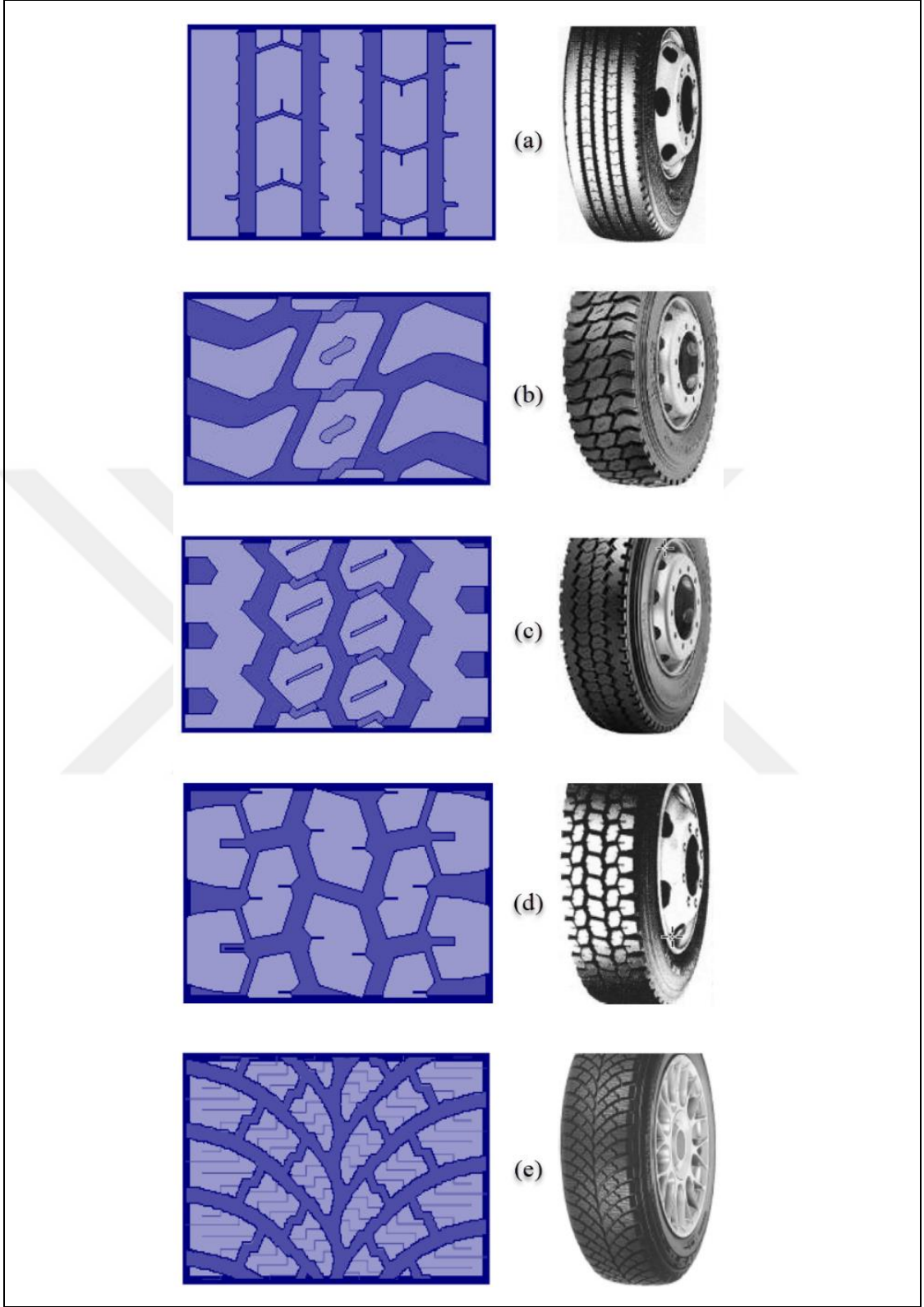
Şekil 1.4. Çapraz ve radyal lastiğin bileşenlerinin tanımlanması [21]

1.2.4. Desenlerine göre sınıflandırma

Lastikler sırt desenlerine göre beş farklı sınıfa ayrılır [21]:

- Düz tip lastikler
- Asimetrik tip lastikler
- Yönlü tip lastikler
- Dişli tip lastikler
- Blok tip lastikler
- Düz-dişli tip lastikler
- Kar-çamur tipi lastikler

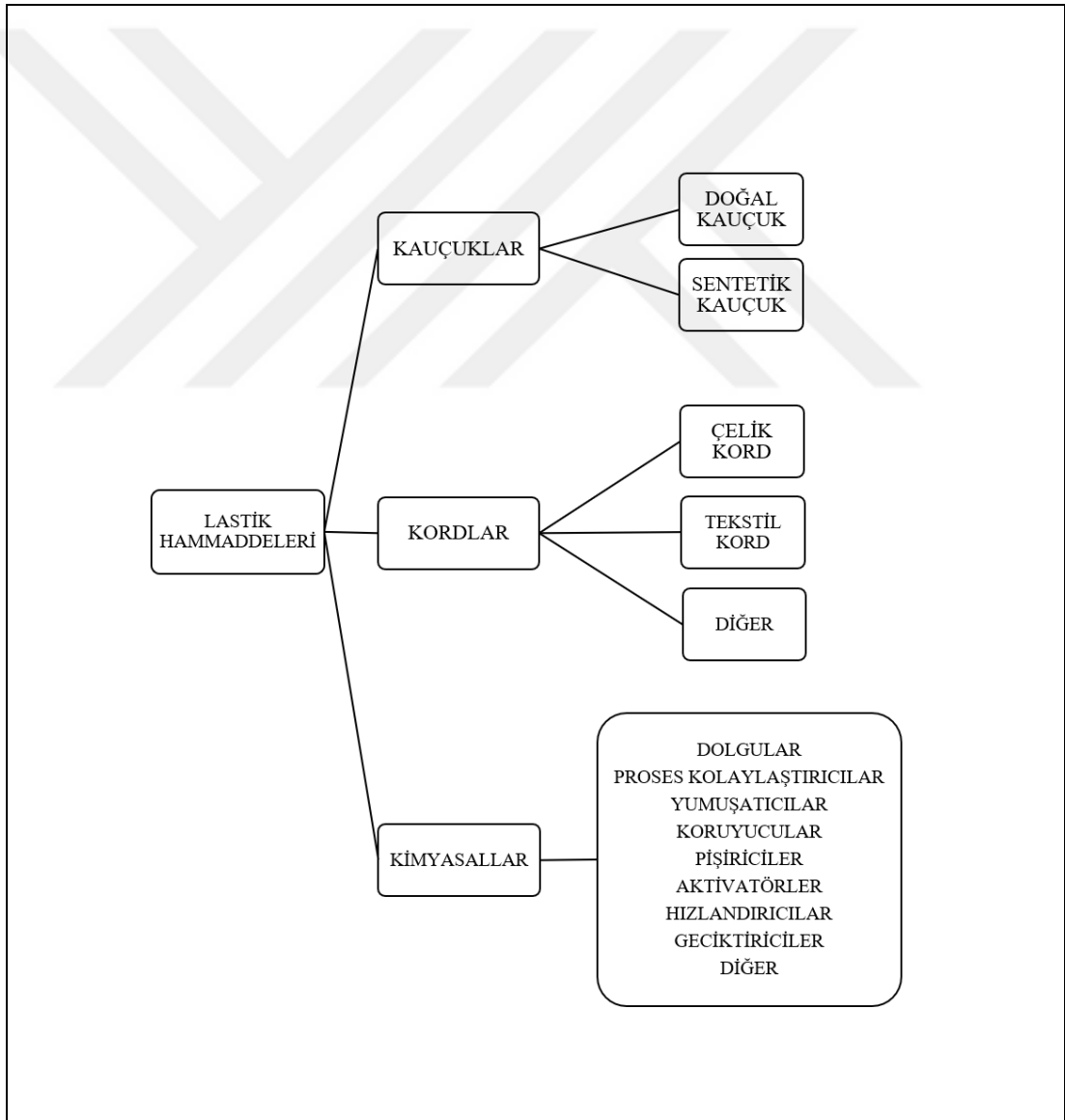
Düz tip lastikte oluklar tüm lastik çevresince uzanır. Bu lastikler de kendi aralarında asimetrik ve yönlü olmak üzere ikiye ayrılır. Dişli tip (İng. rib type) lastikte oluklar yanlara doğru bir yön izler. Blok tip (İng. block type) lastiklerde birbirinden ayrı bloklar vardır. Düz-dişli tip lastikler düz desenin ve dişli desenin bir karışımı şeklindedir. Kar-çamur tipi lastikler özel olarak kar ve çamurda kullanılmak için üretilmiştir. Kar ve çamurda üstün çekiş gücü, fren emniyeti ve yol kavrama performansı gösterirler (Şekil 1.5) [21].



Şekil 1.5. Desenlerine göre lastik tipleri; (a) Düz tip, (b) Dişli tip, (c) Blok tip, (d) Düz-Dişli tip, (e) Kar-Çamur tip [21]

2. LASTİK TEKNOLOJİSİNDE KULLANILAN HAMMADDELER

Lastik karışımları bitmiş üründen istenilen özelliklerin sağlanabilmesi için uygun kauçuk ve diğer hammaddelerin karıştırılması ile elde edilir. Lastik teknolojisinde kullanılan hammaddeler ve takviye malzemeleri Şekil 2.1.'de gösterilmiştir [26-31]. Lastik karışımları, araç lastiklerinin yanı sıra hortumlar, cam silecekleri, contalar, salınım, titreşim ve yalıtım elemanları gibi birçok yerde kullanılır.



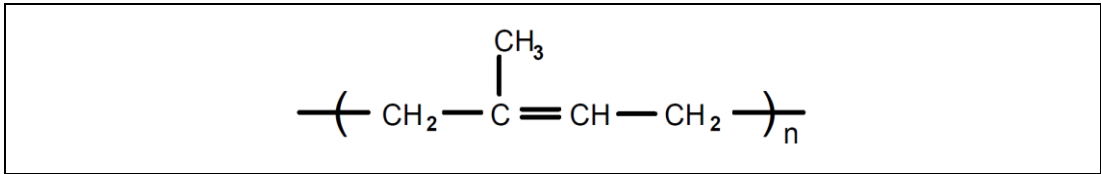
Şekil 2.1. Lastik hammaddeleri

2.1. Kauçuklar

Kauçuklar, çapraz bağlanmamış ancak çapraz bağlanabilme özelliğine sahip; diğer bir deyişle vulkanize olabilen (pişirilebilen) polimerlerdir. Çapraz bağlanma reaksiyonu (vulkanizasyon, pişme), kauçuğun kimyasal yapı değişikliğine uğrayarak ve geri dönüşümsüz olarak elastik özelliklere sahip bir duruma gelmesi ve getirilmesi işidir. Vulkanizasyon öncesi yüksek plastik özellikler, vulkanizasyon sonrası yerini yüksek elastik özelliklere bırakır. Araç lastiklerinde yaygın olarak kullanılan kauçuklar aşağıda açıklanmıştır [26-31].

2.1.1. Doğal kauçuk

Doğal kauçuk (NR), bol yağış alan tropikal bölgelerde yetişen ve anavatanı Brezilya olan *hevea brasiliensis* ağacından elde edilir [32, 33]. Günümüzde dünya üretiminin büyük bir kısmı Uzakdoğu Asya ülkelerinden sağlanmaktadır. Ağacın kabuğuna açılan kanaldan elde edilen lateks adı verilen sıvı pıhtılaştırılarak doğal kauçuk üretilir. Yapı % 99,9 *cis* 1,4 poliisopren'dir (Şekil 2.2). Araç lastiği dışında kullanım alanları; konveyör bandı, hortum, ayakkabı tabanı, kablo, otomotiv parçaları, vibrasyon ve şok emici malzemeler, yapıştırıcı imalatı, lateks üretimleri (eldiven, bebek emzikleri, balon) vb.'dir.



Şekil 2.2. Doğal kauçuk (NR) yapısı

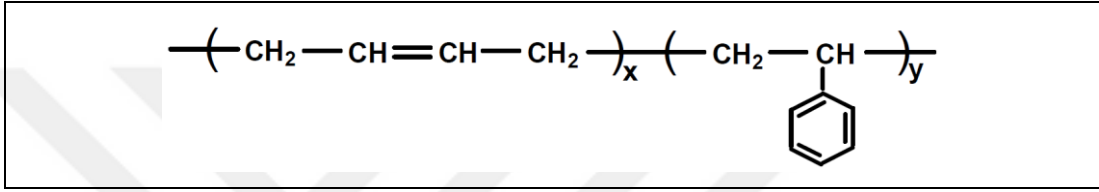
2.1.2. Sentetik kauçuk

Lastik teknolojisinde kullanılan sentetik kauçuklar, poliisopren kauçuk (IR), stiren bütadien kauçuk (SBR), polibütadien kauçuk (BR), akrilonitril bütadien kauçuk (NBR), kloropren kauçuk (CR), bütül kauçuklar (IIR, CIIR, BIIR) ile etilen ve propilenin kopolimerleridir (EPM, EPDM) [26-31].

Poliisopren kauçuk (IR), doğal kauçuğun sentetik olarak üretilen halidir. Ancak *cis* yapısı doğal kauçuğa göre daha düşüktür. Bu nedenle özellikleri doğal kauçuğa göre bazı farklılıklar gösterir. Kullanım alanları doğal kauçuk ile benzerdir,

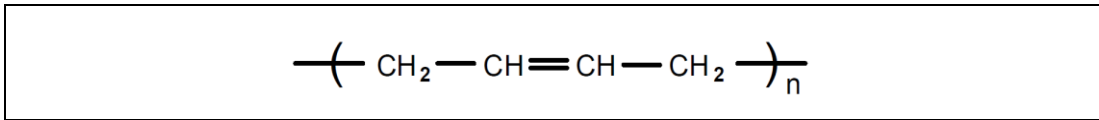
ancak *trans* 1,4 yapısında olanlar golf topının imalatında, ortopedik malzeme üretiminde kullanılır.

Stiren bütadien kauçuk (SBR), doğal kauçuğa benzer yapıda bütadien ve stiren monomerlerinden oluşan sentetik bir kauçuktur. Polimer zinciri bu iki monomerden oluşan merlerin gelişigüzel dizilmesinden oluşur (Şekil 2.3). Stiren bütadien oranı kauçuk özelliklerini belirler. En önemli kullanım alanı araç lastiği üretimidir. Bunun dışında teknik parçaların üretiminde, hortum, konveyör bandı, spor malzemeleri, ayakkabı tabanı ve yapıştırıcı imalatında kullanılmaktadır.



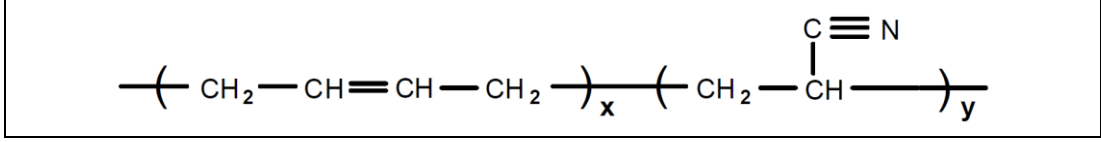
Şekil 2.3. Stiren bütadien kauçuk (SBR) yapısı

Bütadien kauçuk, bütadienin polimerizasyonu ile üretilir. Tekrarlanan birim bütadiendir (Şekil 2.4). Genellikle yüksek *cis* 1,4 içeren polibütadien tercih edilmektedir. Bu yapının ağırlıklı olduğu türlerde *cis* kelimesinin baş harfi BR'nin önüne getirilir ve kauçuk CBR olarak adlandırılır. Büyük oranda araç lastiği üretiminde kullanılmaktadır. Diğer kullanım alanları; hortum, konveyör bandı, ayakkabı tabanı, silindir kaplamaları vb.'dir.



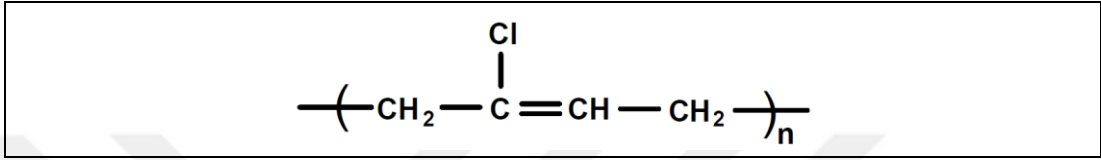
Şekil 2.4. Bütadien kauçuk (BR) yapısı

Akrilonitril bütadien kauçuk (NBR), nitril kauçuk olarak da adlandırılır. Akronitril ve bütadienin kopolimerizasyonu ile üretilir (Şekil 2.5). Akronitrilin kopolimer içindeki görevi polar nitril grubu sağlayarak hidrokarbonlarda çözünürlüğü azaltmaktır. Kullanım alanları; yağ ve yakıtlara dayanıklı hortumlar, vantilatör kayışı, körük, takoz, sızdırmazlık elemanları, silindir kaplamaları vb.'dir.



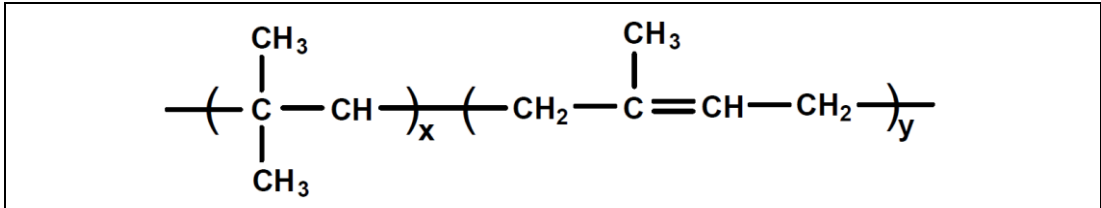
Şekil 2.5. Akrilonitril bütadien kauçuk (NBR) yapısı

Kloropren kauçuk (CR), 2 kloro-1,3 bütadienin polimerizasyonu ile üretilir. Yapısı Şekil 2.6'da gösterilmiştir. Hava, ozon, kimyasallara ve yanmaya dirençli olması nedeniyle birçok teknik lastik parçanın üretiminde kullanılmaktadır.



Şekil 2.6. Kloropren kauçuk (CR) yapısı

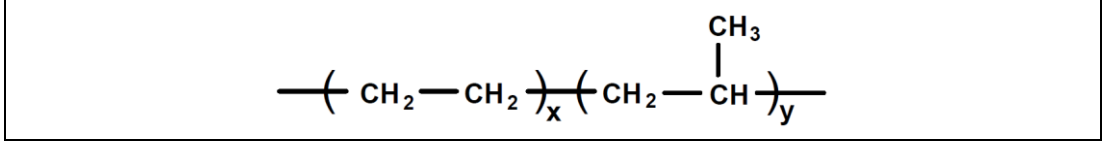
Bütül kauçuk (IIR), isobütülenin az miktarda isopren ile kopolimerizasyonu sonucu üretilir (Şekil 2.7). Çok düşük gaz geçirgenliği nedeniyle iç lastik, pişirme torbası, araç lastiklerinde astar karışımı, sızdırmazlık gerektiren ilaç şişesi tapasında kullanılır. Ayrıca otomotiv parçalarında, kablo, hortum, konveyör bandı, endüstriyel ayakkabı vb. alanlarda kullanılır. Bütül kauçuğun bromlanması ve klorlanması sonucu vulkanizasyon hızı artırılabilmekte ve daha yaygın kullanımı sağlanmaktadır. Halobütül kauçuklar, bromobütül (BIIR) ve klorobütül (CIIR) kauçuklardır.



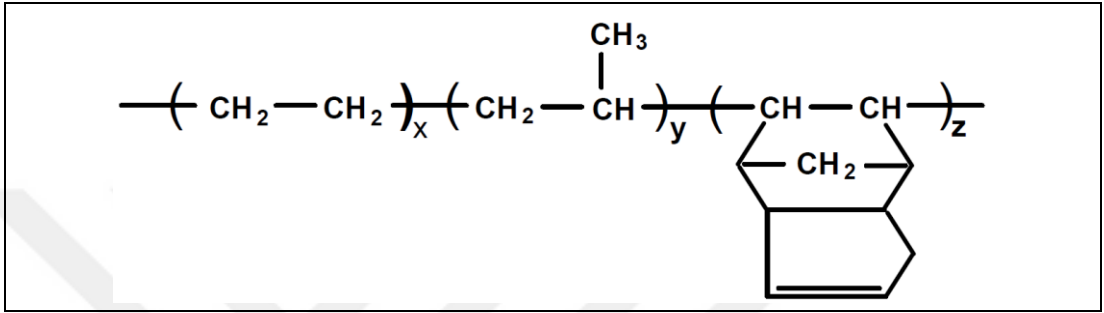
Şekil 2.7. Bütül kauçuk (IIR) yapısı

Etilen-propilen kauçuklar (EPM), bu iki monomerin kopolimerizasyonu ile üretilir. Yapı tamamen doymuş olduğu için ozon ve oksijene karşı mükemmel dayanıklılık gösterir, ancak peroksit ve radyasyon dışında vulkanize edilemez (Şekil 2.8). Terpolimer EPDM, etilen ve propilenin yanı sıra üçüncü bir monomer olarak bir dienin reaksiyona girmesi ile elde edilir (Şekil 2.9 - 2.11). Böylece kükürt ve kükürt verici sistemlerle de vulkanizasyon mümkün olur. Bu kauçuklar ışık, ısı ve oksidasyona karşı

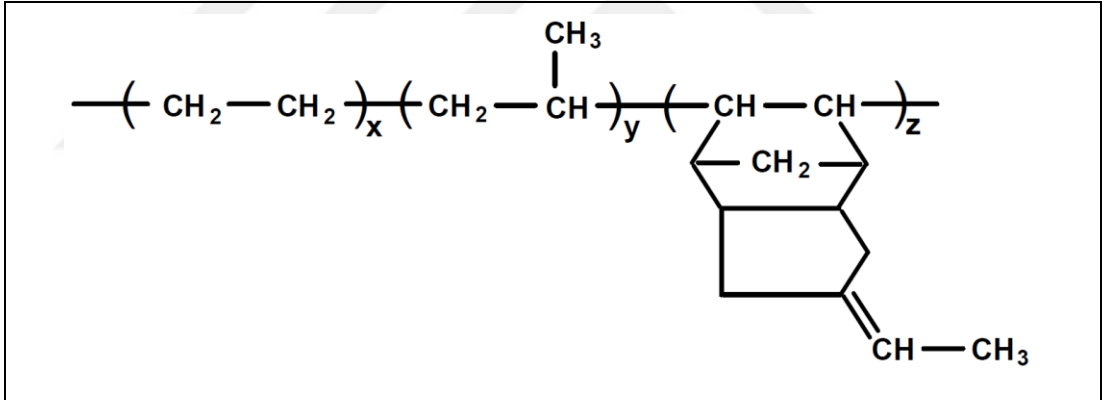
mükemmel direnç gösterirler. Otomotiv, inşaat, elektrik endüstrisinde yaygın olarak kullanılırlar.



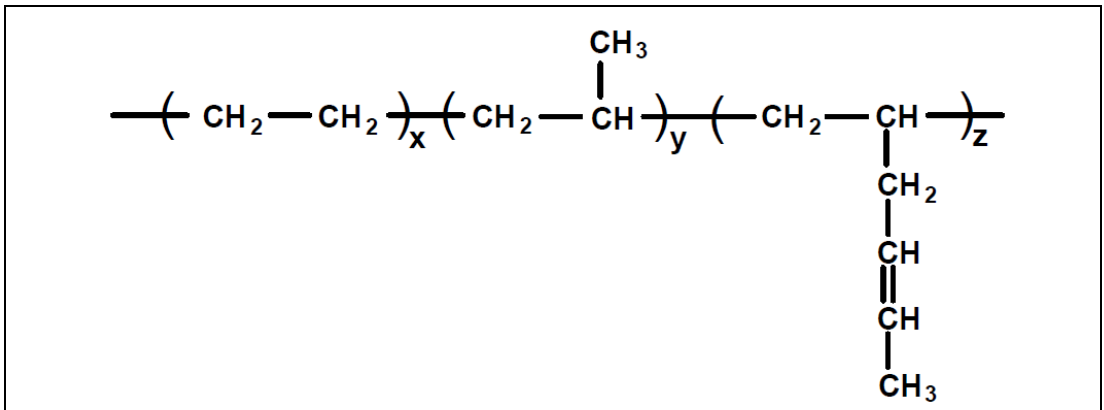
Şekil 2.8. Etilen-propilen kauçuk (EPM) yapısı



Şekil 2.9. EPDM kauçuk yapısı; dien monomer: disiklopentadien



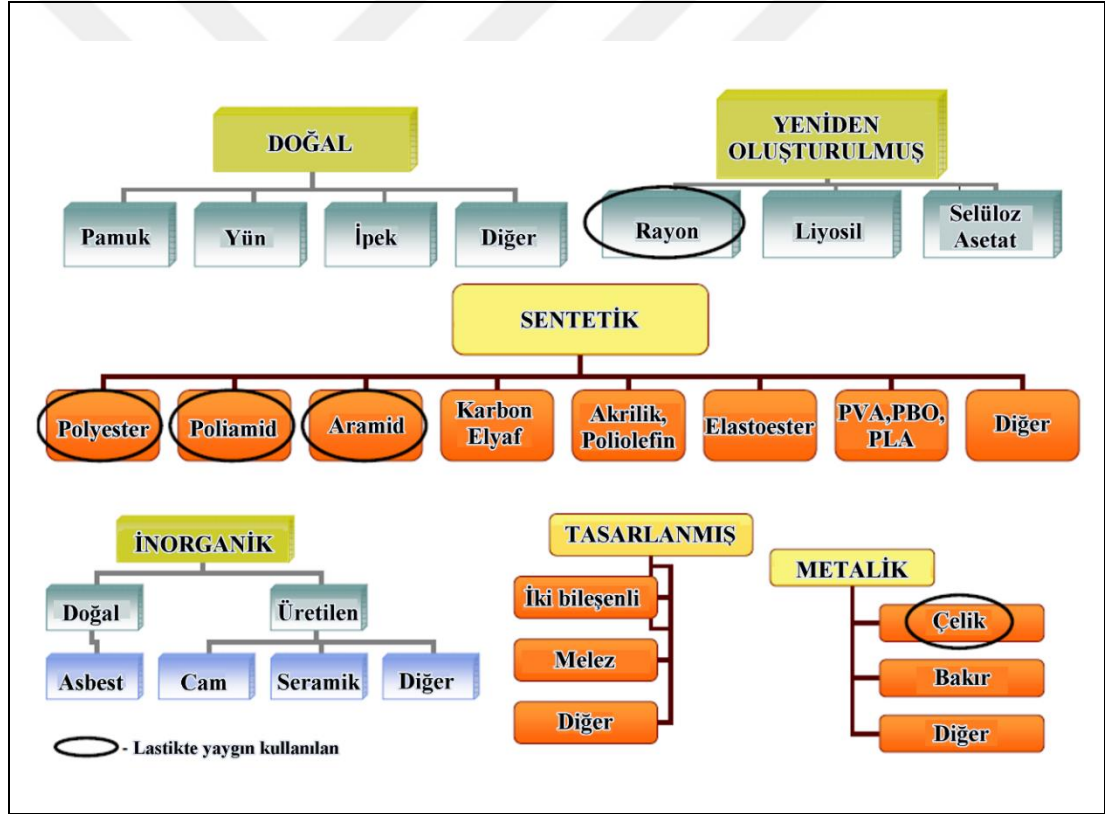
Şekil 2.10. EPDM kauçuk yapısı; dien monomer: etilden norbornen



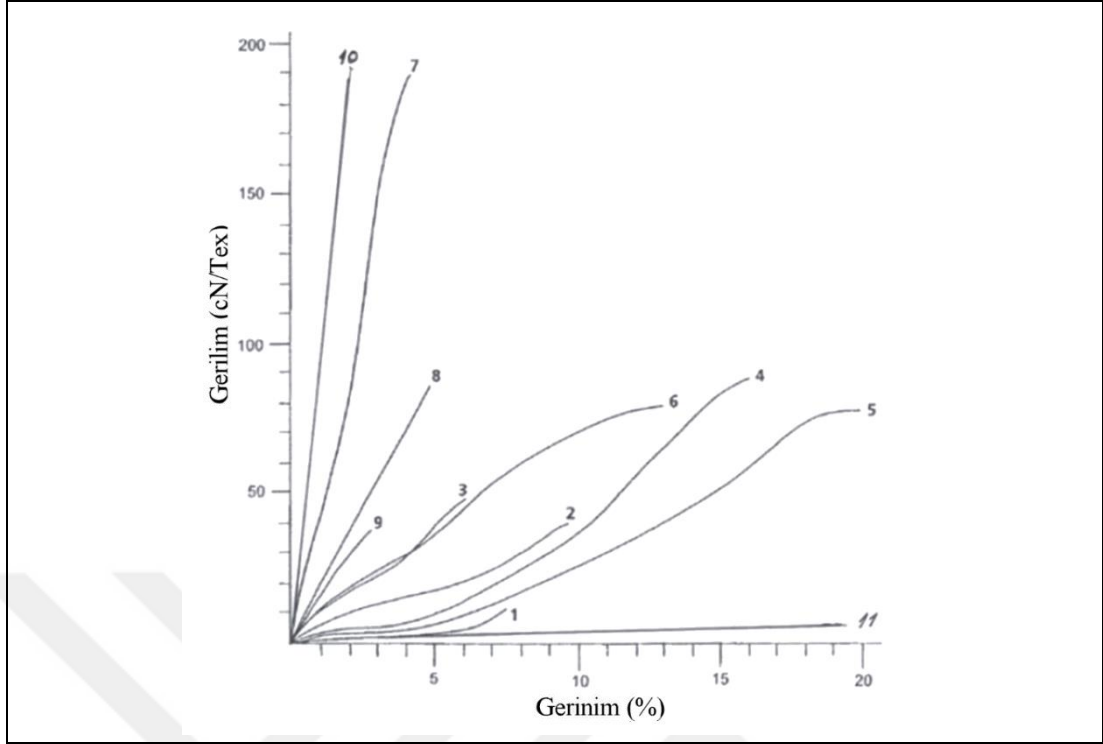
Şekil 2.11. EPDM kauçuk yapısı; dien monomer: 1,4 heksadien

2.2. Kordlar

Kauçuklar mekanik özellikleri açısından zayıf oldukları için takviye malzemeleriyle güçlendirilmeleri gerekir. Güçlendirme, kauçuklara takviye edici dolguların (karbon siyahı, silika, vb.) katılması ile ve elyaf malzemeler kullanılarak sağlanır. Dolgular mekanik özellikleri geliştirirken, elyaflar son ürüne yeterli fonksiyonel özellikler kazandırmaktadır [23, 26 34-35]. Çok sayıda liften oluşan elyafların sınıflandırılması Şekil 2.12’de gösterilmiştir [36]. İşaretli olanlar (rayon, polyester, poliamid, aramid, çelik) lastik teknolojisinde yaygın olanlardır. Şekil 2.13’te liflerin gerilim-gerinim eğrileri kauçuk ile karşılaştırmalı olarak verilmiştir [34].

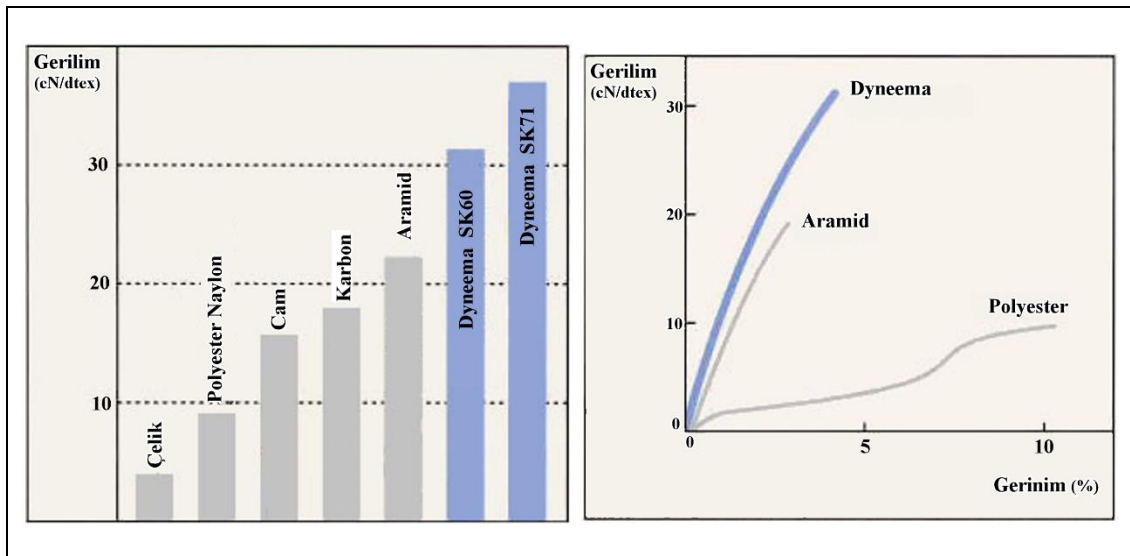


Şekil 2.12. Elyaf sınıflandırılması [36]



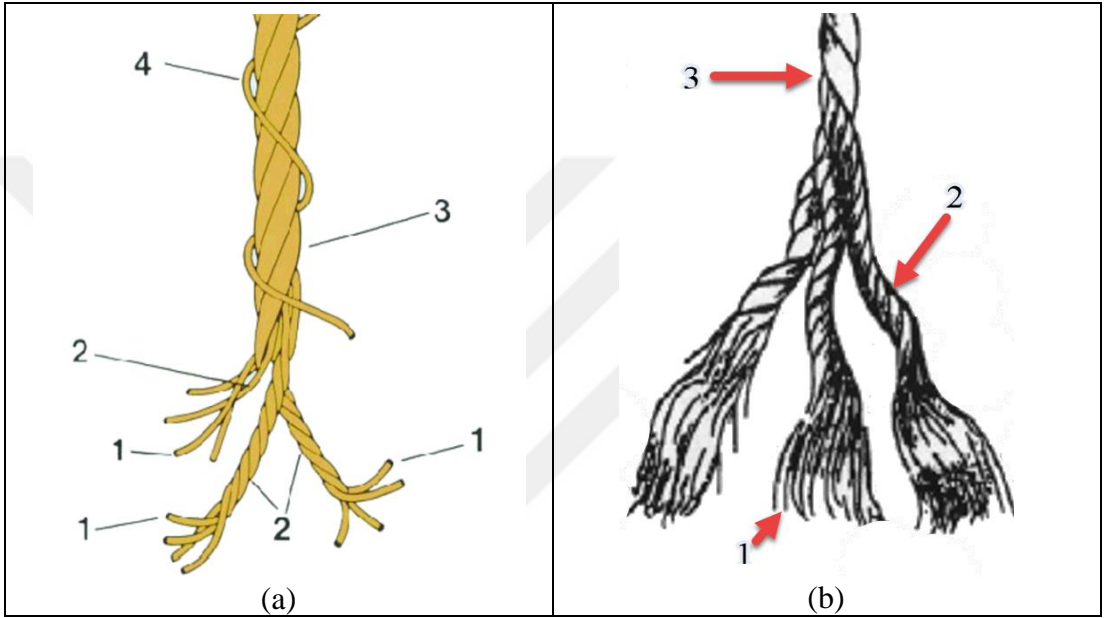
Şekil 2.13. Lastik teknolojisinde kullanılan kauçuk ve çeşitli elyafların gerilim (σ) – gerinim (ϵ) eğrileri; (1) Pamuk, (2) Viskoz rayon, (3) Polinozik rayon, (4) Naylon 6.6, (5) Naylon 6, (6) Polyester, (7) Aramid, (8) Cam, (9) Çelik, (10) Karbon, (11) Kauçuk [34]

Dyneema® olarak bilinen ultra yüksek molekül ağırlıklı polietilen (UHMWPE), en yüksek mukavemetli elyaf olmasına rağmen düşük ergime sıcaklığı nedeniyle lastikte kullanımı mümkün değildir. Şekil 2.14’de mukavemet özellikleri verilmiştir [37].



Şekil 2.14. Dyneema mukavemet özelliklerinin karşılaştırmalı olarak gösterimi [37]

Elyaf, kauçuk karışımlarında sürekli veya süreksiz takviye malzemesi olarak kullanılırlar. Sürekli takviye malzemeleri olan elyaf, çoğunlukla bükümlü olarak (kord) ya da bez halinde kullanılır. Kord bileşenleri çelik ve tekstil kordlar için Şekil 2.15’de gösterilmiştir [34, 36]. Kordlar bir ya da daha fazla demetten (yarn ya da tekstilde iplik), oluşur. Kordun en küçük yapı birimi filamandır (lif ya da tekstilde iplikçik). Çok sayıda filamanı olan çelik kordlarda, tek bir filaman spiral sargı olarak kord çevresine sarılır.

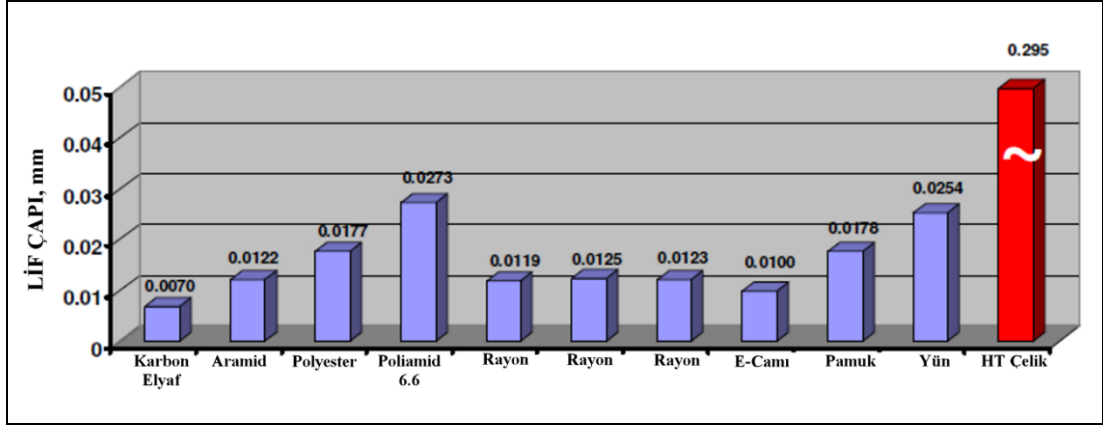


Şekil 2.15. Kordun temel bileşenleri; (1) Filaman (lif, iplikçik), (2) Demet (yarn, iplik), (3) Kord, (4) Spiral sargı, (a) Çelik kord [34] ve (b) tekstil kord [36]

Tekstil terminolojisinde kullanılan bazı birimler aşağıda açıklanmıştır.

- Denye (İng. denier): 9000 metre (9 km) uzunluğundaki malzemenin gram cinsinden ağırlığı.
- Tex: 1000 metre (1 km) uzunluğundaki malzemenin gram cinsinden ağırlığı.
- dtex: 10000 metre (10 km) uzunluğundaki malzemenin gram cinsinden ağırlığı.

Şekil 2.16’da çeşitli liflerin çapları karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir [36]. Tablo 2.1’de liflerin özellikleri verilmiştir [37].



Şekil 2.16. Çeşitli liflerin çaplarının karşılaştırılması [36]

Tablo 2.1. Liflerin özellikleri [37]

Malzeme	Yoğunluk (g/cm ³)	Modül (GPa)	Özgül modül (gpd)*	Kopmada uzama (%)	Kopma dayanımı (GPa)	Özgül mukavemet (gpd)
Çelik	7,85	200	280	1,8	2,4	3,5
Cam	2,55	72	320	3,9	2,5	11,1
Karbon	1,85	240	1470	1,3	3,1	19
Aramid (Kevlar 49)	1,44	130	1020	2,5	2,9	23
Aramid (Kevlar 29)	1,44	89	700	4,1	2,8	22
Polyester	1,38	14	113	13	1,1	9,4
Rayon	1,53	14	104	10	0,7	5,2
Naylon 6.6	1,14	5	50	19	0,9	9,6

* gpd: gram / denye (denye: 9000 metre uzunluğundaki lifin gram cinsinden ağırlığıdır)

Araç lastiklerinde kullanılan kordlar, lastiğin mukavemet elemanı olup, yükü taşıyan ana bileşendir. Dolayısıyla, mukavemet, modül, histeresis (mekanik kayıp), boyutsal kararlılık, ısıl ve kimyasal kararlılık, yapışma, yorulma ve aşınma direnci gibi bir çok performans kriterini karşılaması gerekir. Kordlar lastiğin şeklini tanımlar, yükü taşır ve lastik şişirme gazını içinde barındırır. Aracın hızlanması, frenlemesi ve viraj alması sırasında gerekli olan aksel ve yanal esnemezlik (İng. rigidity) ve ayrıca üniformite (İng. uniformity) ile sürüş hakimiyeti için boyutsal kararlılığı sağlar [34, 36].

Çeşitli kordların özellikleri Tablo 2.2’de, avantaj ve dezavantajları da Tablo 2.3’de verilmiştir [37].

Tablo 2.2. Kordların özellikleri [37]

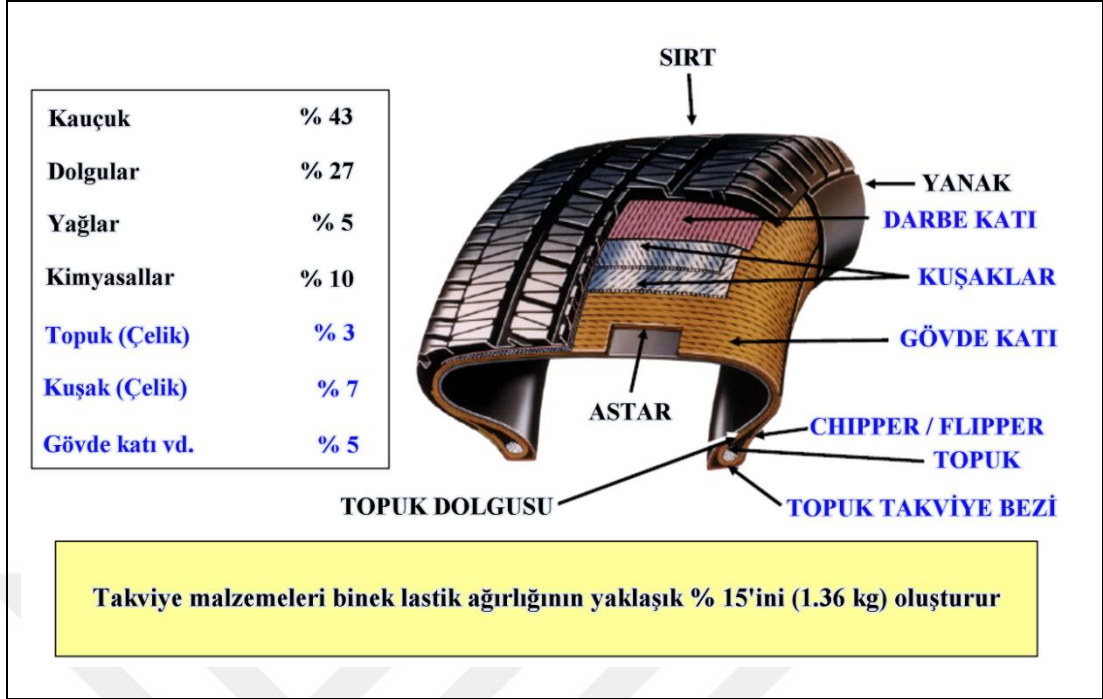
	Pamuk	Rayon	Naylon	Polyester	Cam	Aramid	Çelik
Özgül mukavemet (gpd)*	3,4	5,0	8,6	8,0	9,0	18,8	3,4
Kopmada uzama (%)	7,0	9,0	19,0	17,0	4,0	4,0	3,0
Özgül modül (gpd)	70	120	50	80	260	500	280
Büzülme (%)	0,1	0,1	6,0	3,0	0,1	0,1	0,1
Yeniden nem absorpsiyonu (%)	7,0	11,0	3,5	0,3	0,1	0,1	0,1
Özgül ağırlık Isı sınıfı	1,54 Orta	1,52 Orta	1,14 Çok iyi	1,38 İyi	2,52 Mükemmel	1,44 Mükemmel	7,83 Mükemmel

* gpd: gram / denye (denye: 9000 metre uzunluğundaki lifin gram cinsinden ağırlığıdır)

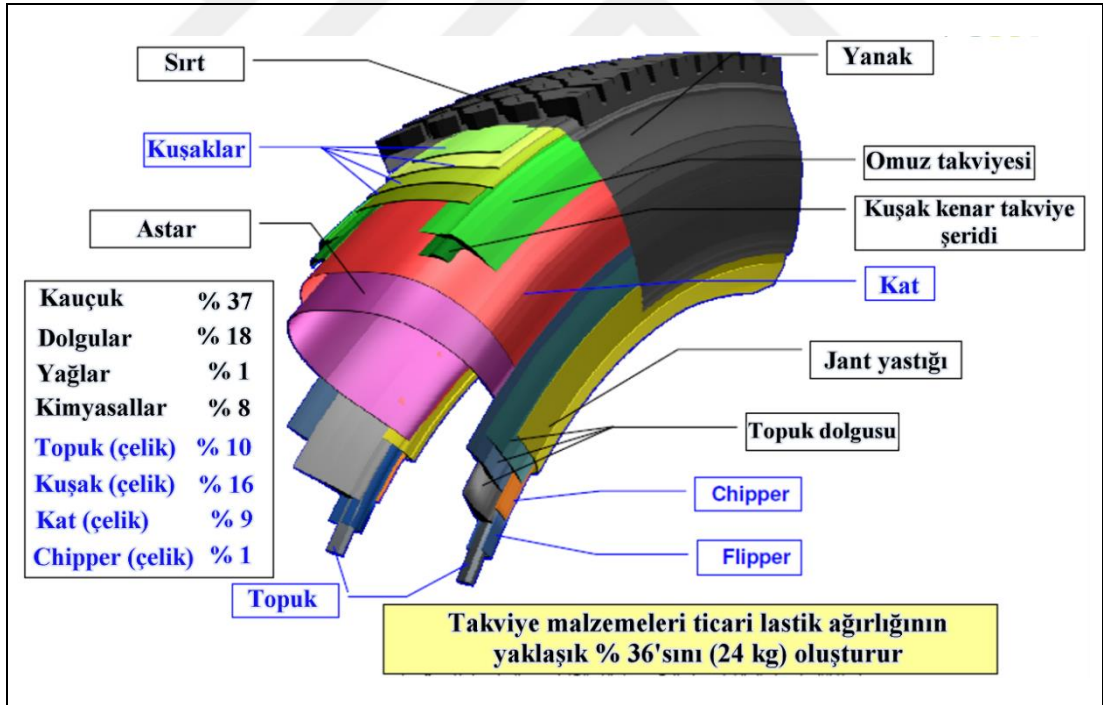
Tablo 2.3. Kordların avantaj ve dezavantajları [37]

KORD	AVANTAJLARI	DEZAVANTAJLARI
Pamuk	Maliyet, yapışma, bulunabilirlik	Mukavemet, küf dayanımı
Rayon	Yenilenebilir, dirilik (modül)	Nem alma, kirlilik içeren üretim
Naylon	Isıya, yorulmaya ve neme karşı dayanım	Boyutsal kararsızlık (ısı altında kısalma, yük altında uzama)
Polyester	Neme dayanım, boyutsal kararlılık, maliyet	Yapışma
Cam	Mukavemet, dirilik, ısıya ve kimyasallara dayanım	Esneme yorulması
Aramid	Birim ağırlık başına mukavemet ve dirilik, ısıya ve kimyasallara dayanım	Maliyet, yapışma, basma dayanımı
Çelik	Mukavemet, dirilik, maliyet, ısıya ve kimyasallara dayanım	Neme dayanım

Kord takviye malzemelerinin kullanım yerleri ve ağırlıkça miktarları, bir binek lastiği için Şekil 2.17’de ve bir ticari lastik için ise Şekil 2.18’de gösterilmiştir [36].



Şekil 2.17. Bir binek lastiğın anatomisi (ağırlıkça) [36]

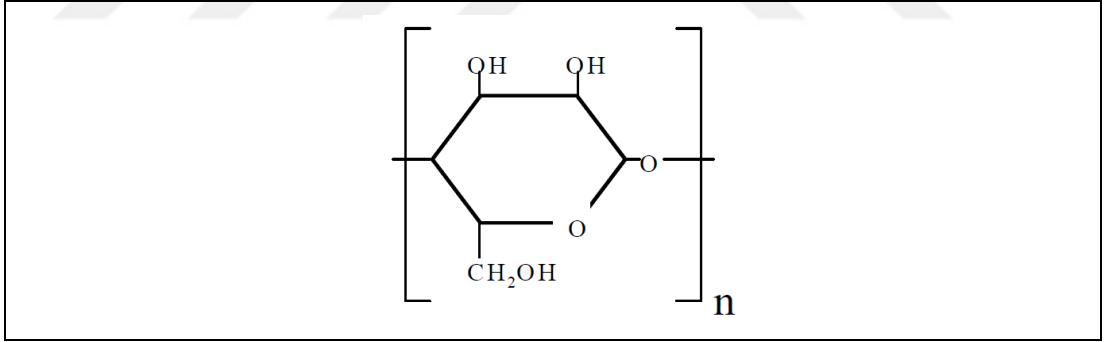


Şekil 2.18. Bir ticari lastiğın anatomisi (ağırlıkça) [36]

Günümüzde lastik teknolojisinde kullanılan beş ana organik elyaf vardır. Bunlar; pamuk, rayon, poliamidler (PA 6 ve PA 6.6), polyester ve aramid'dir. Bunların yanı sıra özellikle kamyon/otobüs radial lastiklerinde yeni elyaflar pazara girmektedir. Bunlar arasında en önemlileri polietilen naftalat (PEN) ve poliolefin keton'dur (POK) [34].

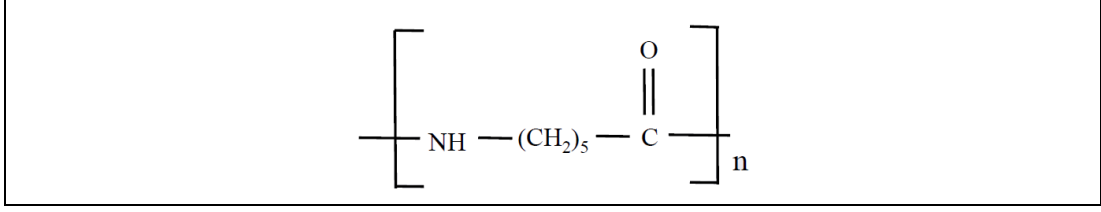
Pamuk, lastik teknolojisinde ilk kullanılan elyaftır. Hala bazı uygulamalarda kullanılmakla beraber, düşük mukavemeti nedeniyle, yerini sentetik elyaflara bırakmaktadır [34].

Rayon, yeniden oluşturulmuş (İng. regenerated) selülozdan üretilmiş bir elyaftır. Selüloz ağaç, çimen ve pamuk gibi birçok bitkinin ana yapısal malzemesidir. Günümüzde rayon için selülozun ana kaynağı, Kuzey Amerika ve İskandinavya'da bulunan bir ladin ağacından elde edilen odun hamurudur (İng. wood pulp). Selüloz molekülü binlerce glikoz biriminden oluşur. Farklı üretim yöntemleri ile üretilen bir çok rayon türü vardır. Lastikte en çok kullanılan yüksek özgül mukavemetli (İng. high tenacity) viskoz rayondur. Rayonun kimyasal yapısı Şekil.2.19'da verilmiştir [38].

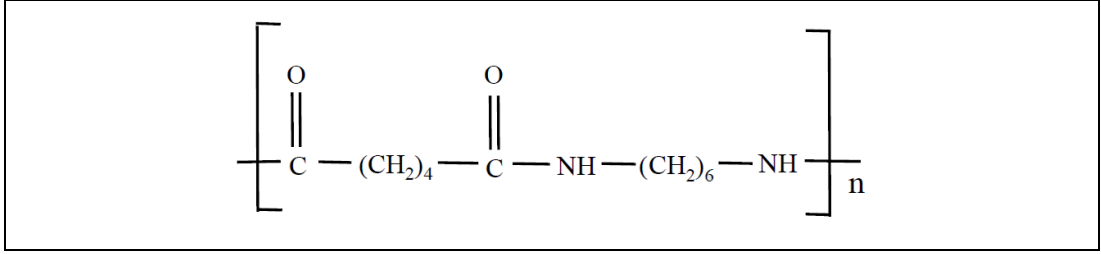


Şekil 2.19. Rayonun kimyasal yapısı [38]

Naylonun ana hammaddesi kömür ya da petroldür. Naylonun genel adı poliamid olup doğrusal polimer amid grupları ile bağlanan monomer birimlerinden oluşur. En yaygın kullanılanlar naylon 6 ve naylon 6.6'dır, rakamlar tekrar birim (ler) inde bulunan karbon atomlarının sayısını verir. Naylon 6, kaprolaktamdan, naylon 6.6 ise adipik asit ve heksametilendiamin arasındaki yoğunlaşma reaksiyonundan elde edilir. Kimyasal yapılar Şekil 2.20 ve Şekil 2.21'de verilmiştir [38].

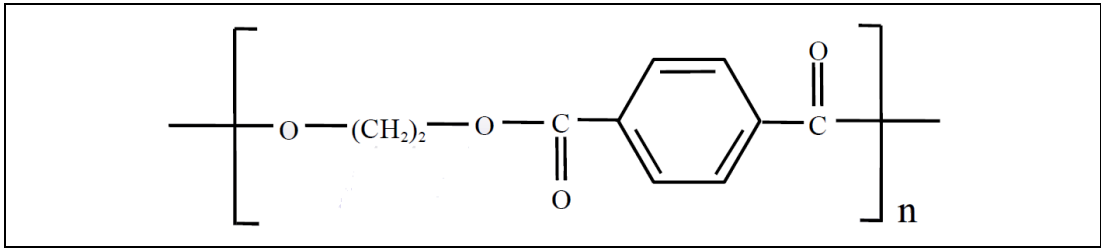


Şekil 2.20. Naylon 6'nın kimyasal yapısı [38]



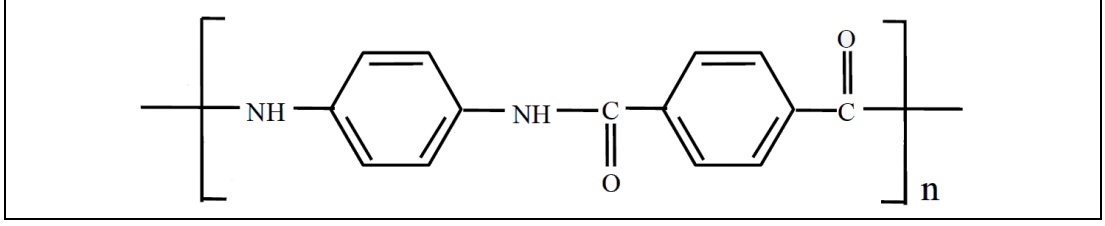
Şekil 2.21. Naylon 6.6'nın kimyasal yapısı [38]

Polyesterin hammaddesi petroldür. Polyesterler, ester gruplarıyla ile bağlanan monomer birimlerinden, asit ve alkolün yoğunlaşma reaksiyonu ile oluşur. Elyaf için en uygun olanlar doğrusal polimerlerdir. Lastik teknolojisinde en çok kullanılan tereftalik asit ile etilen glikol reaksiyonundan oluşan polietilen tereftalat'tır (PET), kimyasal yapısı Şekil 2.22'de verilmiştir [38].



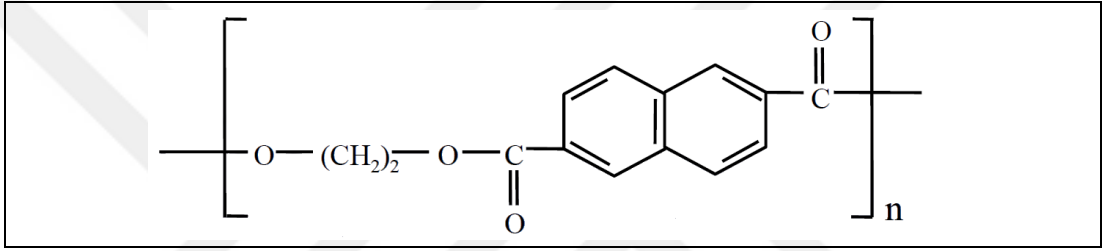
Şekil 2.22. Polyesterin (PET) kimyasal yapısı [38]

Aramid elyaflar, tereftalik asit gibi bir aromatik asit ile *para*-fenilen diamin'den oluşan aromatik poliyamidlerdir. Diğer sentetik elyaflardan ayrılan en önemli özelliği yüksek kristallenme dereceleridir. Böylece yüksek ısı kararlılık, yüksek mukavemet ve modüle sahiptirler. Naylon ve polyestere kıyasla çok daha maliyetli olmaları nedeniyle kullanımları yüksek performans lastikleriyle sınırlıdır. Kimyasal yapı Şekil 2.23'de verilmiştir [38].



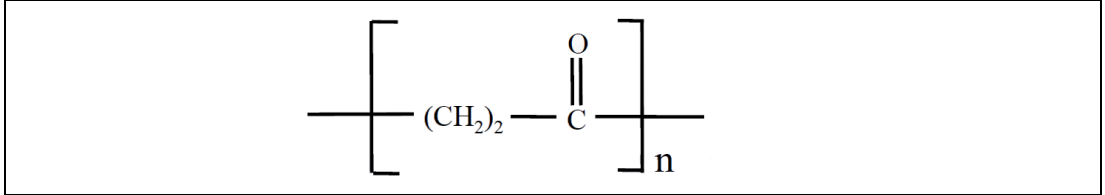
Şekil 2.23. Aramidin kimyasal yapısı [38]

Polietilen naftalat (PEN), çift aromatik yapısı ile mevcut polyesterlerden daha yüksek ısıl kararlılığa sahip bir polyesterdir. Maliyeti yüksek olmasına rağmen, gelecekte aramid elyaflara alternatif oluşturabilir. Günümüzde az sayıda niş pazarda (İng. niche market) kullanımı vardır. Kimyasal yapı Şekil 2.24’de verilmiştir [38].



Şekil 2.24. Polietilen naftalat’ın (PEN) kimyasal yapısı [38]

Poliolefin keton, henüz geliştirilme aşamasında olmasına rağmen yapısında bulunan etilenin yaygın olması nedeniyle gelecekte yüksek kullanım potansiyeli vardır. Kimyasal yapı Şekil 2.25’de verilmiştir [38].

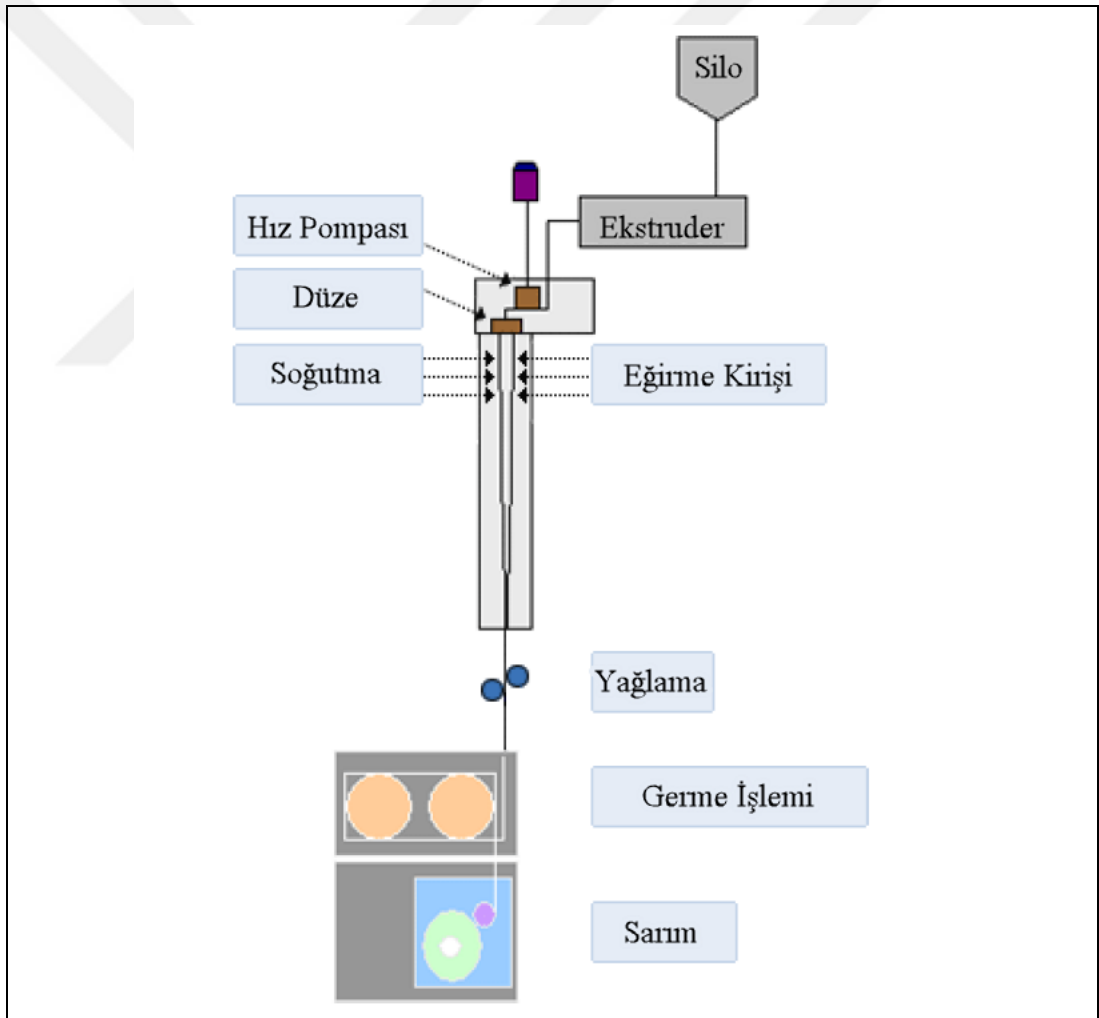


Şekil 2.25. Poliolefin keton’un (POK) kimyasal yapısı [38]

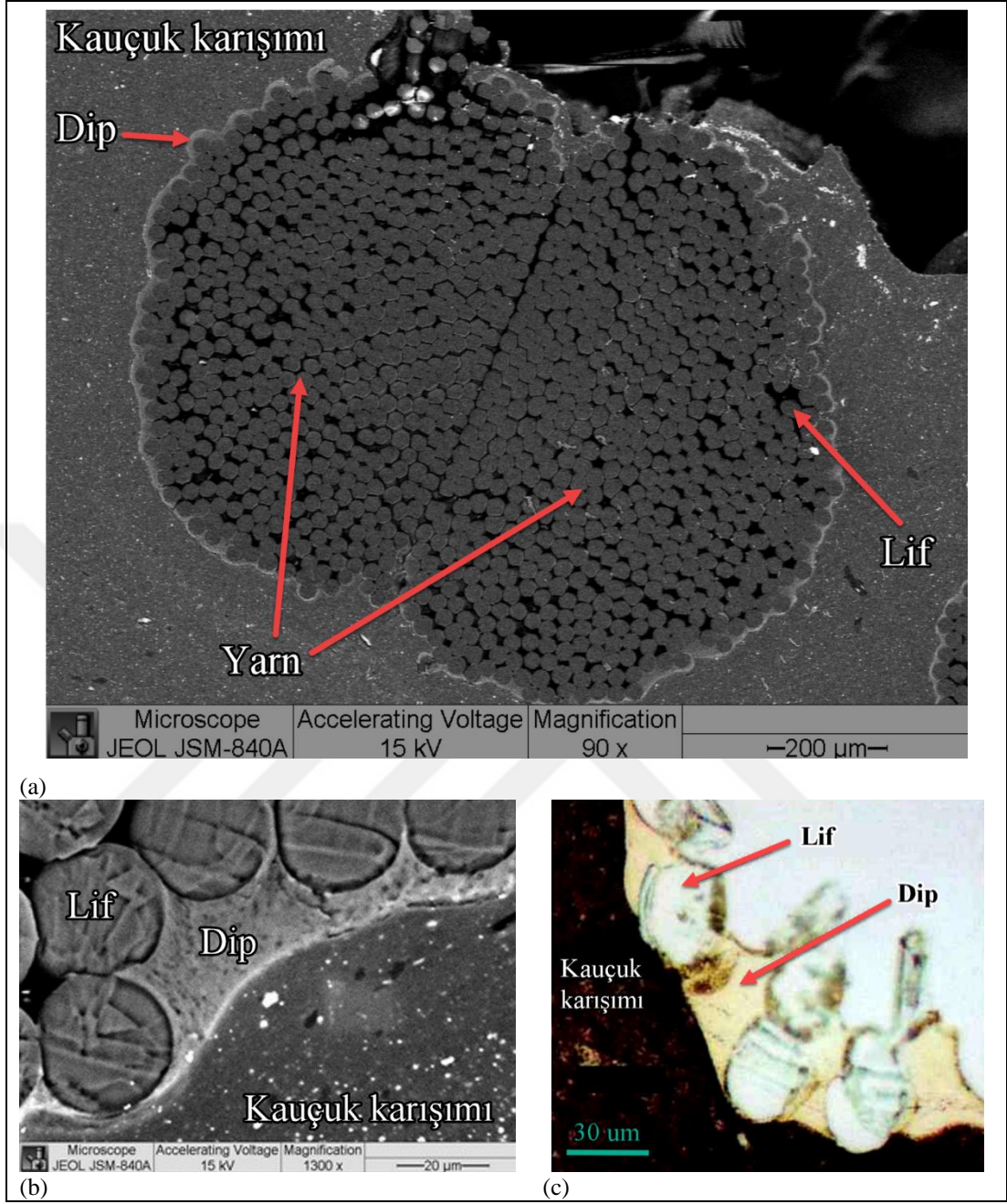
Farklı elyafların özelliklerinden yararlanarak daha güçlü takviye malzemeleri geliştirmek amacıyla melez (İng. hybrid) kord yapıları geliştirilmektedir. Bunlara aşağıdaki örnekler verilebilir [37];

- Aramid ile Naylon ve Polietilen Tereftalat (PET)
- Polyester ile Polietilen Naftalat (PEN) ve Naylon
- Rayon ile Naylon ve PET

Tekstil takviye malzemeleri “spinning” adı verilen eğirme yöntemiyle üretilir. Tipik bir proses şeması Şekil 2.26’da gösterilmiştir [34]. Kordların kauçuk karışımıyla yapışabilmesi için “dip” adı verilen bir yapıştırıcı ile kaplanmaları gerekir. Pamuk, mekanik olarak kauçuğa tutunabildiği için herhangi bir dip işlemine gerek duyulmaz. Rayon ve naylon için resorsinol formaldehit lateks (RFL) dip malzemesi olarak kullanılır. Polyester ve aramid’de RFL tek başına yeterli yapışma sağlamaz. Bu nedenle modifiye edilmiş RFL sistemi ya da RFL öncesi epoksi bazlı yapıştırıcı sistemleri kullanılır. Lastik karışımlarından alınan kesitlerde, tekstil kordların ve dip malzemesinin SEM (Jeol JSM-840A) ve LM (Olympus BH2-BHSM) görüntüleri Şekil 2.27’de verilmiştir.

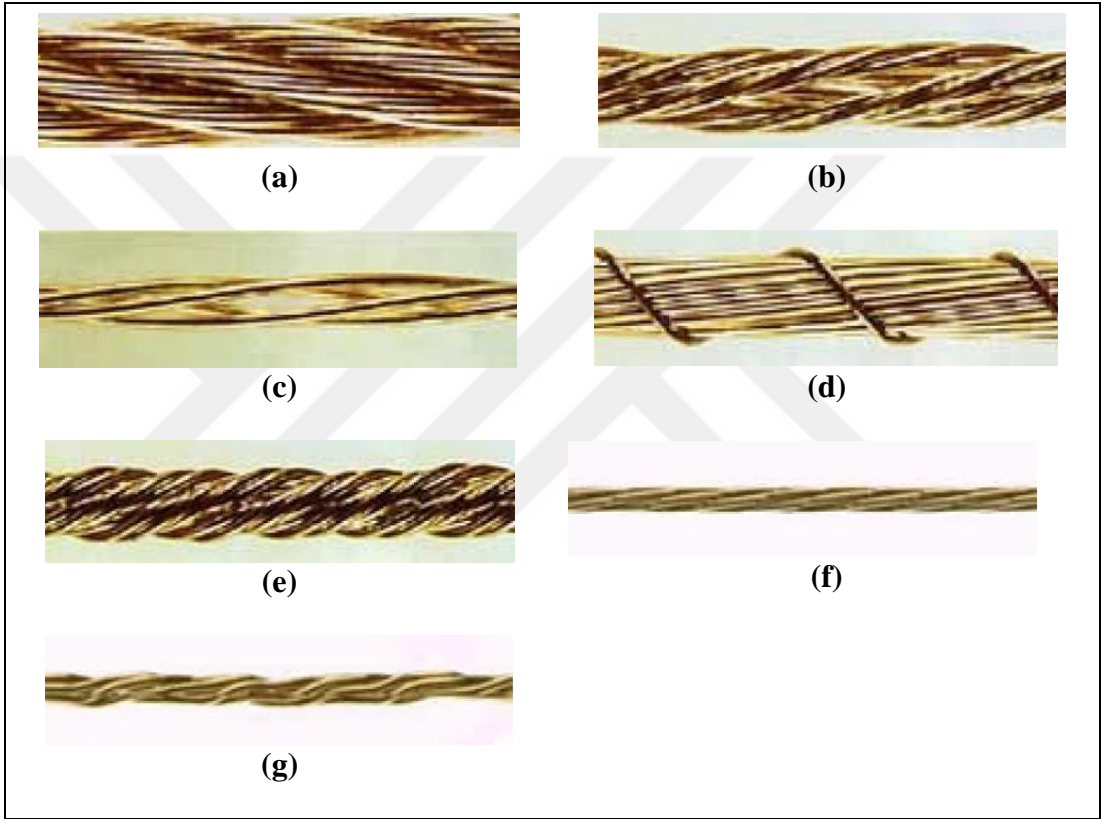


Şekil 2.26. Ergiyikten iplik üretim yönteminin şematik gösterimi (İng. melt spinning process) [34]

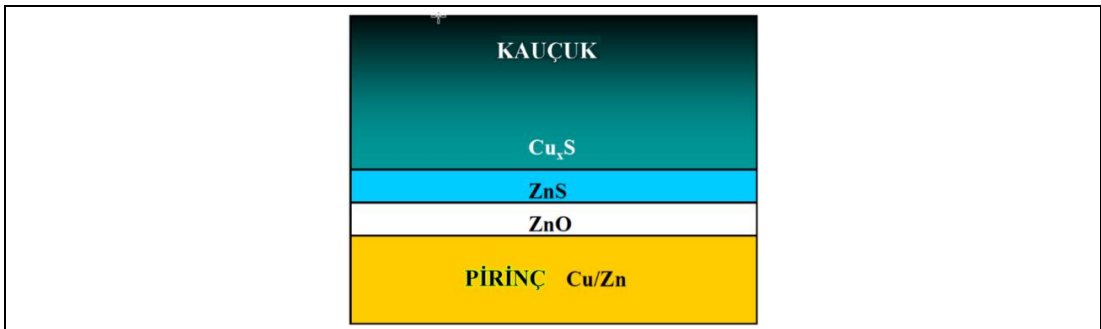


Şekil 2.27. Tekstil kordların ve dip malzemesinin kauçuk karışımı içerisindeki (a, b) SEM ve (c) LM görüntüleri

Çelik kord, radyal lastiklerin en önemli takviye malzemesidir. Tekstil malzemelerden daha mukavemetli olup, boyutsal kararlılığa, mükemmel ısı ve yorulma direncine sahiptir. Çeşitli çelik kord türleri Şekil 2.28’de gösterilmiştir [34]. Çelik kordun kauçuk karışımlarıyla yapışmasını sağlamak için filamanlar pirinç (~ % 65 Cu / % 35 Zn) ile kaplanır. Yapışma, kord ile kauçuk ara yüzeyinde oluşan ve stokiyometrik olmayan bakır sülfür bileşiği ile sağlanır (Cu_xS , $x = \sim 2$) [38-43]. Yapışma mekanizması Şekil 2.29’da gösterilmiştir [38].



Şekil 2.28. Farklı çelik kord türleri; (a)Normal kord, (b) Lang büküm kordu, (c) Açık kord, (d) Kompakt kord, (e) Yüksek uzamalı kord, (f) Betru® kordu, (g) Yüksek darbe dayanımlı kord [34]



Şekil 2.29. Kauçuk-pirinç arayüzeyinin şematik gösterimi [38]

Araç lastiklerinde kullanılan diğerk bir çelik malzeme ise topuk telidir, lastiğın janta oturan bölgesini güçlendirmek için kullanılır. Topuk telleri, çelik kordlarda kullanılan filamanlardan daha büyük çapta olup, bronz kaplama yapılarak kullanılırlar (Cu / ~ % 3 Sn) ve büküm içermezler. Çelik kordlar ve topuk telleri yüksek karbon çeliklerinden (% 0,7 – 0,8 C) 5,5 mm filmaşın kullanılarak üretilirler. Çelik kord üretim süreci Şekil 2.30'da gösterilmiştir [34].

Tekstil kordlar ve çelik kordlar, kauçuk karışımları ile "kalenderleme" adı verilen bir proses ile birleştirilirler. Topuk telleri ise topuk imal makinelerinde kauçuk karışımları ile kaplanarak topuk demeti üretilir.

2.3. Kimyasallar

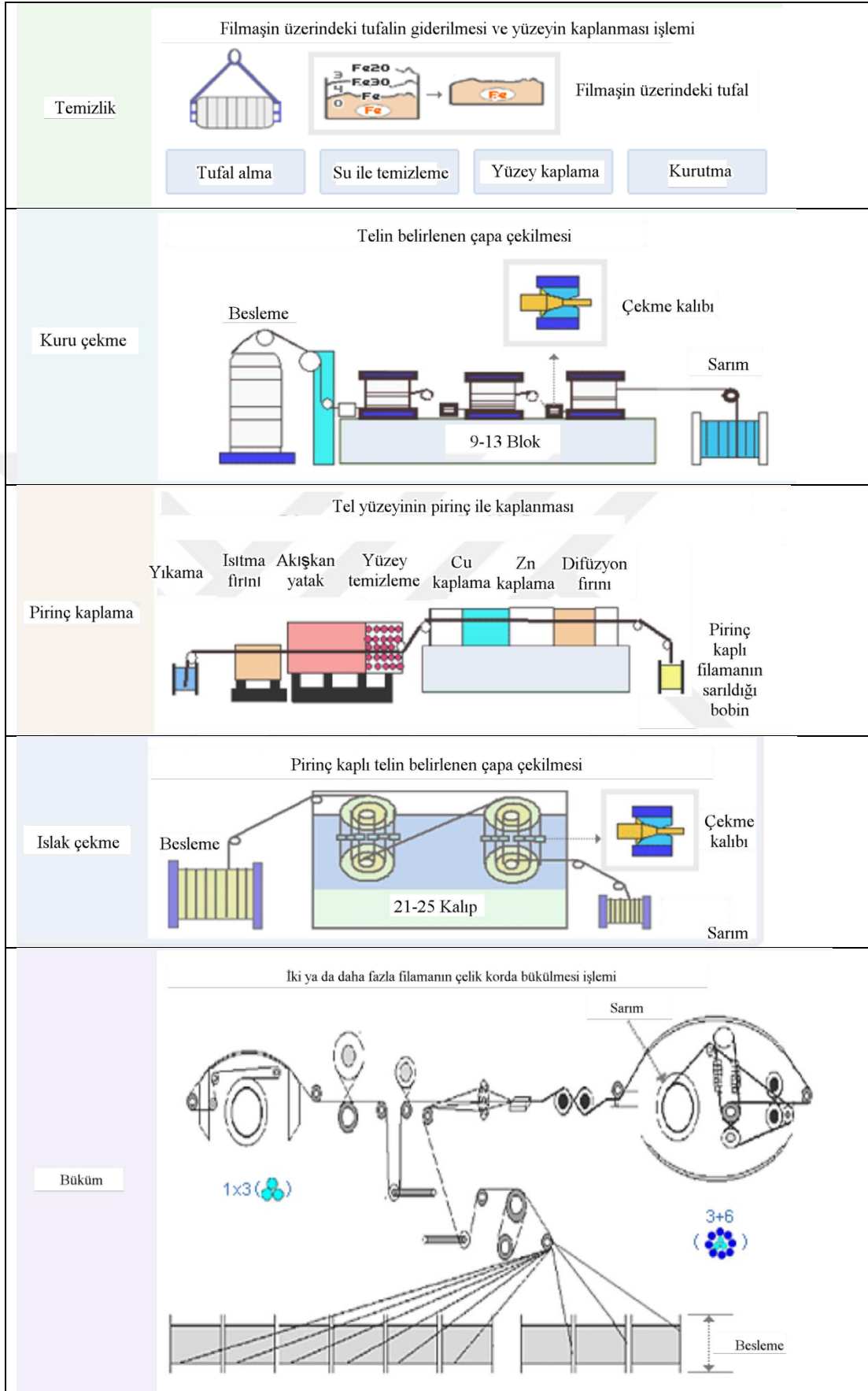
Lastik karışımlarına kauçuk dışında giren hammaddeler; dolgular, vulkanizasyon maddeleri, yumuşatıcılar, proses kolaylaştırıcılar, yaşlanma önleyiciler ve diğerk özel amaçlı maddelerdir [28-31].

2.3.1. Dolgular

Lastik karışımlarına kuru toz halinde katılan aktif (güçlendirici), ve inaktif (güçlendirici etkisi olmayan) maddelerdir. Aktif dolgular küçük tane boyutlu olup, en önemlileri karbon siyahı ve silikadır. İnaktif dolgu maddeleri ekonomik karışımlar elde etmek amacıyla kullanılır. Kalsiyum karbonat, baryum sülfat, magnezyum silikat, kil, vb.'dir.

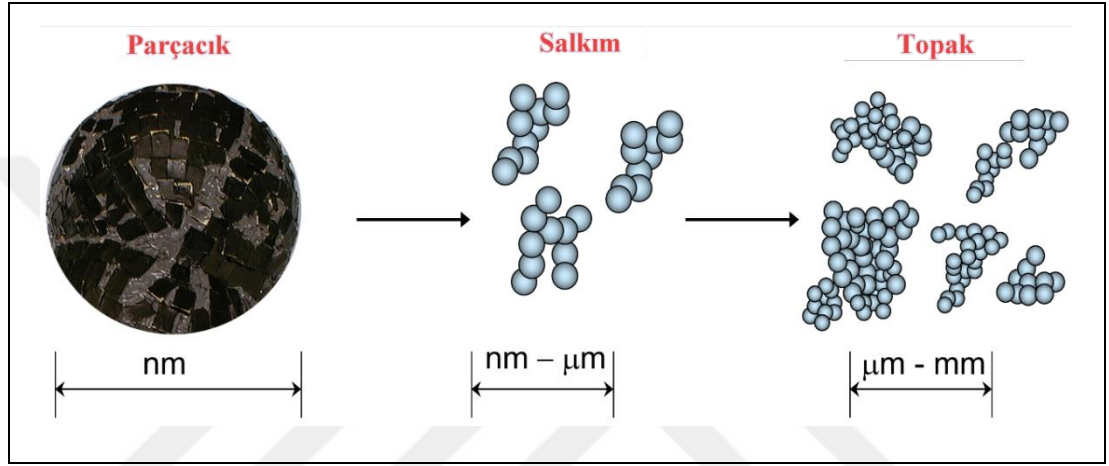
2.3.1.1. Karbon siyahı

Karbon siyahı (CB) araç lastiklerinin karışımlarında kullanılan en önemli aktif dolgu maddesidir. Küreye benzer nano parçacıkların kolloidal olarak yapışması sonucu ortaya çıkar. Nano parçacığın (İng. particle) boyutu 10 – 100 nm arasındadır, gözeneklere ve yüzey pürüzlülüğüne sahiptir [7].



Şekil 2.30. Çelik kord üretim süreci [34]

Karbon siyahının ultrasonik prob yardımıyla elde edilen en küçük yapı birimi salkım (İng. aggregate) olarak isimlendirilir ve lastik karışımında karbon siyahının birincil yapısıdır. Salkımlar, parçacıkların çarpışıp kaynaşması sonucu şekillenmiştir. Gevşek bir biçimde bir araya gelen salkımlar da topakları (İng. agglomerate) oluşturur. Salkımların morfolojisi büyük bir ölçüde karbon siyahı yüklü polimerlerin özelliklerini etkiler. Önemli değişkenler parçacık büyüklüğü ve yüzey alanı ile salkım büyüklüğü ve şekil özellikleridir (Şekil 2.31) [37].



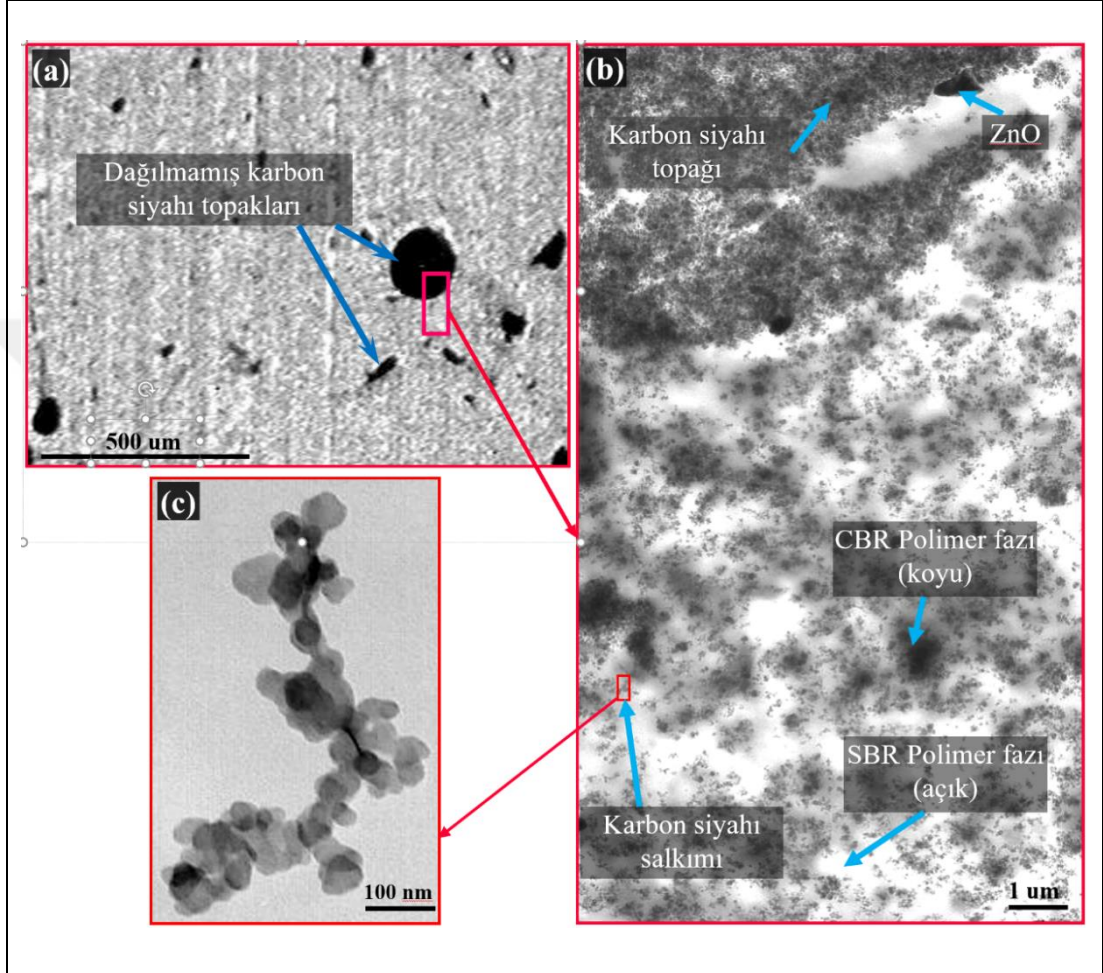
Şekil 2.31. Karbon siyahı; (a) parçacıklar, (b) salkım, (c) topak [37]

Şekil 2.32a'da 2 µm kalınlığındaki lastik kesitinin ışık mikroskobu (LM, Olympus BH2-BHSM) görüntüsü verilmiştir. Dağılmamış karbon siyahı topakları (çap > 4 µm) okla gösterilmiştir. Şekil 2.32b'de 100 nm kalınlığındaki lastik kesitinin geçirimli elektron mikroskobu (TEM, Jeol JEM-2000FX) görüntüsü verilmiştir. Karbon siyahı salkımı ve topağı ile farklı polimer fazları ve çinko oksit parçacığı şekil üzerinde işaretlenmiştir. Şekilde kırmızı dikdörtgenle işaretlenen karbon siyahı salkımının büyütülmüş TEM görüntüsü Şekil 2.32c'de verilmiştir.

Karbon siyahı salkım morfolojisi, karbon siyahı yüklü polimer sistemlerinin son kullanım özelliklerini büyük ölçüde etkiler. Çapraz bağlanmış malzemenin (vulkanizat) histerezis ve dayanım özellikleri (yırılma, çekme ve aşınma dayanımı), azalan salkım büyüklüğüyle artar.

Karbon siyahını karakterize etmek için ana olarak iki parametre "özgül yüzey alanı" ve "yapı" (İng. structure) kullanılır. Özgül yüzey alanı malzemenin değişmeyen (İng. invariant) bir sabitidir. Parçacık boyutu, yüzey alanı gibi fiziksel özellikleri doğrudan

etkiler. Azalan parçacık boyutu ile yüzey alanı artar. Diğer yandan yapı, verilen bir topak için salkımlar arası boş alan ile ilgilidir. Mikserde karıştırma işlemi esnasında salkımlar şekillerini değiştirdiğinden yapı sabit değildir. Lastik endüstrisinde kullanılan karbon siyahlarının ASTM sınıflandırması Tablo 2.4’de verilmiştir [44].


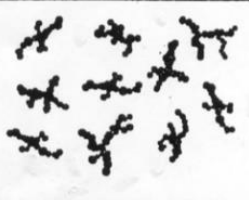




Şekil 2.32. 2 µm kalınlığındaki lastik kesitinde dağılmamış karbon siyahı topaklarının ışık mikroskopu görüntüsü (a), 100 nm kalınlığındaki lastik kesitinde karbon siyahı topakları ve salkımları ile polimer fazları ve çinko oksit parçacıklarının TEM görüntüsü (b), karbon siyahı salkımının büyütülmüş TEM görüntüsü (c)

Tablo 2.4. Lastik endüstrisinde kullanılan karbon siyahlarının ASTM sınıflandırması [44]


ASTM SINIFI	YÜZEY ALANI (m ² /g)	PARÇACIK BOYUT ARALIĞI (nm)	İSİM	AÇIKLAMA
N110	125 - 155	11 - 19	SAF	Üstün Aşınma Fırın (Super Abrasion Furnace)
N134	121 - 150			
N135	121 - 150			
N219	105 - 135	20 - 25	ISAF	Orta Üstün Aşınma Fırın (Intermediate Super Abrasion Furnace)
N220	110 - 140			
N234	100 - 120			
N242	110 - 140			
N285	100 - 130			
N326	75 - 105	26 - 30	HAF	Yüksek Aşınma Fırın (High Abrasion Furnace)
N330	70 - 90			
N347	80 - 100			
N339	90 - 105			
N375	70 - 99			
N440	43 - 69	31 - 39	FF	İnce Fırın (Fine Furnace)
N550	36 - 52	40 - 48	FEF	Hızlı Ekstrüzyon Fırın (Fast Extrusion Furnace)
N660	26 - 42	49 - 60	GPF	Genel Amaçlı Fırın (General Purpose Furnace)
N762	21 - 32	61 - 100	SRF	Yarı Güçlendirici Fırın (Semi Reinforcing Furnace)
N770	17 - 33			
N772	21 - 32			

Şekil 2.33'te karbon siyahı yapısının yüzey alanı ile ilişkisi gösterilmiştir, yüzey alanı ile parçacık boyutu ters ilişkilidir [37]. Karbon siyahı parçacık boyutunun ve yapısının proses ve ürün özelliklerine etkileri Tablo 2.5 ve Tablo 2.6'da verilmiştir [37]. Bu tablolarda yukarı oklar artışı, aşağı oklar azalmayı ifade eder.

CB TİPİ	DÜŞÜK YÜZEY ALANI	YÜKSEK YÜZEY ALANI
YÜKSEK YAPI		
DÜŞÜK YAPI		

Şekil 2.33. Karbon siyahı yapısının yüzey alanı ile ilişkisi [37]

Tablo 2.5. Karbon siyahı parçacık boyutunun proses ve ürün özelliklerine etkisi [37]

Proses / Ürün	Özellikler	Parçacık Boyutu
		
Mikser	Karışım zamanı	↑
	Dolgu dağılımı	↓
	Viskozite	↑
	Yanma (İng. scorch) riski	↑
Ekstrüder	Kalıp şişmesi	↓
	Yüzey görünüşü	İyileşir
	Verim	↓
	Ölçü ve boyut kontrolü	İyileşir
Ürün	Kopma dayanımı	↑
	Aşınma direnci	↑
	Isı birikimi (İng. heat build-up)	↑
	Modül	Hafif artar
	Sertlik	↑
	Sekme Esnekliği (İng. rebound resilience)	↓

Tablo 2.6. Karbon siyahı yapısının proses ve ürün özelliklerine etkisi [37]

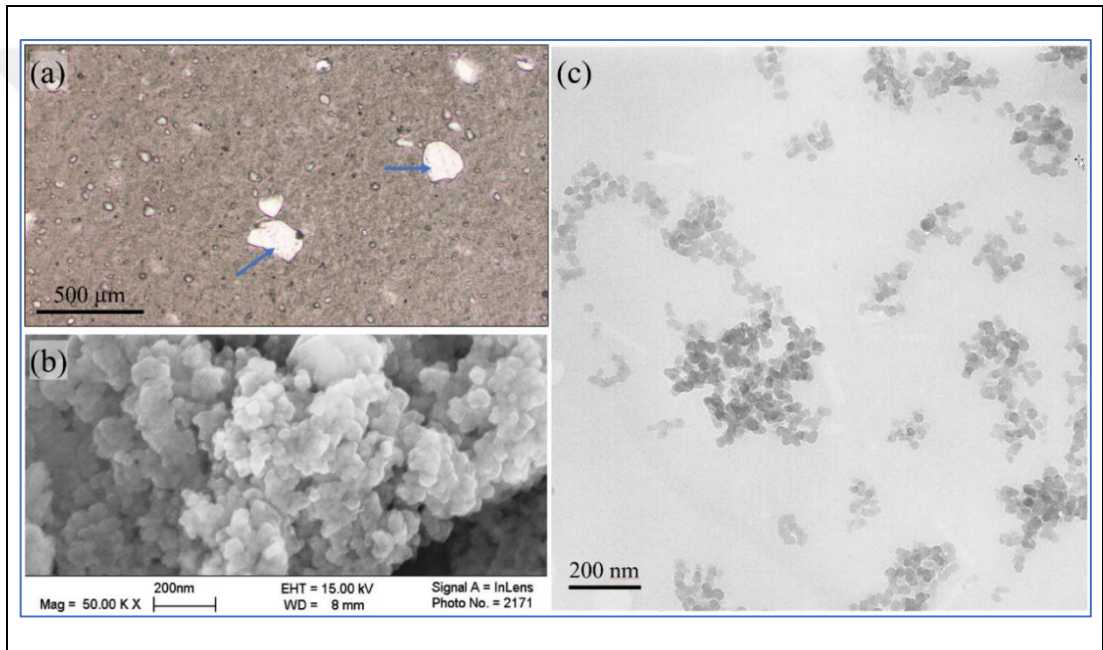
Proses / Ürün	Özellikler	Yapı	
		Düşük	Yüksek
Mikser	Karışım zamanı		↑
	Dolgu dağılımı		↑
	Viskozite		↑
	Yanma (İng. scorch) riski		↑
Ekstrüder	Kalıp şişmesi		↓
	Yüzey görünüşü		İyileşir
	Verim		Düşük etki
	Ölçü ve boyut kontrolü		İyileşir
Ürün	Kopma dayanımı		↓
	Aşınma direnci		↑
	Isı birikimi (İng. heat build up)		↑
	Modül		↑
	Sertlik		↑
	Sekme Esnekliği (İng. rebound resilience)		Hafif azalır

2.3.1.2. Karbon siyahı dışındaki dolgu maddeleri

Karbon siyahı dışında kullanılan dolgu maddeleri, güçlendirici etkisi olanlar, kısmen güçlendirici etkisi olanlar ve güçlendirici etkisi olmayanlar olarak üç sınıfa ayrılabilir.

Güçlendirici etkisi olanlar aktif silikalardır. Bunlar yüksek hidroksil grupları içerdiği için hidrofilik ve yüksek yüzey polaritesine sahip maddelerdir. Bu özellik, genellikle

polar olmayan ve hidrofobik özellikte olan kauçuklarla zor uyum sağlamalarına neden olur. Bu maddelerin kauçukla iyi bağlanarak güçlendirici özelliklerini arttırmak için çeşitli yüzey aktif maddelerle (İng. coupling agent) birlikte kullanılmaları gerekir. Çeşitli silan bileşikleri bu tür maddelerin en yaygın örnekleridir. Şekil 2.34a’da 2 µm kalınlığındaki lastik kesitinden alınmış ışık mikroskobu (Olympus BH2-BHSM) görüntüsünde dağılmamış silika topakları okla gösterilmiştir. Şekil 2.34b’de silika topağının taramalı elektron mikroskop (Zeiss Leo Supra VP35) görüntüsü verilmiştir. Şekil 2.34c’de 100 nm kalınlığındaki lastik kesitinden alınmış TEM görüntüsünde (Jeol JEM-2000FX) silika salkımları ve topakları görülmektedir.



Şekil 2.34. Dağılmamış silika topaklarının IM görüntüsü (a), bir silika topağının SEM görüntüsü (b), silika salkım ve topaklarının TEM görüntüsü (c)

Güçlendirici etkisi olmayan diğer mineral dolgu maddeleri genellikle karışım maliyetini düşürmek amacıyla kullanılırlar. Kısmen güçlendirici etkisi olan dolgular arasında sodyum alüminyum silikat, kalsiyum silikat, kaolin ve talk bulunmaktadır. Güçlendirici etkisi olmayan dolgu maddelerine örnek olarak kalsiyum karbonat (tebeşir) gösterilebilir.

2.3.2. Proses kolaylaştırıcılar

Proses kolaylaştırıcılar, prosesin çeşitli aşamalarında oluşabilecek problemleri gidermek amacıyla kauçuk karışımlarına ilave edilirler. İşlevleri yumuşatıcılara

benzemekle beraber karışıma düşük oranda katılmaları nedeniyle fiziksel özelliklere çok az tesir ederler [27-31].

Proses kolaylaştırıcılar aşağıdaki şekilde sınıflandırılabilir:

- Dağıtıcılar
- Akışkanlık arttırıcı maddeler
- Mastikasyon yardımcı maddeleri (peptizerler)
- Yapışkanlık arttırıcılar
- Homojenleştirici maddeler
- Özel amaçlı maddeler

Ayrıca haricen kullanılan kalıp ayırıcılar ve kalıp temizleyiciler de bulunmaktadır. Çeşitli proses aşamalarında oluşabilecek problemler ve proses kolaylaştırıcı hammaddelerin etkileri Tablo 2.7’de özetlenmiştir [31].

Tablo 2.7. Proses aşamalarında oluşabilecek problemler, kullanılan proses kolaylaştırıcı hammaddeler ve etkileri [31]

Proses	Problem	Proses kolaylaştırıcı	Etkisi
Toz hammaddeler	Toza elle temas	Bağlı kimyasallar	Kolay tartım
	Tozu soluma		Homojen dağılım
	Tozun dağıtım zorluğu		Tozumanın önlenmesi Nemlenmeye karşı koruma
Karıştırma	Viskozite	Dağıtıcılar	Viskozite düşürme
	Homojenizasyon	Yağlayıcılar	Dağılım kolaylaştırma
	Isı artışı	Peptizerler	Polimer uyumu
	Kauçukların uyumu	Homojene ediciler	Yapışmayı önleme Karıştırma zamanı Enerji tasarrufu
Şekillendirme	Akış	Kaydırıcılar	Akış kolaylığı
	Kalıp şişmesi	Yapışkanlık vericiler	Ham karışım yapışkanlığı
	Yapışma	Ayırıcılar	Kalıp şişmesinin önlenmesi
	Ham karışım mukavemeti		Yanmanın azaltılması
	Yüzey görünümü		Boyutsal kararlılık
Vulkanizasyon	Yanma	Kaydırıcılar	Akış kolaylığı
	Akış	Bağlı kimyasallar	Hızlandırıcı dağılımı
	Yüzey görünümü	Kalıp ayırıcılar	Kükürt dağılımı
	Kalıptan ayırma	Kalıp temizleyiciler	Kalıptan ayırma
	Kalıp temizliği		Kalıp temizliği

2.3.3. Yumuşatıcılar

Yumuşatıcılarda, proses kolaylaştırıcılar gibi prosesin çeşitli kademelerinde ortaya çıkan sorunları gidermek amacıyla kullanılırlar. Ancak proses kolaylaştırıcıların aksine karışımın fiziksel özelliklerinde değişiklikler meydana getirirler (sertlik, uzama, kopma dayanımı, esneklik, vb.) [27-31].

Yumuşatıcılar, polimer ve dolgu maddelerini ıslatarak karıştırma sırasında oluşan sürtünmeleri azaltır, ayrıca karışım viskozitesini düşürerek karıştırma enerjisini azaltır. Dolgu maddelerinin ve kimyasallarının karışım içerisinde homojen dağılımını kolaylaştırır. Karışımın düşük ısıda proses edilmesini sağlayarak yanma tehlikesini azaltır.

Yumuşatıcılar fiziksel ve kimyasal olarak iki grupta incelenebilir.

2.3.3.1. Fiziksel yumuşatıcılar

Fiziksel yumuşatıcılar, petrol türevli mineral yağlar, doğal yağlar ve sentetik yağlardır. Mineral yağlar ham petrolün rafinasyonu sırasında elde edilir. Yumuşatıcılar arasında ucuz olması ve kolaylıkla polimer yapısına katılması nedeniyle en çok kullanılan yağ grubudur. Parafinik, naftanik ve aromatik olmak üzere sınıflandırılırlar.

Doğal yağlar, kauçuk karışımlarına işleme kolaylığı ve yüzey düzgünlüğü sağlamak amacıyla katılırlar. Pahalı olmaları nedeniyle kullanımları azdır. Pamuk yağı, ayçiçek yağı, fındık yağı gibi bitkisel yağlar ile don yağı gibi hayvansal yağlar bu gruptandır.

Sentetik yağlar, çeşitli fosfat, eter, ester gruplarından oluşmuş yağlardır. Pahalı olmaları nedeniyle mineral yağlara göre daha az miktarlarda kullanılırlar. Genellikle polar yapıda oldukları için, polar NBR ve CR karışımlarında tercih edilirler.

2.3.3.2. Kimyasal yumuşatıcılar

Doğal kauçuk ve yüksek viskoziteli sentetik kauçuklar, sert ve zor işlenebilen bir yapıya sahiptir. Bu nedenle kauçuğun kimyasal yolla yumuşatılmasına “peptizasyon”, katılan kimyasal maddelere “peptizer” adı verilir. Peptizer olarak kullanılan maddeler; fenil hidrazin tuzları, aromatik merkaptanlar, difenil disülfid ve alkil aril sülfonatlardır.

Peptizasyon sonucu kauçuğun viskozitesi düşürülerek dolgu ve kimyasalların dağılımı kolaylaştırılır.

2.3.4. Koruyucular

Yaşlanma, kauçuk malzemenin zamanla kısmen ya da tamamen bozulmasını (çatlama, kırılma, sertleşme, vb.) ifade eder. Yaşlanmayı geciktirmek amacıyla, stabilizanlar, antioksidantlar ve antiozonantlar kullanılır. Stabilizanlar, polimerin elde edilmesi ve stoklanması sırasında koruyucu görevi yaparlar. Ancak bu etki son ürünün kullanımı aşamasında zayıf olduğu için, karışıma antioksidant ve/veya antiozonant gibi koruyucu maddeler katılır [27-31]. Bir kauçuk malzemenin bozulmasına neden olan dış etkenler ve etkileri Tablo 2.8’de verilmiştir [31].

Tablo 2.8. Kauçuk malzemelerin bozulmasına neden olan dış etkenler ve etkileri [31]

Dış etken	Tanımlama	Etki
Oksijen	Oksidasyon	Esneklik kaybı Polimere bağlı yumuşama veya sertleşme
Isı	Isıl bozulma	Esneklik kaybı Polimere bağlı yumuşama veya sertleşme
Oksijen + Isı	Isıl oksidasyon	Esneklik kaybı Polimere bağlı yumuşama veya sertleşme
Ozon	Ozon etkisi	Ozon çatlakları
Bükülme	Mekanik yorulma	Çatlaklar
Radyasyon (UV, X-Işını, Güneş ışınları)	Işık etkisi	Malzeme yüzeyinde bozulmalar
Metal ile etkileşim	Metal katalizörler	Isı ve oksijen etkisiyle hızlandırılmış bozunma
Çeşitli asit ve alkaliler	Kimyasal etki	Malzemenin parçalanması

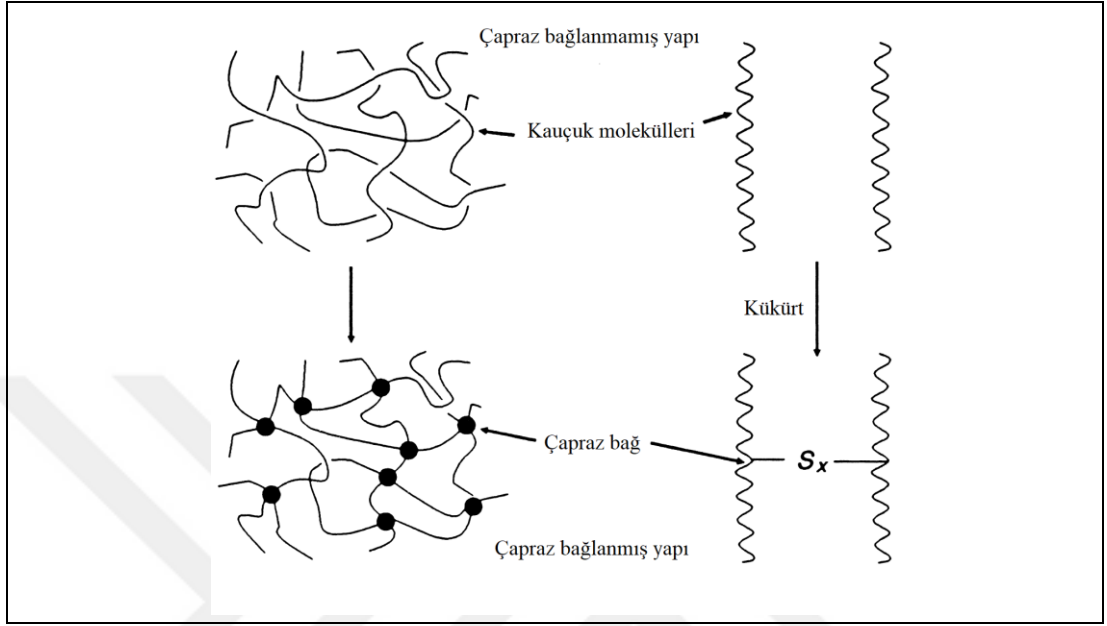
2.3.5. Vulkanizasyon maddeleri

Vulkanizasyon bir çapraz bağlanma işlemidir. Vulkanizasyon sonucu polimer molekülleri çapraz bağlarla birbirine bağlanıp, meydana gelen üç boyutlu ağ örgüsü sayesinde yer değiştirmeyen bir yapı elde edilir. Böylece aldığı şekli koruyabilen bir malzeme ortaya çıkar [27-31, 45, 46].

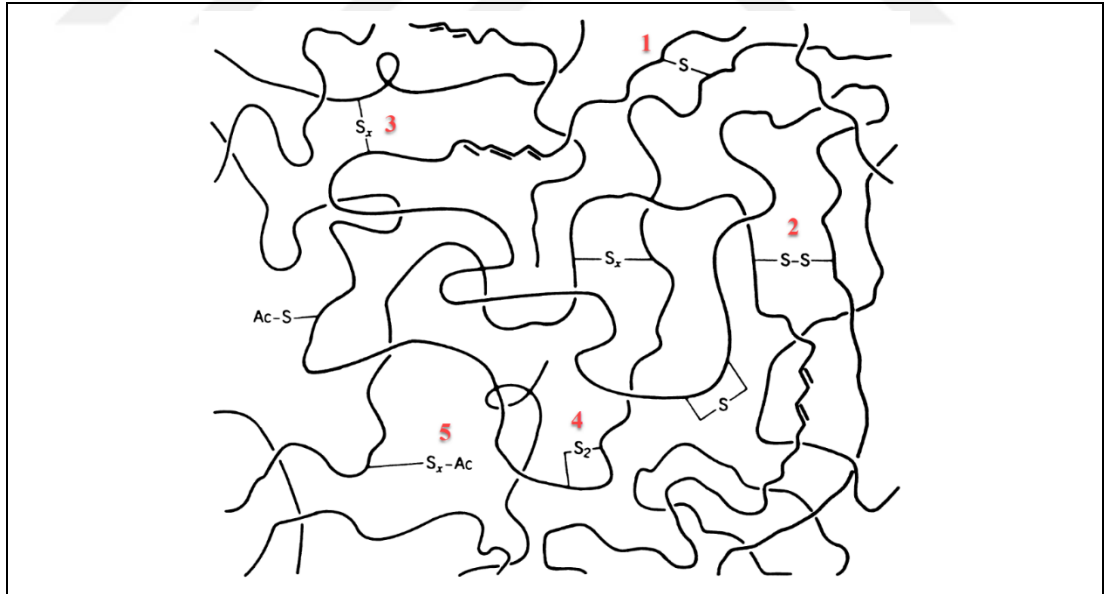
2.3.5.1. Pişiriciler

Doymamış polimerlerde en çok kükürt vulkanizasyonu kullanılır. Kükürt molekülü (S_8) sekiz adet kükürt atomunun halka şeklinde birbirine bağlanmasıyla oluşur. Vulkanizasyon işlemi sırasında halka açılarak düz bir zincir yapısı oluşur ve kükürt

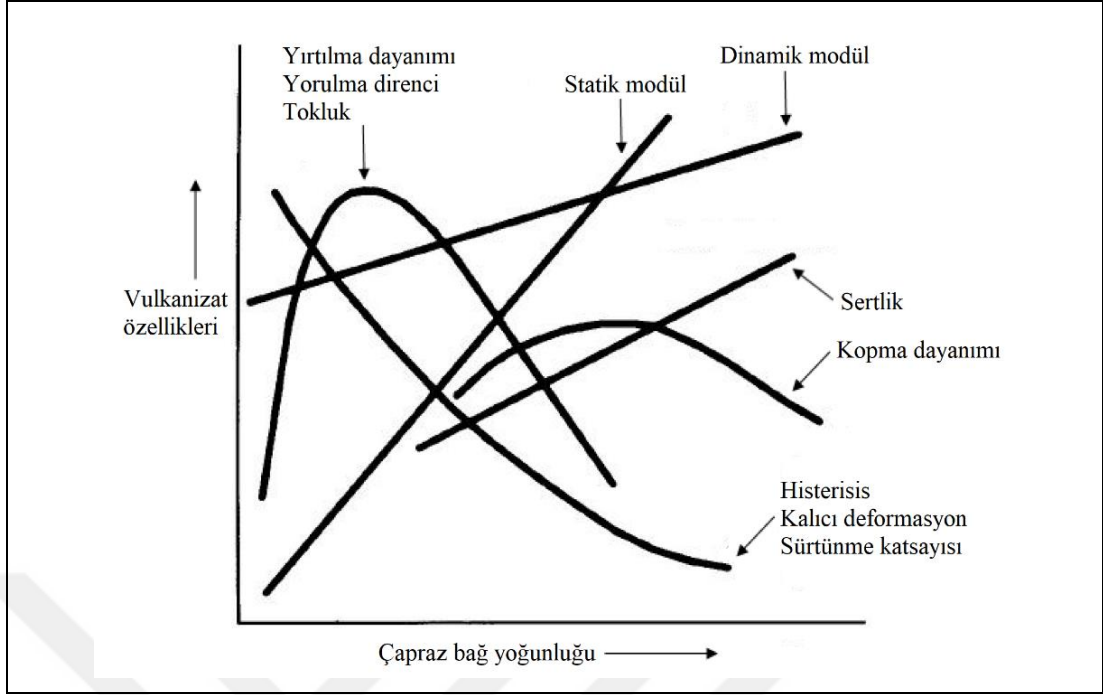
aktif hale gelir. Aktif kükürt atomları doymamış karbon bağlarının kırılması ile komşu polimer moleküllerini birbirine bağlar (Şekil 2.35). Çapraz bağlanma şekli (Şekil 2.36) ve yoğunluğu (Şekil 2.37) karışımın fiziksel özelliklerini büyük ölçüde etkiler [46].



Şekil 2.35. Kükürt vulkanizasyonunun şematik gösterimi [46]



Şekil 2.36. Kükürt vulkanizasyonunda değişik bağlanma şekilleri; (1) mono sülfür bağı, (2) di sülfür bağı, (3) poli sülfür bağı ($x > 2$), (4) zincir modifikasyonu (çiklik sülfür yapısı), (5) kükürt zinciri [46]



Şekil 2.37. Çapraz bağ yoğunluğunun vulkanizat özelliklerine etkisi [46]

Kükürt vulkanizasyonu kükürt verici kimyasallar ile de yapılabilir. Isı ile parçalanarak kimyasal vulkanizasyon için gerekli kükürt atomlarını sağlar. Vulkanizasyon işlemi için peroksit çapraz bağlayıcılar da kullanılır. Genellikle doymuş polimer moleküllerinin karbon atomları ile çapraz bağlanmasında tercih edilir.

2.3.5.2. Aktivatörler

Vulkanizasyon işleminin hızlandırılması için, hızlandırıcı (İng. accelerator) adı verilen organik maddelere ihtiyaç vardır. Hızlandırıcıların aktivasyonu, aktivatör denilen metal oksitlerle sağlanır. Kauçuk teknolojisinde en yaygın kullanılan aktivatör çinko oksittir. Stearik asit de aktivasyonun bir parçasıdır. Görevi, çinko oksitin kauçuk içerisinde çözünürlüğünü arttırmaktır [31, 46].

2.3.5.3. Hızlandırıcılar

Hızlandırıcılar, vulkanizasyon hızını arttıran organik kimyasallardır. Kısa pişme zamanları sağlayarak maliyeti düşürürler ve kükürt kullanımını azaltarak ürünün ısı dayanımını, dinamik özelliklerini ve yaşlanmaya karşı direncini arttırırlar. Organik hızlandırıcılar, kimyasal yapılarına göre aşağıdaki gibi sınıflandırılırlar [31, 46] ;

- Merkapto hızlandırıcılar
- Sülfenamid hızlandırıcılar
- Thiuram hızlandırıcılar
- Dithio karbamat hızlandırıcılar
- Dithio karbamil sülfenamid hızlandırıcılar
- Ksantat hızlandırıcılar
- Guanidin hızlandırıcılar
- Amin hızlandırıcılar
- Thio üre hızlandırıcılar
- Dithio fosfat hızlandırıcılar
- Kükürt vericiler

2.3.5.4. Geciktiriciler

Bazı durumlarda karışım için yanma diye de tabir edilen erken pişme (İng. scorch) söz konusu olmaktadır. Bu tür karışımların imalatta işlenmesi zor, hatta imkansızdır. Erken pişme tehlikesini ortadan kaldırmak için karışım reçetesine geciktirici adı verilen kimyasallar ilave edilir. Geciktiriciler asidik yapıda olup yanma süresini uzatır. Ancak bu durum optimum pişme süresinin de uzamasına yol açar [31, 46].

2.3.6. Diğer

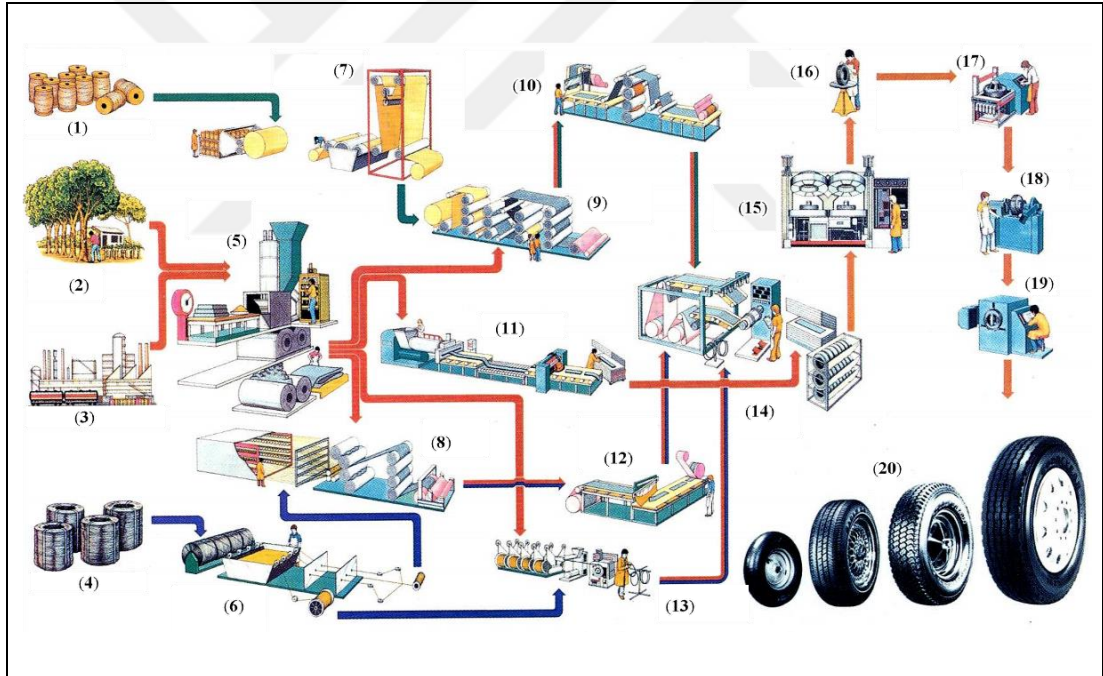
Karışım reçetesine giren diğer kimyasallar arasında en önemlileri şişiriciler (İng. blowing agent) ve boyalardır.

Şişiriciler, genellikle organik yapıda olup ısı etkisiyle bozularak gaz çıkışına neden olurlar ve hacim genişlemesi sonucu gözenekli, esnek bir yapının ortaya çıkmasını sağlarlar. Sıcaklığa bağlı olarak gaz çıkış hızı ve vulkanizasyon hızı uyum sağlamalıdır.

Boyalarda, organik ve inorganik pigmentler olmak üzere ikiye ayrılır. İnorganik pigmentler daha yüksek sıcaklıklara dayanıklıdır. Ancak ürün parlaklığını azaltırlar. Organik pigmentler vulkanizasyon sıcaklıklarına dayanıklı olup, karışımda iyi çözünür ve kuma ya da leke yapmazlar [28-31].

3. ARAÇ LASTİKLERİNİN ÜRETİMİ

Araç lastiklerinin üretim süreci Şekil 3.1’de gösterilmiştir [23]. Bölüm 2’de verilen çeşitli hammaddeler (kauçuklar, kordlar, kimyasallar) prosesin çeşitli aşamalarında kullanılır. Bu aşamalar; (i) mikserde karışım hazırlama, (ii) ekstruderde profilli bileşenlerin üretilmesi (sırt, yanak vb.), (iii) kalenderleme (çelik / tekstil kat ve kuşakların üretilmesi), (iv) topuk demetinin üretimi, (v) lastik imal makinelerinde önceki aşamalarda hazırlanan bileşenlerin bir araya getirilerek ham lastiğin üretimi, (vi) pişirme preslerinde ham lastiğin pişirilmesi, (vii) pişmiş lastiğin son kontrolleri ve ambarlanmasıdır.



Şekil 3.1. Lastik üretim süreci; (1) Tekstil hammaddeler, (2) Doğal kauçuk, (3) Sentetik kauçuk ve diğer kimyasallar, (4) Çelik hammaddeler, (5) Mikser, (6) Topuk, çelik kat/kuşak üretimi, (7) Tekstil bez üretimi, (8) Çelik kalender, (9) Tekstil kalender, (10) Çapraz kesici, (11) Ekstruder, (12) Çelik kat/kuşak kesim, (13) Topuk demetinin üretimi, (14) Lastik üretim makinası, (15) Pişirme presi, (16) Görsel kontrol, (17) Balans kontrolü, (18) Üniformite kontrolü (RFV, Radial Force Variation), (19) X-ışını kontrolü, (20) Ürün [23]

3.1. Karışım Hazırlama

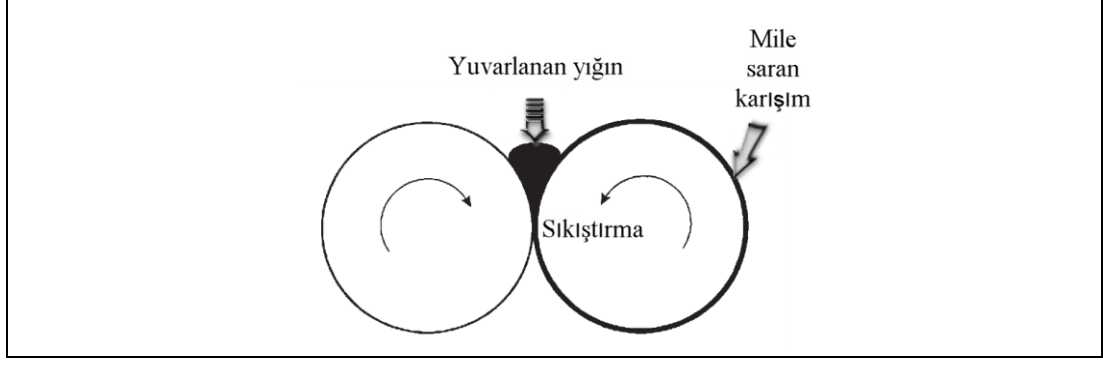
Kauçuk karışımı bitmiş ürünün çalışacağı ortama uygun özelliklere göre hazırlanmış kauçuk ve diğer hammaddelerden oluşan bir malzemedir. Lastik teknolojisinde oranlar ana hammadde olan kauçuğun ağırlıkça 100 birim kabul edildiği bir esasa dayanır. Kauçuk dışımda kullanılan tüm hammaddeler, phr (İng. part per hundred rubber) yani 100 kısım kauçuk için gerekli olan miktar olarak reçeteye konur.

Her lastik karışımının ortak özelliği en az bir kauçuk çeşidinden ve vulkanizasyon sisteminden (pişirici, aktivatör, hızlandırıcı) oluşmasıdır. Tipik bir karışım reçetesinde hammaddelerin kullanım aralıkları (phr) Tablo 3.1’de verilmiştir [31].

Tablo 3.1. Tipik bir karışım reçetesinde hammadde kullanım aralıkları [31]

Hammadde	phr
Kauçuk(lar)	100
Vulkanizasyon maddeleri	6 – 10
Dolgu maddeleri	20 – 100
Yumuşatıcılar	0 – 30
Proses kolaylaştırıcılar	0 – 10
Yaşlanma önleyiciler	0 - 10

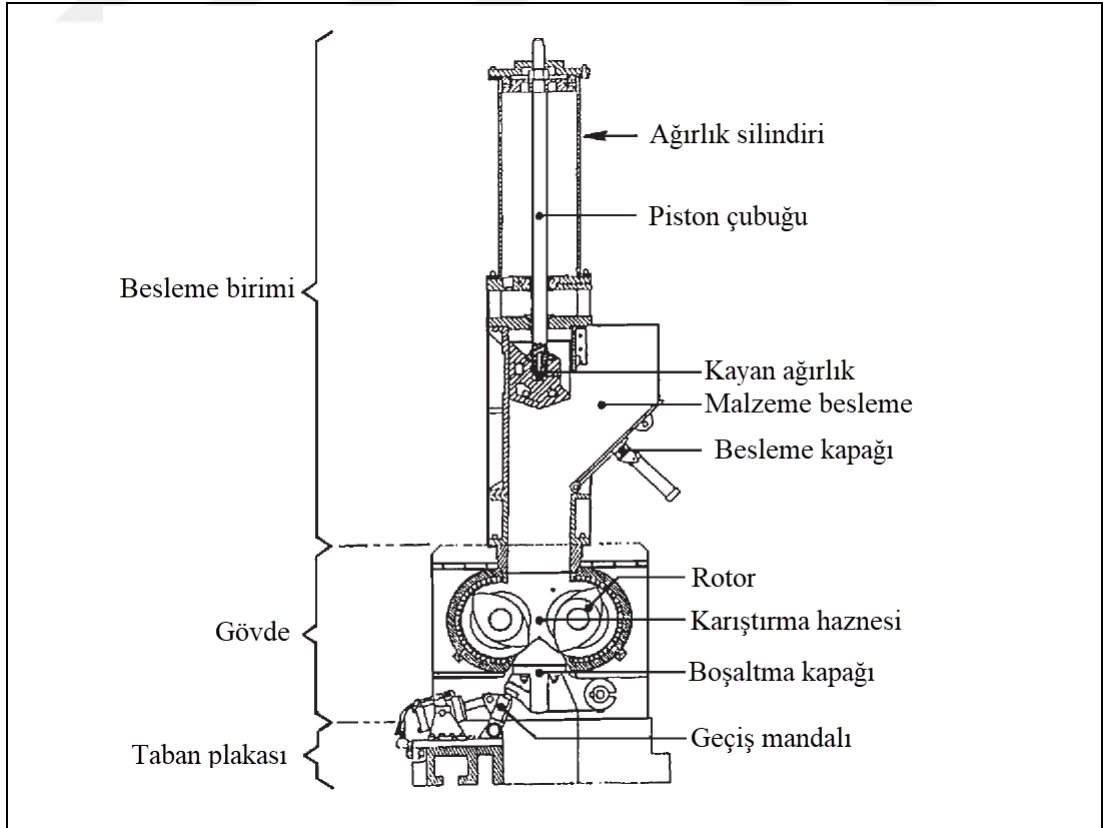
Kauçuk karışım hazırlama işlemi açık karıştırıcılar (mil) ya da kapalı karıştırıcılarda (mikser) yapılır. Açık karıştırıcılar, değişik çap ve boylarda, yatay ve paralel olarak birbirine ters yönde dönen, gerektiğinde ısıtılabilen/soğutulabilen iki tane valsten oluşur (Şekil 3.2, Şekil 3.3) [19, 47]. Kapalı karıştırıcılar, kapalı bir haznede farklı hızda ve birbirine ters yönde dönen helissel kanatçıklı iki rotordan meydana gelir. Isı kontrolü, rotor ve gövdenin çeşitli bölgelerinden geçen buhar ve soğutma suyu ile sağlanır (Şekil 3.4, Şekil 3.5) [19, 48]. Kapalı karıştırıcıda kauçuk karışımlarının hazırlanması Şekil 3.6’da gösterilmiştir [37].



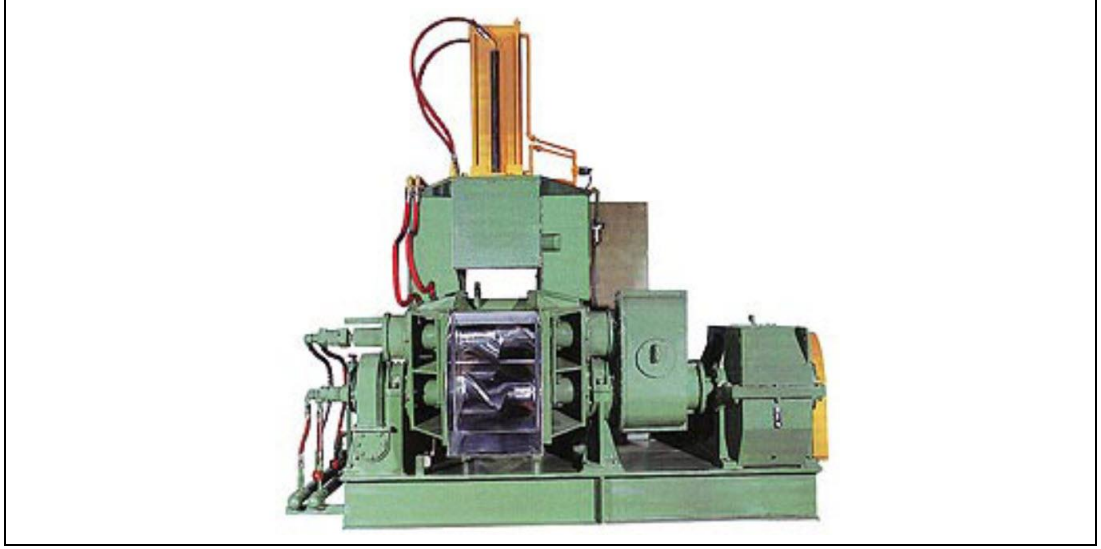
Şekil 3.2. Açık karıştırıcı şematik görünümü [19]



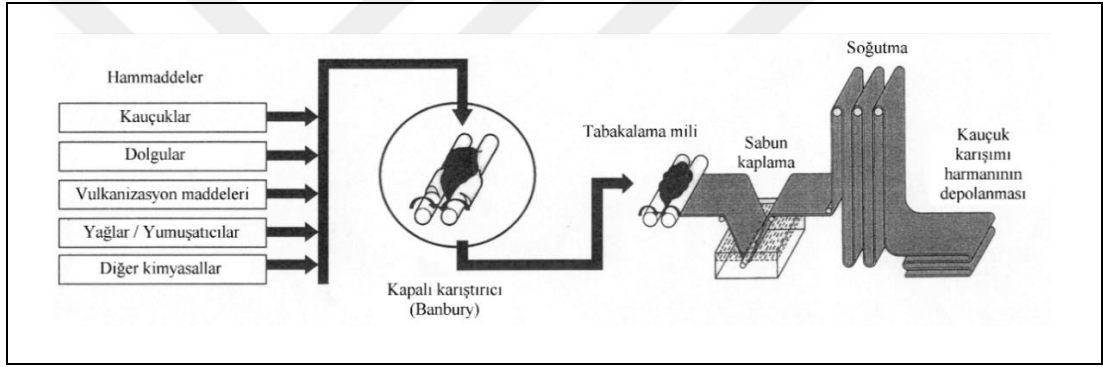
Şekil 3.3. Açık karıştırıcı ile karışım hazırlanması [47]



Şekil 3.4. Kapalı karıştırıcı şematik görünümü [19]



Şekil 3.5. Bir kapalı karıştırıcının görünümü [48]



Şekil 3.6. Kauçuk karışımlarının kapalı karıştırıcıda hazırlanması [37]

Karıştırma işleminde ilk adımda mastikasyon (mekanik iş) ile kauçuk molekül ağırlığı dolayısıyla viskozite azaltılır. Bu aşamada kimyasal peptizer kullanımı ile de kauçuk yumuşatılabilir. Viskozitesi azaltılmış kauçuk içerisine, plastikleştiriciler, takviye edici dolgular (karbon siyahı, silika), yağlar, koruyucular (antioksidant, antiozonant) katılır. Böylece ana karışım (İng. master batch) hazırlanmış olur. Karışımın viskozitesini istenilen değere getirmek için ana karışım tekrar karıştırıcıdan geçirilebilir (İng. remix). İkinci adımda ana karışıma vulkanizasyon hammaddeleri katılarak son karışım (İng. final batch) hazırlanır. Vulkanizasyon hammaddelerinin en son katılması, erken pişmeyi (İng. scorch) önlemek içindir. İkinci adım kauçuk içerisinde hammaddelerin homojen dağılımını (dispersiyon) da sağlar. Bu durum lastik performansı açısından çok önemlidir. Yırtılma direnci dışındaki tüm özellikler dağılımın iyileşmesi ile gelişir. Karıştırıcıdan alınan karışım, her seferinde millleme yapılarak tabaka haline getirilir. Tabaka, sabun çözeltilisinden geçirildikten sonra

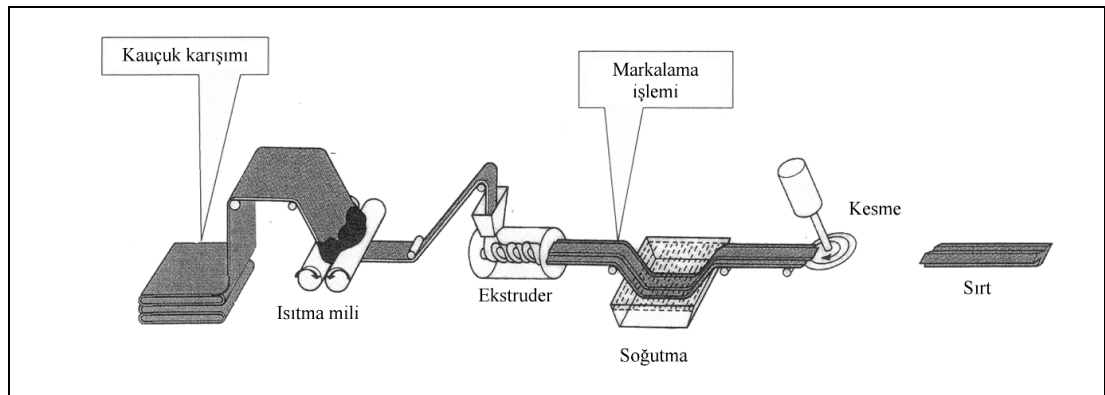
soğutularak palete alınır [23, 37, 49, 50]. Karışım özelliklerinin lastik performansı ile ilişkileri Tablo 3.2’de verilmiştir [37].

Tablo 3.2. Karışım özelliklerinin lastik performansı ile ilişkileri [37]

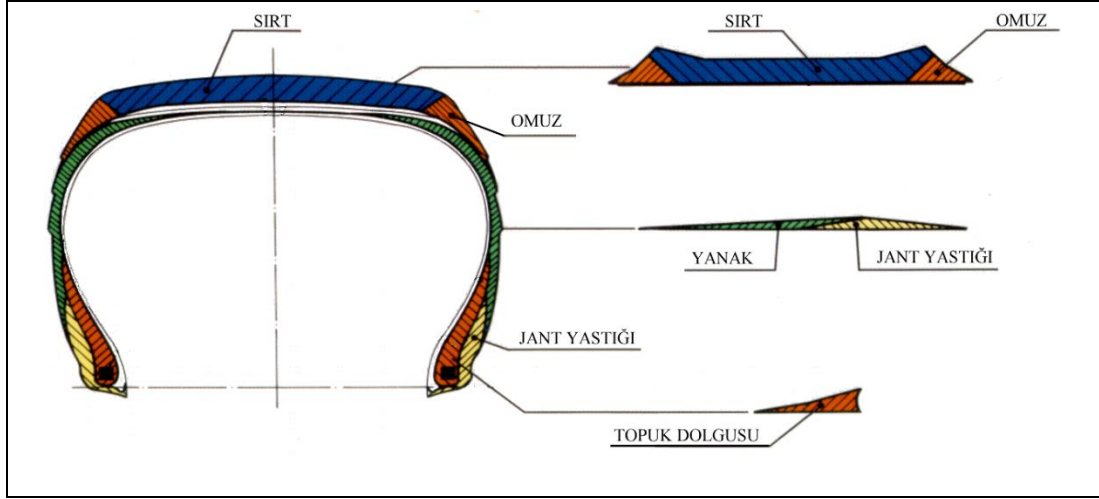
Kauçuk karışımı (Laboratuvar)	Araç lastiği (Yol performansı)
Aşınma direnci	Sırt aşınması
Histerezis	Yuvarlanma direnci
Isı birikimi	Çalışma sıcaklığı

3.2. Ekstruderde Profilli Bileşenlerin Hazırlanması

Lastiğin birçok bileşeni (sırt, yanak, topuk dolgusu vb.) ham (pişmemiş) kauçuk karışımından ekstruderde çekilerek üretilir. Lastik teknolojisinde kullanılan ekstruderler, konvansiyonel vida tipi olup, sıcak besleme ve soğuk besleme olarak iki sınıfa ayrılırlar. Bunlardan sıcak besleme ekstruderlerinde ham kauçuk karışım şeritleri ısıtma millerinden sonra ekstrudere beslenir. Soğuk besleme ekstruderde ise karıştırıcıdan alınan ham karışım doğrudan ekstrudere beslenir. Yeni nesil ekstruderler bilgisayar kontrollü olup, basınç, akış hızı, besleme hızı ve ekstruder silindirinin içerisinde karışımın sıcaklık profili kontrol altında tutulur. Şekil 3.7’de profilli bileşenlerin ekstruderde hazırlanması şematik olarak gösterilmiştir [37]. Şekil 3.8’de lastiğin profilli bileşenlerine örnekler verilmiştir [37].



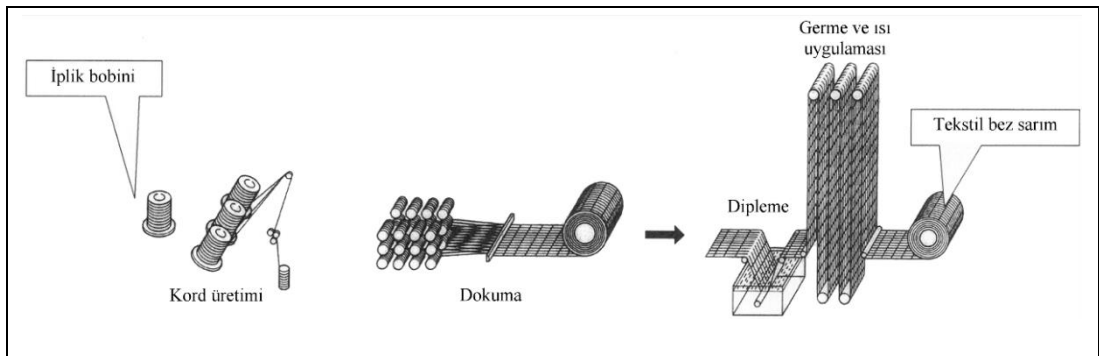
Şekil 3.7. Profilli bileşenlerin ekstruderde hazırlanması [37]



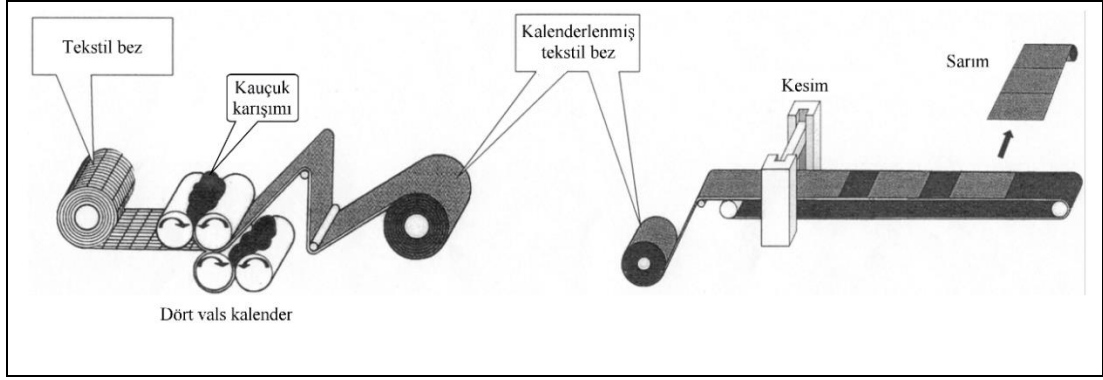
Şekil 3.8. Ekstruderde üretilen lastik bileşen örnekleri [37]

3.3. Kalenderleme

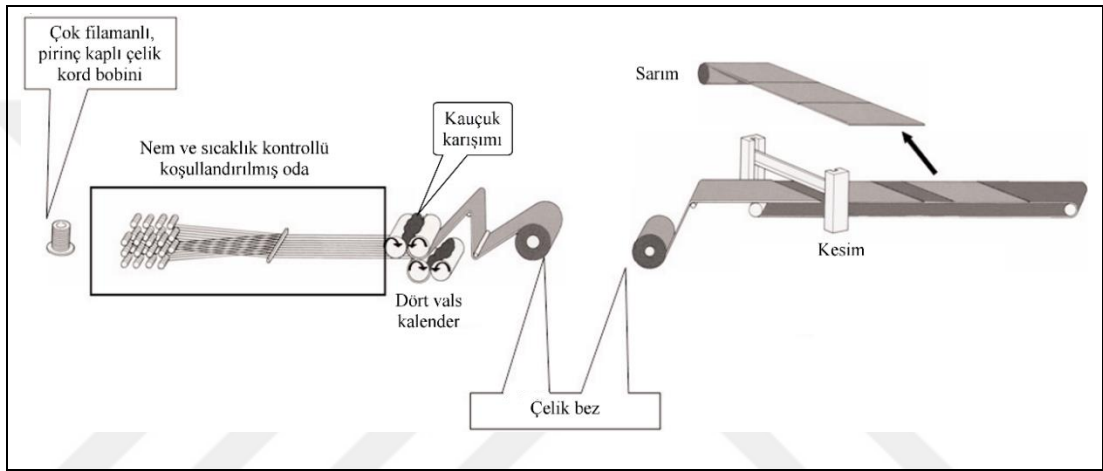
Kalenderleme işlemi lastik karışımının tabakalanması ya da takviye çelik/tekstil malzeme ile kaplanması amacıyla kullanılır. Birbirine ters yönde dönen, iki, üç ya da dört krom kaplı çelik valsten oluşur. Valsler buhar ya da sıcak suyla ısıtılır. İki ve üç vals içeren kalenderler tabakalama için kullanılırken, dört vals kalenderler tekstil ve çelik sürekli takviye malzemelerinin karışım ile kaplanmasında kullanılır. Şekil 3.9'da spinning yöntemi ile üretilen ipliklerden dokuma sonrası tekstil bez eldesi gösterilmiştir [37]. Tekstil bezin kalenderde kauçuk ile kaplanması ve ardından tanımlanmış boyutlarda kesilmesi Şekil 3.10'da gösterilmiştir [37]. Şekil 3.11'de ise çelik kalenderde çelik bez üretimi ve sonrasında tanımlanan uzunluk ve açılarda kesim işlemi verilmiştir [37]. Kalendere beslenen çelik kordlar, nem ve sıcaklık kontrollü koşullandırılmış odada (İng. creel room) tutulurlar. Bir çelik kalenderin görüntüsü Şekil 3.12'de verilmiştir [51].



Şekil 3.9. İplikten tekstil bez üretimi [37]



Şekil 3.10. Tekstil bezlerin kalenderde kauçuk karışımı ile kaplanması [37]



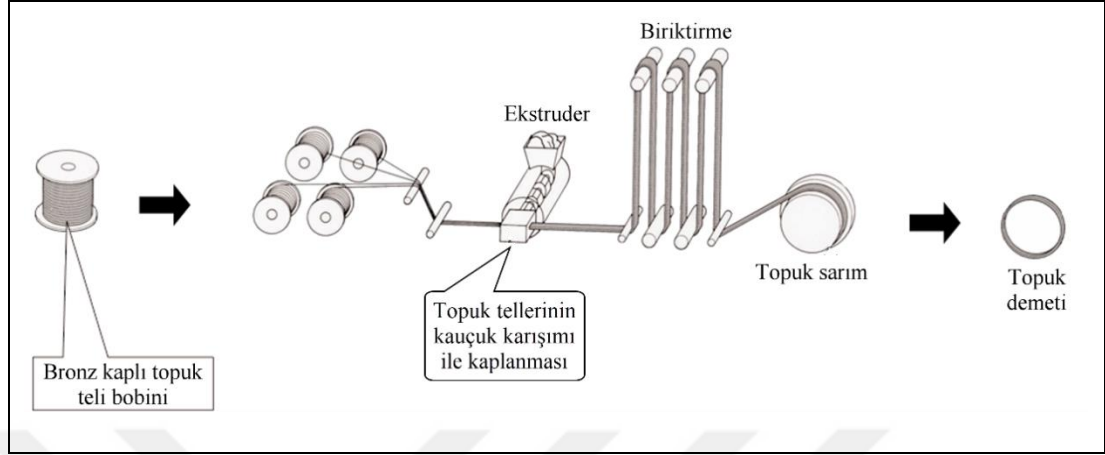
Şekil 3.11. Çelik bezlerin kalenderde üretimi [37]



Şekil 3.12. Bir çelik kalenderin görünümü [51]

Lastiğin janta oturan bölgesinde kullanılan topuk demeti, bronz kaplı topuk tellerinin ekstruderde kauçuk karışımı ile kaplanarak kullanılacağı lastik ebadına uygun sayı ve

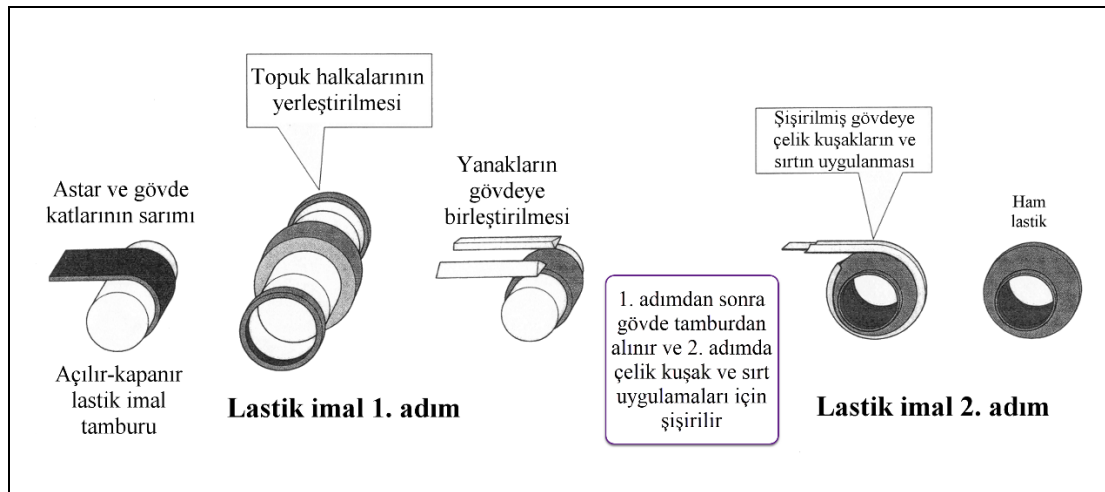
çapta sarımı ile elde edilir. Şekil 3.13 topuk demeti üretim sürecini şematik olarak göstermektedir [37].



Şekil 3.13. Topuk demeti üretimi [37]

3.4. Lastik İmal

Karıştırıcıda hazırlanan kauçuk karışımları, lastiğin çeşitli bileşenleri için ekstruder, kalender, kesim, topuk imal vb. işlemlerinden sonra lastik imal makinelerine gönderilir. Bu bileşenler Şekil 3.14’te gösterildiği gibi iki adımda ham lastiğin üretimi için kullanılır [37]. Birinci adımda astar silindirik tambura sarılır ve üzerine gövde katı uygulanır. Topuk demetleri bu yapı üzerine konumlandırılır ve tümü ikinci adım makinesine geçirilir. Bu adımda kuşaklar ve sırt yapıya eklenir. Elde edilen ham lastik tamburdan alınarak vulkanizasyon için pişirme preslerine gönderilir.



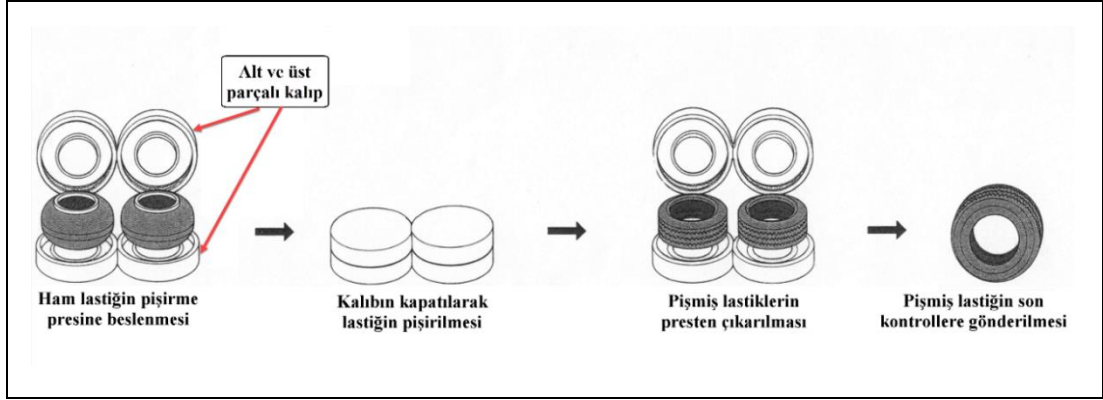
Şekil 3.14. Lastik imal adımları [37]

3.5. Pişirme

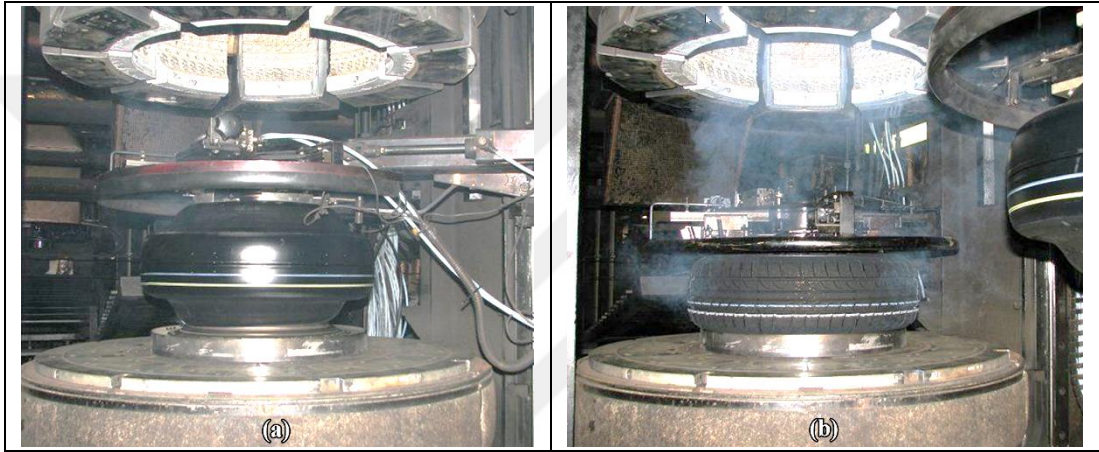
Şekil 3.15 Lastik pişirme preslerini göstermektedir [37]. Ham lastiğin preste pişirilerek (vulkanizasyon) pişmiş lastik eldesi Şekil 3.16’da verilmiştir [37]. Ham lastik iki parçalı kalıba yerleştirilir ve kalıp kapatılır. Lastiğin içinde bulunan pişirme torbası şişirilerek lastiğin kalıbın şeklini alması sağlanır. Ham lastik, buhar ya da gaz atmosferinde tanımlanan süre sıcaklıkta preste tutularak pişirme işlemi gerçekleştirilir. Pişen lastik presten çıkarılarak son kontrollere gönderilir. Ham lastiğin prese girişi ve pişmiş lastik olarak çıkışı Şekil 3.17’de gösterilmiştir [37]. Kauçuk karışımının mekanik özellikleri (örneğin modül) pişme eğrisi ile yakından ilişkilidir. Mekanik özellikler optimum pişme süresi ile geliştirilir. Pişme süresi daha kısa olduğunda çapraz bağlanma yetersiz olur ve mekanik özellikler düşer. Uzun pişme sürelerinde ise kauçuğun cinsine bağlı olarak sürekli çapraz bağlanma sonucu sertleşme ya da çapraz bağların kopması sonucu yumuşama (İng. reversion) meydana gelir. Şekil 3.18’de mekanik özelliklerin pişme süresi ile ilişkisi gösterilmiştir [23, 37].



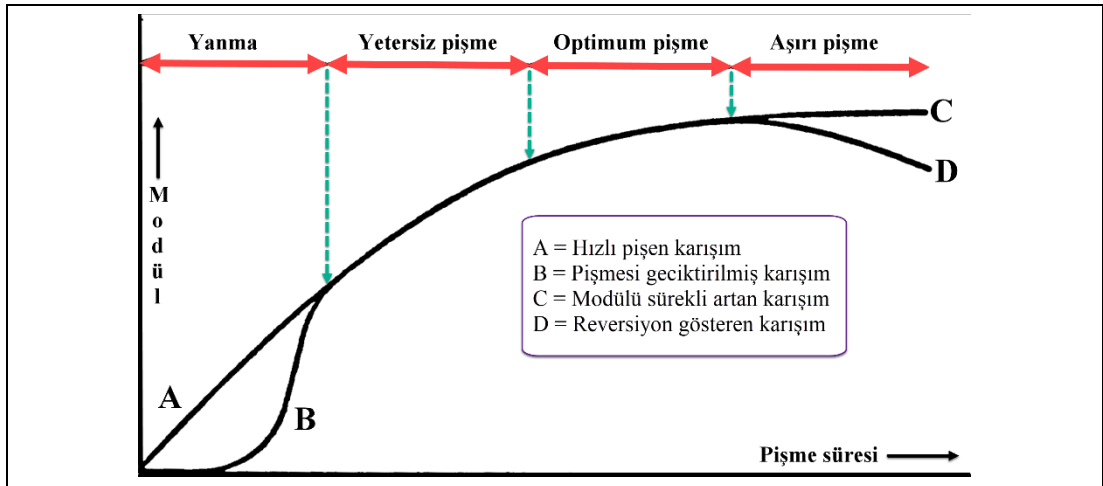
Şekil 3.15. Lastik pişirme presleri [37]



Şekil 3.16. Lastik pişirme prosesi [37]



Şekil 3.17. (a) Ham lastiğin pişirme presine girişi, (b) Pişmiş lastiğin pişirme presinden çıkışı [37]



Şekil 3.18. Kauçuk karışımı modül değerinin pişme süresi ile ilişkisi [37]

3.6. Ürün Kontrolü

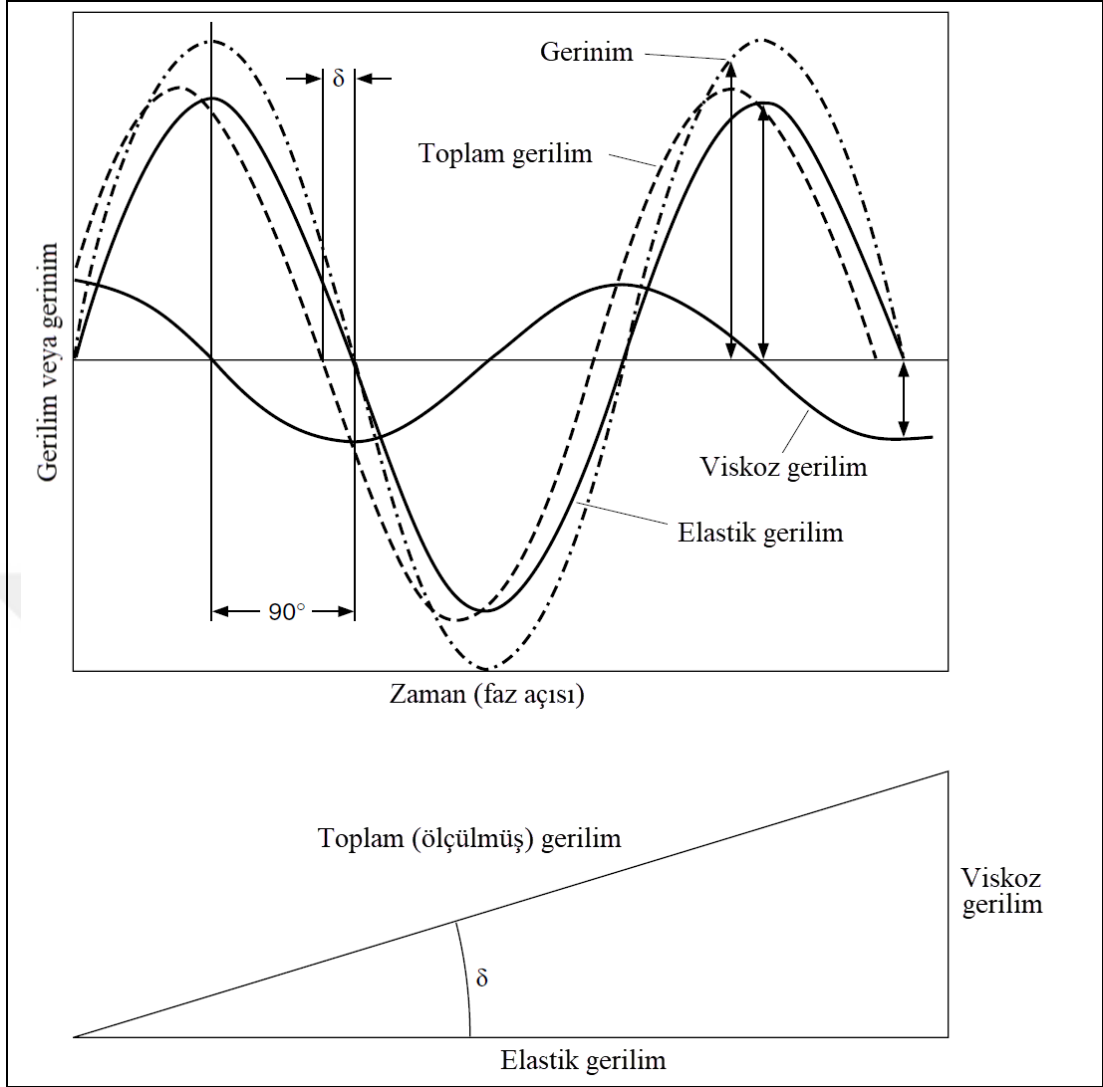
Pişirme presinden çıkan lastiğin gövdesindeki çapaklar temizlenir. Tüm lastikler elle ve gözle muayene edilerek özürlü olanlar onarılmak ya da hurdalanmak üzere ayrılır. Seçilen lastiklerde X-ışını ile kuşakların yerleşimi ve kat kordlarının eşit aralıkda olup olmadığını kontrol edilir. Ayrıca istatistiksel örnekleme ile lastiklere dayanıklılık (İng. durability), üniformite, dinamik balans vb. testler uygulanır. Kalite kontrolünü tamamlayan lastikler sevkiyat için mamul ambarına gönderilir



4. LASTİK KARIŞIMLARININ DİNAMİK ÖZELLİKLERİ

Kauçukların ve lastik karışımlarının mekanik deformasyon altında davranışı diğer malzemelerden farklıdır. Bu malzemeler çok yüksek uzamalara kadar (% 1000) bir yay gibi elastik davranırken, viskoz bir sıvı gibi enerji soğurabilmektedir. Viskoelastik özellikler, elastik ve viskoz özelliklerin bileşimi ile tanımlanır. Kullanım koşullarında lastik karışımları, çevrimsel olarak değişen gerilim ya da gerinim oranı ve genliğine (İng. stress/strain rate and amplitude) maruz kaldıkları için viskoelastik özelliklerinin dinamik koşullar altında belirlenmesi önem kazanmaktadır [28, 52- 58].

Dinamik özellikler genellikle bir lastik karışımının sinüzoidal olarak değişen gerinime (ϵ) cevabı ölçülerek belirlenir. Lastik karışımı, bir yayda olduğu gibi enerjinin bir kısmını depolarken (İng. stored energy), bir kısmını da yağ kutusunda olduğu gibi, iç sürtünmeyi yenmek için ısı olarak yayar (İng. loss energy). Yayılan enerjinin depolanan enerjiye oranı; (i) karışımın viskoelastik özelliklerinin, (ii) karışım sıcaklığının, (iii) deformasyon miktarının, (iv) deformasyon hızının bir fonksiyonu olarak ifade edilir. Şekil 4.1’de sinüzoidal bir deformasyon sonucu elastik ve viskoz bileşenlerin nasıl ayrıştığı gösterilmiştir [53].



Şekil 4.1. Sinüzoidal bir deformasyon altında elastik ve viskoz bileşenlerin ayrışımı [53]

Sinüzoidal olarak değişen bir gerilim (ϵ) altında, aşağıdaki parametreler tanımlanabilir ve Denklem 4.1 – 4.4 ile ifade edilir;

E^* = kompleks modül = ölçülen gerilim (σ) genliğinin, gerilim (ϵ) genliğine oranı

E' = Elastik modül = depolama modülü (İng. storage modulus) = elastik gerilim (σ) genliğinin, gerilim (ϵ) genliğine oranı

E'' = Viskoz modül = kayıp modülü (İng. loss modulus) = viskoz gerilim (σ) genliğinin, gerilim (ϵ) genliğine oranı

$\tan \delta$ = viskoz modülün elastik modüle oranı ve histerezis miktarının göstergesi

$$(E^*)^2 = (E')^2 + (E'')^2 \quad (4.1)$$

$$E' = E^* \cos \delta \quad (4.2)$$

$$E'' = E^* \sin \delta \quad (4.3)$$

$$\tan \delta = E'' / E' \quad (4.4)$$

Sinüzoidal olarak değişen bir gerilim (σ) altında aşağıdaki parametreler tanımlanabilir;

D^* = Kompleks komplians (İng. complex compliance) = ölçülen gerinim (ϵ)
genliğinin, gerilim (σ) genliğine oranı

D' = Elastik komplians = depolama modülü (İng. storage modulus) = elastik
gerinim(ϵ) genliğinin, gerilim (σ) genliğine oranı

D'' = Viskoz komplians = kayıp modül (İng. loss modulus) = viskoz gerinim (ϵ)
genliğinin, gerilim (σ) genliğine oranı

$\tan \delta$ = viskoz kompliansın elastik kompliansa oranı ve histerezis miktarının
göstergesi (denklem 4.5)

$$\tan \delta = D'' / D' \quad (4.5)$$

Deney basma yerine kayma yükü altında yapıldığında E yerine G, D yerine J kullanılır.
Modül ve komplians arasındaki ilişkiler Denklem 4.6 – 4.8 ile verilmiştir.

$$D^* = 1 / E^* \quad \text{ve} \quad J^* = 1 / G^* \quad (4.6)$$

$$D' = E' / (E^*)^2 \quad (4.7)$$

$$D'' = E'' / (E^*)^2 \quad (4.8)$$

Benzer bir notasyon ile elastik, viskoz ve kompleks tork, sırasıyla S' , S'' ve S^* ile ifade edilir ve $\tan \delta$ bu parametre ile de tanımlanabilir (Denklem 4.9) [28, 52- 58].

$$\tan \delta = S'' / S' \quad (4.9)$$

Pişmemiş karışımlarda jel miktarı ve zincir dolaşıklığı (İng. chain entanglement) S' değerini artırır. Pişme işlemi sırasında çapraz bağların oluşumu ile S' yükselir. S'' , karışımın akma özelliği ile ilgilidir, düşük frekanslarda ve yüksek sıcaklıklarda azalır.

Dinamik kayma modülleri (G' , G'') ve sinüzoidal salınımın frekansı (ψ) kullanılarak viskozite değerleri Denklem 4.10 – 4.12 ile hesaplanabilir;

$$\eta' = G'' / \psi \quad (4.10)$$

$$\eta'' = G' / \psi \quad (4.11)$$

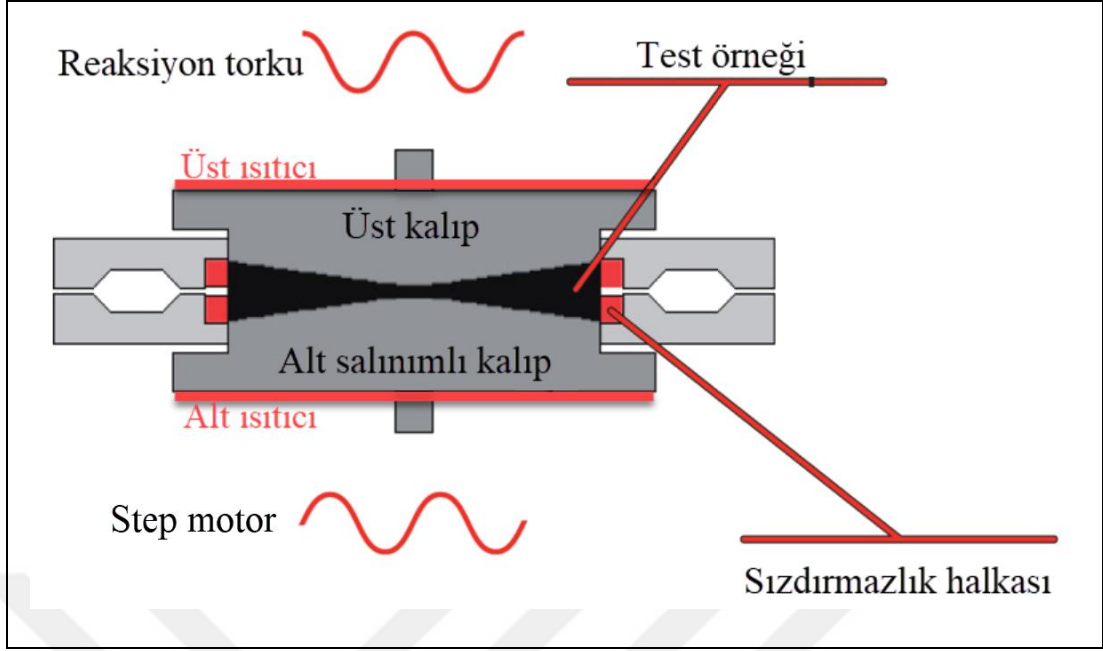
$$\eta^* = [(\eta')^2 + (\eta'')^2]^{1/2} \quad (4.12)$$

Bu denklemlerde η' , η'' ve η^* sırası ile, reel, sanal ve kompleks dinamik viskozite değerlerini göstermektedir.

Viskoz özelliklerin elastik özelliklere oranı olarak tanımlanan $\tan \delta$ değeri aşağıdaki karışım özellikleri ile ilgilidir; Pişmemiş karışımın $\tan \delta$ değeri pişmiş karışıma göre daha yüksektir. Pişmemiş karışımın proses edilebilirliği $\tan \delta$ değeri ile belirlenir. Pişmemiş karışımlarda elastik özelliklerin yüksek olması (düşük $\tan \delta$), ekstrüzyonda kafa şişmesi (İng. die swell), sınırlılık (İng. nerviness) ve boyutsal kararsızlık gibi sorunlara yol açar.

Karışımın histerezis (ısı biriktirme) özelliği $\tan \delta$ değeri ile ilgilidir ve pişmiş karışımın sekme esnekliği ile ters orantılıdır.

1990'lı yıllarda geliştirilen lastik proses analizörü (İng. Rubber Process Analyzer, RPA) elastomerlerin, lastik karışımlarının viskoelastik özelliklerini, pişme öncesinde, pişme sırasında ve pişme sonrasında test etmeye yarayan bir cihazdır [53, 55-58]. Cihazın test odacığında iki adet kalıp, kapalı bi-konik sistem oluşturacak şekilde konumlanmıştır. Test sırasında pnomatik sistem, üst kalıbın sabit bir kayma hızı sağlayacak şekilde alt kalıba göre dönmesini sağlar. Alt kalıp tarafından oluşturulan sinüzoidal torsiyon altında örnek test edilir. Şekil 4.1 cihaz tasarımını şematik olarak göstermektedir [55]. RPA ile E^* , E' , E'' , G^* , G' , G'' , D^* , D' , D'' , S^* , S' , S'' , $\tan \delta$ ile η' , η'' ve η^* değerleri tespit edilebilmektedir.



Şekil 4.2. RPA cihazının şematik gösterimi [55]

Sıcaklık, frekans, gerinim (ϵ) gibi test parametrelerinin seçimi test sonuçlarının istatistiksel güvenirliliği açısından önemlidir [56] ve aşağıdaki test parametreleri standart olarak tanımlanabilir [55].

- Sıcaklık
- Salınım frekansı (İng. oscillation frequency)
- Salınım genliği
- Zaman
- Çevrim sayısı

RPA testleri genellikle aşağıdaki test yöntemlerinden biri/birkaçı kullanılarak gerçekleştirilir [55];

- 1) Genlik taraması (İng. amplitude sweep): Test, belirli bir sıcaklık ve frekansta sapma açısı (İng. deflection angle) değiştirilerek yapılır
- 2) Frekans taraması: Test, belirli bir sıcaklık ve genlikte, salınım frekansı (İng. oscillation frequency) değiştirilerek yapılır
- 3) Sıcaklık taraması: Test, belirli bir frekans ve genlikte test odacığının sıcaklığı değiştirilerek yapılır
- 4) Kayma hızı taraması (İng. shear rate): Test sırasında kayma hızı değiştirilir

5. LASTİK KARIŞIMLARINDA KULLANILAN YENİ TAKVİYE MALZEMELERİ

Lastik karışımlarında takviye malzemesi olarak kullanılan elyafların mukavemet özellikleri Şekil 2.13'te gösterilmiştir. Günümüzde araç lastiklerinin hafifletilmesi ve dolayısıyla sürtünme direncinin (İng. rolling resistance) düşürülerek yakıt tasarrufunun sağlanması önemli bir araştırma alanıdır. Bu nedenle, yoğunluğu çelik malzemeye göre çok daha düşük olan aramid ve karbon elyaflar, pahalı olmalarına rağmen önem kazanmaktadırlar. Tablo 5.1 bu elyafların özelliklerini çelik ile karşılaştırmalı olarak vermektedir [59]. Aramid elyaf, araç lastiklerinde sürekli takviye malzemesi olarak kullanılmasının yanı sıra, karışıma toz, granül, pulpa ve kırılmış olarak da katılmaktadır. Aramid, polyester ve poliamid 6.6 ile karşılaştırıldığında, yüksek kristalinitesi sayesinde daha iyi boyutsal kararlılığa sahiptir. Sürekli elyaf takviyesi olarak lastiğin gövde katında, kuşaklarında, topuk bezinde kullanılabilir. Böylece düşük ağırlık ve yüksek mukavemet sağlayarak, sürüş konforunu artırır ve karbon ayak izini azaltır. Karbon elyaf ise kauçuk karışımlarında kırılmış olarak kullanılır.

Bu tez çalışması kapsamında aramid elyaf, granül (Sulfron 3001) ve pulpa (Kevlar® EE) halinde kauçuk karışımlarına katılmış ve özelliklere etkileri incelenmiştir. Karbon elyaf (Aksaca™) ise, kırılmış olarak kauçuk karışımlarında denenmiştir.

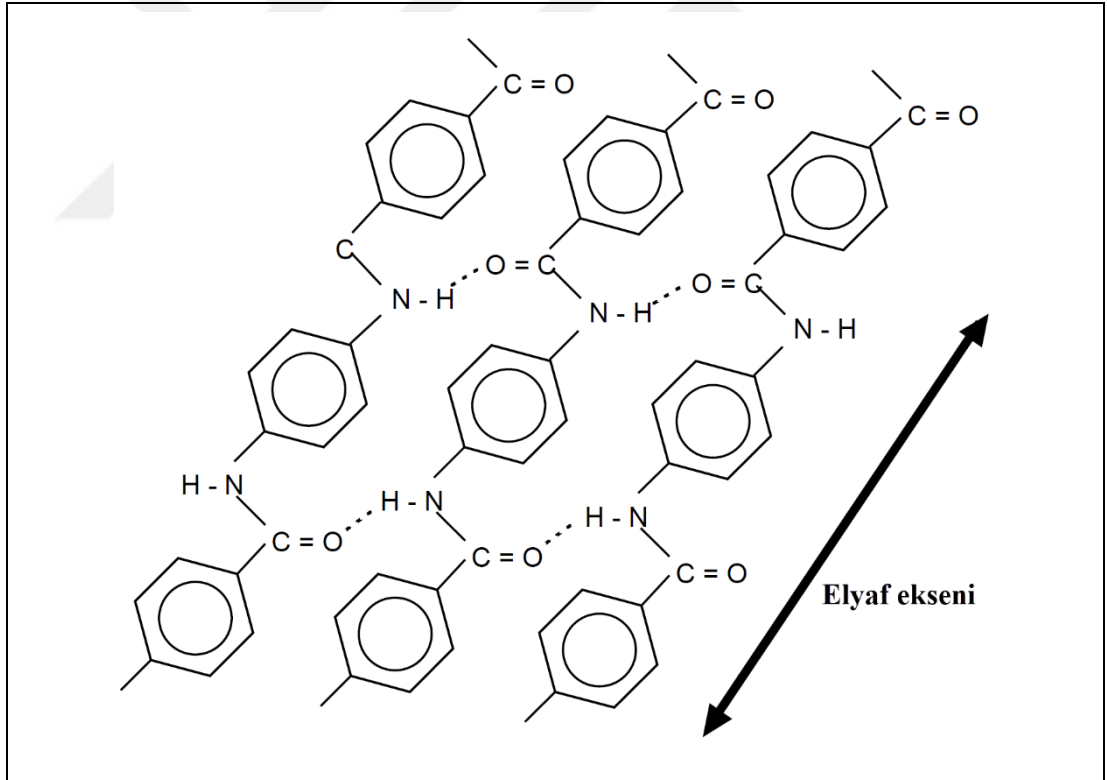
Tablo 5.1. Aramid ve karbon elyaf özelliklerinin çelik ile karşılaştırılması * [59]

Özellik	Birim	Aramid	Karbon	Çelik
Yoğunluk	g/cm ³	1,44 - 1,45	1,73 – 1,91	7,5 – 8
Kopma dayanımı	GPa	2,7 - 3,6	3,3 – 6	< 2,6
Özgül mukavemet	N/tex	1,9 – 2,5	1,9 – 3,5	< 0,35
Modül	GPa	60 – 145	230 – 550	140 – 200
Kopmada uzama	%	2,3 - 4,2	0,7 – 2,1	< 15
Nem	%	2 – 7	0	0
Bozunma / Ergime Sıcaklığı	°C	500	3700	> 1400

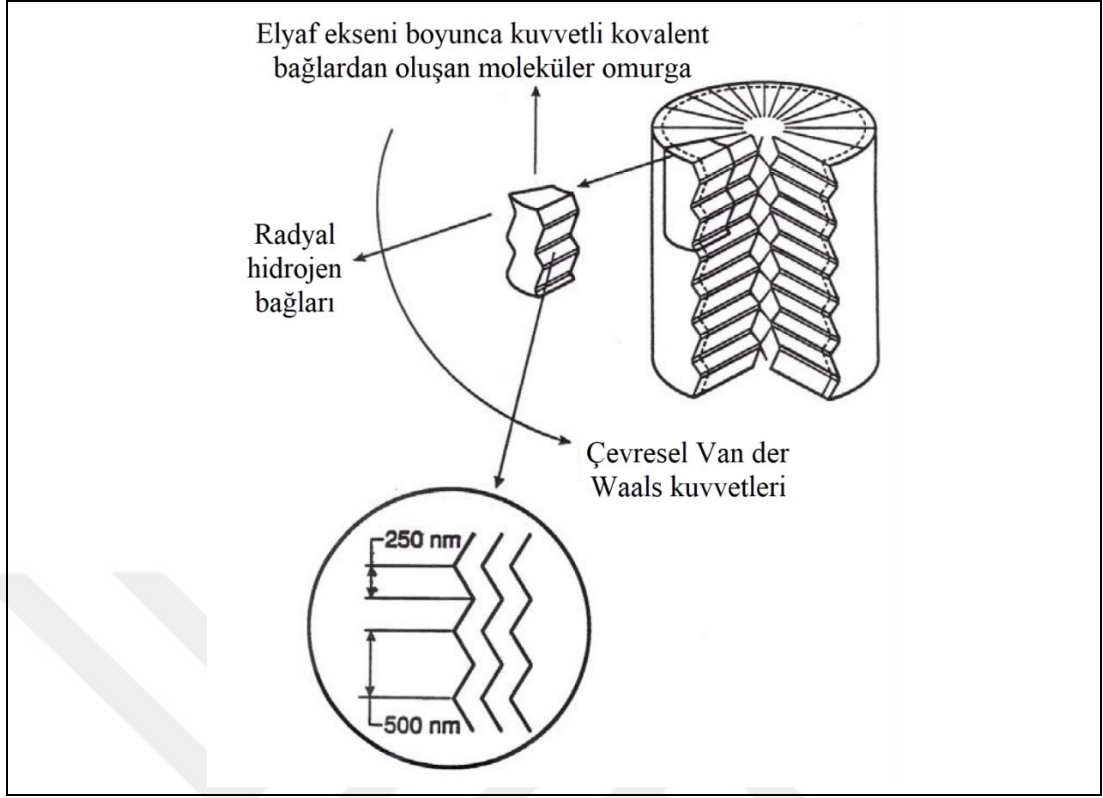
* Tabloda verilen değerler, farklı kaynaklardan değerlendirildiği için, farklı test yöntemleri ve koşulları nedeniyle değişkenlik gösterebilir.

5.1. Aramid Elyaf

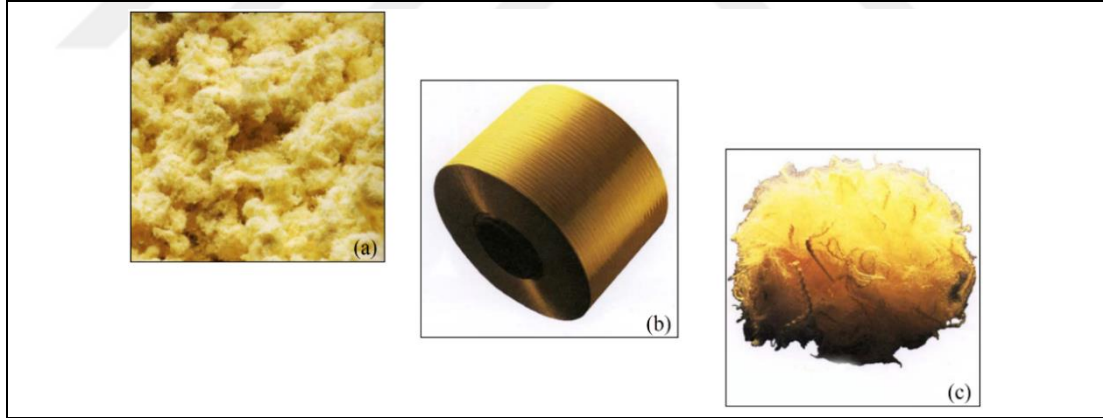
1970'lerde Kevlar® ticari adı ile ilk para-aramid elyaf DuPont firması tarafından üretilmiştir. Aramid, aromatik poliamid için kısaltma olarak kullanılmaktadır. Kimyasal adı tam olarak poly para-fenilenterefitalamid'dir. Yüksek özgül mukavemet ve modül ile mükemmel kimyasal ve ısı kararlılığına sahiptir. Aromatik halka ısı kararlılık sağlarken, para yapısı nedeniyle yüksek mukavemet ve modül sergilemektedir. Başlangıçta sürekli elyaf olarak üretilirken, 1980'lerde kısa elyaf, liflenmiş (İng. staple) ve pulpa (İng. pulp) olarak da üretilip geniş kullanım alanları bulmuştur. Homopolimerin kimyasal yapısı Şekil 5.1'de, elyafın yapısı ile birincil ve ikincil bağların durumu da Şekil 5.2'de gösterilmiştir. Şekil 5.3'te DuPont tarafından üretilen Kevlar'ın ticari formları verilmiştir. Günümüzde para-aramid elyaf Twaron® ticari adıyla Teijin (önceleri Akzo) firması tarafından da üretilmektedir [60].



Şekil 5.1. para-Aramid homopolimerin kimyasal yapısı [60]



Şekil 5.2. para-Aramid elyaf yapısı [60]



Şekil 5.3. Kevlar® para-aramid'in ticari formları; (a) pulpa, (b) iplik, (c) liflenmiş [60]

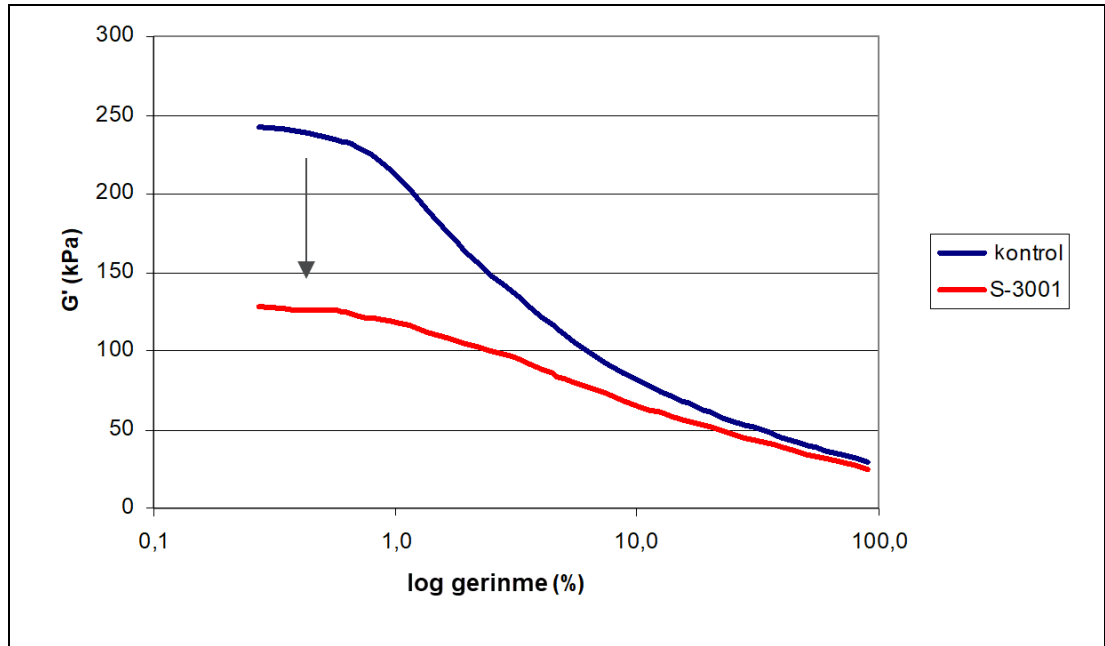
5.1.1. Sulfron 3001

Ticari ismi Sulfron 3001 olan aramid esaslı takviye malzemesi, granül halinde Teijin firması tarafından üretilmektedir. Yapısında, % 40 aramid, % 50 stearil stearat, vaks ve proses kolaylaştırıcı, %10 reaktif kimyasallar içerir. Sulfron 3001, özellikle karbon siyahı içeren ya da karbon siyahı ile silikanın birlikte kullanıldığı karışımlara katılır. Lastikte sürtünme enerjisini, histerezisini ($\tan \delta$), ısı birikimini, yuvarlanma direncini, kesik ve çentik alma direncini düşürür, dayanımını artırır. Böylece performans kaybı

olmadan yakıt tasarrufu sağlar. Kullanıldığı lastikler, kamyon/otobüs, yol dışı hizmet, traktör, uçak, motosiklet ve bisiklet lastikleridir [61, 62].

Binek lastiklerinde yuvarlanma direncinin azaltılması, silika/silan kavramı ve modifiye edilmiş sentetik kauçuklar ile sağlanmaktadır. Ancak doğal kauçuğun ana polimer olarak kullanıldığı kamyon/otobüs lastiklerinde silika/silan teknolojisi kullanılamamaktadır, sulfron histerezisi azaltmak için bu lastiklerde bir seçenek sunmaktadır [63, 64].

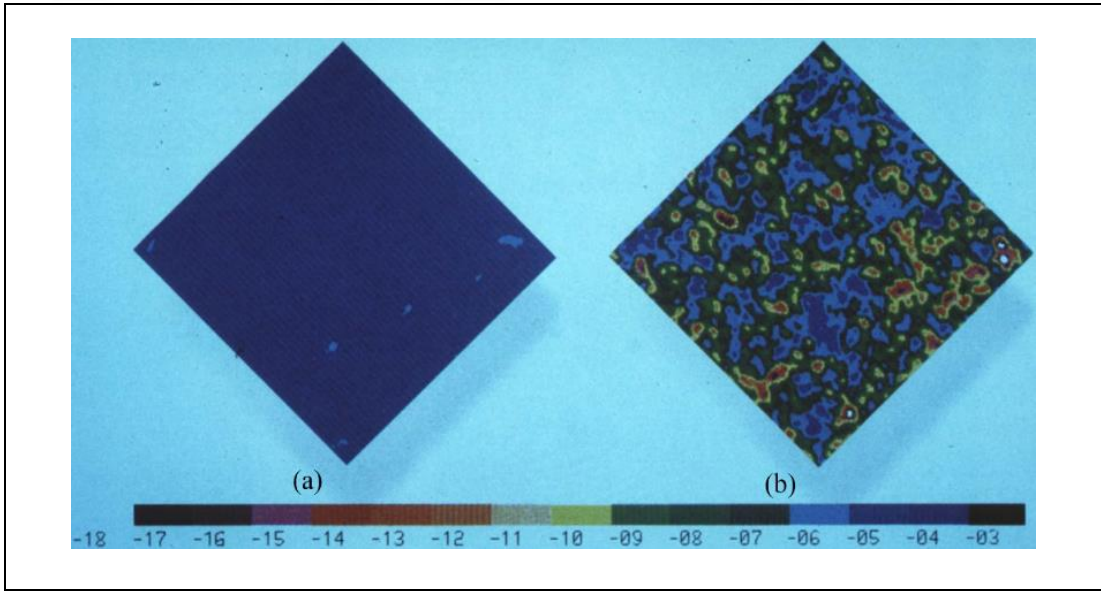
Yüzeyi aktive edilmiş kısa para-aramid kısa elyaflardan oluşan Sulfron 3001, özellikle sırt ve kuşak kaplama karışımlarında kullanılır. Sulfron, dolgu (karbon siyahı/silika) yüzeyleri ile etkileşerek, dolgular arasındaki etkileşimi düşürür (Payne etkisi) [1], böylece daha iyi bir dolgu dağılımı sağlar [64]. Düşük gerinmelerde elastik modüldeki düşüş ile gözlenen bu etki, karbon siyahı içeren bir karışım için Şekil 5.4'te verilmiştir [64]. Karıştırma işlemi başından itibaren, Sulfron 3001 karbon siyahı parçacıklarının aktif yüzey -OH grupları ile etkileşerek karbon siyahı ile bağ oluşturur. Bu kimyasal bağ oluşumu karıştırma sıcaklığı ile yakından ilgilidir. Sulfron 3001 ile kauçuk arasındaki etkileşim, karıştırma işleminin son aşamasında, pişirme sisteminin eklenmesi ile olur. Bu nedenle Sulfron 3001 kullanımında karıştırma işleminin adımları ve sıcaklık kontrolleri önem kazanır [65].



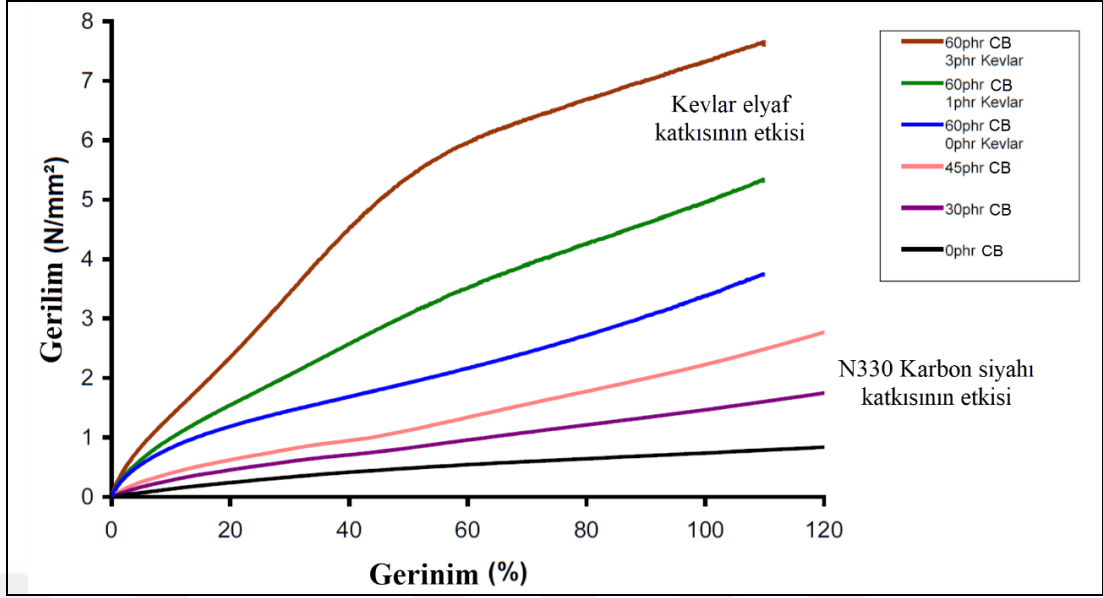
Şekil 5.4. Karbon siyahı içeren bir lastik karışımına Sulfron 3001 katılması ile Payne etkisinde meydana gelen değişiklik [64]

5.1.2. Kevlar® EE

Kevlar®, pulpa formunda kauçuk karışımlarında kullanıldığı zaman, modülde artış, ham özelliklerde ve yüksek sıcaklık özelliklerinde iyileşme ve düşük ısı birikimi sağlamasına rağmen, kauçuk içerisinde dağıtılması son derece zordur. Bu nedenle DuPont, yüksek dallanma gösteren para-aramid pulpayı, neopren, doğal kauçuk (NR), stiren butadien kauçuk (SBR), nitril kauçuk (NBR) gibi elastomerler içerisinde dağıtılmış olarak üretmiş ve Kevlar® Engineered Elastomer (Kevlar® EE) ticari adıyla piyasaya sunmuştur [60, 66, 67]. Şekil 5.5'te ultrasonik tarama tekniği (İng. ultrasonic scanning technique) ile aynı karışım formülasyonu içerisinde Kevlar® EE kullanımının etkisi gösterilmiştir. Şekil 5.5a'da Kevlar® EE katkılı karışımın tek bir renkte (İng. uniform color) görünmesi homojen bir dağılım olduğunu göstermektedir. Katkısız karışımda ise belirgin renk farklılıkları dağılımın çok kötü olduğunu işaret etmektedir (Şekil 5.5b) [60]. Şekil 5.6, doğal kauçuk esaslı bir karışımda karbon siyahı (N330) katkısının (30, 45, 60 phr) mekanik özelliklere etkisini göstermektedir. 60 phr CB içeren karışıma Kevlar® EE ilavesinin (1, 3 phr) özellikleri büyük ölçüde iyileştirdiği görülmektedir [60].



Şekil 5.5. (a) Kevlar® EE katkılı karışım, (b) Kevlar® EE katkısız karışım [60]



Şekil 5.6. Bir doğal kauçuk karışımında Kevlar® EE ve karbon siyahının takviye malzemesi olarak karşılaştırılması [60]

Kauçuk karışımlarında Kevlar® EE kullanımı ile aşağıdaki sonuçların elde edildiği görülmüştür [60];

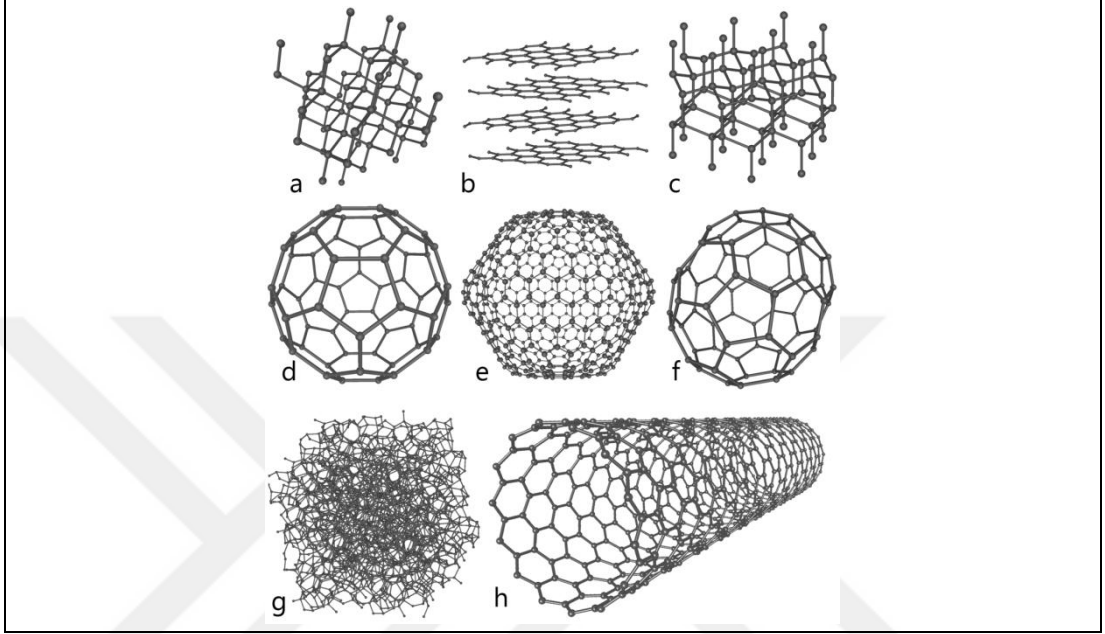
- Mühendislik uygulamaları için karışım büyük ölçüde takviye edilmektedir.
- Takviye gücü, karbon siyahı ve silika gibi diğer takviye malzemelerinden çok daha etkilidir.
- Geleneksel proses teknikleri ile karışıma büyük ölçüde anizotropi kazandırılabilmektedir.
- Katkı miktarı ile histerezis özellikleri etkilenmemektedir.
- Gerilim-gerinim ve akustik emisyon verilerine göre, kauçuk ile elyaf arasında % 40 gerinime kadar etkileşim bulunmaktadır.
- Yırtılma direnci büyük ölçüde iyileşmektedir.
- Takviye gücü daha çok, düşük gerinim-sabit gerilim durumlarında yüksektir.

5.2. Karbon Elyaf

5.2.1. Karbon elementinin özellikleri

Karbon, atom numarası 6, mol kütlesi 12,011 g/mol ve yoğunluğu 2,27 g/cm³ olan elementtir. Yer kabuğunda kütlece yaklaşık % 0,09 oranında bulunur. Yedi izotopa sahiptir; ¹²C (%98,89), ¹³C (%1,108) ve diğer beş izotop ¹⁰C, ¹¹C, ¹⁴C, ¹⁵C, ¹⁶C (% 0,002). Elmas ve grafitte serbest halde bulunur. Kararlı yapısı 1 atm ve 25 °C'de

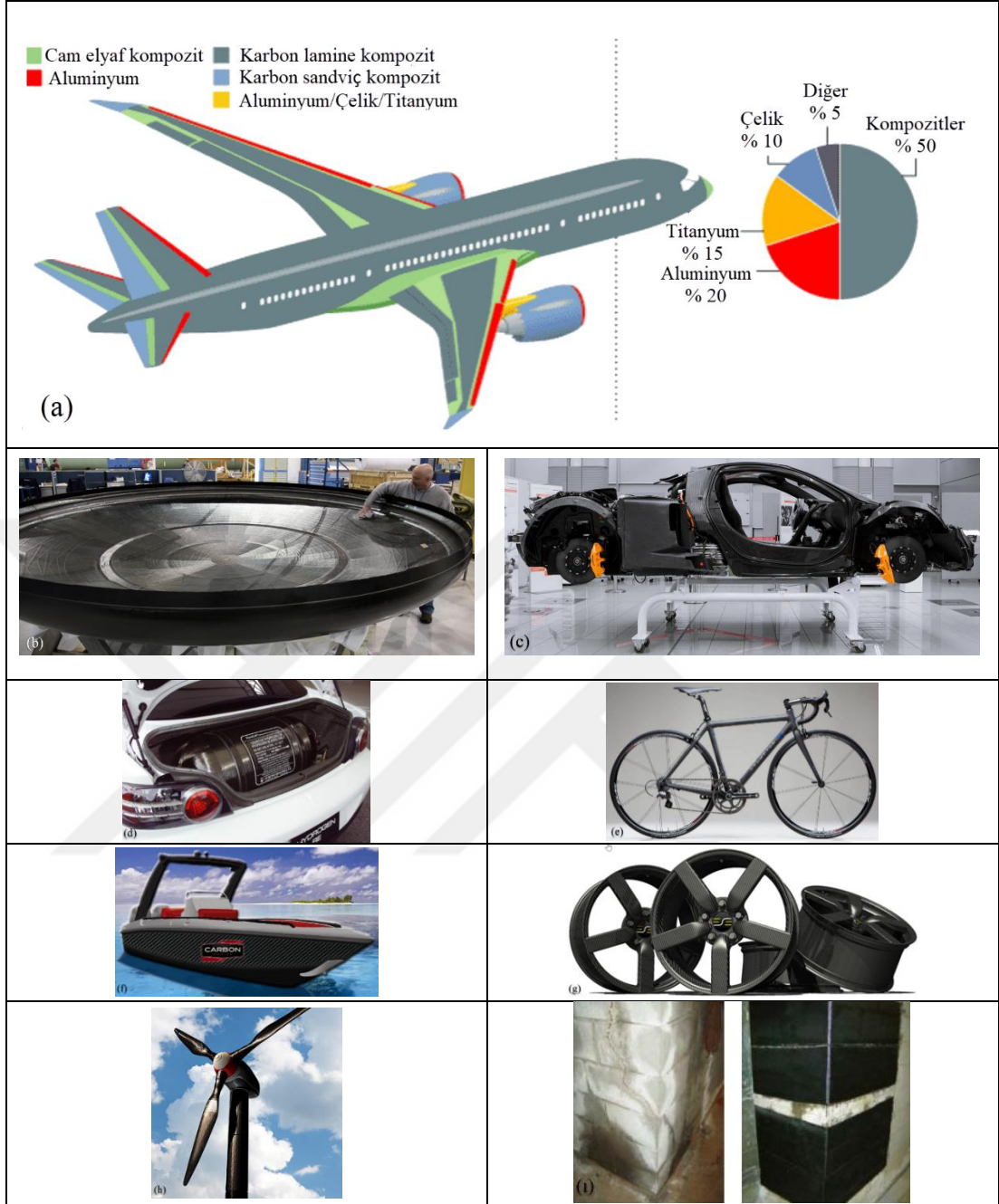
grafittir. Karbon 5-6 üyeli kararlı halka bileşikler ve çok sayıda karbon atomu içeren uzun zincirler oluşturma yeteneğine sahiptir. Karbonun bu özelliği yeryüzünde bulunan milyonlarca organik bileşiğin (C, H, O, N, halojenler gibi elementlerden oluşan) varlığını açıklar. Şekil 5.7’de karbonun allotropları gösterilmiştir [68].



Şekil 5.7. Karbonun allotropları; (a) Elmas (kovalent bir yapıya sahip ve çok sert bir malzeme), (b) Grafit (altıgen karbon tabakalardan oluşur), (c) Lonsdaleite (altıgen elmas yapıda çok sert bir malzeme) (d, e, f) Fullerene (bütünüyle karbon atomları tarafından oluşmuş, içi boş küre, elipsoid ve tüp şeklinde yapılar; (d) C60 Buckminsterfullerene, (e) C540 Fullerite, (f) C70), (g) Amorf karbon, (h) SWCNT (tek çeperli karbon nanotüp) [68]

5.2.2. Karbon elyafın özellikleri

Yaklaşık 7 μm çapındaki binlerce lifin bir araya gelmesinden oluşan karbon elyaf, çeliğe göre yaklaşık 3 kat daha dayanıklı ve 5 kat daha hafif bir hammaddedir (Tablo 5.1) [59, 69-74]. Karbon elyaf, ağırlıklı olarak; uzay ve havacılık sektöründe, kara ve deniz taşımacılığında, endüstriyel malzemelerde, bina ve alt yapı güçlendirmelerinde, rüzgar santrallerinde, spor malzemelerinde, uçak ve roket sistemlerinde, kişisel koruyucu ekipmanlarda, basınçlı kaplarda yoğun olarak tercih edilmektedir (Şekil 5.8) [74-83].



Şekil 5.8. Karbon elyaf kullanım alanlarına örnekler; (a) Boeing 787 Dreamliner uçağında karbon elyaf kullanımı [75], (b) Dragon uzay kapsülünün ısı kalkanında karbon elyaf kullanımı [76], (c) McLaren firması tarafından üretilen aracın karbon elyaf monokok (İng. monocoque) şasisi [77], (d) Mazda RX-8 aracında kullanılan karbon elyaf takviyeli hidrojen tankı [78], (e) Crumpton (USA) firması tarafından üretilen karbon elyaf iskeletli bisiklet [79], (f) dünyada ilk kez %100 karbon elyaf ile üretilen Paragon Super Sport 28 tekne [80], (g) ESE firması tarafından çelik ve alüminyum jantlara alternatif olarak üretilen karbon elyaf jantlar [81], (h) SITA Composites s.r.l firması tarafından üretilen karbon elyaf rüzgar enerjisi türbin kanatları [82], (i) yapıların sismik, balistik korunmasında, hasarlı bölgelerin onarımında ve su geçirmezlik sağlanmasında karbon elyaf kullanımı [83]

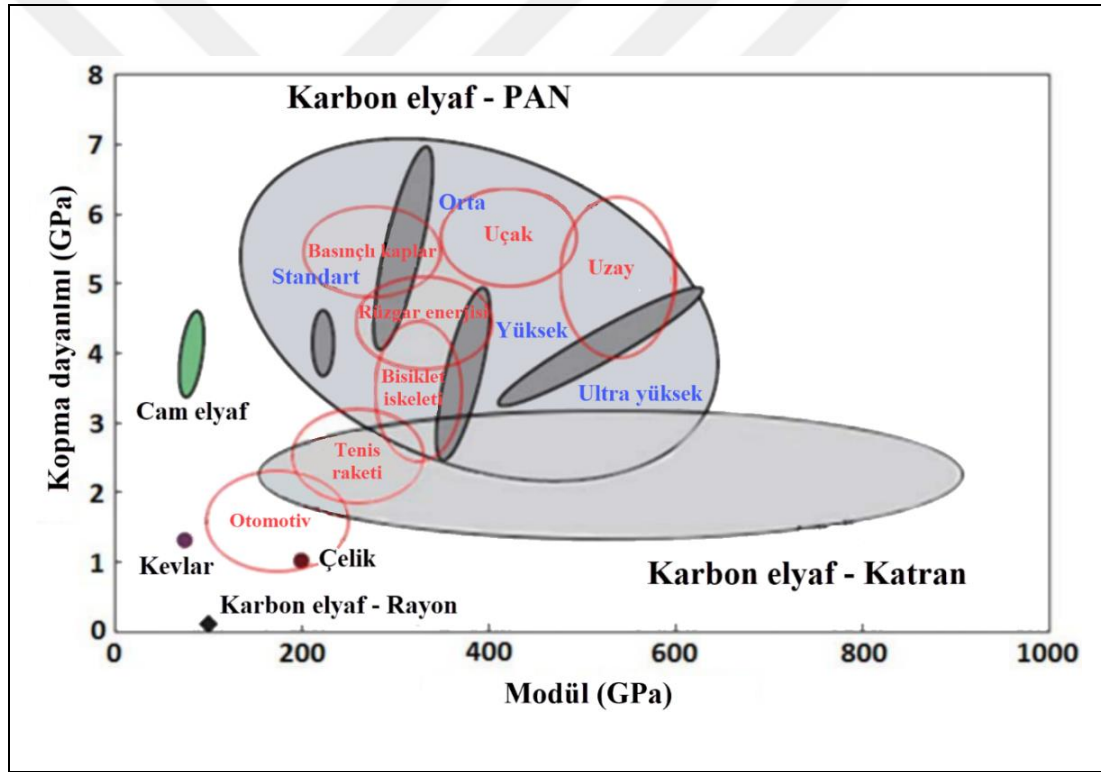
Karbon elyaf üretiminde üç öncül madde (İng. precursor) kullanılır, bunlar Rayon, PAN (poliakrilonitril), ve zifttir (petrol katranı zifti ve kömür katranı zifti). Bunlardan kullanımı en yaygın olan PAN (poliakrilonitril) esaslı karbon elyaflardır. Şekil 5.9 farklı karbon elyafların kopma dayanımı-modül diyagramını kullanım yerleri ile birlikte göstermektedir [84]. PAN ve katran esaslı (İng. pitch based) karbon elyafların bazı özellikleri Tablo 5.2 ve 5.3'te verilmiştir [73].

PAN esaslı bir karbon elyafın grafen tabakalarının dalgalı kurdela benzeri kristalitleri Şekil 5.10a'da verilmiştir [73]. Bu kristalitler az veya çok eksene paralel şekilde yerleşmiştir. Her bir kristalit çoklu tabakadan oluşmaktadır. Her tabaka grafen olarak isimlendirilen hegzagonal yapıda düzenlenmiş karbon atomlarından meydana gelmektedir. Tabaka içindeki kuvvetli C-C kovalent bağları yüksek dayanım ve sertlik verirken tabakalar arasındaki zayıf van der Waals bağları ısı ve elektrik iletiminin artmasına neden olur [73]. PAN esaslı karbon elyafın elementel mikro dokusal birimi (EMU; İng. Elemental Microtextural Unit) birçok temel mikroyapısal birimden oluşur (BMU; İng. Basic Microstructural Unit). Model yapılar Şekil 5.10b ve 5.10c'de gösterilmiştir [85].

PAN ve katran esaslı karbon elyaf üretim süreçleri Şekil 5.11'de gösterilmiştir [73]. Öncül madde elde edildikten sonra, üretimin ilk aşaması olan germe ve ısı uygulanmasıyla (200-300 °C), oksijen atmosferinde moleküllerin daha da yönlendirilmesi ve çapraz bağlanması işlemidir. Böylece moleküller sonraki yüksek sıcaklık proliz işlemlerinde bozulmaya uğramayacak kararlı hale getirilirler (İng. stabilization). Bir sonraki aşama standart ve orta modül elyaf eldesi için 1000 ile 2000 °C arasında inert atmosferde (genellikle saf N₂) piroliz işlemidir. Bu karbonlaştırma (İng. carbonization) işlemi ile karbon içeriği % 95'e çıkarılır. Yüksek modül elyaf eldesi için karbonlaştırma sonrasında 2000-3000 °C'de inert atmosferde (Ar veya N₂) grafitleştirme (İng. graphitization) işlemi gerçekleştirilir ve karbon içeriği % 99'un üzerine çıkarılır. Son aşama, yüzeyi temizlenmesi ve fonksiyonel grupların yüzeye bağlanmasıdır. Bu işlem (İng. sizing) elyafın matris reçineleri ile kuvvetli bağ oluşturmasını sağlar [72, 73].

Stratejik bir ürün olan karbon elyafa talep (global bazda) Şekil 5.12’de verilmiştir. Şekilde verilen yüzde değerler yıldan yıla değişimi göstermektedir [86].

Ülkemizde karbon elyaf üretimi PAN esaslı olarak 2009 yılında AKSA Akrilik Kimya Sanayii A.Ş. tarafından Yalova tesislerinde yıllık 1500 ton kapasite ile başlamıştır. Aksaca markasıyla dünyaya sunulan ürün, Türk mühendisleri tarafından geliştirilmiştir. Firma, Dow Chemical Company ile 2012’de 50:50 ortaklığa giderek DowAksa adını almıştır. Ürünleri Tablo 5.4 ve 5.5’te verilmiştir [87]. Tablo 5.6, karbon elyaf ürünleri ve kullanım alanlarını göstermektedir [88-96]. DowAksa, 2019 yılı rakamları ile yıllık 3500 ton üretim yapmakta olup bu rakam dünya karbon elyaf üretiminin %3’ünü oluşturmaktadır.



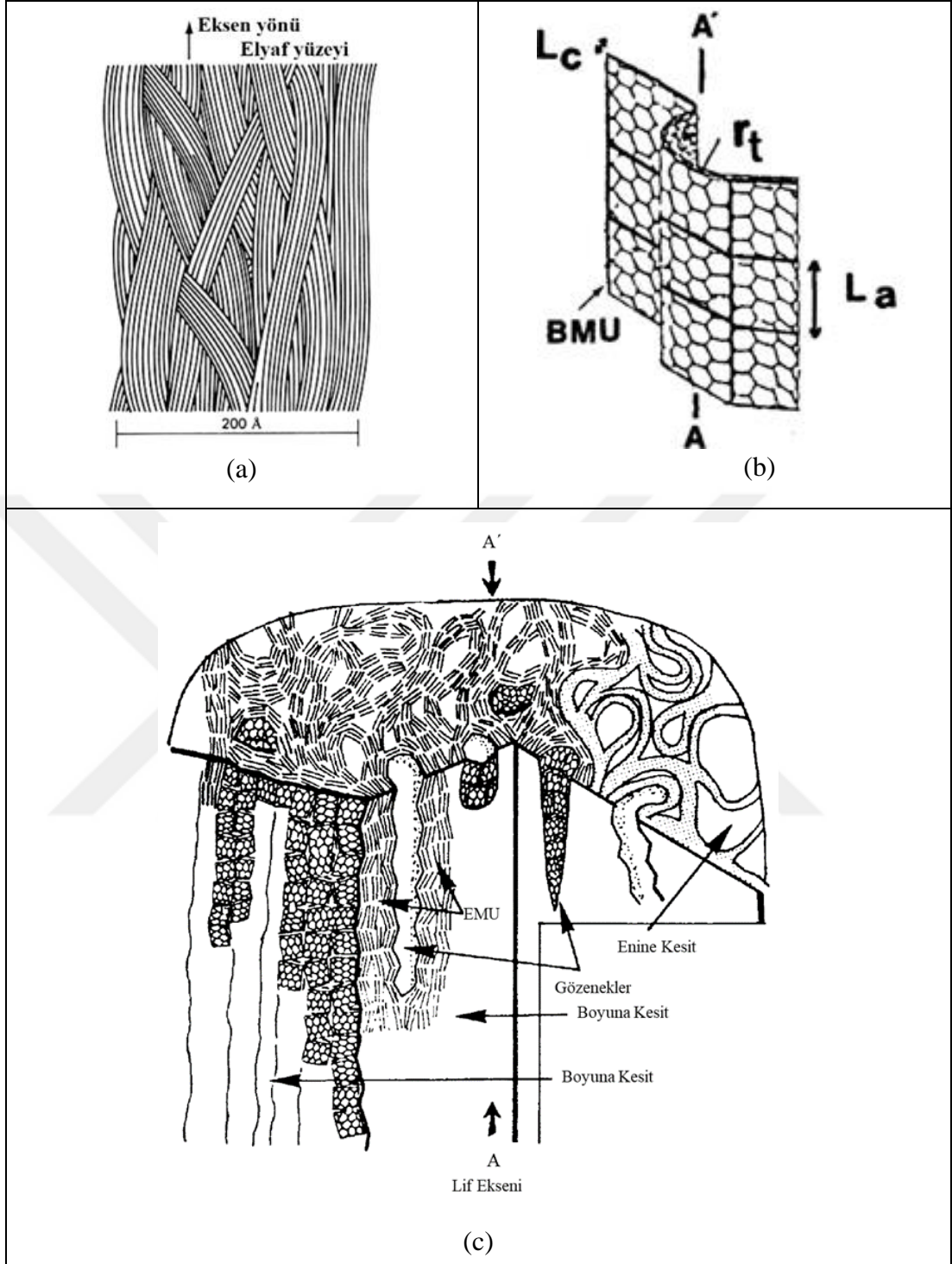
Şekil 5.9. Farklı elyafların kopma dayanımı-modül diyagramı [84]

Tablo 5.2. PAN esaslı karbon elyafların özellikleri [73]

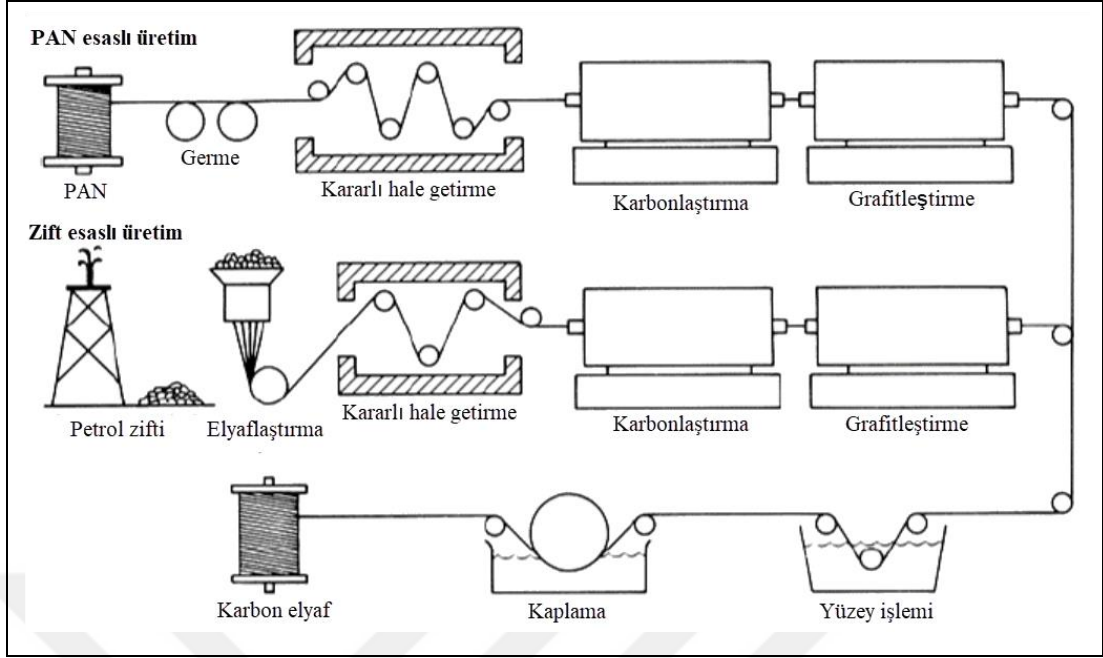
Özellik	Birim	Uzay-Uçak Endüstrisi			
		Ticari	Standart modül	Orta modül	Yüksek modül
Modül	GPa	228	220-241	290-297	345-448
Kopma dayanımı	MPa	380	3450-4830	3450-6200	3450-5520
Kopmada uzama	%	1,6	1,5-2,2	1,3-2,0	0,7-1,0
Elektriksel özdirenç	$\mu\Omega.cm$	1650	1650	1450	900
Isıl iletkenlik	W/m.K	20	20	20	50-80
Isıl genişleme katsayısı (eksen yönünde)	$10^{-6}.K$	-0,4	-0,4	-0,55	-0,75
Yoğunluk	g/cm^3	1,8	1,8	1,8	1,9
Karbon içeriği	%	95	95	95	99+
Lif çapı	μm	6-8	6-8	5-6	5-8
Önemli üreticiler		Zoltek, Fortafil, SGL	BP Amaco, Hexcel, Mitsubishi Rayon, Toho, Toray, Tenax, Soficar, Formosa		

Tablo 5.3. Katran esaslı karbon elyafların özellikleri [73]

Özellik	Birim	Düşük modül	Yüksek modül	Ultra yüksek modül
Modül	GPa	170-241	380-620	690-965
Kopma dayanımı	MPa	1380-3100	1900-2750	2410
Kopmada uzama	%	0,9	0,5	0,4-0,27
Elektriksel özdirenç	$\mu\Omega.cm$	1300	900	220-130
Isıl iletkenlik	W/m.K	-	-	400-1100
Isıl genişleme katsayısı (eksen yönünde)	$10^{-6}.K$	-	-0,9	-1,6
Yoğunluk	g/cm^3	1,9	2,0	2,2
Karbon içeriği	%	97+	99+	99+
Lif çapı	μm	11	11	10
Önemli üreticiler		BP Amaco, Mitsubishi Kasei	BP Amaco, Mitsubishi Kasei	BP Amaco



Şekil 5.10. (a) 400 GPa modüle sahip PAN esaslı bir karbon elyafın grafen tabakalarının dalgalı kurdela yapısı [73], (b) PAN esaslı karbon elyafın elementel mikrodokusal biriminin (EMU; İng. Elemental Microtextural Unit) modeli, EMU birçok temel mikroyapısal birimden oluşur (BMU; İng. Basic Microstrutal Unit), (c) PAN esaslı karbon elyafın mikroyapısal modeli [85]



Şekil 5.11. Karbon elyaf üretim süreci [73]



Şekil 5.12. Global karbon elyaf talebi (x1000 ton), yüzde değerler yıldan yıla değişimi göstermektedir [86]

Tablo 5.4. DowAksa tarafından üretilen sürekli karbon elyaf ürünler ve özellikleri [87]

Ürün kodu	Lif adedi*	Kopma dayanımı (MPa)	Modül (GPa)	Kopmada uzama (%)	Yoğunluk (g/cm ³)	Tex (g/1000m)
A-38	3K	3800	240	1,6	1,78	200
	6K					400
A-42	12K	4200	240	1,8	1,78	800
	24K					1600
A-45	12K	4500	240	1,9	1,79	800
A-49D	12K	4900	250	2.0	1.79	800
	24K					1600
Test yöntemi		ISO 10618	ISO 10618	ISO 10618	ISO 10119	ISO 1889

* K = 1000

Tablo 5.5. DowAksa tarafından üretilen kırılmış karbon elyaf ürünler ve özellikleri [87]

Ürün kodu	Uygulamalar	Lif adedi*	Elyaf uzunluğu (mm)	Kütle yoğunluğu** (g/l)	Kaplama emülsiyonu (İng. Sizing emulsion)	Kaplama miktarı (%)
AC0101	Termoplastikler – ABS, LCP, PA, PC, PBT, PET, POM, PPO	24K	6 veya 12	600	Poliüretan esaslı	1,5 – 2,0
AC1101	Termosetler – Epoksi, Vinilester, Polyester, Doymamış Polyester, PC, PPS, Amid, SAN, ABS	24K	6 veya 12	450 / 400	Fenoksi esaslı	2,0 – 2,5
AC2101	Termoplastikler (yüksek sıcaklık) – PEEK, Amid, İmid	24K	6	500	Poliimid esaslı	0,5 – 1,0
AC3101	Termosetler – Epoksi, Vinilester, Polyester, Doymamış Polyester, PC, PPS, Amid, SAN, ABS	24K	6 veya 12	425	Fenoksi esaslı	1,0 -1,5
AC4101	Termoplastikler - PA ve PBT için özel	24K	6 veya 12	575	Poliamid esaslı	1,5 – 2,0
AC4102	Termoplastikler - PA ve PBT için özel	24K	6	575	Poliamid esaslı	1,5 – 2,0
AC4103	Termoplastikler - PA ve PBT için özel	24K	6	500	Poliamid esaslı	1,5 – 3,0

(*) K =1000, (**) 6 mm uzunluğundaki elyaf için verilmiştir

Tablo 5.6. Karbon elyaf ürünleri ve kullanım alanları [88-96]

Ürün	Görünüm	Kullanım alanları
Lif (İng. Filament); bükümlü, bükümsüz ve bükümlü-bükümsüz; çok sayıda sayısız liften oluşan bir iplik [89]		CFRP, CFRTP veya C/C kompozitler için reçine takviye malzemesi*. Uçak/havacılık sanayi, spor eşyaları ve endüstriyel parçalar
Kesik iplik (İng. Staple yarn); kesik liflerden eğirilen iplik [90]		Isı yalıtım malzemesi, Sürtünme önleyici malzeme, C/C kompozit parçalar
Dokunmuş kumaş (İng. Woven fabric); Lif ya da kesik iplikten dokunan kumaş [91]		CFRP, CFRTP veya C/C kompozitler için reçine takviye malzemesi*. Uçak/havacılık sanayi, spor eşyaları ve endüstriyel parçalar
Örgü (İng. Braid); Lif ya da tovdan yapılan iplik örgüsü [92]		Tüp şeklindeki ürünlerin desteklenmesinde kullanılan reçine takviye malzemesi

Tablo 5.6. (Devam) Karbon elyaf ürünleri ve kullanım alanları [88-96]

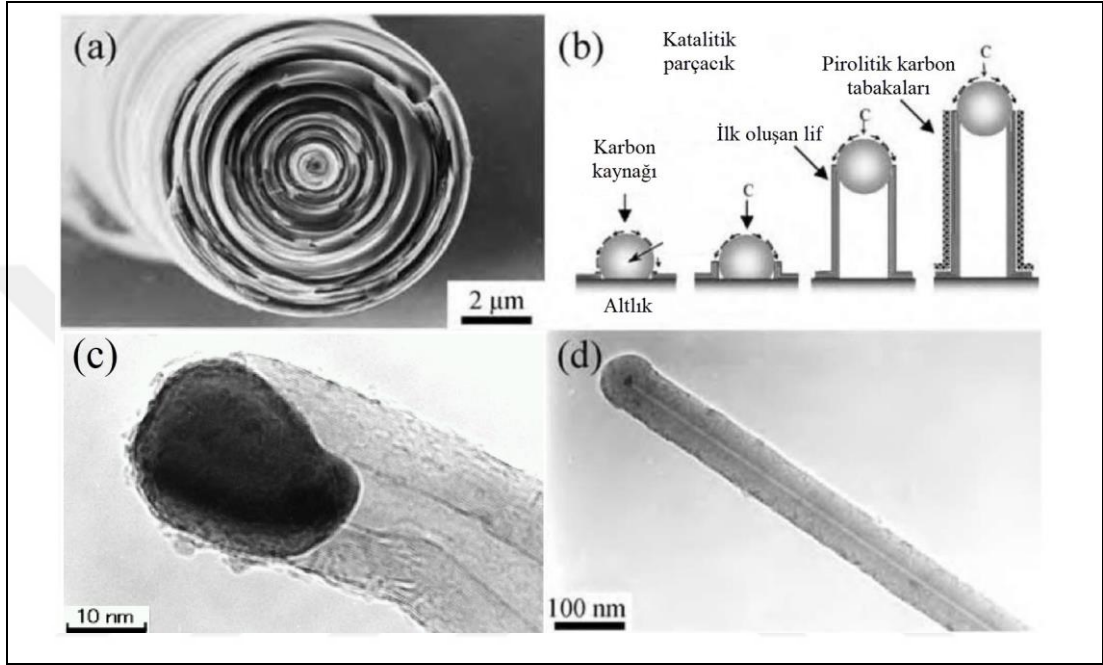
Ürün	Görünüm	Kullanım alanları
Kırılmış elyaf (İng. Chopped fiber); Kaplanmış ya da kaplanmamış kırık elyaf [93]		PA, PPA, PC, PPS, PP, PEEK, epoksi, beton ve lastik karışımına katılarak; ilgili malzemenin mekanik performansını, aşınma özelliklerini, elektriksel iletkenliğini ve ısı direncini iyileştirir **. Elyaf uzunluğu: 0,3 - 120 mm
Öğütülmüş (İng. Milled); elyafın değirmende öğütülmesiyle üretilen toz [93]		Termoplastik, termoset ürünlerde ve katmanlı üretimde (İng. additive manufacturing); malzemenin mekanik performansını, aşınma özelliklerini, elektriksel iletkenliğini ve ısı direncini iyileştirmek için kullanılır. Elyaf uzunluğu: 80 - 300 µm
Keçe halı (İng. Felt, Mat); Kesik ipliğin taraklanması ve organik bağlayıcılarla kuvvetlendirilmesi ile üretilir [94]		Isı yalıtım malzemesi, korozyona dayanıklı süzgeç taban malzemesi
Kağıt (İng. Paper); ıslak ya da kuru kağıt üretim yöntemiyle kesik iplikten yapılmış kağıt [95]		Anti-elektrostatik tabakalar, elektrodlar, hoparlör konu ve ısıtma plakası. Kalınlığı 90 µm - 3,1 mm arasında
Ön reçinelenmiş kompozit (İng. Prepreg); karbon elyaftan oluşan yarı sertleştirilmiş tabaka şeklinde ara ürün [96]		Uçak/havacılık sanayi, spor eşyaları ve hafiflik ve üstün performans gerektiren endüstriyel parçalar

(*) CFRP: karbon elyaf takviyeli plastik, CFRTP: karbon elyaf takviyeli termo plastik, C/C: karbon/karbon, (**) PA: poliamid, PPA: polifitalamid, PC: polikarbonat, PPS: polifenilen sülfid, PP: polipropilen, PEEK: polieter eter keton

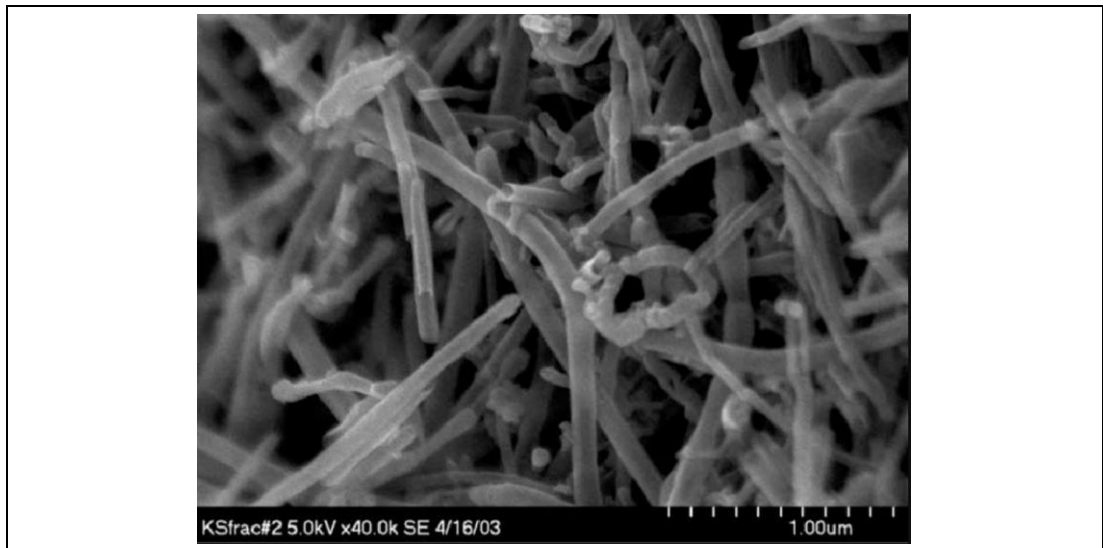
5.2.3. Buhar fazından elde edilen karbon nano elyaf (VGCNF)

Buhar fazından elde edilen karbon nano elyaf (VGCNF, Vapor Grown Carbon Nano Fiber), PAN ve katran esaslı karbon elyaflardan farklı bir yöntemle üretilir. Karbon elyaf (5-10 µm çap) 1960'lerde geliştirilmiş olmasına karşın, VGCNF 1980'lerde geliştirilmiştir [97]. Dairesel halkalardan oluşan özel bir yapısı vardır (Şekil 5.13a) [98]. VGCNF diğerleri gibi lifli bir öncül maddeden üretilmez. En yaygın üretim şekli hidrokarbon gazından olup, Şekil 5.13b'de gösterilen katalitik büyüme prosesi ile olmaktadır [98]. Seramik bir altlık üzerinde bulunan ve çapı 10 nm'nin altında olan ultra ince geçiş metal parçacıkları (Fe gibi), hidrojen gazı ile seyreltilmiş benzen gibi bir hidrokarbona 1100 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda maruz bırakılır. Katalitik parçacık üzerinde hidrokarbonun bozunması sonucu, parçacık sürekli karbon olarak tüp şeklinde büyür. Bu büyüme modelinin kanıtı, üretilen VGCNF'lerin uç kısımlarındaki

katalitik parçacıklardır (Şekil 5.13c) [98]. Çapı birkaç nanometreden küçük olan içi boş birincil lif katalitik prosesle oluşur ve kimyasal buhar biriktirme (CVD, Chemical Vapor Deposition) prosesi ile büyür (Fig. 5.13d) [98]. Şekil 5.14'te VGCNF SEM görüntüsü verilmiştir [99]. Yüksek performans ticari elyafların özellikleri Tablo 5.7'de karşılaştırılmıştır [97].



Şekil 5.13. (a) VGCNF'nin SEM görüntüsü, (b) VGCNF'nin ultra ince katalitik metal parçacıklar kullanılarak üretimi, (c) elyaf üretiminde katalitik parçacığın aktif olduğu ve boyuna büyümeyi sağladığı ilk aşama, (d) ilk oluşan lifler üzerinde karbon tabakalarının pirolitik birikmesi ile lifin kalınlaşması [98]



Şekil 5.14. VGCNF'nin SEM görüntüsü [99]

Tablo 5.7. Yüksek performans ticari elyafların özellikleri^(*) [97]

Özellik	SWNT	DWNT	MWNT	VGCNF	CF	Aramid
Kopma dayanımı (GPa)		23 - 63		3 - 20	4 - 7	3,6 - 4,1
Modül (GPa)	640	-	1060	50 - 775	150 - 950	130
Kopmada uzama (%)	5,8	28	-	-	0,5 - 2,5	2,8
Yoğunluk (g/cm ³)	1,3 - 1,5	1,5	1,8 - 2,0	1,9 - 2,1	1,7 - 2,2	1,44
Elektriksel iletkenlik (S/m)		~ 10 ⁶			5,5 x 10 ⁴ - 9 x 10 ⁵	< 10 ⁻¹³
Lif çapı (nm)	1	~ 5	~ 20	60 - 100	5000 - 10000	

*SWNT: tek duvarlı karbon nano tüp (İng. Single Walled Nano Tube), DWNT: çift duvarlı karbon nano tüp (İng. Double Walled Nano Tube), MWNT: çok duvarlı karbon nano tüp (İng. Multi Walled Nano Tube)

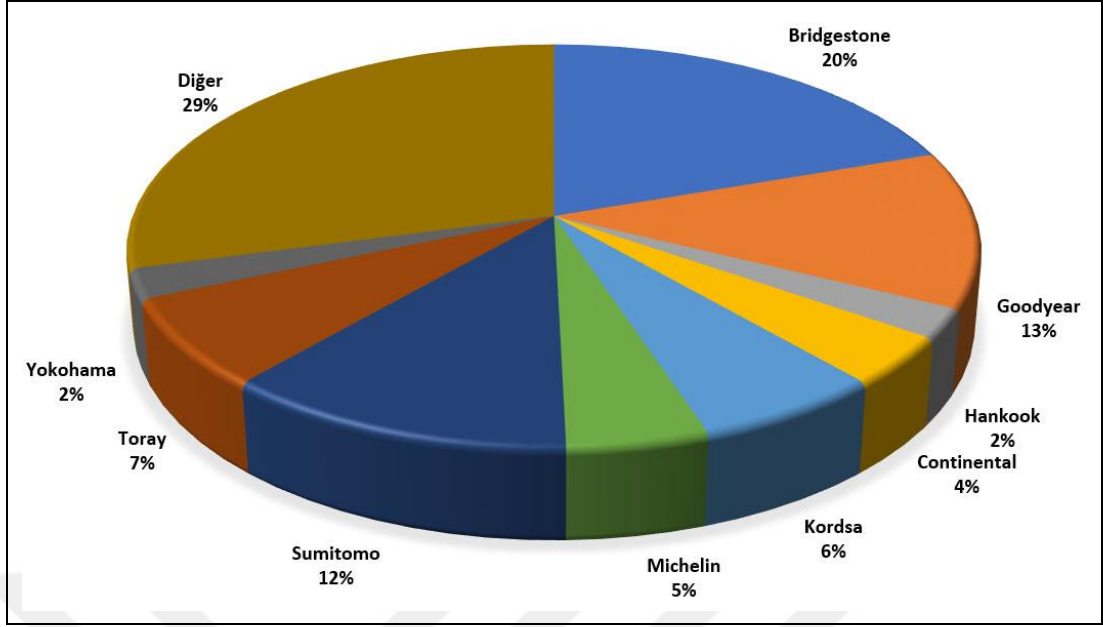
5.3. Aramid ve Karbon Elyafın Lastik Teknolojisindeki Kullanım Alanları

Aramid ve karbon elyafın lastik teknolojisindeki kullanım alanları, ilgili patentler ve ticari uygulamalar olmak üzere iki başlık altında incelenmiştir.

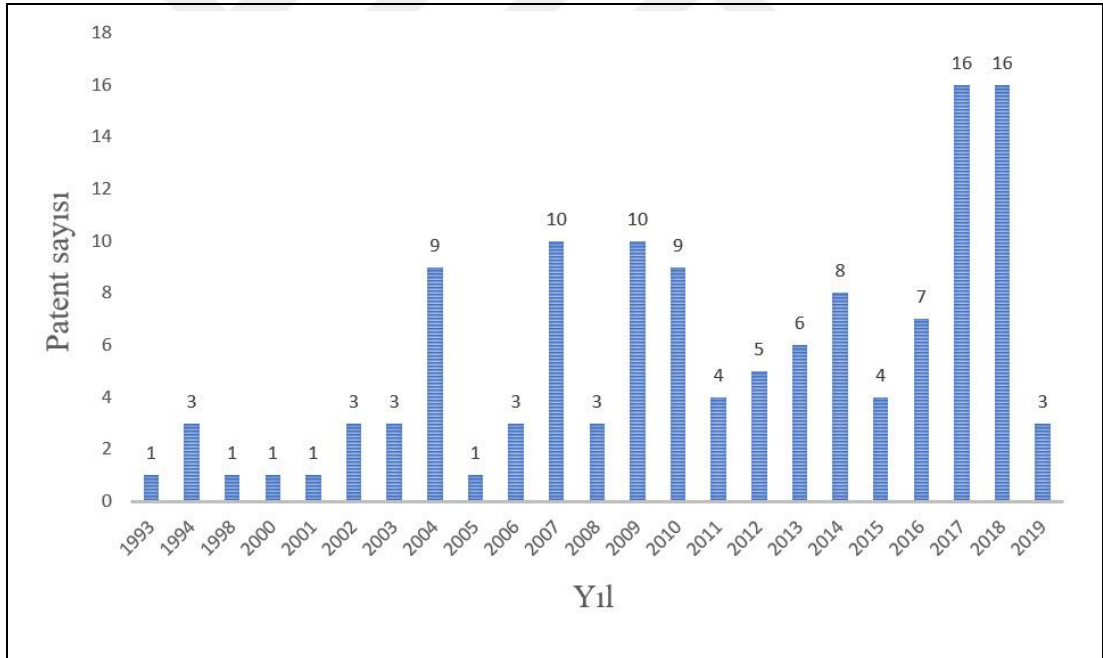
5.3.1. Patentler

Patent araştırması için <http://worldwide.espacenet.com> adresinden yapılan taramada aramid ve karbon elyafın lastik karışımlarında kullanımı ile ilgili 127 adet patent çalışması bulunmuştur. Patentler 1993 yılı ve sonrasına ait olmakla birlikte, %70'i son 10 yılda tescil edilmiştir. Araştırmada; "carbon fiber", "carbon fibre" ve "aramid" anahtar kelimeleri ile uluslararası patent sınıflandırma kodu (IPC, International Patent Classification) olarak B60C (Vehicle Tyres) ve C08 (Organic Macromolecular Compounds) kullanılmıştır. Aramid ve karbon elyafın lastikteki kullanımı ile ilgili patentlerin firmalara göre dağılımı Şekil 5.15'te, yıllara göre dağılımı da Şekil 5.16'da verilmiştir (Nisan 2019 tarihine kadar).

Patentler çoğunlukla araç lastiği üreticilerine (Bridgestone, Goodyear, Sumitomo, Michelin, Continental, Hankook, Yokohama) ve elyaf üreticilerine (Toray, Kordsa) aittir. Bridgestone Corporation'a ait 25 adet patent ağırlıklı olarak VGCNF'in lastiğin kat/kuşak kaplama karışımlarında, yanak ve topuk bölgesinde kullanımıyla ilgilidir [100-124].



Şekil 5.15. Aramid ve karbon elyafın lastikteki kullanımı ile ilgili patentlerin firmalara dağılımı (Nisan 2019 tarihine kadar alınmıştır)

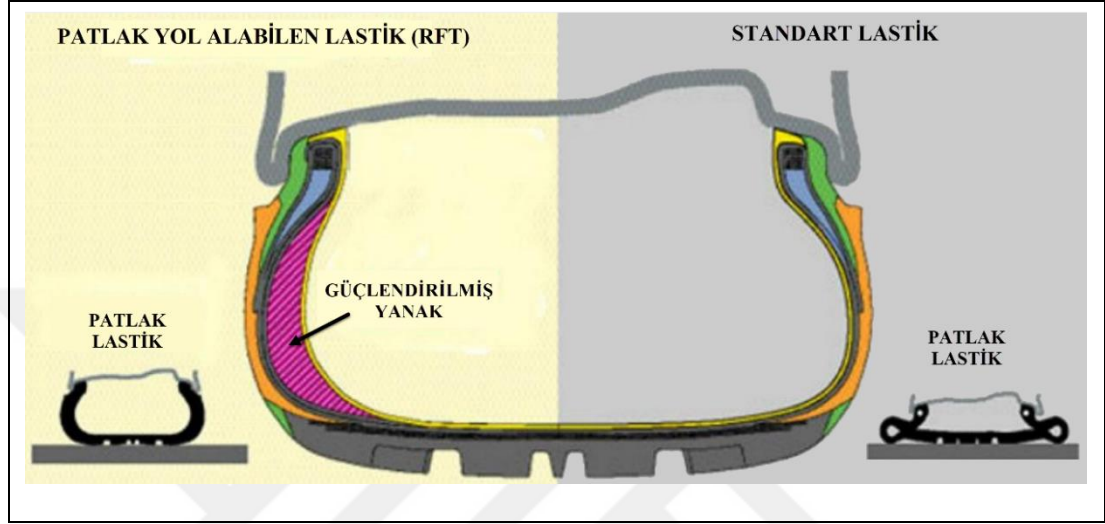


Şekil 5.16. Aramid ve karbon elyafın lastikteki kullanımı ile ilgili patentlerin yıllara göre dağılımı (Nisan 2019 tarihine kadar alınmıştır)

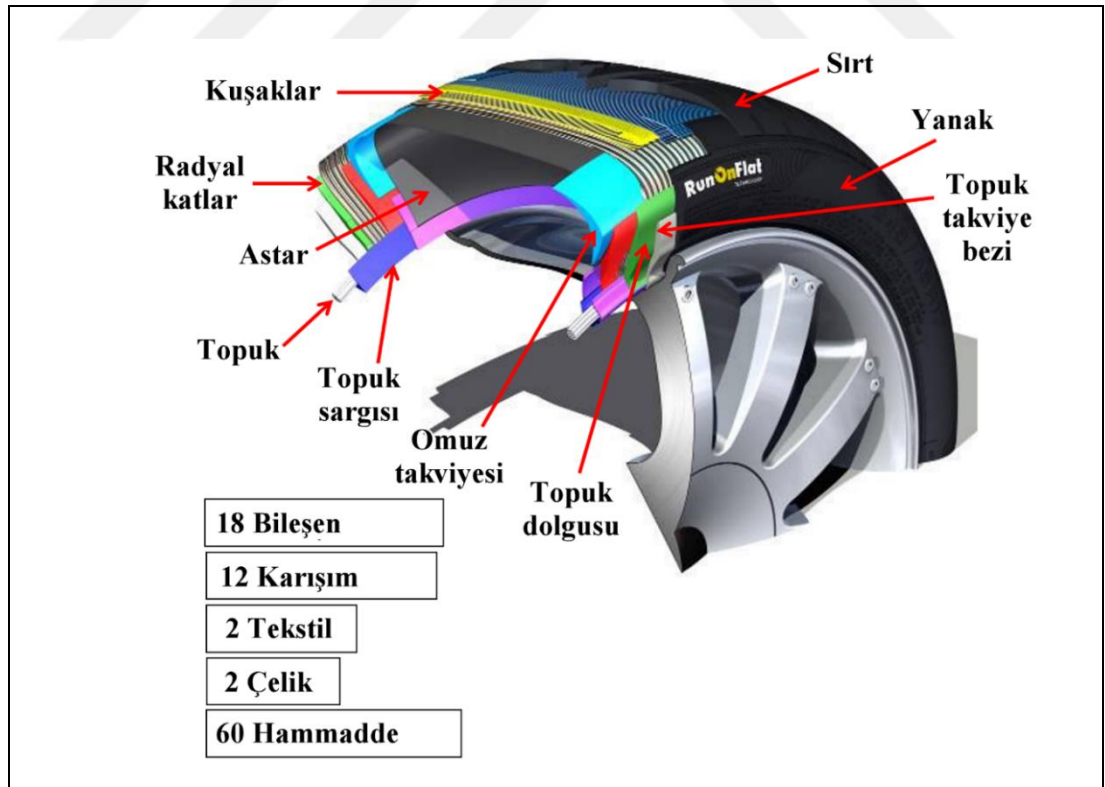
Bunlardan JP2004249888 (A) [107] ve JP2009184510 (A) [117] patlak yol alabilen lastiklerdeki kullanım ile ilgilidir (İng. Run on Flat Tire, RFT). Patlarsa dahi yol alabilecek şekilde tasarlanan RFT oldukça güçlendirilmiş yanak bölgesi sayesinde bir süre boyunca havasız da yol alabilme özelliğine sahiptir. Patlamış bir RFT, yol

şartlarına ve araç ağırlığına bağlı olarak 80 km/h hız ile 80 km'ye kadar yol alınabilmesine olanak tanımaktadır [125-129].

Patlak yol alabilen lastik ile standart bir lastiğin kesit görüntüleri Şekil 5.17'de verilmiştir [130]. Şekil 5.18 bir RFT'nin bileşenlerini göstermektedir [52].

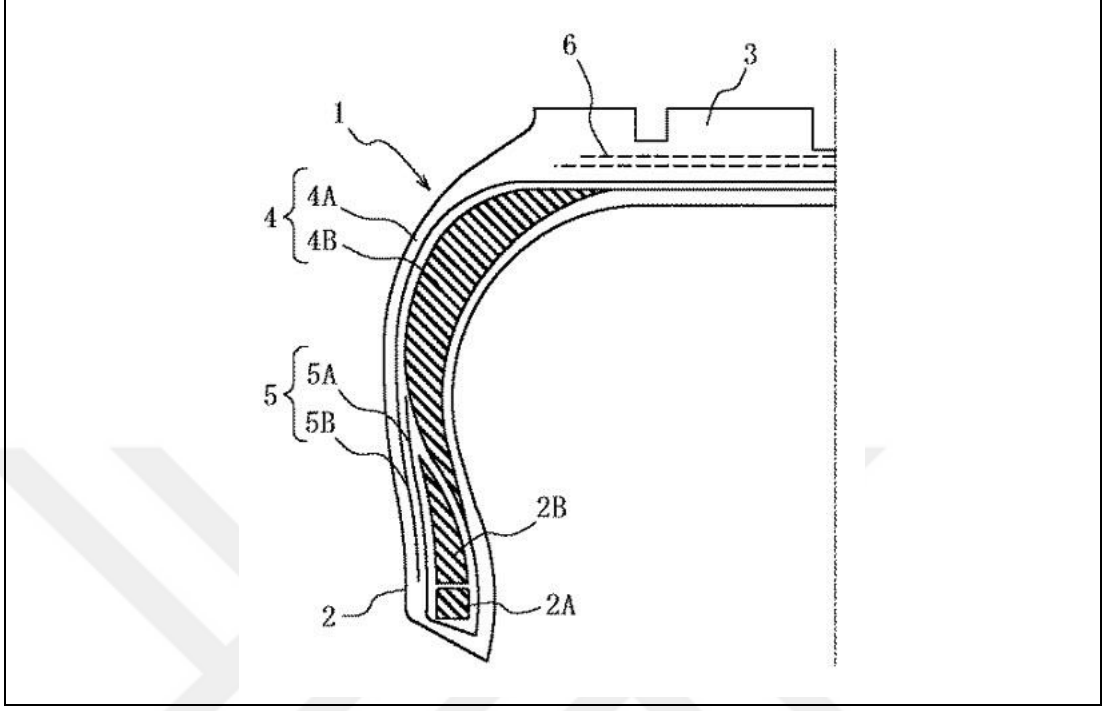


Şekil 5.17. Patlak yol alabilen lastik ile standart bir lastiğin kesit görüntüleri [130]

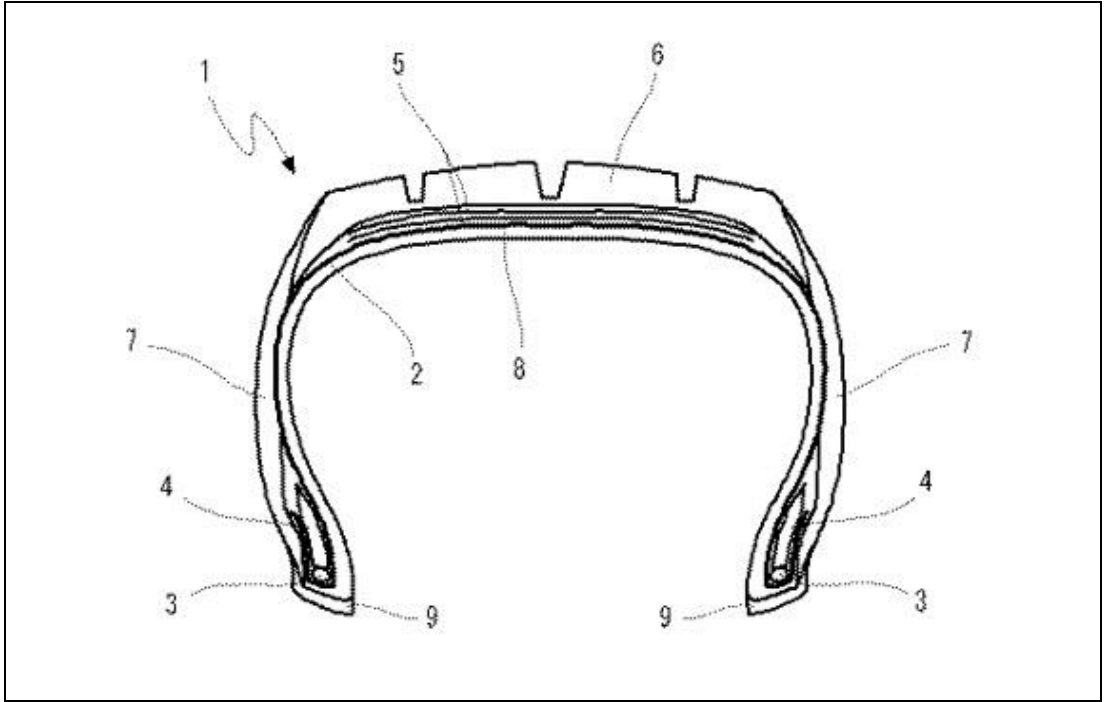


Şekil 5.18. Bir RFT'nin bileşenlerinin gösterimi [52]

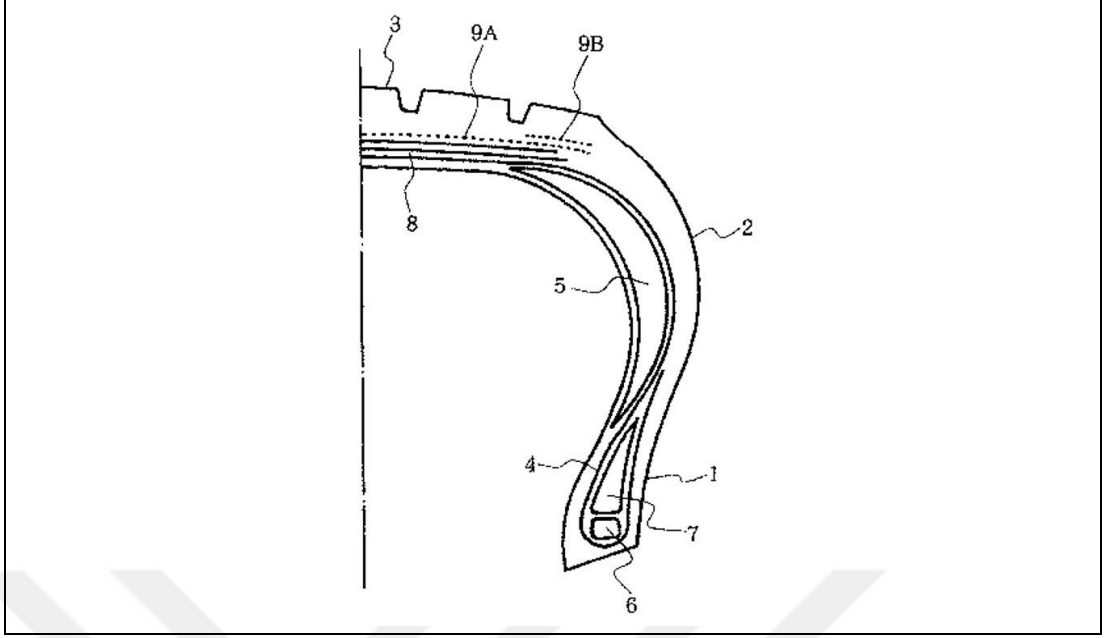
Şekil 5.19 – 5.23'te Bridgestone patentlerinden örnekler verilmiştir [107, 111, 117, 122, 123].



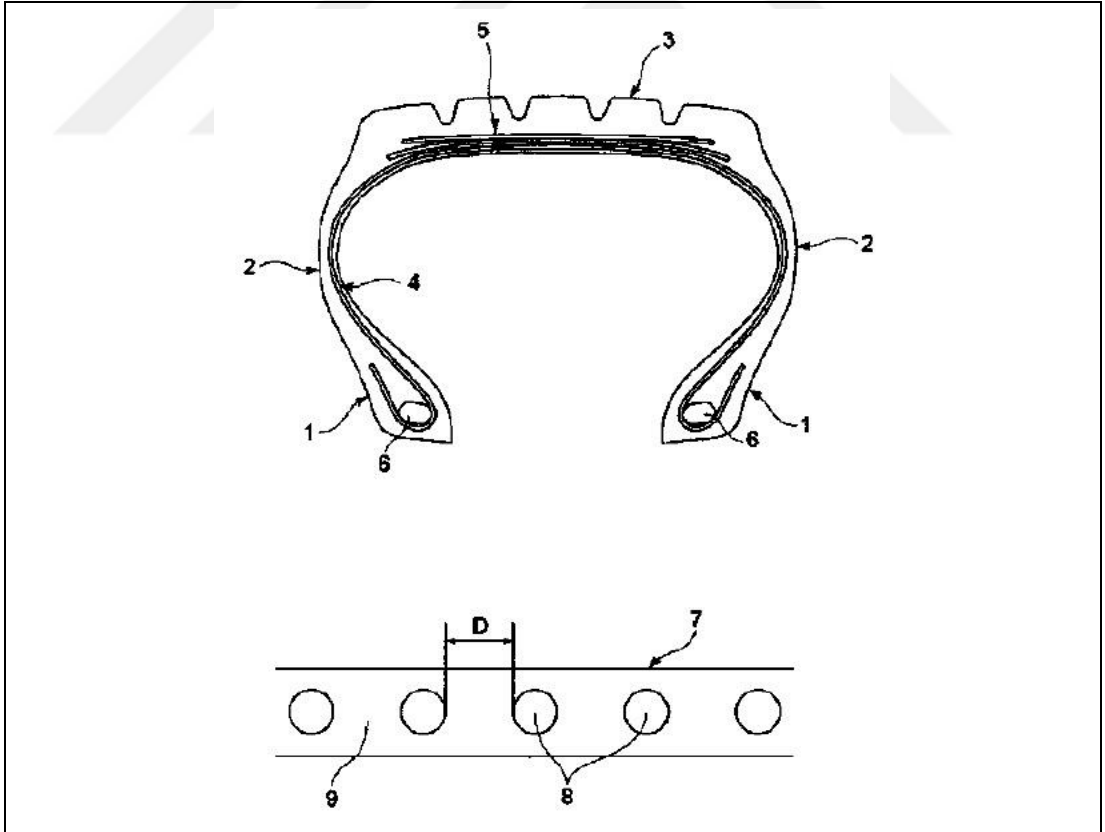
Şekil 5.19. Bridgestone JP2004249888A no'lu patentte, RFT'de VGCNF'nin yanak ve topuk bölgelerinde (şekilde 5 ve 2 no'lu bölgeler) kullanımı [107]



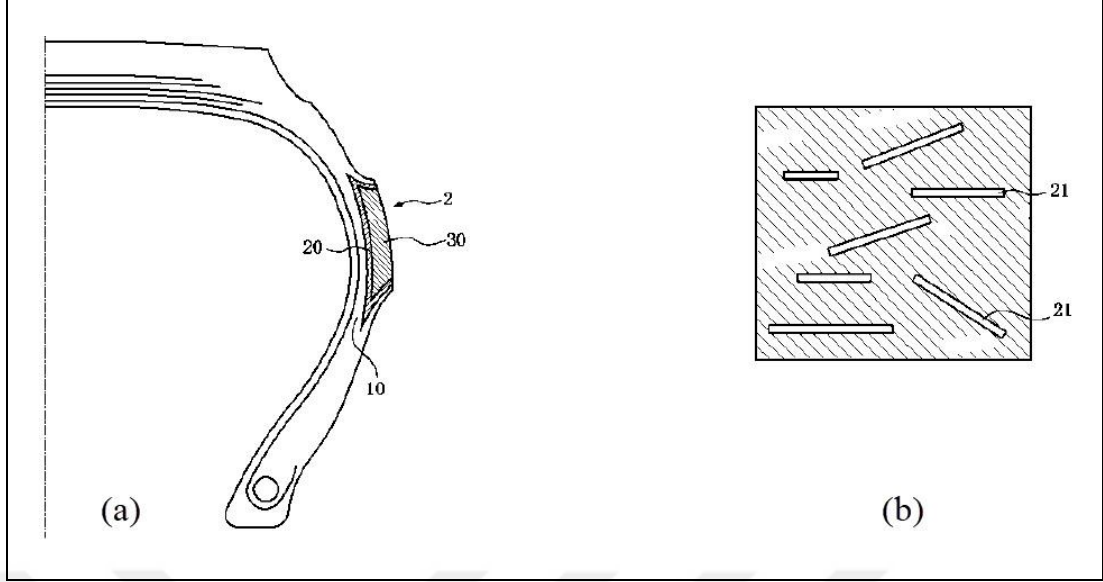
Şekil 5.20. Bridgestone JP2007211194A no'lu patentte, VGCNF'nin gövde katı kaplama karışımında (şekilde 2 no'lu bölge) mekanik özellikleri geliştirmek ve lastiğin dayanımını (İng. durability) arttırmak üzere kullanımı [111]



Şekil 5.21. Bridgestone JP2009184510A no'lu patentte, RFT'de katran tabanlı karbon elyafın kesik iplik (İng. staple yarn) şeklinde yanak bölgesinde (şekilde 5 no'lu bölge) ısı iletkenliği artırmak için kullanımı [117]



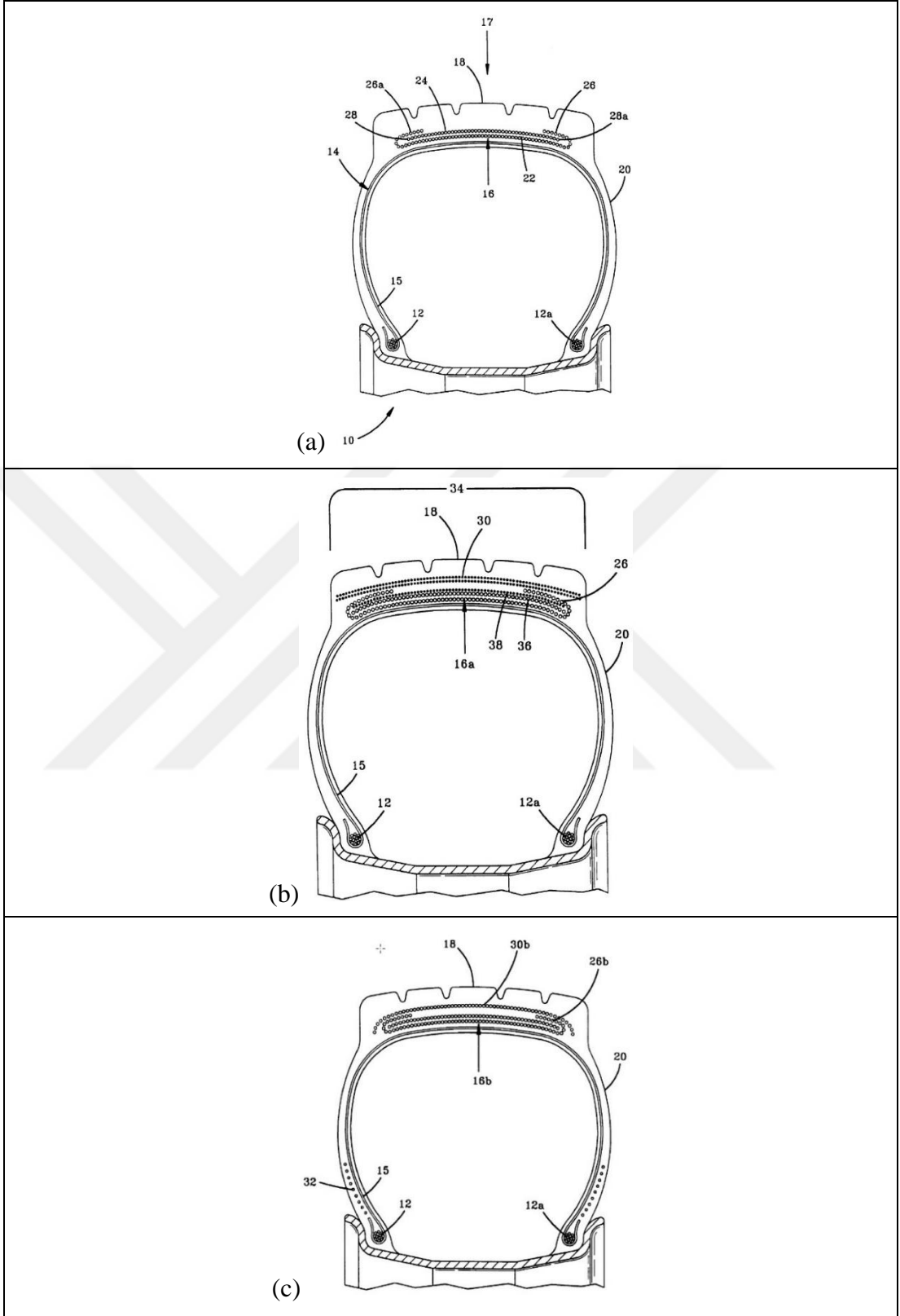
Şekil 5.22. Bridgestone JP2012172141A no'lu patentte VGCNF'nin lastiğin kuşak kaplama karışımında (şekilde 5 no'lu bölge) ısı birikimini azaltmak üzere kullanımı [122]



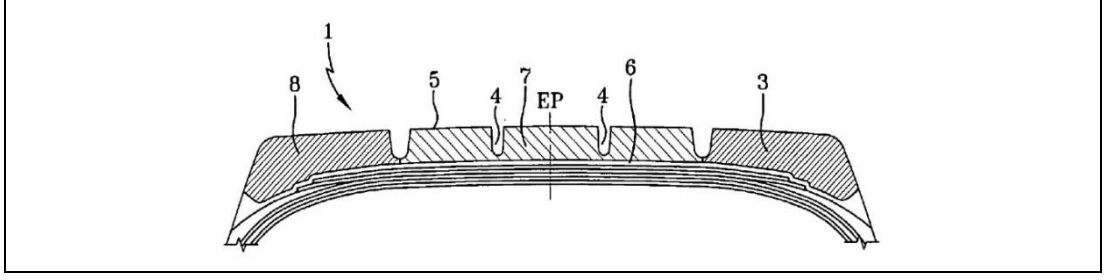
Şekil 5.23. Bridgestone JP2013095385A no'lu patentte VGCNF'nin lastiğin yanak bölgesinde çatlak direncini geliştirmek üzere kullanımı; (a) patentte 20 no'lu bölge VGCF'nin kullanıldığı ısıl bariyer bölgesidir, (b) VGCF karışım içerisinde 21 no ile gösterilmiştir [123]

Goodyear Tire & Rubber Company'ye ait 17 patentten 11 adedi karbon elyafın sürekli ve kısa elyaf olarak lastikte kullanımı ile ilgilidir [131-141]. Bu kullanım kuşak, sırt, yanak ve topuk bölgelerinde ağırlık kazanmaktadır. Şekil 5.24 – 5.28'de ilgili patentlerden örnekler verilmiştir [131, 132, 138-141].

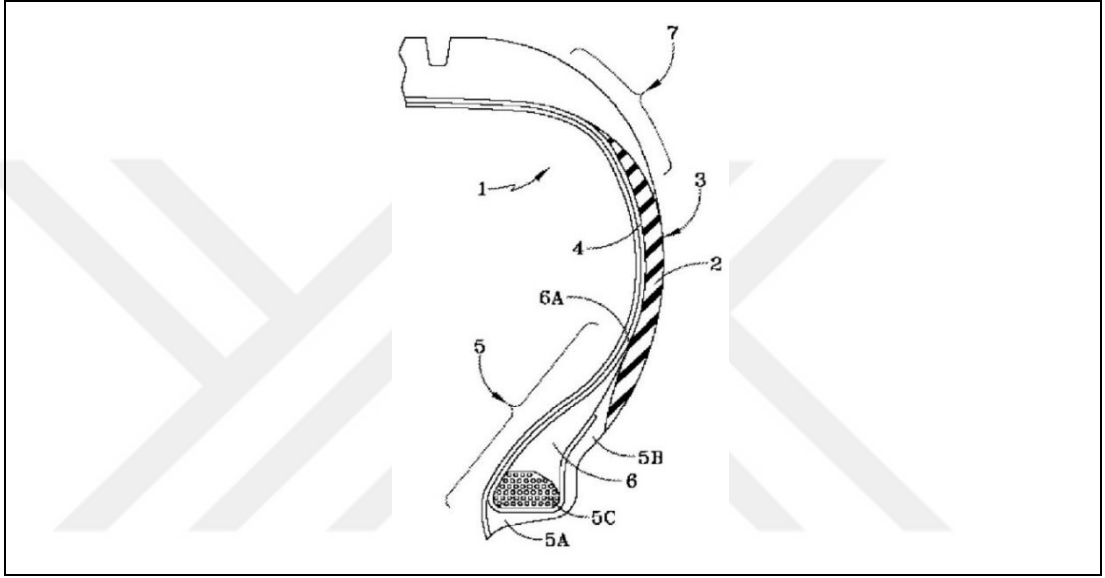
Aramid elyaf ile ilgili 5 patentte ise, sırt, yanak, topuk bölgesinde kullanım söz konusudur [142-146]. Şekil 5.29 ve 5.30'da bu patentlerden örnekler verilmiştir [144, 145].



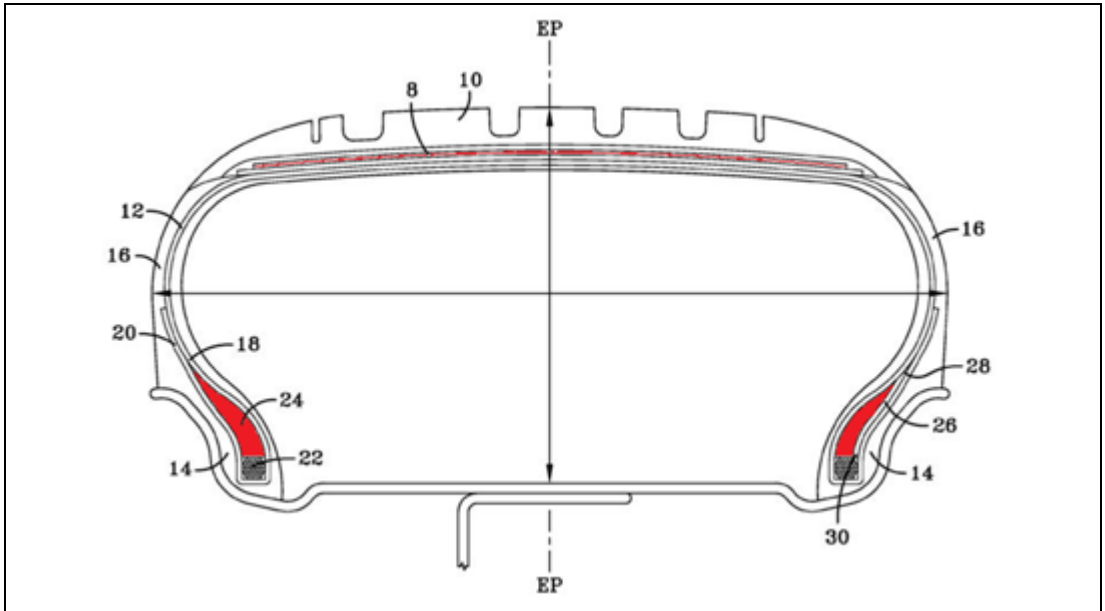
Şekil 5.24. Goodyear EP0604807A1 ve US5323829A no'lu patentlerde sürekli karbon elyafın kuşak ve topuk dolgusunda takviye malzemesi olarak kullanımı; (a) 22 no'lu bölge, (b) 36 ve 38 no'lu bölgeler, (c) 32 no'lu bölge [131, 132]



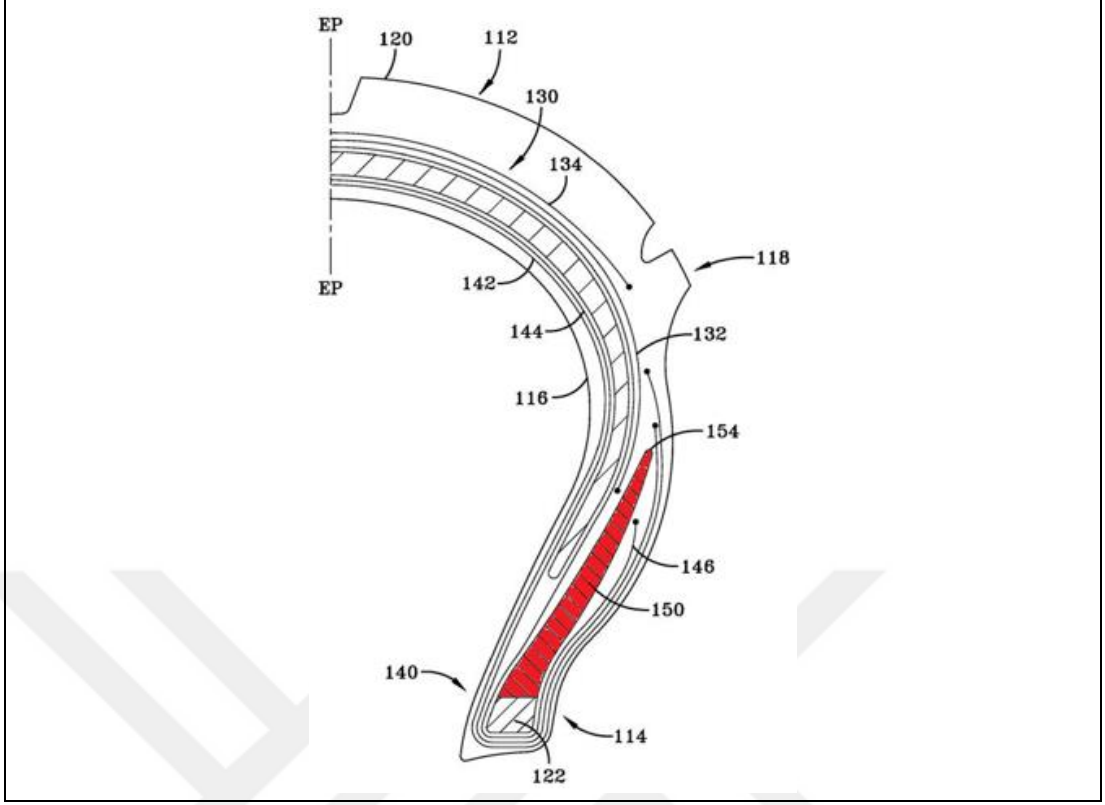
Şekil 5.25. Goodyear US2007221303A1 no'lu patentte kırılmış karbon elyafın sırt bölgesinde kullanımı (3 ve 8 no'lu bölgeler) [138]



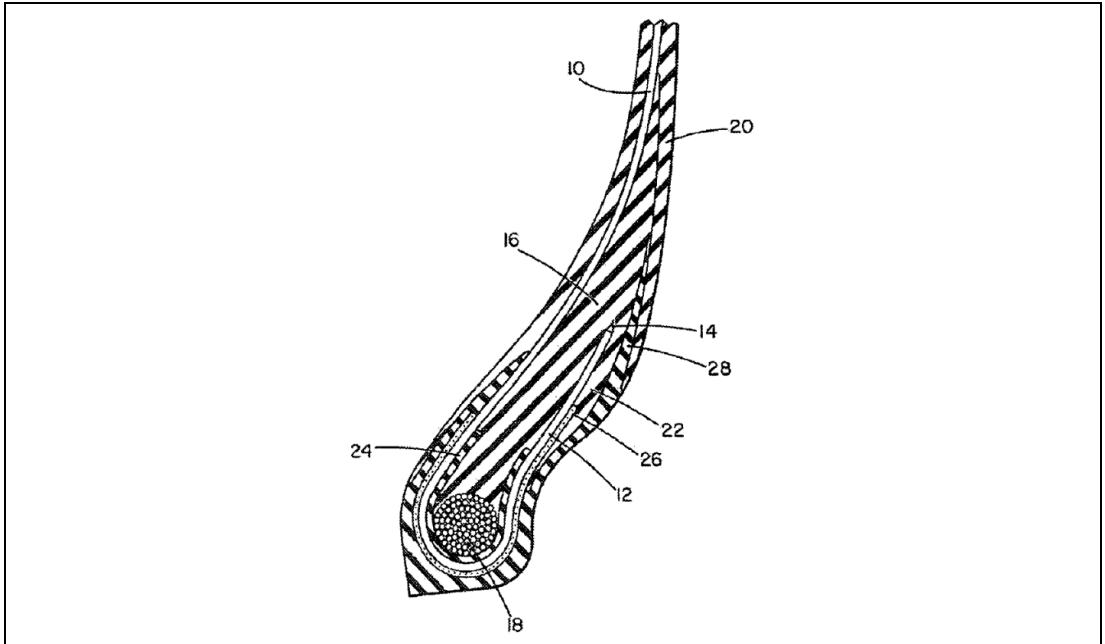
Şekil 5.26. Goodyear EP1923233A1 ve US2008115871A1 no'lu patentlerde kırılmış karbon elyafın yanak bölgesinde kullanımı (2 no'lu bölge) [139, 140]



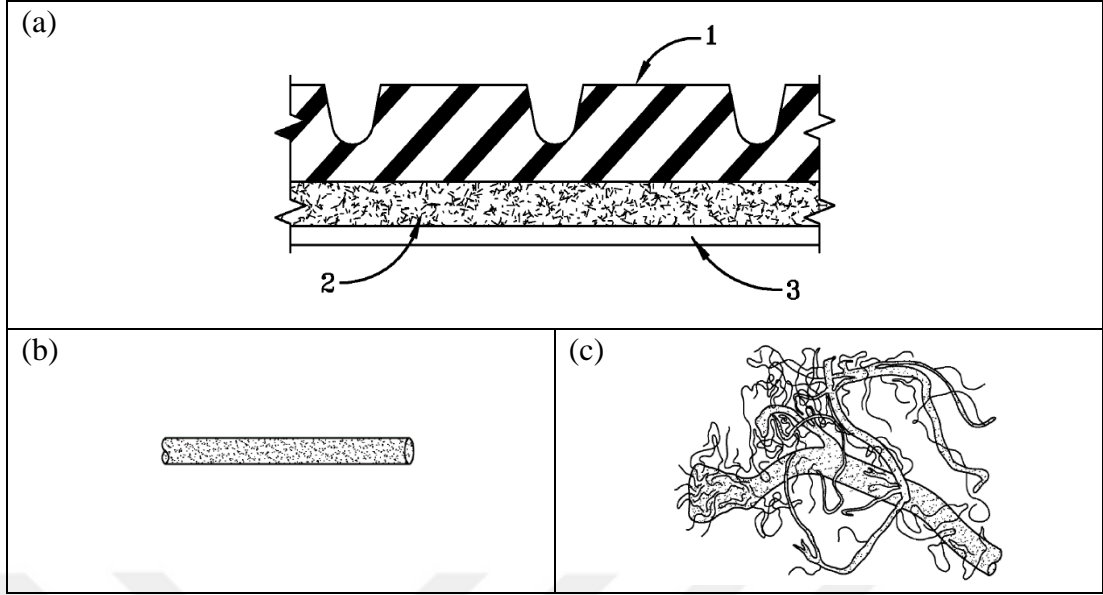
Şekil 5.27. Goodyear EP2159075A1 no'lu patentte kırılmış karbon elyafın topuk dolgusu ve kuşak kaplama bölgesinde kullanımı (24, 26 ve 8 no'lu bölgeler) [141]



Şekil 5.28. Goodyear EP2159075A1 no'lu patentte kırılmış karbon elyafın topuk dolgusu-yanak (EMT insert) bölgesinde kullanımı (150 no'lu bölge) EMT: Extended Mobility Technology (Run on Flat Tire) [141]

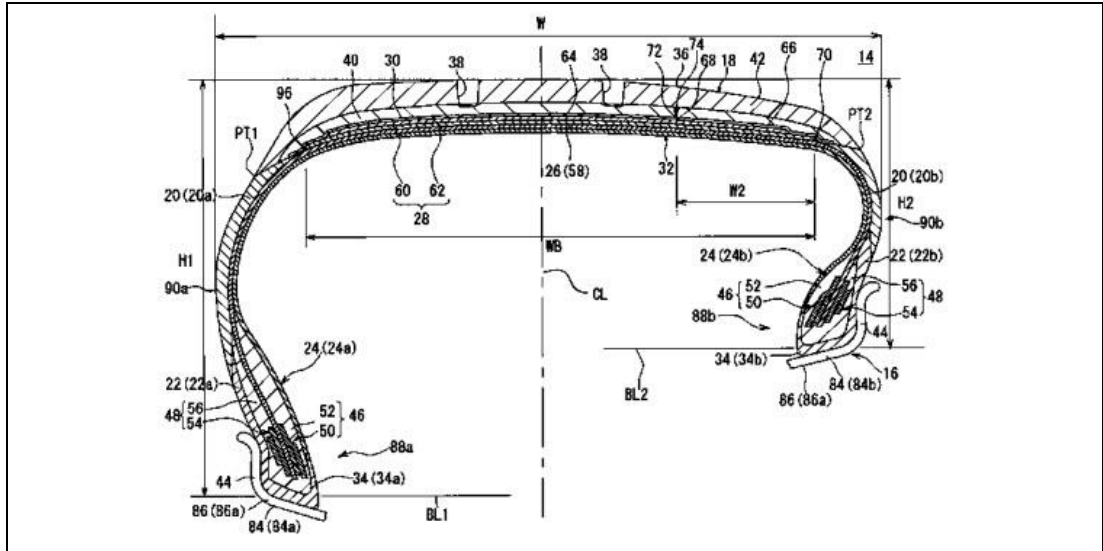


Şekil 5.29. Goodyear EP2072283B1 no'lu patentte aramid elyafın (Sulfron 3000) topuk bölgesinde kullanımı; topuk dolgusunda (İng. apex), topuk demeti ve topuk dolgusu etrafında (İng. flipper), kat ve topuk takviye bezi (İng. chafer) arasında (İng. chipper) kullanımı (sırasıyla 16, 24, 26 no'lu bölgeler) [144]



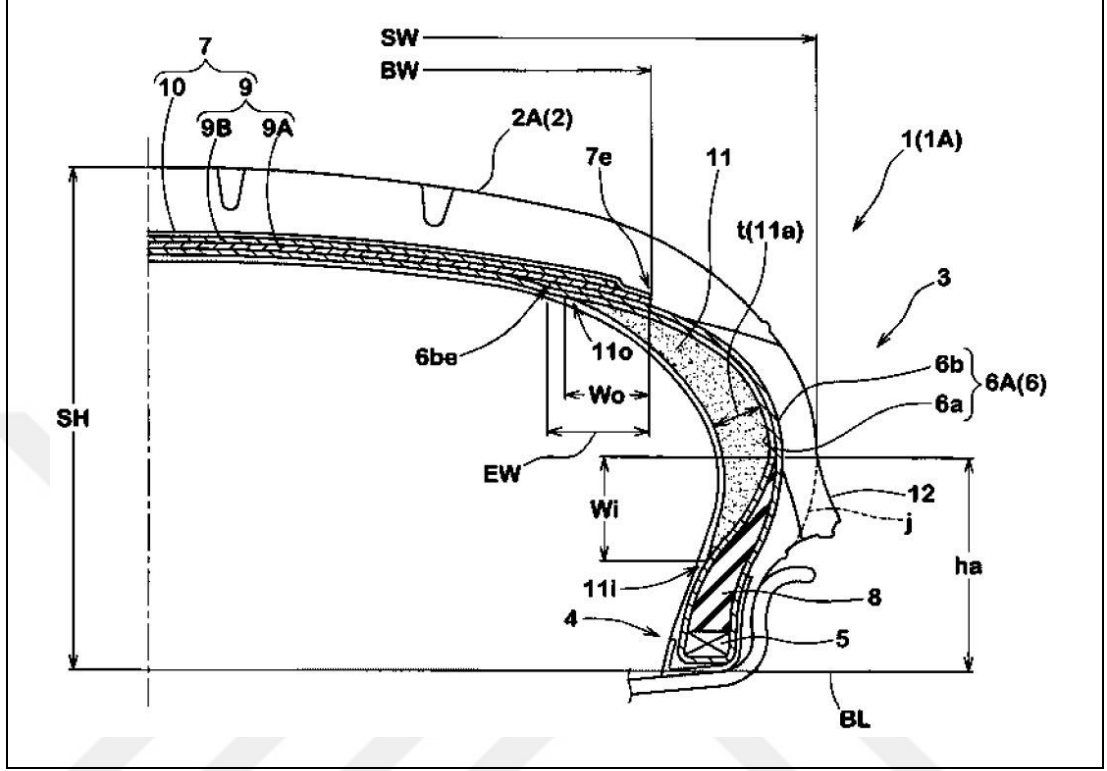
Şekil 5.30. (a) Goodyear US8439095B2 no'lu patentte kırılmış aramid elyafın dış sırt (İng. cap) ve iç sırt (İng. base) arasında, (1 ve 3 no'lu bölgeler) yerleştirilen geçiş bölgesinde (2 no'lu bölge) kullanımı, (b) düz aramid elyaf, (c) dallanmış (İng. fibrillated) aramid elyaf [145]

Sumitomo Rubber Industries, Ltd.'e ait 15 patentten 9 adedi karbon elyafın sürekli ve kısa elyaf olarak lastikte kullanımı ile ilgilidir [147-155]. Bu kullanım, topuk dolgusunda, jant bölgesinde destek karışımında, iç ve dış sırtta, yanakta ve ikinci gövde kat malzemesi olarak; RFT'de kat/darbe katı kaplama karışımında ve yanakta görülmektedir. Şekil 5.31'de ilgili patentlerden bir örnek verilmiştir.

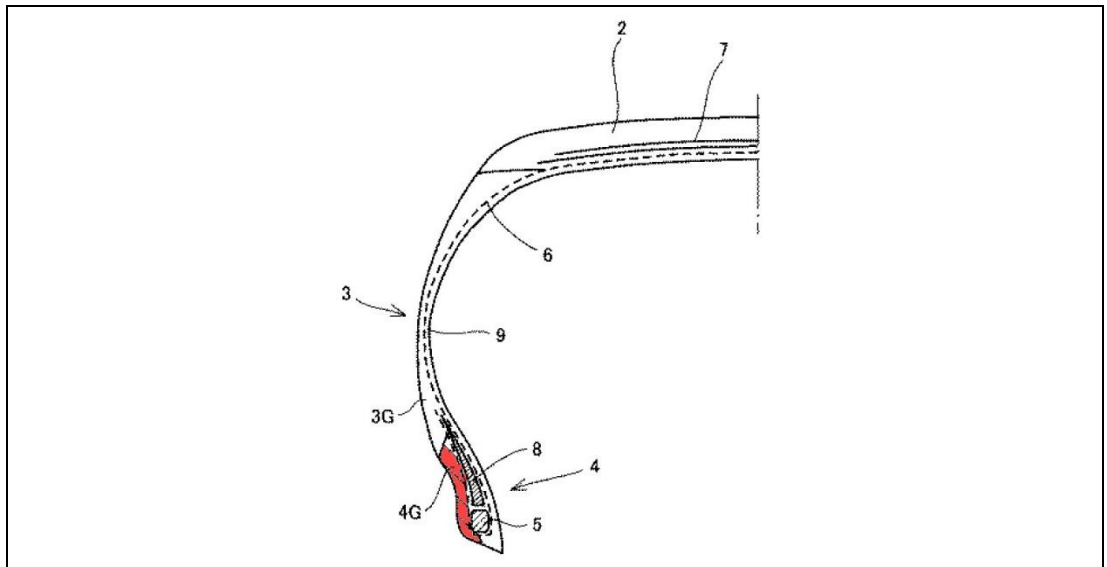


Şekil 5.31. Sumitomo JP2016222165A no'lu patentte karbon elyafın sürekli takviye malzemesi olarak ikinci katta (İng. second body) kullanımı (66 no'lu bölge) [154]

Aramid elyaf, 6 patentin 5'inde RFT gövde katında sürekli elyaf olarak kullanılmaktadır [156-161]. Diğer bir patentte ise jant bölgesinde destek karışımında kullanılmaktadır. Şekil 5.32 ve 5.33'te bu patentlerden örnekler verilmiştir.



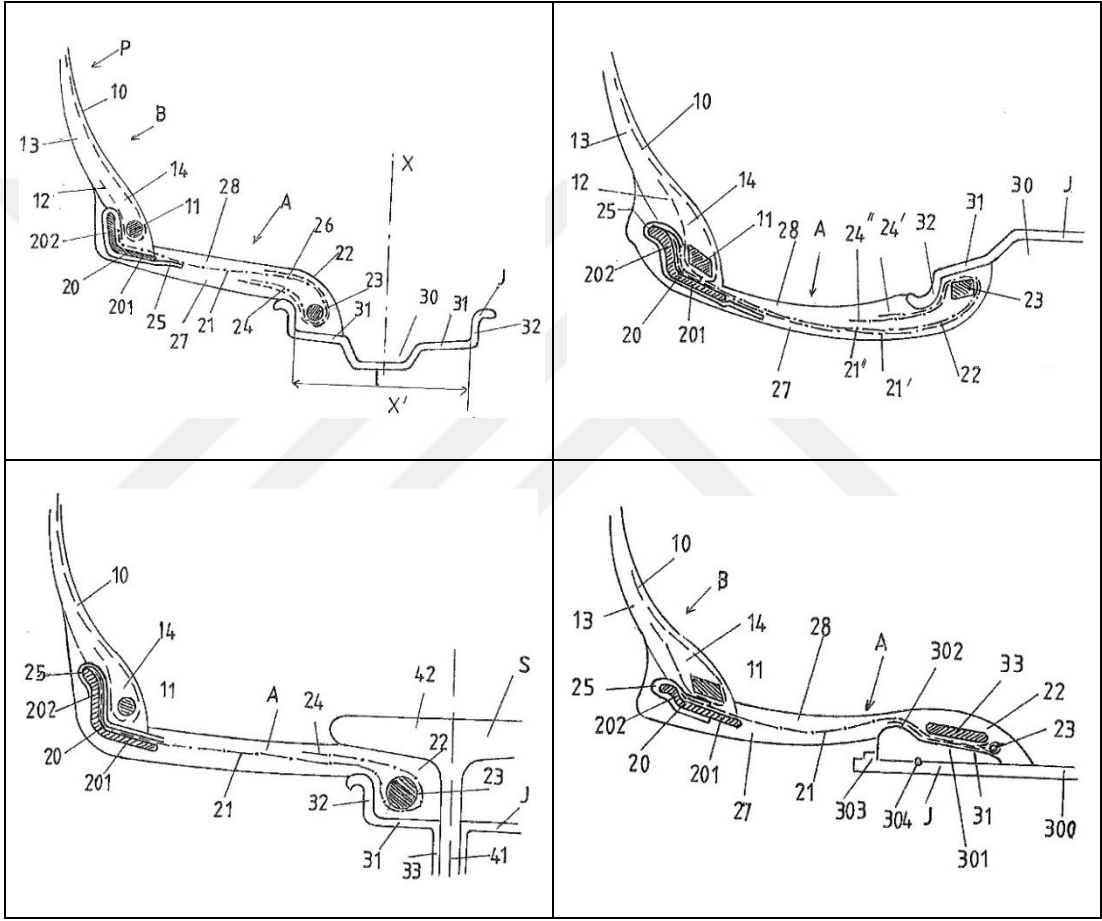
Şekil 5.32. Sumitomo JP5091652B2, JP2009119976A, JP2009132234A, EP2072289B1 ve JP5204577B2 no'lu patentlerde, RFT'de aramid elyafın sürekli takviye malzemesi olarak gövde katında, sürüş kararlılığını ve lastik dayanımını artırmak amacıyla, kullanımı (6a ve 6b no'lu bölgeler) [156, 157, 159-161]



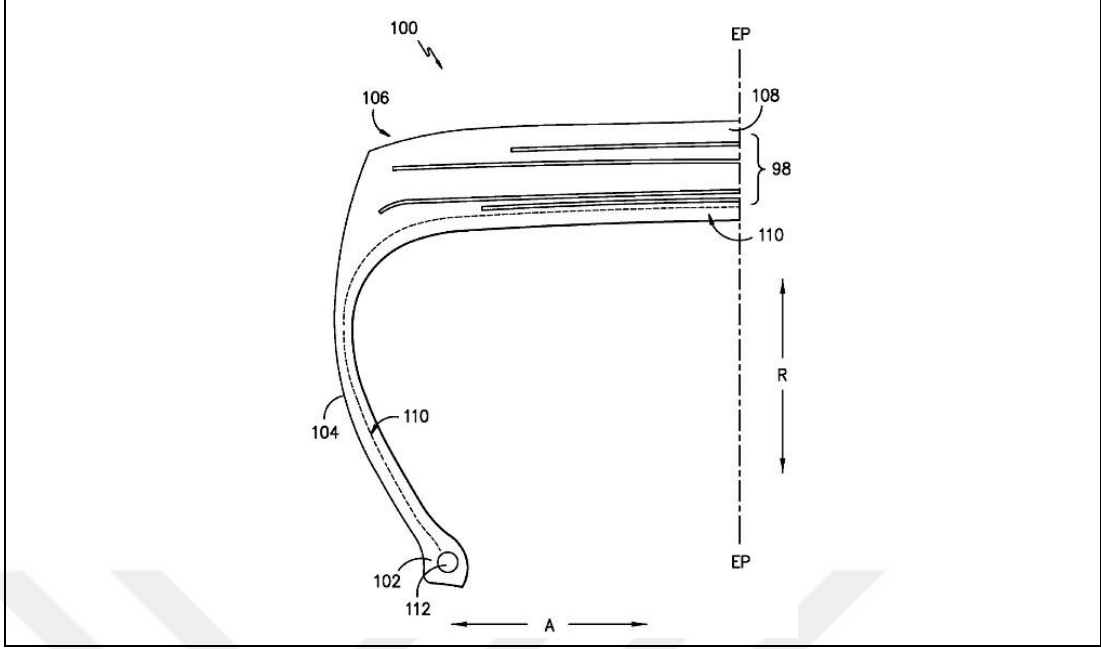
Şekil 5.33. Sumitomo JP2009256516A no'lu patentte aramid elyafın jant bölgesinde destek karışımında kullanımı (4G no'lu bölge) [158]

Compagnie Generale des Etablissements Michelin'e ait 5 patentten 4 adedi karbon elyafın sürekli elyaf olarak, gövde katı, kuşak ve topuk malzemesi olarak lastikte kullanımı ile ilgilidir. Şekil 5.34 ve 5.35'te ilgili patentlerden örnekler verilmiştir [162-165].

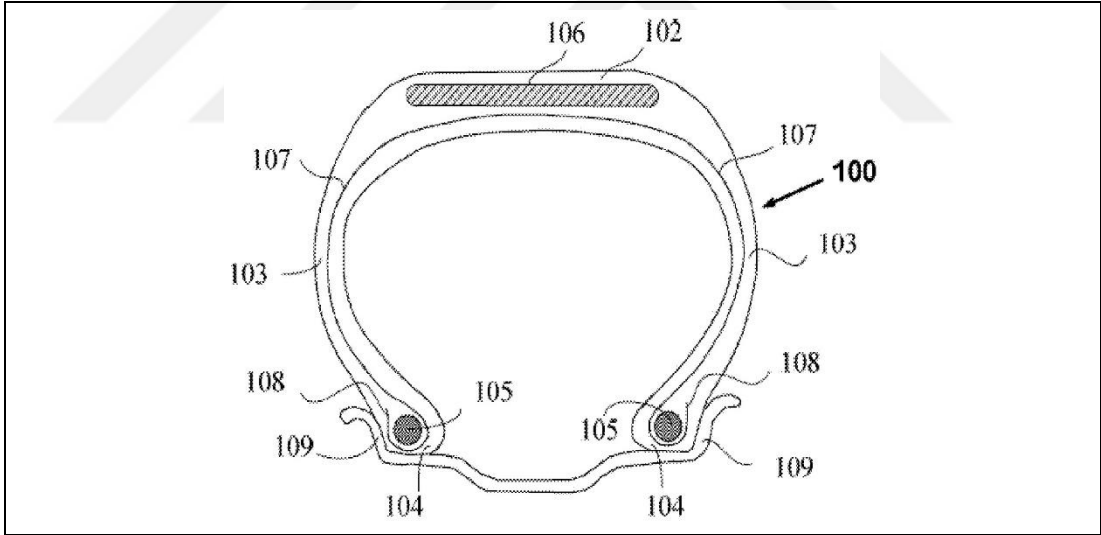
Aramid elyaf, 5 patentin 2'sinde sürekli elyaf olarak kat ve kuşakta kullanılmaktadır. Şekil 5.34 ve 5.36'de bu patentlerden örnekler verilmiştir [162, 166].



Şekil 5.34. Michelin WO2016046201A1 no'lu patentte, farklı lastik konstrüksiyonlarında, karbon ve aramid elyafın sürekli fiber olarak gövde katında kullanımı (21 no'lu bölge) [162]

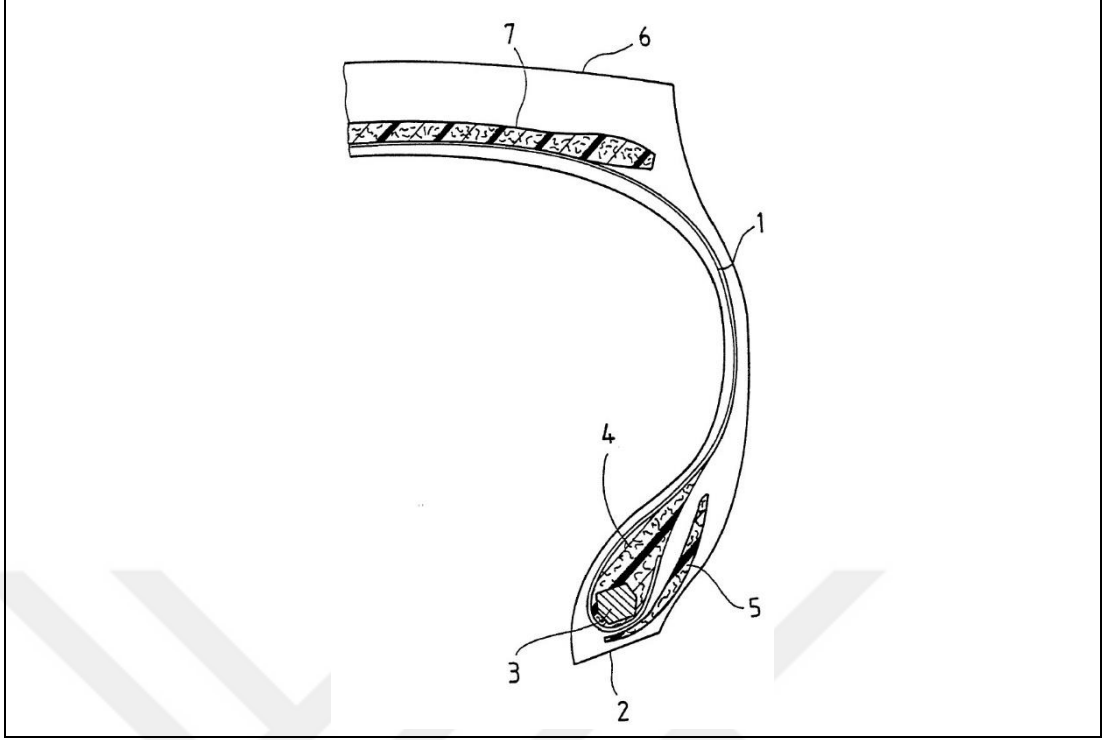


Şekil 5.35. Michelin WO2017112630A1, WO2017111898A1 ve US2019009488A1 no'lu patentlerde, sürekli karbon elyafın topuk demetinde topuk teli yerine kullanımı (112 no'lu bölge) [163-165]

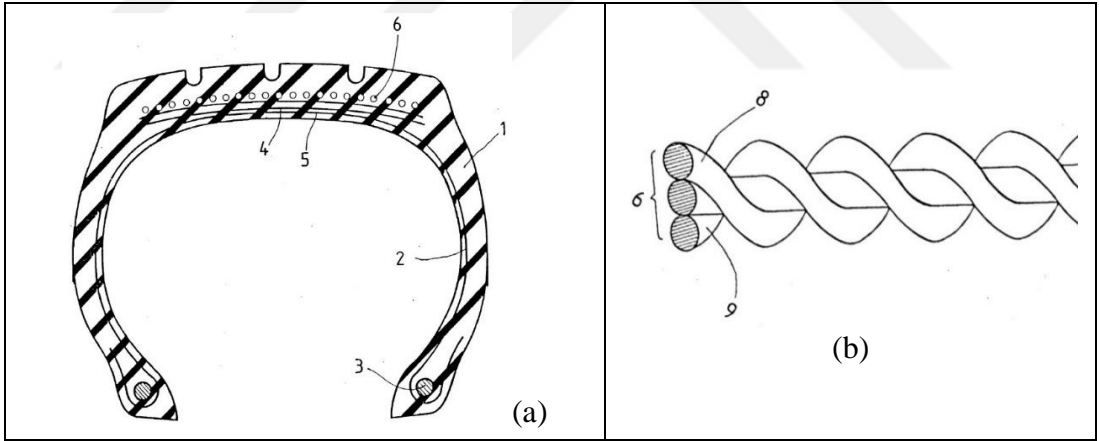


Şekil 5.36. Michelin US2017327977A1 no'lu patentte, sürekli aramid elyafın kat ve kuşak malzemesi olarak kullanımı (sırasıyla 107 ve 106 no'lu bölgeler) [166]

Continental Aktiengesellschaft'a ait 5 patent, aramidin sürekli elyaf olarak, gövde katı, kuşak ve topukta kullanımı ile ilgilidir [167-171]. Şekil 5.37 ve 5.38'de ilgili patentlerden örnekler verilmiştir [167, 168]. Bu patentlerde aramidin topuk teli yerine kullanılması ile lastik ağırlığında % 25 oranında azalma ve geri dönüşüme daha elverişli bir lastik üretimi hedeflenmiştir.



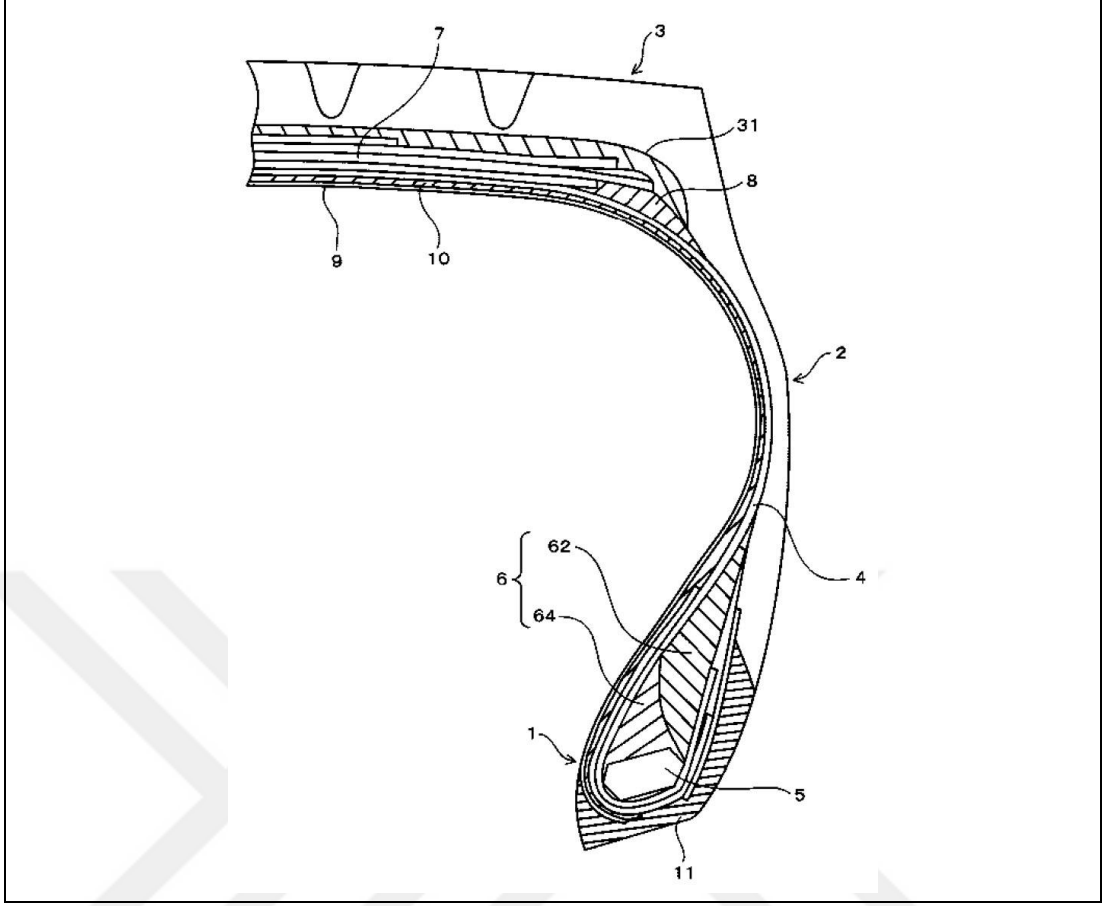
Şekil 5.37. Continental DE4318825C1 no'lu patentte, sürekli aramid elyafın kat ve topuk malzemesi olarak kullanımı (sırasıyla 1 ve 3 no'lu bölgeler) [167]



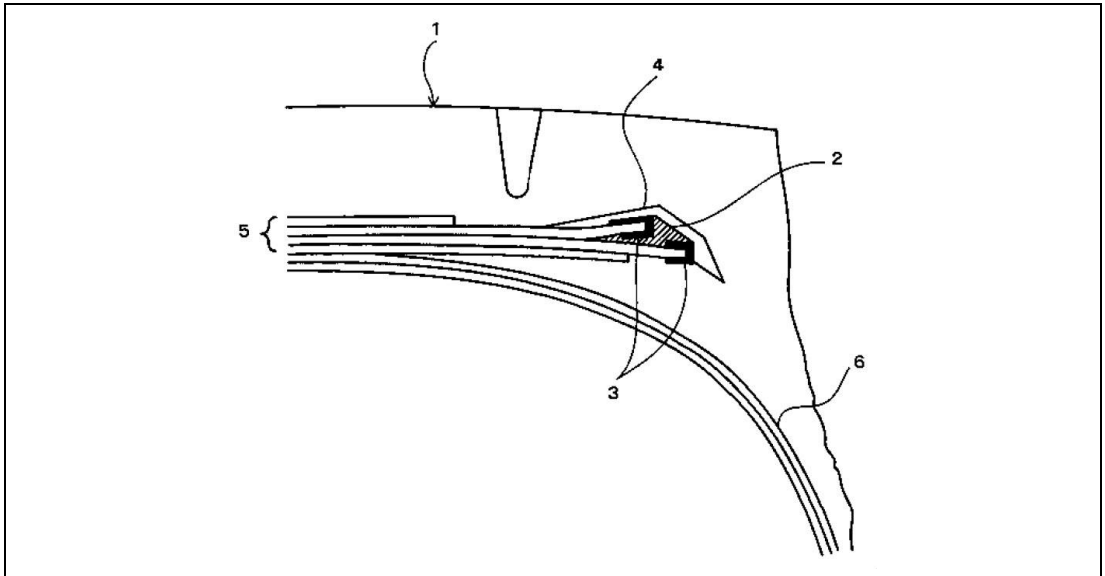
Şekil 5.38. Continental DE4135599A1 no'lu patentte; (a) sürekli aramid elyafın üst kuşakta kullanımı (6 no'lu bölge), (b) elyafın bükümü [168]

Hankook Tire Co. Ltd.'e ait 3 patentte, aramid elyaf, sırt, kuşak ve janta oturan bölgede (İng. hump strip) karışıma kısa elyaf olarak katılmıştır [172-174].

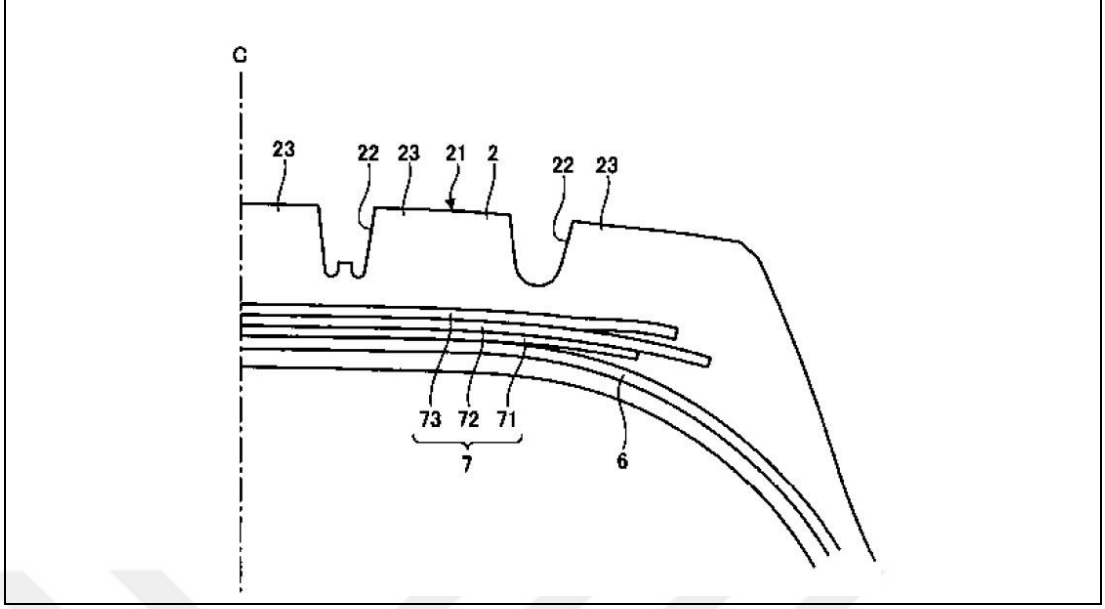
Yokohama Rubber Co. Ltd.'e ait 3 patentte, aramid elyaf, sırt, kuşak kenarı kapama şeridi ve kuşak kaplama karışımlarına kısa elyaf olarak katılmıştır. Şekil 5.39 - 5.41'de ilgili patentlerden örnekler verilmiştir [175-177].



Şekil 5.39. Yokohama JP2011241248A no'lu patentte, aramidin kısa elyaf olarak sırt karışımında kullanımı (3 no'lu bölge) [175]



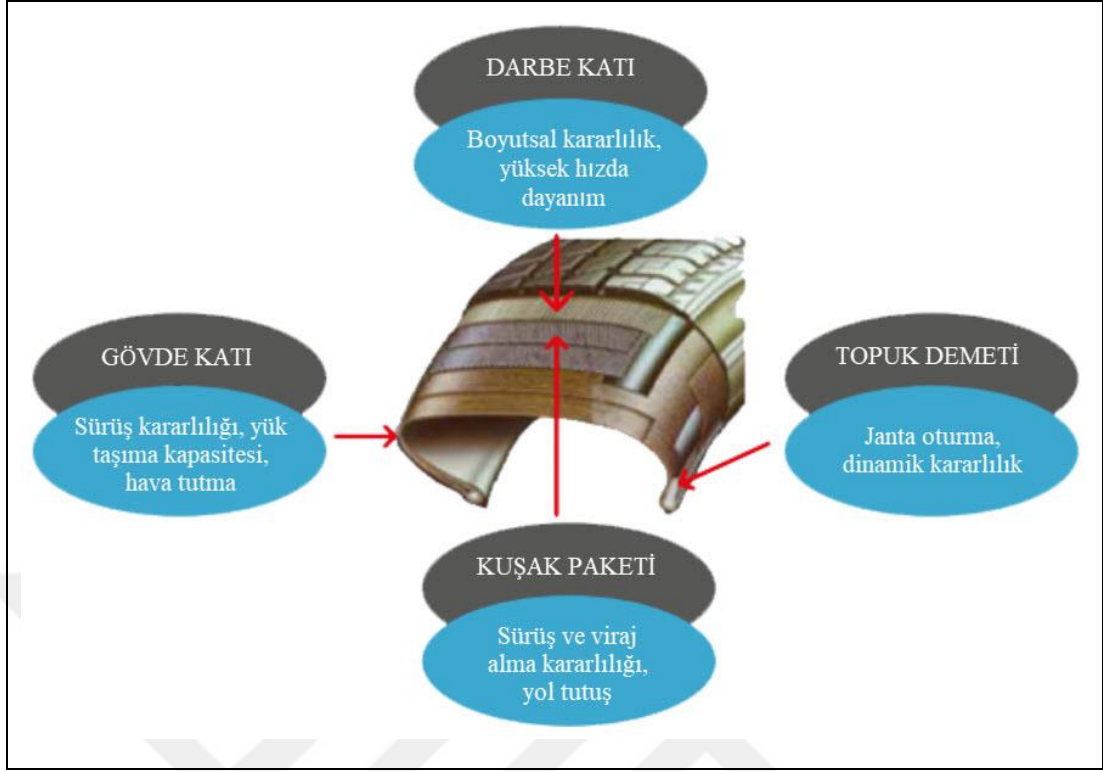
Şekil 5.40. Yokohama JP5652160B2 no'lu patentte, aramidin kısa elyaf olarak kuşak kenar kapama şeridinde (İng. belt edge tape) kuşak kenar ayrılmasını önlemek üzere kullanımı (3 no'lu bölge) [175]



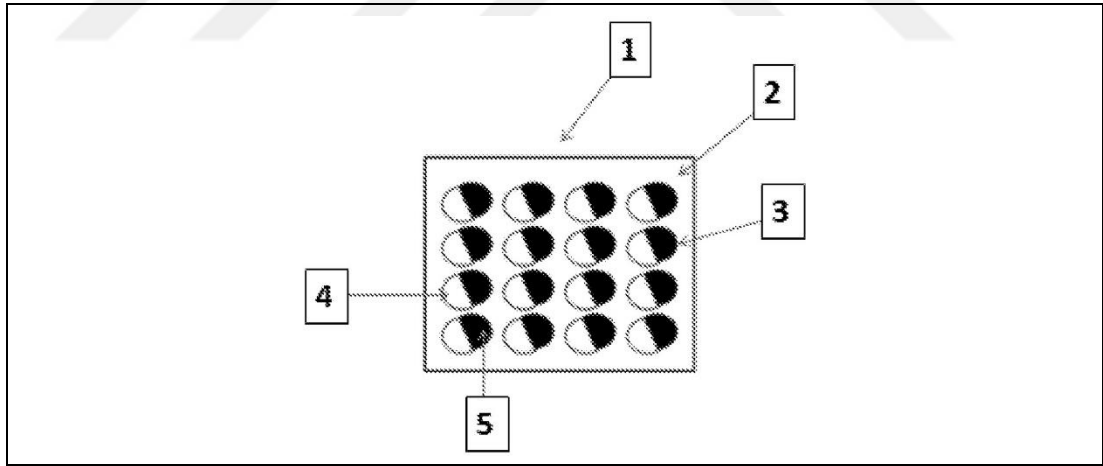
Şekil 5.41. Yokohama JP5740932B2 no'lu patentte, aramidin kısa elyaf olarak kuşak kaplama karışımında kullanımı (7 no'lu bölge) [177]

Büyük bir karbon elyaf üreticisi olan Toray Industries'e ait 2001 – 2012 yılları arasında alınan 9 patentte özellikle araç lastiği, hortum, konveyör kayışı uygulamaları için geliştirilmiş karbon elyaf ürünlere ait gelişmeler verilmiştir [178-186].

Kordsa Teknik Tekstil A.Ş. tarafından karbon elyafın lastik teknolojisinde potansiyel kullanım alanları ilgili dokümanda verilmiştir [187]. Buna göre, karbon elyaf toz ya da kırılmış olarak sırt ve yanak karışımlarında, sürekli takviye malzemesi olarak da topuk demetinde çelik tel yerine, gövde katı ve kuşak paketinde kullanım potansiyeline sahiptir (Şekil 5.42) [187]. Kord üretimi ile ilgili olarak, 2017 –2019 yılları arasında Kordsa tarafından alınan 5 patentte karbon elyaf içeren melez kordun topuk teli yerine [188, 189] (Şekil 5.43) kullanımı ile bi-elastik (başlangıç modülü düşük, son modülü yüksek) karbon elyaftan üretilen kordun sürekli takviye malzemesi olarak darbe katında [190, 191] ve kuşak paketinde [192] kullanımı önerilmiştir. Kordsa'nın 2018 yılında aldığı 3 patentte ise bi-elastik aramid kordun gövde katı ve darbe katında kullanımı önerilmektedir [193-195].



Şekil 5.42. Karbon elyafın araç lastiğinde potansiyel kullanım yerleri ve sağladığı avantajlar [187]



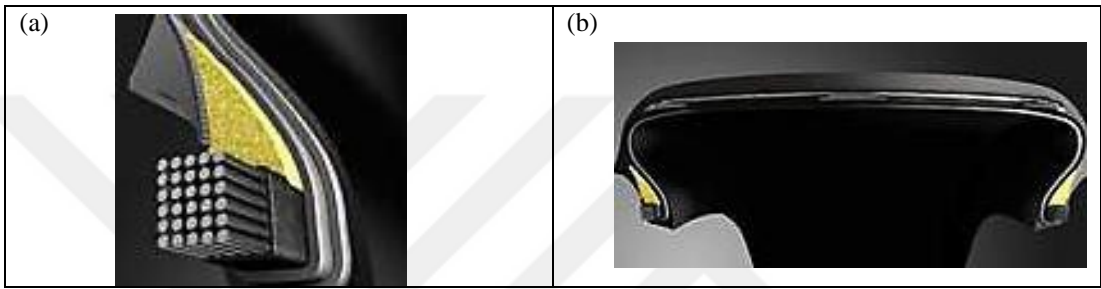
Şekil 5.43. Kordsa WO2017123167A1 no'lu patentte, karbon elyafın PET ve naylon 6.6 ile melez kord olarak lastikte topuk teli yerine kullanımı; 1-topuk demeti kesiti, 2-kauçuk matriks, 3-melez kord, 4-PET/naylon 6.6 iplik, 5-karbon elyaf [188]

Bu patentler dışında kauçuk karışımlarında kısa ve sürekli takviye malzemesi olarak karbon ve aramid elyaf ile ilgili çeşitli kord ve lastik üreticileri ile kişilere ait patentler bulunmaktadır. Bu patentler, 1991-2019 tarihleri arasında, ağırlıklı olarak Japonya, Kore ve Çin'de alınmıştır.

5.3.2. Ticari uygulamalara örnekler

5.3.2.1. Dunlop SP Sport Maxx® TT lastiklerinde Kevlar® EE kullanımı

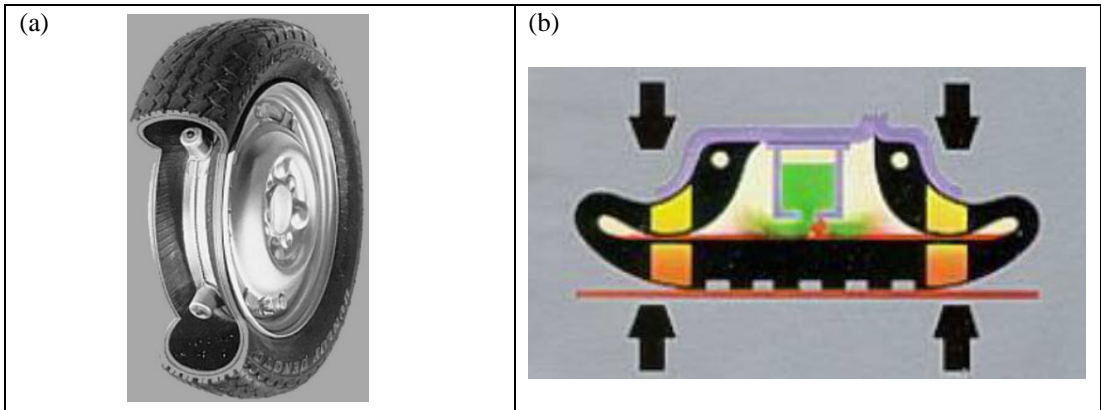
Dunlop SP Sport Maxx® TT lastiklerinde Kevlar® EE, topuk dolgusunun tümünde kullanılarak yanak bölgesinin diriliği (İng. stiffness) arttırılmıştır (Şekil 5.44) [67]. Böylece lastiğin yuvarlanması sırasında ulaştığı yüksek sıcaklıklarda dinamik özelliklerinin gelişmesi sağlanmıştır. Sonuç olarak yol tutuş ve viraj emniyeti arttırılmıştır.



Şekil 5.44. (a) Dunlop SP Sport Maxx® TT lastiklerinde Kevlar® EE'nin topuk dolgusunda kullanımı (sarı bölge), (b) lastiğin kesiti [67]

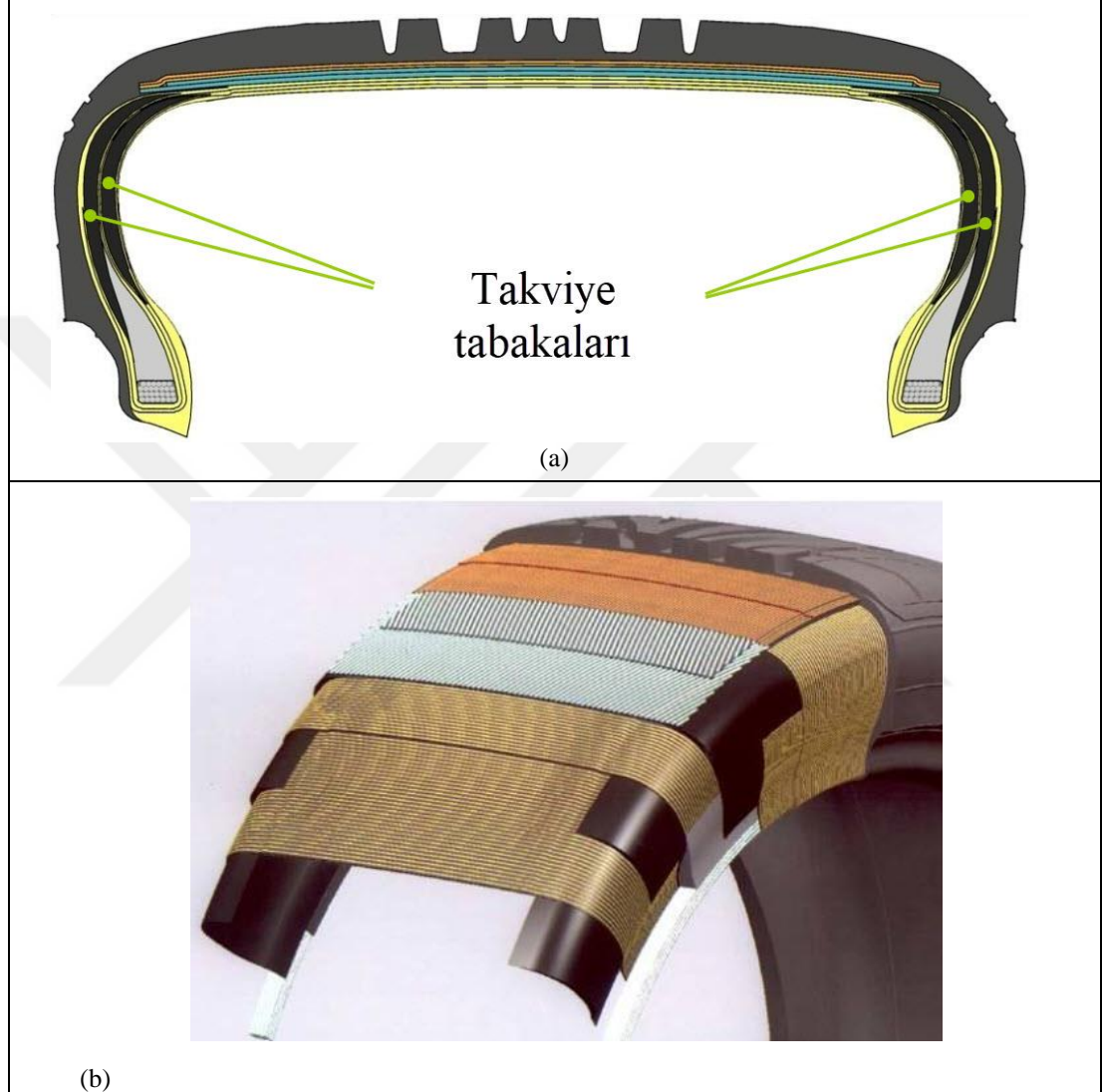
5.3.2.2. Sumitomo üretimi patlak yol alabilen lastiklerde aramid ve karbon elyaf kullanımı

Patlak yol alabilen ilk lastik (RFT) Dunlop tarafından Denovo ticari adıyla 1970'te geliştirilmiştir (Şekil 5.45). Bu sistemde bir kartuş içerisinde bulunan jel kıvamındaki sızdırmazlık sıvısı, lastik patladığında lastiğin içerisine yayılarak deliği kapatır [129].



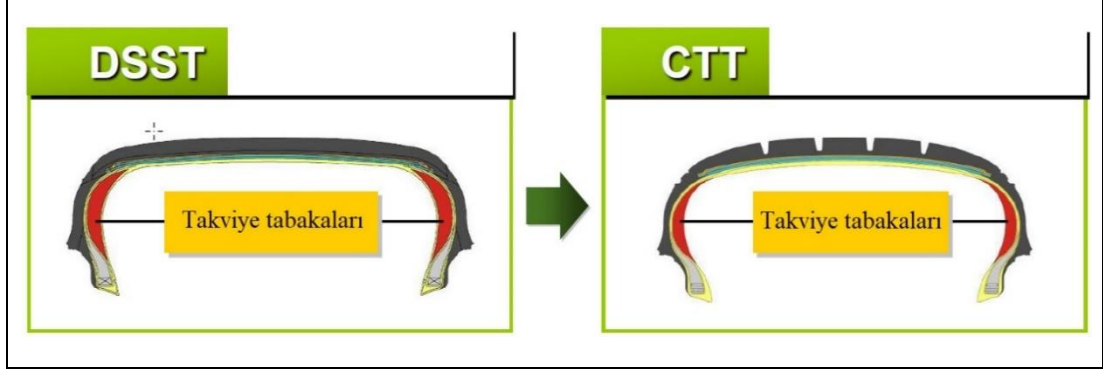
Şekil 5.45. Dunlop Denovo lastiği; (a) yapısı, (b) çalışma prensibi [129]

1995 yılında Sumitomo DSST (Dunlop Self-Supporting Technology) olarak adlandırılan teknoloji ile yanak bölgesi takviye edilmiş 1. nesil RFT geliştirmiştir (Şekil 5.46) [129]. Standart lastik jantına takılabilen bu lastiklerin sürüş konforu normal lastiklerden daha kötü olup, ağırlıkları daha fazlaydı.



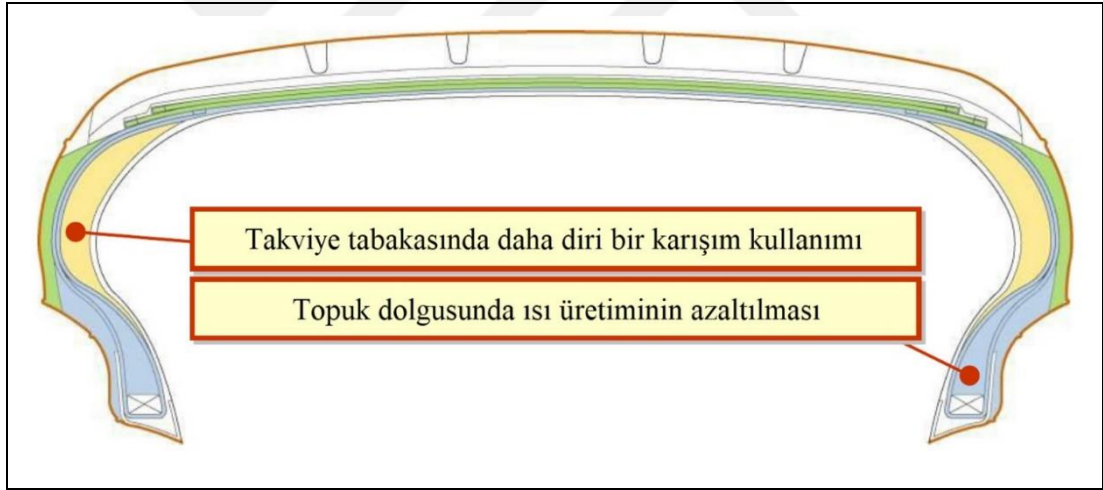
Şekil 5.46. 1. nesil RFT (DSST) (a-b) lastik kesitinde takviye tabakalarının gösterimi [129]

Sumitomo 2000 yılında 2. nesil RFT'yi CTT (Combined Technology Tire) adıyla geliştirmiştir. Sırt bölgesinin daha yuvarlaklaştırılması ile yanak uzunluğu azaltılmış ve bu sayede 1. nesile göre düşey dirilik %15 oranında düşürülmüş ve böylece sürüş konforu iyileştirilmiştir. Takviye tabakalarının kalınlığı aynı kalmakla birlikte daha kısa oldukları için lastik ağırlığında %10 azalma olmuştur. Şekil 5.47, 1. ve 2. nesil lastiklerin kesitlerini karşılaştırmalı olarak göstermektedir [129].



Şekil 5.47. 1. Nesil (DSST) ile 2. nesil (CTT) RFT'nin karşılaştırılması [129]

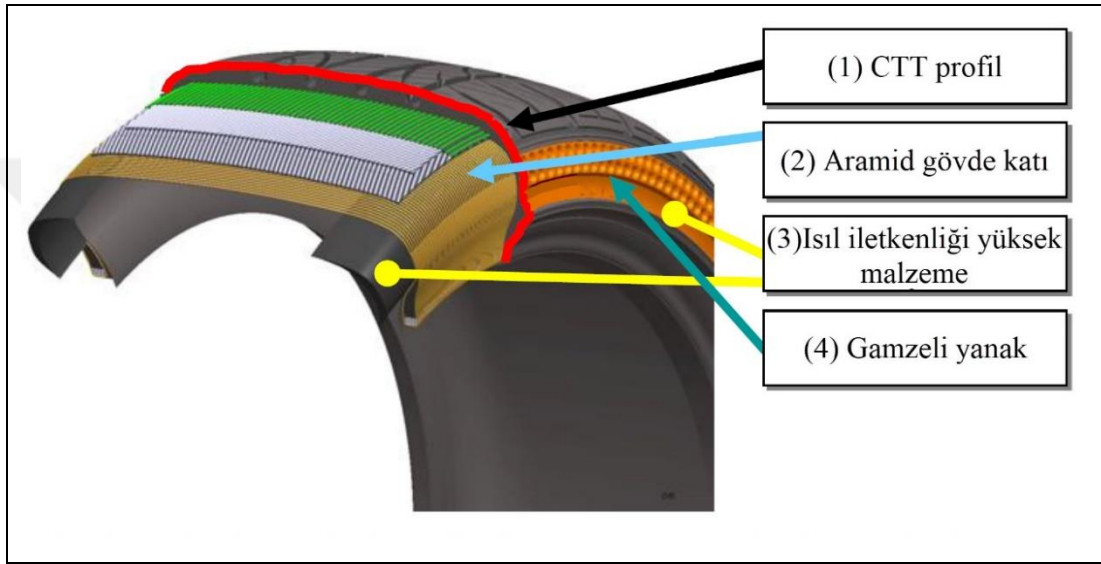
Sumitomo 2003 yılında lastik ağırlığını ve düşey diriliği daha da düşürmek için, 3. nesil lastikleri CTT profilini kullanarak geliştirmiştir. Bu lastiklerde 2. nesile göre ağırlık %3,5, düşey dirilik %7 oranın azaltılmıştır. Takviye tabakalarında daha diri bir karışım kullanılmış ve topuk dolgusunda ısı üretimi azaltılmıştır. Şekil 5.48 3. nesil lastik kesitini göstermektedir [129].



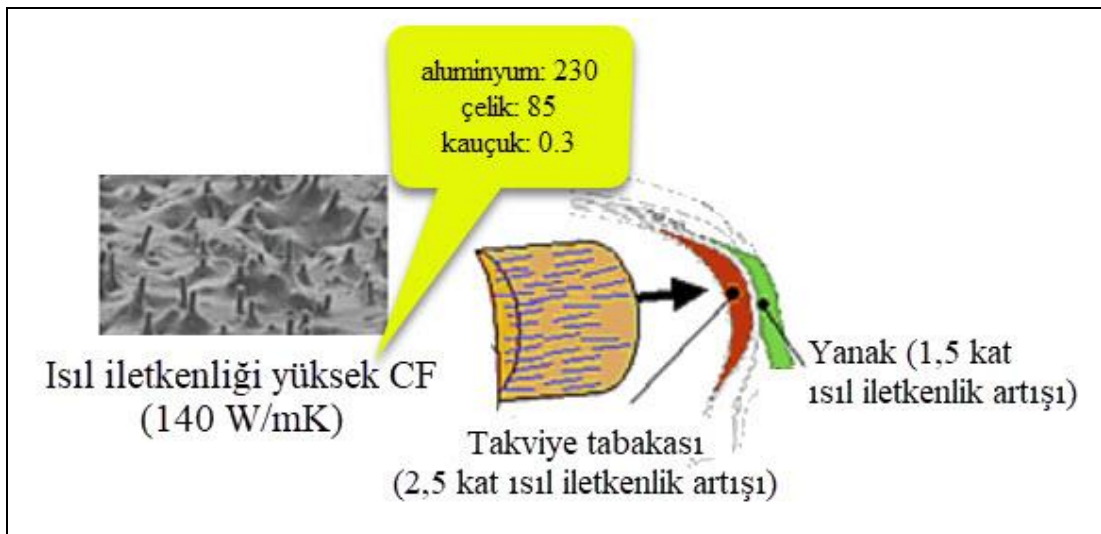
Şekil 5.48. CTT profiline ek olarak daha düşük ısı üreten karışımların kullanıldığı 3. nesil RFT kesiti [129]

Sumitomo 2009 yılında lastik ağırlığını daha da düşürdüğü ve sürüş konforunu iyileştirdiği 4. nesil RFT'yi "Isı Kontrol Teknolojisi" (Thermal Control Technology) adı verilen teknoloji ile geliştirmiştir. Bu lastiklerde firma 4 tescilli teknoloji kullanmıştır; (1) CTT profili, (2) aramid gövde katı, (3) ısı iletkenliği yüksek malzeme kullanımı (karbon elyaf), (4) gamzeli yanak (İng. dimple sidewall) (Şekil 5.49) [129]. Aramid, rayona göre daha diri olup, gövde katında kullanımı ile lastiğin patlaması durumunda deformasyonu ve yanak takviye tabakasının ısı üretmesini azaltır.

Yanak takviye tabakası ve yanak karışımında ısı iletkenliği yüksek karbon elyaf kullanımı ile sırasıyla 2,5 ve 1,5 kat ısı iletkenlik artışı sağlanır (Şekil 5.50) [196]. Yanağın eğimli bölgesinde gamze Şeklinde 8 mm çapında çukurlar olması, hava akımı türbülansı ile ısının yayılmasını sağlar (Şekil 5.51) [196]. 4. Nesil RFT, 3. nesil ile karşılaştırıldığında, ağrılıktta %3, düşey dirilikte %6 azalma getirmektedir. RFT teknolojisindeki bu gelişmeler, Şekil 5.52’de özetlenmiş ve normal lastikle karşılaştırılmıştır [129].



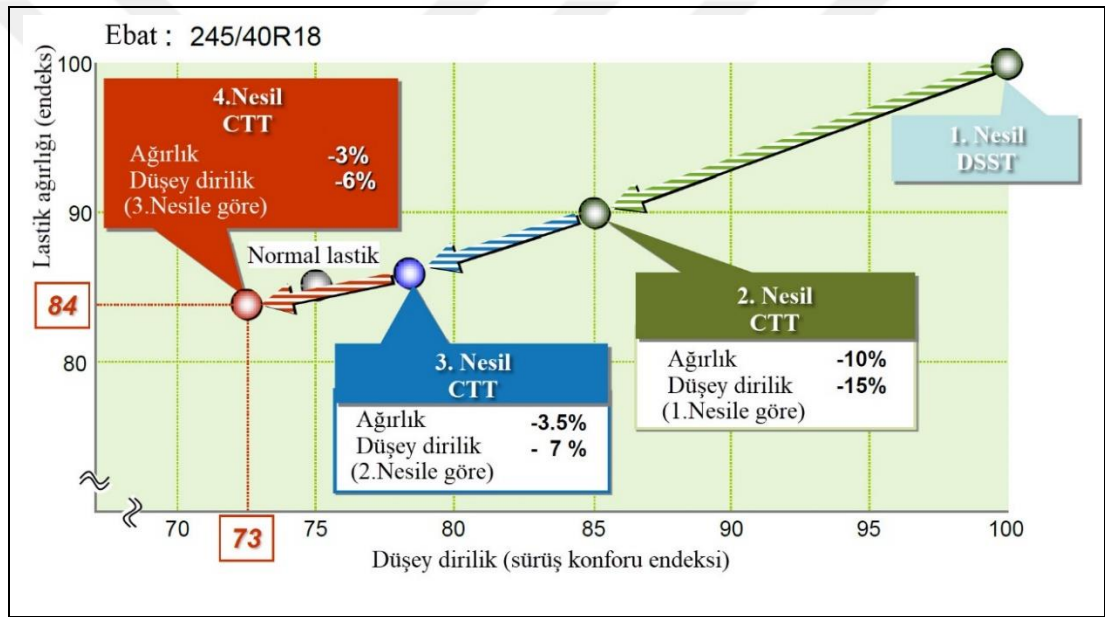
Şekil 5.49. 4. Nesil RFT’de kullanılan 4 tescilli teknoloji [129]



Şekil 5.50. Çevresel doğrultuda dizilmiş karbon elyaf içeren karışım kullanımı [196]



Şekil 5.51. Yanakta 8 mm çapında gamzeler [129, 196]



Şekil 5.52. RFT teknolojisindeki gelişmeler [129]

5.3.2.3. Goodyear üretimi Eagle F1 dört mevsim lastiğinde karbon elyaf ve DuPont Kevlar kullanımı

Goodyear üretimi Eagle F1 dört mevsim lastiğinin yanak bölgelerinde karbon elyaf karbon elyaf takviyesi kullanılarak, omuz bölgesinin sıkıca yere oturması ile daha düz taban izi sağlanmıştır. Sırtta sürekli bir merkez dişi ve omuz blokları ile kuru çekiş, dört mevsim bölgeleri ile de yağmur, çamur ve kar koşullarında emniyetli sürüş sağlanmıştır (İng. hydroplaning) (Şekil 5.53) [37, 197]. Bu lastikte ayrıca daha iyi gövde mukavemeti ve rijitliğini sağlamak için DuPont Kevlar takviyeli çelik kuşaklar kullanılmıştır [198].



Şekil 5.53. Goodyear üretimi Eagle F1 dört mevsim lastiğinde (a) kesitte her iki yanakta karbon elyaf takviyesi (ok ile gösterilen), (b) yanakta karbon elyaf takviyesi (taralı mavi bölgeler), ultra yüksek performans için sırt merkezinde sürekli diş (İng. center rib) ve omuz blokları (İng. shoulder blocks) (kırmızı bölgeler), kar ve ıslak koşullarda çekiş sağlayan dört mevsim bölgeleri (sırtta düz mavi bölgeler) [37, 197]

6. MALZEME VE YÖNTEM

Bu tez çalışması Brisa Bridgestone Sabancı Lastik San. Tic. A.Ş. tarafından desteklenmiş olup, yapılan testler Ar-Ge laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın amacı, son yıllarda lastik karışımlarında kullanımı gittikçe artan, yeni takviye malzemeleri aramid ve karbon elyafın, karışımların özelliklerine olan etkilerinin araştırılmasıdır.

6.1. Malzeme

Çalışmalarda kullanılan aramid elyaflar; granül (Sulfron 3001) ve pulpa (Kevlar® EE) halinde kauçuk karışımlarına katılmış ve özelliklere etkileri incelenmiştir. Karbon elyaf (Aksaca™) ise, kırılmış olarak kauçuk karışımlarında denenmiştir. Takviye malzemeleri iki farklı karışım reçetesinde kullanılmıştır. Takviye malzemelerinin özellikleri, reçetelerde kullanılan diğer hammaddeler ve karışım reçeteleri aşağıdaki bölümlerde açıklanmıştır.

6.1.1. Takviye malzemelerinin özellikleri

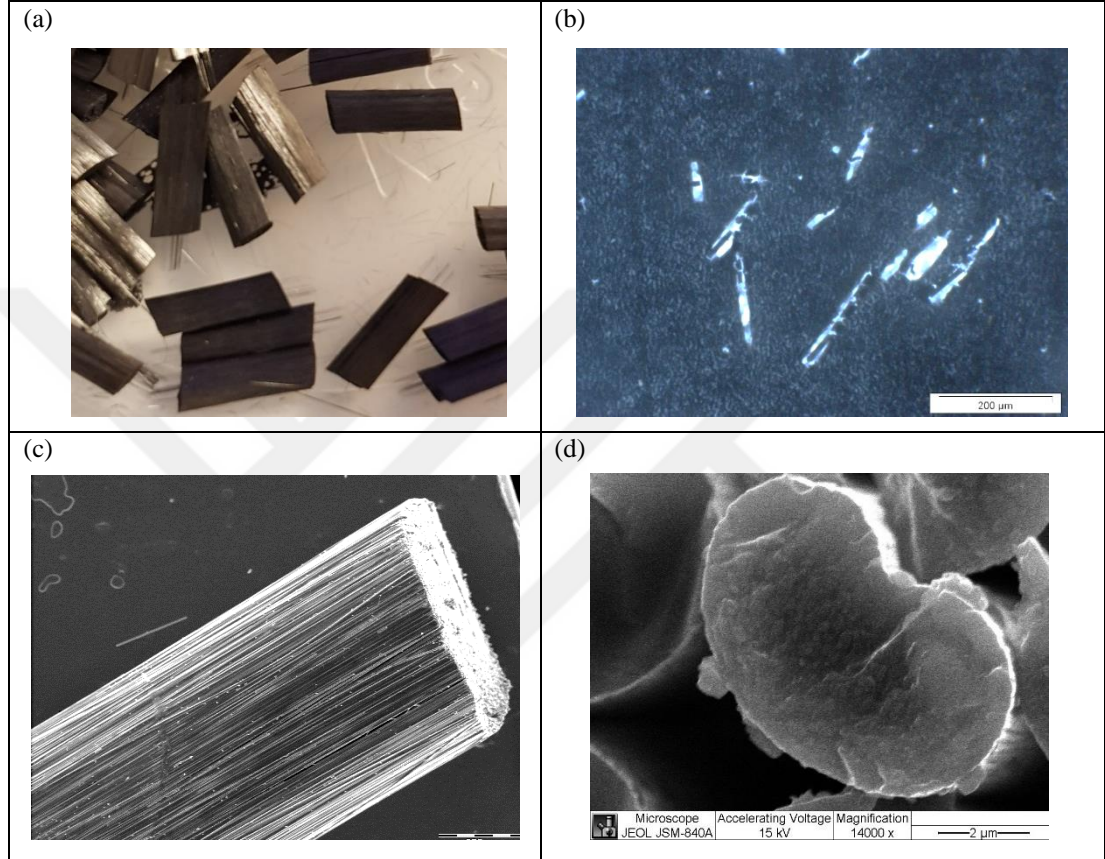
Tezde takviye malzemeleri için oluşturulan kodlar Tablo 6.1’de verilmiştir.

Tablo 6.1. Takviye malzemesi kodları

Kod	Takviye malzemesi
C1	Poliüretan kaplı karbon elyaf
C2	Epoksi + RFL kaplı karbon elyaf
C3	Poliimid kaplı karbon elyaf
C4	Poliamid kaplı karbon elyaf
KE	Kevlar® EE
SU	Sulfron 3001

6.1.1.1. Karbon elyaf

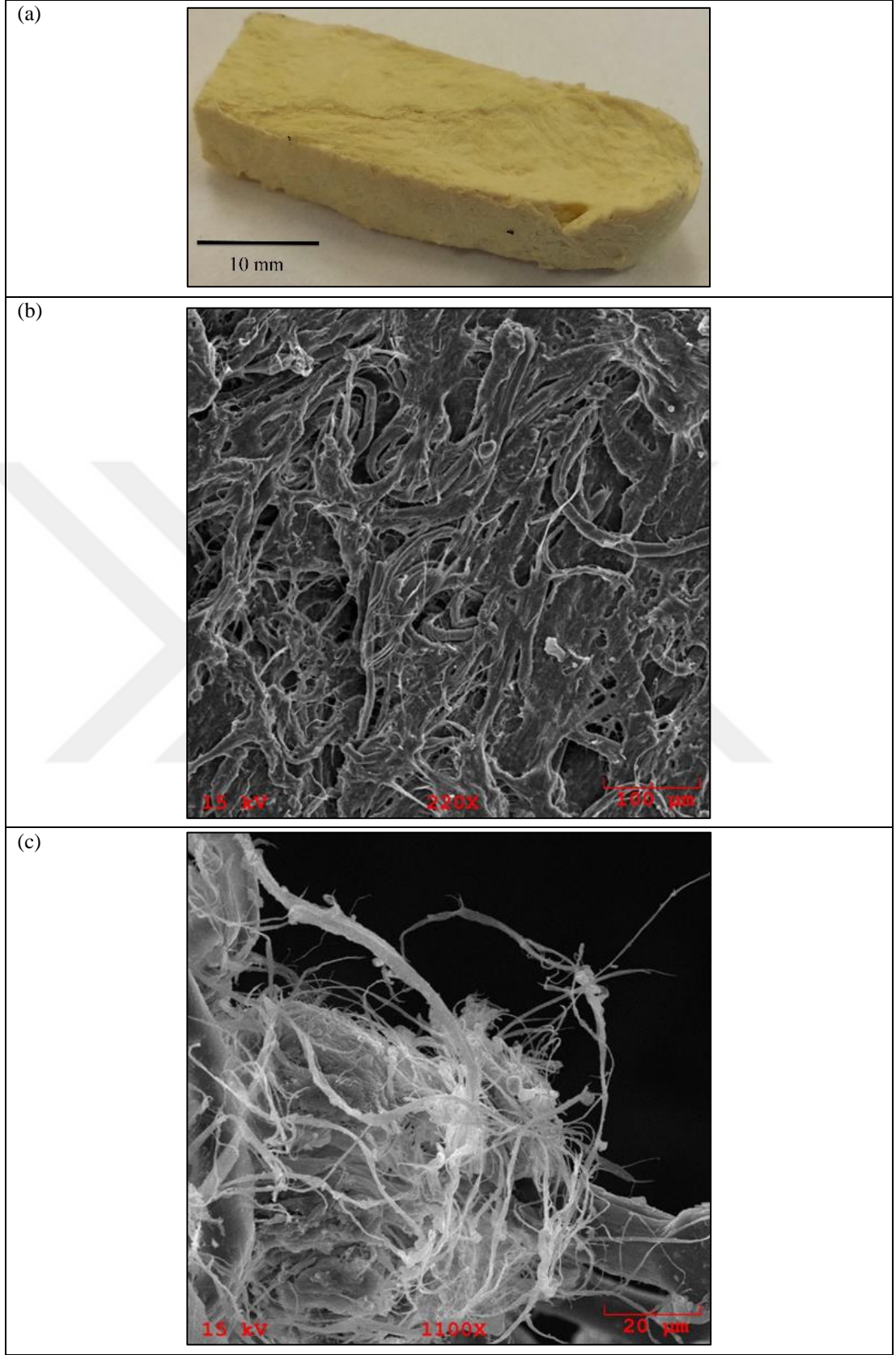
Şekil 6.1’de makro, LM ve SEM görüntüleri verilen PAN esaslı CF (karbon elyaf) malzemesi 6 mm uzunluğunda kırılmış olarak AKSACA firmasından sağlanmıştır. 24K (24000) lif içeren bu elyaf ile ilgili ayrıntılı bilgi Bölüm 5.2’de verilmiştir.



Şekil 6.1. CF malzemesinin (a) makro, (b) lastik kestinde LM, (c) tek bir kırılmış elyaf için SEM, (d) tek bir lifin fasulye şeklindeki SEM görüntüleri

6.1.1.2. Kevlar® EE

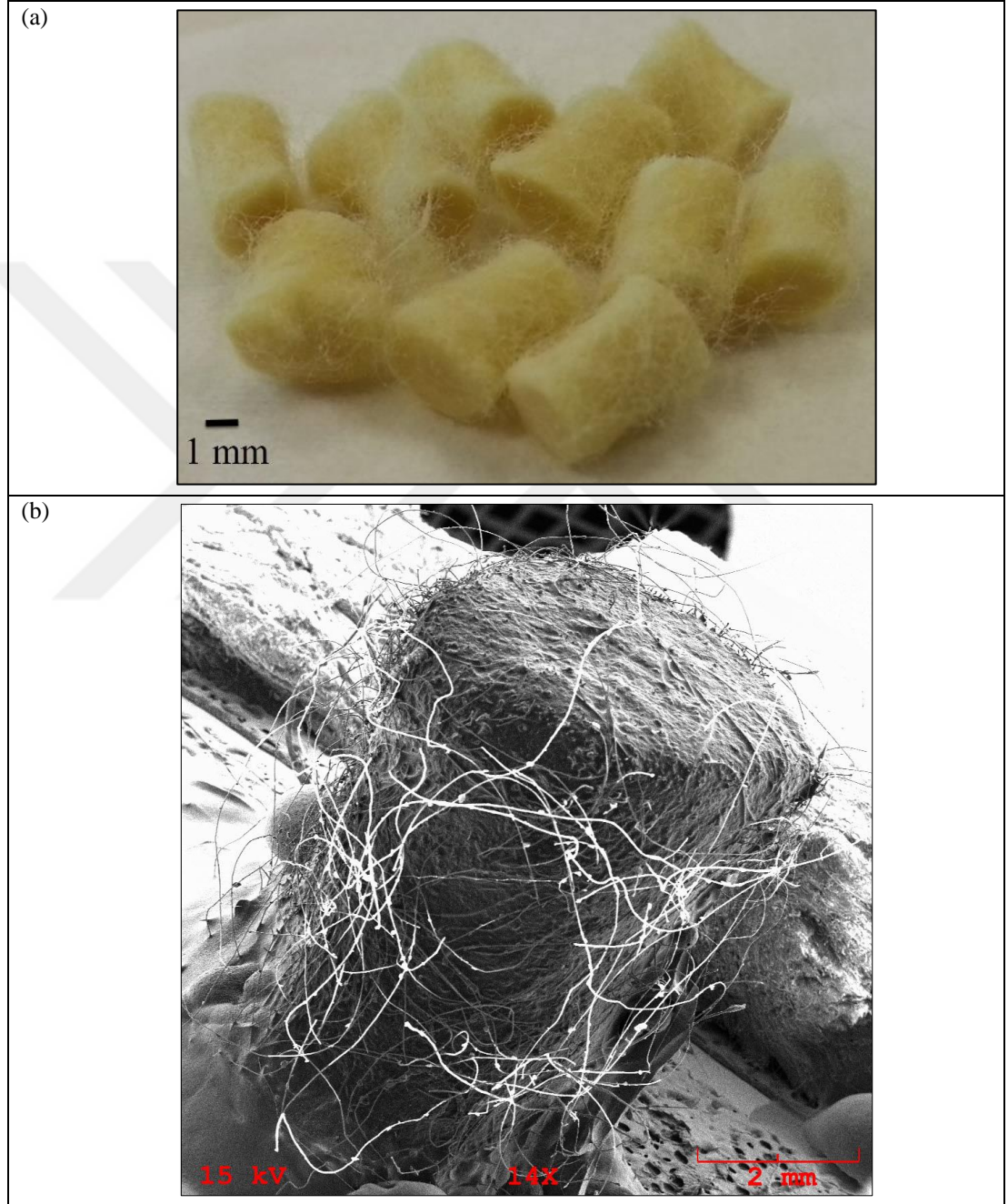
Şekil 6.2’de Makro ve SEM görüntüleri verilen pulpa halindeki Kevlar® EE malzemesi DuPont™ firmasından sağlanmıştır. Bölüm 5.1.2’de Kevlar® EE ile ilgili olarak ayrıntılı bilgi verilmiştir.



Şekil 6.2. Kevlar® EE malzemesinin (a) granüllerinin makro görüntüsü, (b) ve (c) SEM görüntüleri

6.1.1.3. Sulfron

Şekil 6.3'te Makro ve SEM görüntüleri verilen granül halindeki Sulfron 3001 malzemesi, Teijin Aramid BV firmasından sağlanmıştır. Bölüm 5.1.1'de Sulfron 3001 ile ilgili olarak ayrıntılı bilgi verilmiştir.



Şekil 6.3. Sulfron 3001 malzemesinin (a) granüllerinin makro görüntüsü, (b) SEM görüntüsü

6.1.2. Karışımlarda kullanılan diğer hammaddeler

Karışım reçetelerinde kullanılan hammaddeler Tablo 6.2’de verilmiştir.

Tablo 6.2. Karışım reçetelerinde kullanılan hammaddeler

Hammadde	Açıklama
Polimer	Doğal kauçuk
Takviye dolgu malzemesi	Karbon siyahı N330
Aktivatör	Stearik asit
Antiozonant 1	6PPD (N-(1,3-Dimethylbutyl)-N'-phenyl-p-phenylenediamine)
Antiozonant 2	TMQ (2,2,4-Trimethyl-1,2-Dihydroquinoline)
Sertleştirici reçine	DCPD (Dicyclopentadiene termoplastik reçine)
Aktivatör	Çinko oksit
Hızlandırıcı 1	TBBS (N-tert-butyl-2-benzothiazyl sulfenamide)
Hızlandırıcı 2	CBS (N-Cyclohexyl-2-benzothiazole sulfenamide)
Pişirici	Kükürt
Yumuşatıcı	Parafinik yağ

6.1.3. Lastik karışım reçeteleri

Çalışmalarda iki farklı reçete kullanılmıştır. A ve B olarak kodlanan reçeteler iki adımda, ana karışım (İng. master batch) ve son karışım (İng. final batch) olarak hazırlanmıştır ve içerikleri Tablo 6.3 - 6.6’da verilmiştir.

Tablo 6.3. A reçetesi (ana karışım)

Hammadde	Kısım (phr)
NR	100,00
N330	50,00
Stearik asit	2,00
6PPD	1,00
TMQ	1,00
DCPD	1,00
CF	0,00 – x,xx
Kısım toplam	155,00

Tablo 6.4. A reçetesi (son karışım)

Hammadde	Kısım (phr)
Ana karışım	155,00
ZnO	3,00
TBBS	0,80
Kükürt	1,37
Kısım toplamı	160,17

Tablo 6.5. B reçetesi (ana karışım)

Hammadde	Kısım (phr)
NR	100,00
N330	70,00
6PPD	1,00
TMQ	2,00
Yağ	5,00
Stearik asit	1,00
ZnO	3,50
Kevlar® EE / Sulfron	0,00 – x,xx
Kısım toplam	182,50

Tablo 6.6. B reçetesi (son karışım)

Hammadde	Kısım (phr)
Ana karışım	182,50
CBS	1,00
Kükürt	5,63
Kısım toplamı	189,13

Yukarıdaki kontrol karışımlarına belirli kısımlarda takviye malzemeleri eklenerek hazırlanan deneme karışımlarının kodları ve açıklamaları Tablo 6.7’te verilmiştir.

Tablo 6.7. Karışım kodları

Kod	Takviye malzemesi	Karışım	Kısım (phr)*
KA	-	A	-
KB	-	B	-
2C1A	C1	A	2
5C1A	C1	A	5
10C1A	C1	A	10
15C1A	C1	A	15
20C1A	C1	A	20
5C2A	C2	A	5
5C1B	C1	B	5
10C1B	C1	B	10
15C1B	C1	B	15
5C3B	C3	B	5
10C3B	C3	B	10
15C3B	C3	B	15
5C4B	C4	B	5
10C4B	C4	B	10
15C4B	C4	B	15
5C3A	C3	A	5
10C3A	C3	A	10
15C3A	C3	A	15
2KEB	KE	B	2
4KEB	KE	B	4
2SUB	SU	B	2
4SUB	SU	B	4

(*) Karışımındaki takviye malzemesinin miktarı

6.2. Yöntem

6.2.1. Örneklerin hazırlanması (mikser, milleme ve pişirme aşamaları)

Karışımlar laboratuvar tipi kapalı mikserde hazırlanmıştır [58]. Karışımlara giren hammaddeler, ana ve son karışımlar 1200'er gram olacak şekilde, reçetelere uygun olarak tartılmış ve mikser karıştırma yöntemine göre karıştırılarak, sırasıyla ana karışım ve daha sonra son karışım elde edilmiştir. Şekil 6.4'te Sulfron katkılı karışımlar dışındaki kontrol ve deneme karışımlarının mikser adımları cihaz çıktısı olarak verilmiştir. Ana karışımlar 240 saniye süresince, 90 rpm rotor hızı kullanılarak, son karışımlar ise 70 saniye süresince 70 rpm rotor hızı kullanılarak hazırlanmıştır. Tüm karışımlar 50 psi basınç altında bir piston sistemi ile (İng. ram pressure) sıkıştırılmıştır. Karıştırma işlemi sırasında, sıcaklık kontrol birimi (İng. TCU, Temperature Control Unit) kullanılarak, mikser gövdesi 70 °C'de tutulmuştur. Şekilde, aşağı yönlü oklar ile pistonun yukarıda olduğu durumu (malzeme yüklemesinin yapıldığı), kutular ise pistonun indirildiği (basıncın uygulandığı) durumu ifade etmektedir.

CF ve Kevlar® EE içeren karışımlarda uygulanan bu karıştırma yönteminden farklı olarak, üretcinin tavsiyesi üzerine, Sulfron'lu karışımlarda farklı bir yöntem kullanılmıştır. Ana karışımda Sulfron, karbon siyahı ile ya da hemen ardından ilave edilmiş ve birlikte 150-165 °C sıcaklık aralığında en az 1,5 dakika karıştırılmıştır. Sulfron'lu ana karışımları hazırlarken kullanılan mikser adımları aşağıda verilmiştir:

- a) t = 0. dak : NR yüklemesi
- b) t = 1. dak : 0,5 C/B + ZnO + Sulfron + stearik asit yüklemesi
- c) t = 2,5. dak : Yağ + 0,5 C/B + kalan hammaddelerin yüklenmesi
- d) t = 4. dak : Karıştırma
- e) t = 5. dak : Boşaltma (İng. dump)

CONTROL						
NON PRO # 1			Rubber		Carbon Chemicals	Cleaning
Batch weight	1200 g		↓	90	90	90
	Time (sn)	00:00	00:30	00:45	03:10	03:20 04:00
TCU 70 °C	Temperature (°c)	(79)	(77)	(75)	(128)	(134) (137)
	Speed (rpm)	0.sn	→			240.sn 90 rpm
	Ram pressure (psi)	50 psi				
CONTROL						
PRO # 1			Chemicals Non Pro			
			↓	70		
	Time (sn)	00:00	01:10			
TCU 70 °C	Temperature (°c)	(76)	(104)			
	Speed (rpm)	0.sn	→		70.sn 70 rpm	
	Ram pressure (psi)	50 psi				
TRIAL-1 (+ 5 phr CF)						
NON PRO # 2			Rubber		Cf Carbon Chemicals	Cleaning
Batch weight	1200 g		↓	90	90	90
	Time (sn)	00:00	00:30	00:45	03:10	03:20 04:00
TCU 70 °C	Temperature (°c)	(81)	(81)	(77)	(130)	(138) (144)
	Speed (rpm)	0.sn	→			240.sn 90 rpm
	Ram pressure (psi)	50 psi				
TRIAL-1 (+ 5 phr CF)						
PRO # 2			Chemicals Non Pro			
			↓	70		
	Time (sn)	00:00	01:10			
TCU 70 °C	Temperature (°c)	(72)	(103)			
	Speed (rpm)	0.sn	→		70.sn 70 rpm	
	Ram pressure (psi)	50 psi				

Şekil 6.4. Kontrol ve 5 phr CF içeren deneme karışımları için örnek bir mikser karıştırma yöntemi tablosu

Elde edilen tüm son karışımlar, milden geçirilip incelti olarak tabaka haline getirilmiştir. Millenmiş ham karışım tabakasından, yapılacak testlere uygun örnekler kesilmiştir. Karıştırma ve milleden işlemlerinden sonra, öncelikle 160 °C’de MDR testi yapılarak, pişme eğrisi parametreleri [M_L , M_H , ($M_H - M_L$), t_{s1} , t_{90}] saptandıktan sonra, çıkan sonuca göre, değişik kalıplarda pişirilecek olan karışımlar için preslerde uygun sıcaklık ve pişme zamanı kullanılmıştır. Şekil 6.5, 6.6 ve 6.7’de sırasıyla, mikser, mil ve pişirme presi verilmiştir.



Şekil 6.5. Farrel, "BR" Banbury mikser



Şekil 6.6. Farrel, 6"x13" mil



Şekil 6.7. Platen pres, Fontijne, TP600

6.2.2. Testler

6.2.2.1. Mooney viskozimetre

Mooney testleri, malzemeye şekil verilirken dikkat edilmesi gereken parametreleri (karışımın viskozitesi, pişme başlama zamanı) belirlemek için yapılır [58, 201, 202, 203]. Mooney testleri, ASTM D1646 standardına uygun olarak 130 °C sıcaklıkta yapılmıştır. Test sonuçları için kullanılan terimler, cihaz özellikleri ve cihaz kullanım amacı aşağıda belirtildiği gibidir.

Terimler;

- IV: Başlangıç viskozitesi (İng. Initial Viscosity)
- MV: Minimum viskozite
- $M_L(1+4)$: 5. Dakikadaki viskozite
- t_5 : Minimum viskoziteden 5 Mooney birimi sonraki pişme başlangıç zamanı
- t_{35} : Minimum viskoziteden 35 Mooney birimi sonraki pişme zamanı

Cihaz özellikleri;

- Firma, Model: Monsanto, MV 2000E (Şekil 6.8)
- Sıcaklık: Oda sıcaklığı ile 200 °C arası
- Dönme: Standart 2 rpm, 0.1'den 20 rpm'e kadar isteğe bağlı
- Test yetenekleri: Mooney viskozite, Mooney yanma (İng. scorch), gerilim gevşeme (İng. stress relaxation)

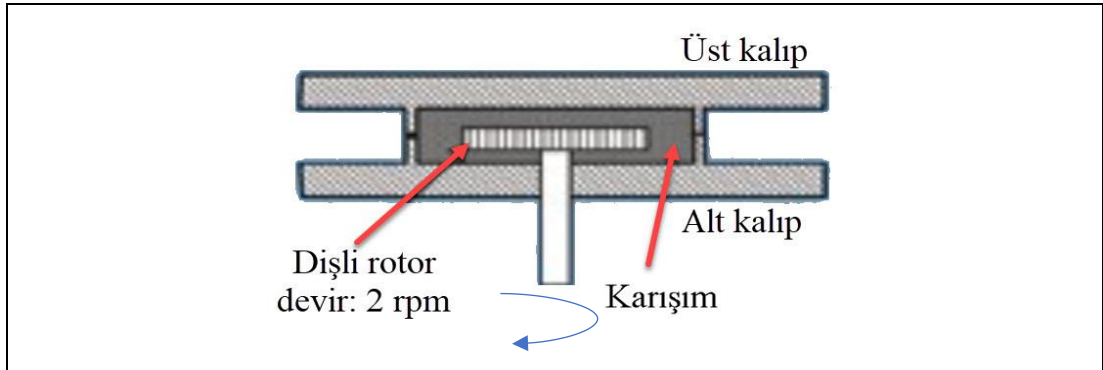
Cihaz kullanım amacı;

- Ham elastomerlerin Mooney viskozitesini ve lastik karışımlarının yanma özelliklerini ölçer. Karışımın akışkanlığa karşı koyduğu direnci verir.
- $M_L(1+4)$: Lastik karışımlarında proses edilebilirlik ile ilgili bilgi verir.
- t_5 : Lastik karışımlarında pişme başlangıcını verir. Örneğin bu sayede, ekstrüder ve kalender proseslerinin ne kadar süre içerisinde tamamlanması gerektiği bilgisini elde edilir.
- Ham elastomerlerde (kauçuk) ise sadece $M_L(1+4)$ değeri yeterlidir.

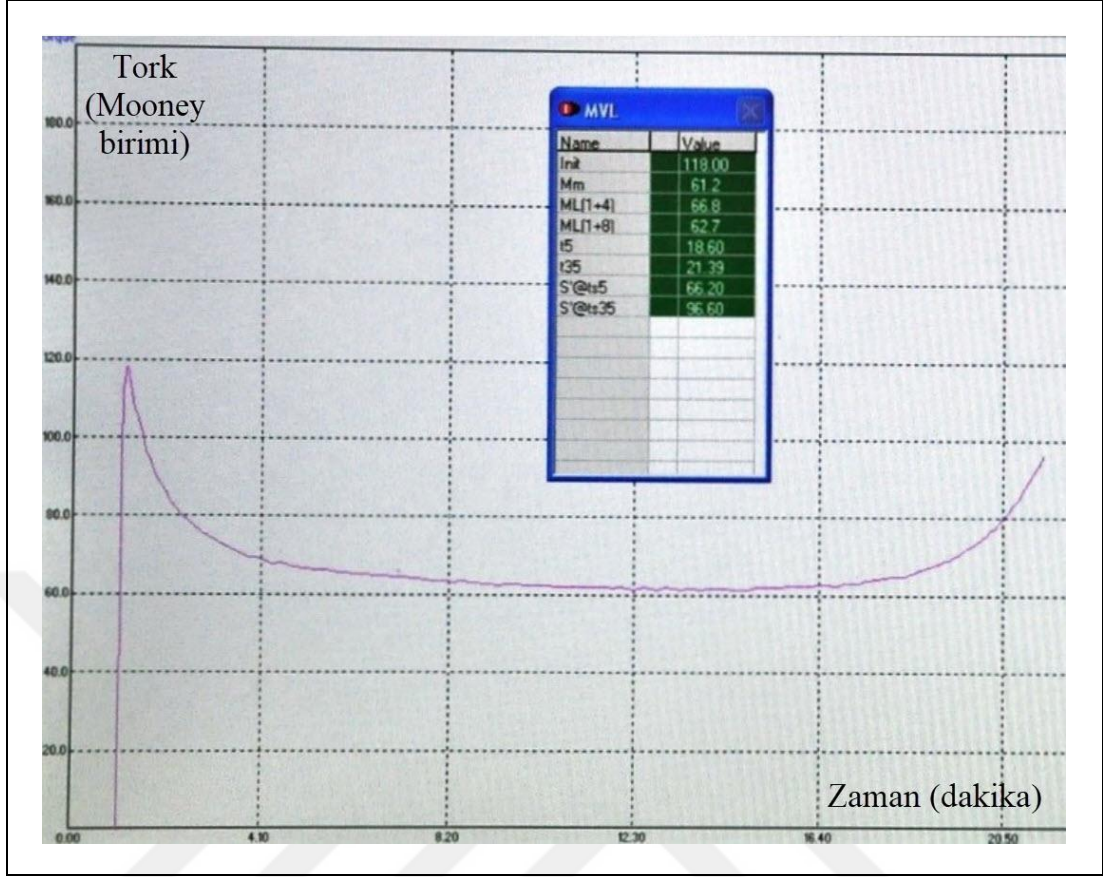


Şekil 6.8. Monsanto, MV 2000E Mooney viskozimetre ve rotor haznesi

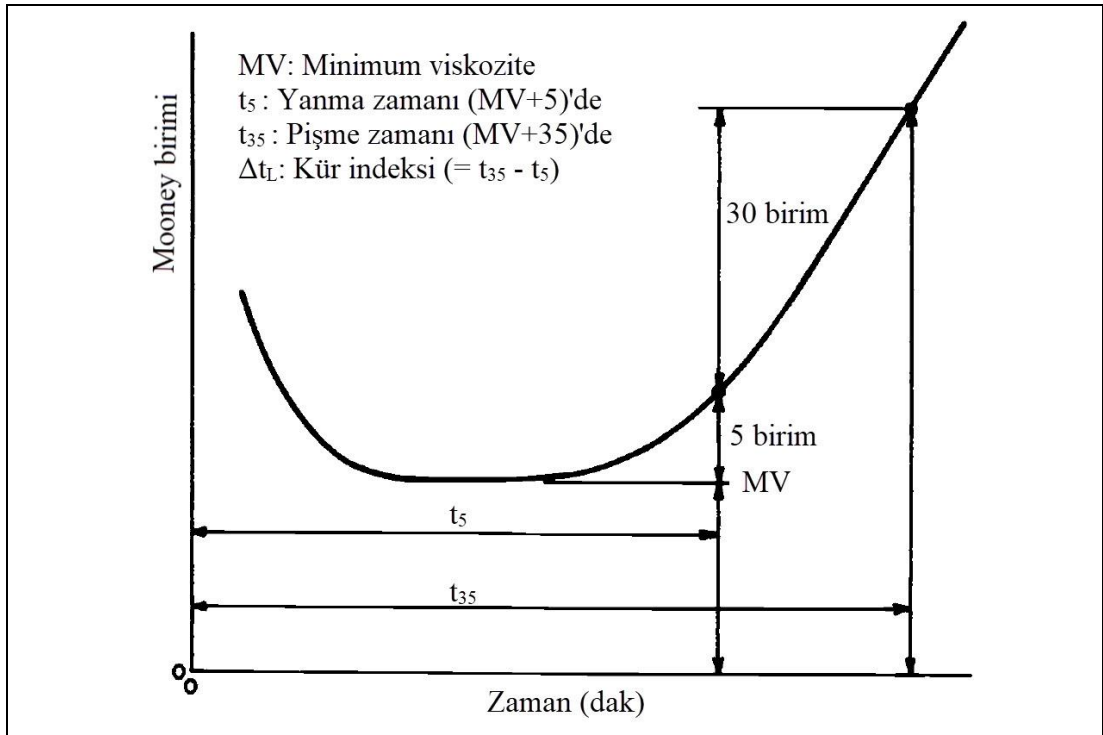
Şekil 6.9’da verilen 2 rpm (devir / dakika) sabit hızla dönen rotorun karşılaştığı direnç, tork (Nm) olarak kaydedilir [203]. ASTM D1646’da açıklanan algoritma ile bu tork değerleri, rastgele Mooney birimlerine (MU) çevrilir ($1 \text{ MU} = 0,083 \text{ Nm}$) . Şekil 6.10’da tipik bir Mooney çıktısı ve Şekil 6.11’de ise büyük rotor kullanılarak elde edilen tipik bir yanma eğrisi verilmiştir.



Şekil 6.9. Mooney viskozimetrede karışımın konulduğu rotor haznesi [203]



Şekil 6.10. Tipik bir Mooney test çıktısı (1 dakika ön ısıtma esnasında rotor hareketsiz)



Şekil 6.11. Büyük rotor kullanılarak elde edilen tipik bir Mooney eğrisi [58]

6.2.2.2. Reometre

Reometre testleri karışımın viskozite, pişme özellikleri ve saha performansı ile ilgili bilgi edinmek için yapılır. Tez çalışmasında kullanılan reometrede rotor bulunmamaktadır (MDR, İng. Moving Die Rheometer) [58, 201, 202]. Şekil 6.12’de gösterildiği gibi test sırasında pünomatik sistem, üst kalıbın sabit bir kayma hızı sağlayacak şekilde alt kalıba göre dönmesini sağlarken, alt kalıp sabit açı ve frekansla numuneyi bir sağa ve bir sola çevirerek titreşir. Testler, ASTM D5289 standardına uygun olarak yapılmıştır. Sıcaklık 160 °C ve sabit açı 1 ark olarak seçilmiştir. 1 ark, 1 derecelik açıya karşılık gelen yaydır. Test edilen bir örnek Şekil 6.13’te görülmektedir. Cihaz özellikleri ve cihaz kullanım amacı aşağıda belirtilmiştir.

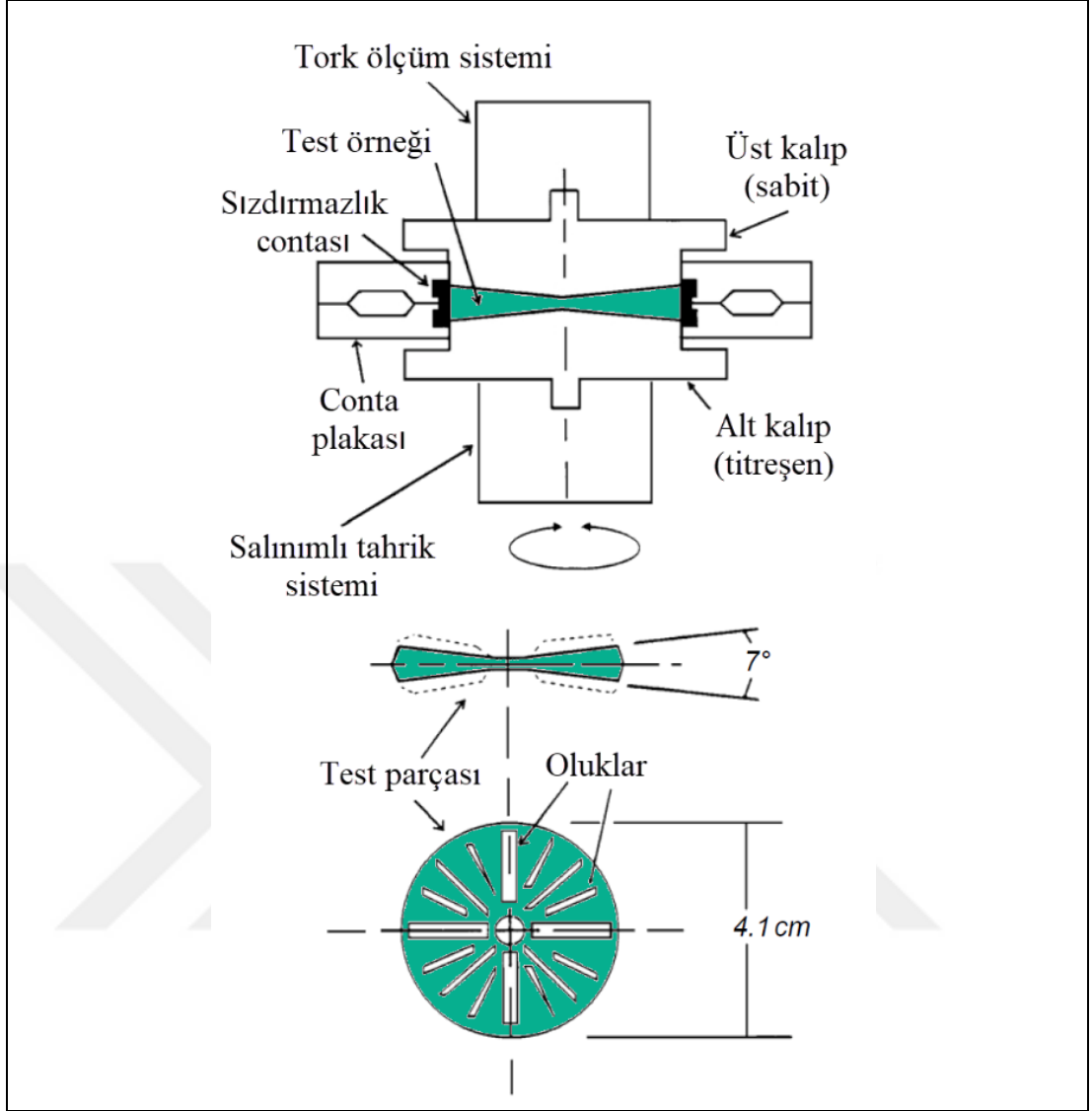
Cihaz özellikleri;

- Firma, Model: Alpha, MDR 2000 (Şekil 6.14)
- Sıcaklık: Oda sıcaklığı ile 200 °C arası
- Salınım frekansı: 1,667 Hz
- Gerinim: 0.2, 0.5, 1.0, veya 3.0 derecelere karşılık gelen gerinim değerleri sırasıyla; % 2,8, % 7, % 14 veya % 40

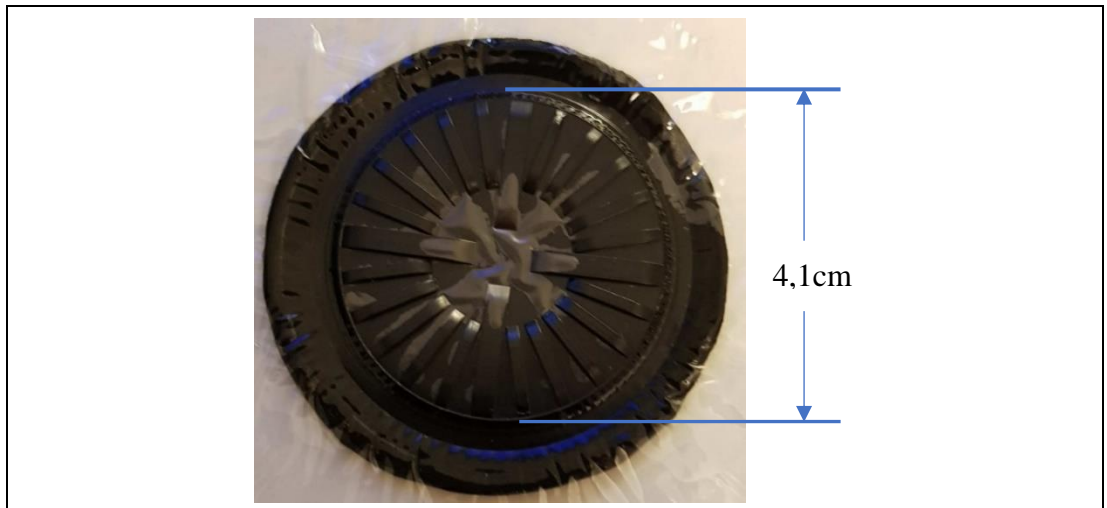
Cihaz kullanım amacı;

Sabit gerinim ve frekansta, eş ısıl (İng. isothermal) test koşulları altında, karışımın pişme özelliklerini ölçer. Aynı zamanda pişme esnasında karışımın dinamik özelliklerini de (S'' ve $\tan \delta$) verir. Test sırasında zamana karşı tork eğrisi otomatik olarak çizilir (Şekil 6.14).

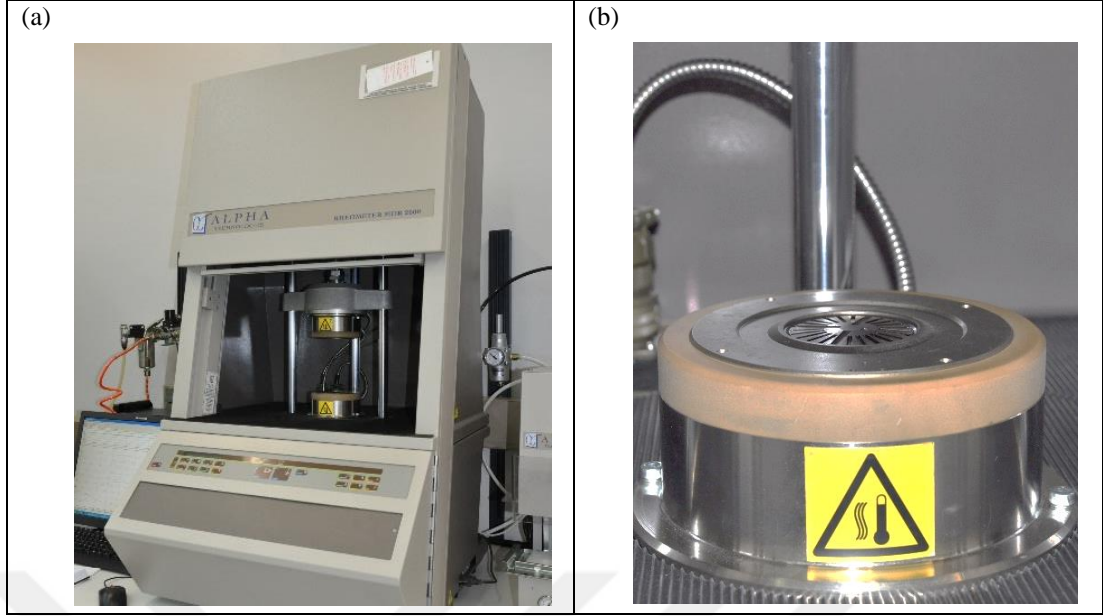
Verilen bir karışım için pişme eğrisi çapraz bağ oluşumunun genel kinetiğini, varsa geri dönüşü (İng. reversion) gösterir. Bazı durumlarda geri dönüş yerine, uzun bir plato veya devam eden (İng. marching) pişme ortaya çıkabilir. İdeal bir lastik pişirme eğrisi ve MDR’da kullanılan terimler Şeki 6.15’te verilmiştir [58, 201, 202, 204].



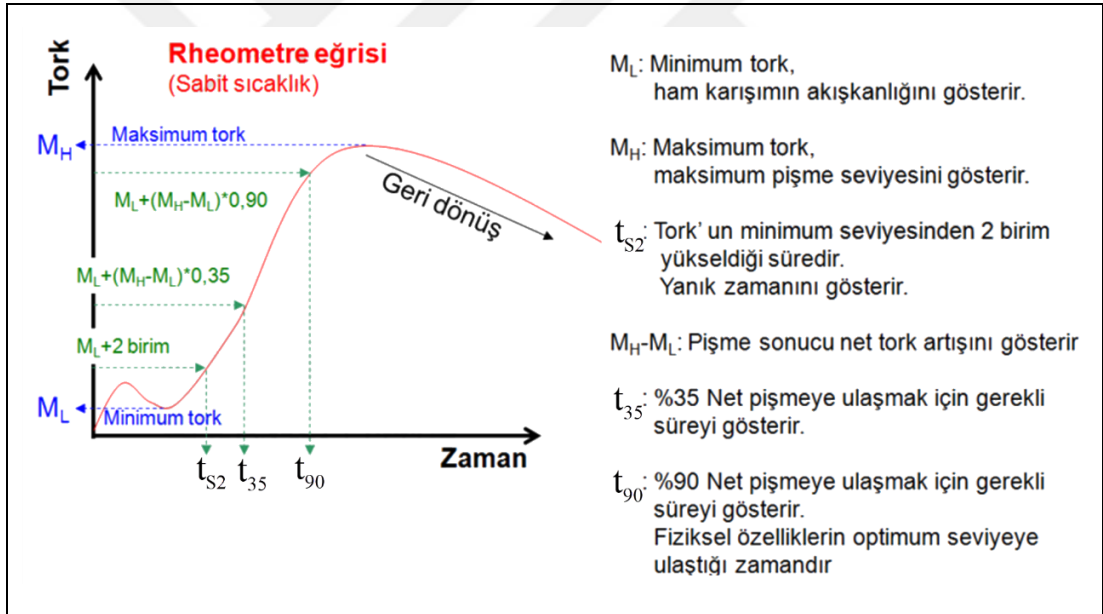
Şekil 6.12. MDR (Moving Die Rheometer) reometre yapısı ve test örneği [202]



Şekil 6.13. İki jelatin arasına yerleştirilmiş halde MDR’da test edilmiş örnek



Şekil 6.14. (a) Alpha, MDR 2000 reometre, (b) titreşen alt kalıp



Şekil 6.15. İdeal bir lastik pişirme eğrisi ve MDR'da kullanılan terimler [204]

Tork, rotorun dönme hareketine karşı koyan güçtür. $S'@t_{90}$, karışımın pişme süresi olan t_{90} anındaki tork değerini verir; t_{90} değeri, maksimum tork ile minimum tork değerleri arasındaki farkın yüzde doksanına minimum tork değeri eklendiğinde bulunan tork değerine, pişme eğrisinde karşılık gelen süredir. Lastik t_{90} anında presten çıkarılır.

$$S'@t_{90} = [(M_H - M_L) \times 0.90] + M_L \quad (6.1)$$

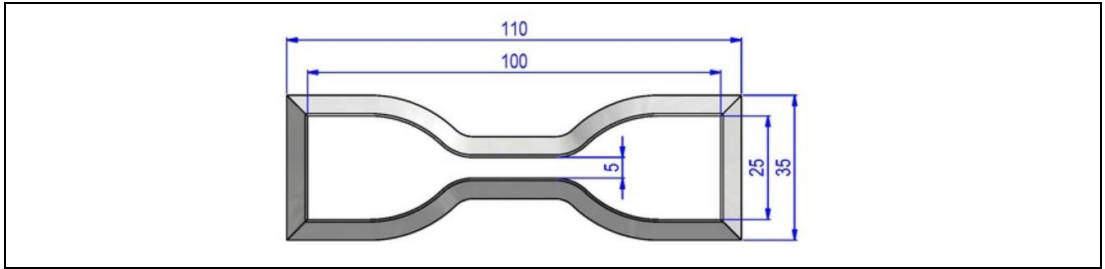
6.2.2.3. Çekme testi

Lastikte çekme testi (İng. tensile testing); çekme kalıbında pişirildikten sonra dumbbell bıçağı kullanılarak (Şekil 6.16), “köpek kemiği” (İng. dog-bone) benzetmesiyle adlandırılan şekilde kesilen karışım örneğinin (Şekil 6.17), tek eksenle kopana kadar çekme kuvvetlerine maruz bırakıldığı bir testtir. Çekme testleri ASTM D412 standardına uygun olarak oda sıcaklığında ($23 \pm 2^{\circ}\text{C}$) yapılmıştır.

Çekme testi, çekme kalıbında 145°C 'de 30 dakika pişirilmiş lastik karışımı örneklerinin çekme özelliklerini ölçer. Bunlar; kopma dayanımı, kopmada uzama ve çeşitli uzamalarda modül değerleridir. Karışımlar yaşlandıkça kopma ve uzama değerleri azalır. Modül değerleri ise, belirli bir uzamaya kadar artar ve sonra düşer [58, 200, 201].

Cihaz ve test parametreleri aşağıda belirtilmiştir;

- Alpha, T2020 tensometre (Şekil 6.18)
- Çekme hızı: 500 ± 50 mm/dak
- Ekstansometre aralığı: 20 mm



Şekil 6.16. Dumbbell kesici #3 bıçağı (JIS K6251) [205]



Şekil 6.17. Tensometre örnekleri (uzunluk: 100 mm, orta genişlik: 5 mm, kalınlık~2 mm)

Dumbbell bıçağı (Şekil 6.16) kullanılarak çekme kalıbından çıkarılan pişmiş karışımdan 4 adet örnek (Şekil 6.17) kesilir. Örneklerin dar olan orta bölgelerinin üç ayrı konumunda (sağ, orta ve sol) kalınlık ölçümü, Şekil 6.19’de verilen aygıt yardımıyla gerçekleştirilir. Her bir örnek için alınan üç ölçümün ortalama değerleri, test esnasında tensometre bilgisayarına girilir. Her bir karışım için 4 adet örnek test edilip sonuçlarının ortalaması alınır.



Şekil 6.18. Alpha, T2020 tensometre



Şekil.6.19. Kadran göstergeli kalınlık ölçme aygıtı (Mitutoyo 547-315)

6.2.2.4. Yaşlandırma

ASTM D412 standardına göre hazırlanan test örnekleri, Şekil 6.20'de gösterilen etüvlerde 100°C'de 24, 48 ve 96 saat yaşlandırılır. Daha sonra bu örnekler tensometrede test edilir [199, 200].



Şekil 6.20. Heraeus etüvler (UT12)

6.2.2.5. Sertlik ölçümü

Sertlik ölçümleri ASTM D2240 (Shore A) standardına göre gerçekleştirilir. Bu amaçla Şekil 6.21'de verilen Zwick/Roell (Shore A) sertlik ölçüm cihazı kullanılır. Çekme kalıbında pişirilerek elde edilen bir tabakadan, Dumbell bıçak sistemi kullanılarak, kesilen (dog-bone) örneklerden üçü üst üste konulur. Cihaz yaklaşık 6 mm yüksekliğe göre ayarlanır. Kol bırakıldığında iğnenin dışındaki silindir örnek yüzeyine değeri ve iğne örnek yüzeyinde 15 saniye basılı kalır. Bu şekilde geniş alana sahip karşılıklı iki kenardan birer ölçüm yapılır ve bu iki ölçümün ortalaması alınarak sertlik değeri raporlanır [58, 200, 201].



Şekil 6.21. Sertlik ölçüm cihazı Zwick/Roell (Shore A)

6.2.2.6. Sekme esnekliği

ISO 4662 standardına göre gerçekleştirilen sekme esnekliği (İng. rebound resilience) testi, pişmiş karışımın elastik-plastik özellikleriyle ilgili bilgi verir. Bir lastik karışımının esneklik (İng. resilience) değeri, onun gerilime maruz kaldığında ne kadar esnek olduğunun bir lsdr. Diğer bir deyişle; karışımın üzerine uygulanan kuvvetin ne kadarının geri kazanıldığı ve ne kadarının kaybedildiği hakkında bilgi verir. Geri dönen enerjinin, uygulanan enerjiye oranı esneklik olarak adlandırılır. Uygulanan enerji ile geri dönen enerji arasındaki fark (mekanik olarak geri dönmeyen enerji), lastik karışımında ısı olarak dağılır [200,201].

Schob sarkacı kullanan cihazda (şekil 6.22) sekme esnekliği değeri (R):

$$R = (\text{Darbe sonrası çarpan sarkacın enerjisi} / \text{darbe öncesi sarkac enerjisi}) \times 100 \quad \text{veya}$$
$$R = (\text{sekme açısı} / \text{darbe açısı})^2 \quad \text{ile hesaplanır.}$$



şekil 6.22. Schob sarkacılı sekme esnekliği ölüm cihazı Zwick/Roell 5109

6.2.2.7. Özgül ağırlık

ASTM D792 standardına göre gerçekleştirilen özgül ağırlık testi (İng. specific gravity) ile ham ve pişmiş lastik karışımlarının özgül ağırlığı llr [201]. şekil 6.23'te ölüm için kullanılan cihaz verilmiştir.



Şekil 6.23. Densitometre (Toyo Seiki model D-S)

6.2.2.8. Yorulma

ASTM D4482 standardına göre gerçekleştirilen FTFT (İng. Fatigue To Failure Tester) ile, pişmiş lastik karışımının yorulma ömrü incelenir. Test, örnek kopana kadar sürer. Yüksek gerinim değerlerinde (yaklaşık %162 uzama) yapılan bir testtir. Dakikada 100 kez uzama hareketi yapan cihazın sayacı 1 kontür atar. Kopma anında ilgili sayaç durur (Şekil 6.24).



Şekil 6.24. FTFT cihazı

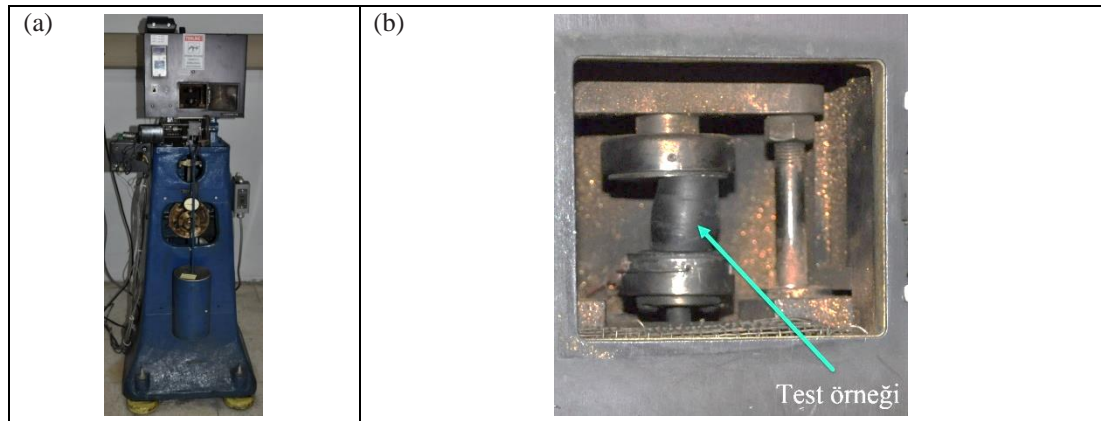
6.2.2.9. Fleksometre

Lastik karışımlarının çalışma ömrü, genellikle lastiğin kullanım sırasında esnemesiyle ortaya çıkan ısı üretimi ile sınırlıdır. ASTM D623-07 standardına uygun olarak yapılan fleksometre testinde; karışımın DMT (İng. Dynamic Mechanical Testing) ve ısı üretimi analizleri gerçekleştirilir. Şekil 6.25'te cihaz ve örnek odası gösterilmiştir. Fleksometre ilk olarak 1937 tarihinde BFGoodrich firması tarafından geliştirilmiş ve Model II olarak tanımlanan ilk önemli tasarım değişikliği 1993 yılında gerçekleştirilmiştir. BFGoodrich Testing Instruments Group 2002 tarihinde Tech Pro firması tarafından satın alınmıştır [206, 207].

ASTM D3182 standardına göre hazırlanan silindirik örnek, ya sabit yük altında (başlangıç basma değeri sabit) veya sabit basma değeri altında esneme yorulmasına (İng. flex fatigue) tabi tutulur. Sabit yük altında yapılan standart deney modunda, belirli bir döngüsel basma oranı (İng. cyclic compression rate) kullanılarak, örnek tabanında meydana gelen ısı artışının yanı sıra örnek boyunda meydana gelen değişiklik kaydedilir. Örnek boyutu ölçümünden kalıcı deformasyon değeri (İng. compression set) Denklem 6.2 ile hesaplanır.

$$C = \frac{t_0 - t_f}{t_0} \times 100 \quad (6.2)$$

Burada, C kalıcı deformasyon değeri, t_0 ve t_f ise sırasıyla, başlangıçtaki ve deney sonundaki örnek boyunu göstermektedir. Sabit basma değeri altında yapılan dinamik mekanik test (DMT) modunda ise örneğin E' , E'' ve $\tan \delta$ değerleri bulunur.

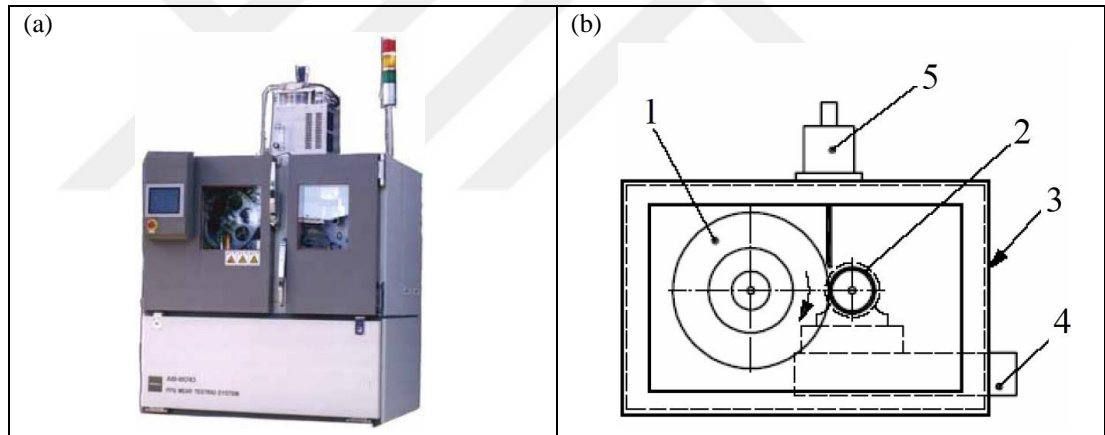


Şekil 6.25. (a) Fleksometre (BFGoodrich Flexometer) (b) örnek odası

6.2.2.10. Aşınma

Aşınma (İng. Lambourn abrasion test), belirli bir test süresi için, dönen disk şeklindeki kauçuk test parçası ile dönen bir aşındırıcı tekerlek arasındaki çevresel hız farkının neden olduğu kayma nedeniyle gerçekleşir. Yatay eksenleri paralel olarak hizalanan test parçası ve aşındırıcı tekerlek, bağımsız tahrik ve belirli bir yük ile birbirlerine karşı bastırılır. Aşındırıcı tekerlek kaydırmaz bant (İng. safety-walk) ile kaplıdır. Talk, test parçasının ve aşındırıcı tekerlek yüzeyinin sıvanmasını önlemek için beslenir [208].

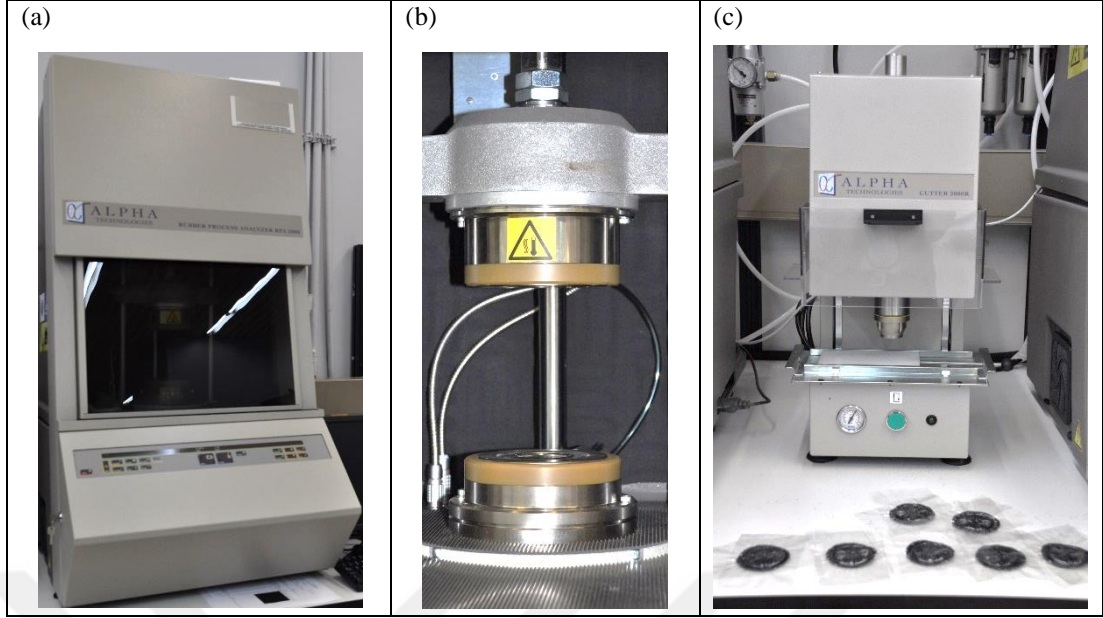
Test parçasının kütleinde kayıp belirlenir ve aşınma süresi veya aşınma mesafesi başına hacim kaybı test malzemesinin yoğunluğundan hesaplanır. Aşınma direnci endeksi, gerekirse aynı koşullarda test edilen bir referans karışımın hacim kaybı ile karşılaştırıldığında belirlenir. Aşınma testinde ISO23337:2007 kullanılmaktadır. Şekil 6.26’da aşınma test cihazı ve test odası verilmiştir [209].



Şekil 6.26. (a) Aşınma test cihazı (Ueshima Lambourn AB-2010), (b) test odasının şematik gösterimi (1: aşındırıcı tekerlek, 2: test örneği, 3: test odası, 4: test örneği üzerine yük uygulama düzeneği, 5: talk damlatma düzeneği) [209]

6.2.2.11. Lastik proses analizörü

Bu analizör, lastik karışımının pişme öncesi, pişme anında ve pişme sonrası dinamik özelliklerini ölçer. ASTM D5289, D6048, D6204, D6601, D7050, and D7605 test standartlarıyla uyumludur. Şekil 6.27’de RPA cihazı (İng. Rubber Process Analyser), örnek odası ve örnek kesici donanımı gösterilmiştir. Bölüm 4’te, lastik karışımlarının dinamik özellikleri anlatılırken RPA cihazından bahsedilmiş olup, Şekil 4.2’de cihazın şematik gösterimi verilmiştir.



Şekil 6.27. (a) Alpha RPA 2000, (b) örnek odası, (c) örnek hazırlayıcı (Alpha Cutter 2000R)

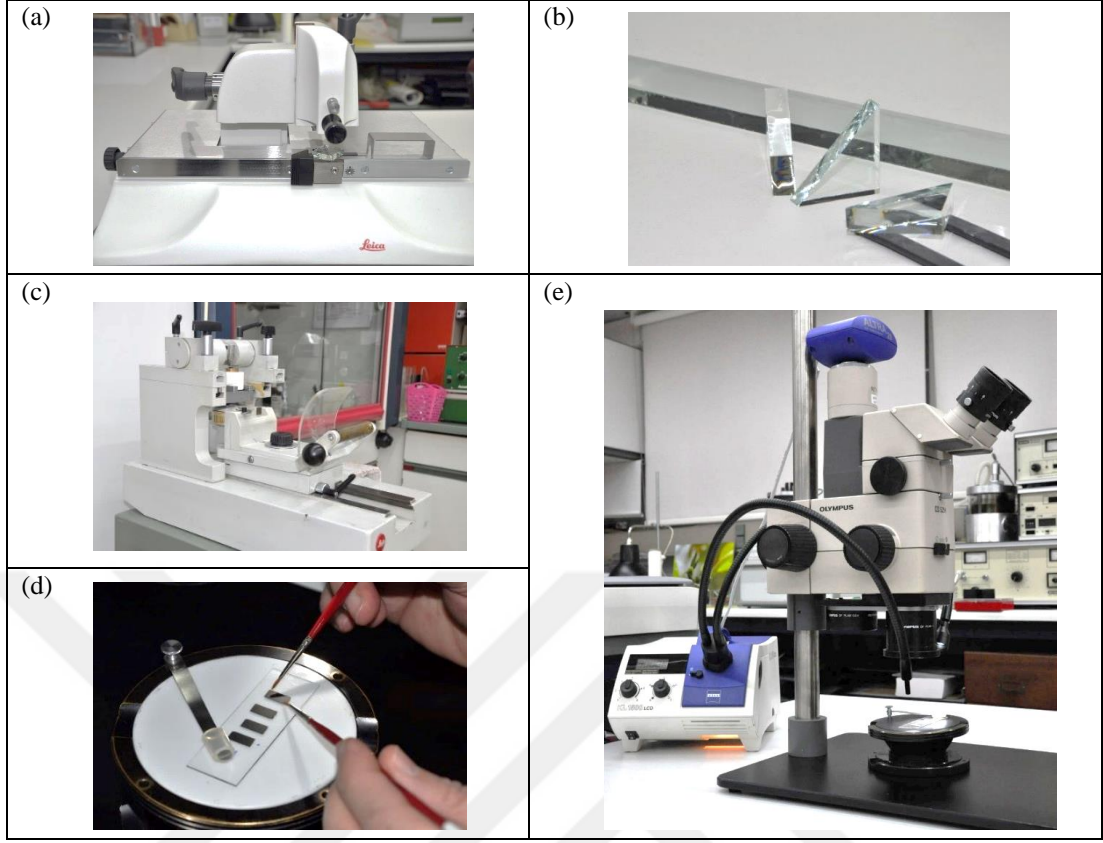
RPA 2000 cihazı, elastomerleri ve karışımlarını test etmek amacıyla tasarlanmış bir dinamik mekanik reolojik test cihazıdır. Cihazın özellikleri aşağıda verilmiştir.

- Marka / Model : ALPHA, RPA 2000
- Sıcaklık aralığı : Oda sıcaklığı - 230 °C
- Salınım frekansı : 0.02 - 50 Hz
- Gerinim aralığı : 0.3% - 1250%
- Hesaplanan veriler : E' , E'' , E^* , G' , G'' , G^* , S' , S'' , S^* , $\tan\delta$, η' , η'' , ve η^*

RPA cihazı ile; zaman testleri (kontrollü gerinim veya kontrollü gerilim), eş ısıp pişme, eş ısıp olmayan pişme, frekans, gerinim taraması, sıcaklık taraması ve gerilim gevşemesi uygulamaları gerçekleştirilebilir.

6.2.2.12. Işık mikroskobu

Şekil 6.28'de yaklaşık 2 μm kalınlığında lastik kesiti alırken kullanılan donanımlar, stereo zoom mikroskop ile birlikte verilmiştir. Stereo zoom mikroskobun iki oküleri, numune görüntüsünü az farklı iki doğrultudan verdiği için, üç boyutlu bir görüntü sağlar. Böylece yüzeyi farklı yüksekliklere sahip topografik örnekleri incelemek mümkün olmaktadır.



Şekil 6.28. (a) Leica cam bıçak hazırlayıcı, (b) cam bıçaklar, (c) Leitz 1400 kızaklı mikrotom, (d) Lam üzerine yayılan 2 μm kalınlığındaki lastik kesitleri, (e) Olympus SZH stereo zoom mikroskop

Şekil 6.29’da verilen alttan ve üstten aydınlatmalı, motorize tablalı ve Olmpus SIS görüntü analiz sistemine bağlı ışık mikroskobu, lastik kesitlerinin ince kesit görüntülerini incelemekte kullanılır.



Şekil 6.29. Olympus BH-2 BHSM ışık mikroskop

6.2.2.13. Elektron Mikroskoplar

Şekil 6.30'da verilen SEM, EDS (Enerji Dağılım Spektrometresi) ve IA (Görüntü Analiz) sistemi yardımıyla; örneklerin topografik ve bileşimsel görüntüleri alınıp, elementel ile görüntüsel analizleri gerçekleştirilmektedir. Şekil 6.31'de STEM (Taramalı Geçirimli Elektron Mikroskop), EDS ve IA sistemi verilmiştir.



Şekil 6.30. Jeol JSM 840A SEM üzerine takılı EDS (IXRF Systems) ve Olympus SIS görüntü analiz sistemi



Şekil 6.31. Jeol JEM 2000FX STEM üzerine takılı EDS (IXRF Systems) ve Olympus SIS görüntü analiz sistemi

7. BULGULAR VE TARTIŞMA

7.1. Karbon Elyaf Katkı Miktarının Karışımın Özelliklerine Olan Etkisinin Saptanması

Bu bölümde DowAksa firmasından temin edilen poliüretan kaplı (İng. sizing) karbon elyaf (C1) takviye malzemesi olarak farklı miktarlarda (2, 5, 10, 15, 20 phr) lastik karışımında kullanılmıştır. Bu çalışma ile katkı miktarının karışım özelliklerine etkileri incelenmiştir. Bölüm 6.1.3'te tanımlanan, doğal kauçuk esaslı, ticari niteliği olmayan genel amaçlı A reçetesi kullanılmıştır. Hazırlanan karışımlar pişme özellikleri, mekanik özellikler ve yaşlanma özellikleri açısından test edilmiştir.

7.1.1. Kullanılan reçeteler

Tablo 7.1. Ana karışım reçeteleri (kısım olarak)

Hammadde	Ana karışım					
	KA	2C1A	5C1A	10C1A	15C1A	20C1A
NR	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
N330	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00
Stearik asit	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
6PPD	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
TMQ	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
DCPD	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
CF	0,00	2,00	5,00	10,00	15,00	20,00
Toplam kısım (phr)	155,00	157,00	160,00	165,00	170,00	175,00

Tablo 7.2. Ana karışım reçeteleri (ağırlık olarak)

Hammadde	Ana karışım					
	KA	2C1A	5C1A	10C1A	15C1A	20C1A
NR	774,19	764,33	750,00	727,27	705,88	685,71
N330	387,10	382,17	375,00	363,64	352,94	342,86
Stearik asit	15,48	15,29	15,00	14,55	14,12	13,71
6PPD	7,74	7,64	7,50	7,27	7,06	6,86
TMQ	7,74	7,64	7,50	7,27	7,06	6,86
DCPD	7,74	7,64	7,50	7,27	7,06	6,86
CF	0,00	15,29	37,50	72,73	105,88	137,14
Toplam ağırlık (g)	1200,00	1200,00	1200,00	1200,00	1200,00	1200,00

Tablo 7.3. Son karışım reçeteleri (kısım olarak)

Hammadde	Son karışım					
	KA	2C1A	5C1A	10C1A	15C1A	20C1A
Ana karışım	155,00	157,00	160,00	165,00	170,00	175,00
ZnO	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
TBBS	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
Kükürt	1,37	1,37	1,37	1,37	1,37	1,37
Toplam kısım (phr)	160,17	162,17	165,17	170,17	175,17	180,17

Tablo 7.4. Son karışım reçeteleri (ağırlık olarak)

Hammadde	Son karışım					
	KA	2C1A	5C1A	10C1A	15C1A	20C1A
Ana karışım	1161,28	1161,76	1162,45	1163,55	1164,59	1165,58
ZnO	22,48	22,20	21,80	21,16	20,55	19,98
TBBS	5,99	5,92	5,81	5,64	5,48	5,33
Kükürt	10,25	10,13	9,94	9,65	9,37	9,11
Toplam ağırlık (g)	1200,00	1200,00	1200,00	1200,00	1200,00	1200,00

7.1.2. Karışımların pişme özellikleri

Hazırlanan karışımların pişme özelliklerinin belirlenebilmesi için 130 °C’de Mooney viskozimetre ve 160 °C’de reometre (MDR) ile testler yapılmış ve sonuçlar Tablo 7.5 ve 7.6’da verilmiştir. Kontrol karışımına kıyasla, CF içeren karışımların M_L (1+4) değerleri yükselmekte ve karışımın proses edilebilirliğinin zorlaştığını göstermektedir. Mooney test sonuçları ayrıca yanma süresini belirleyen t_5 değerinin CF katkısı ile kısaldığı bilgisini vermektedir. MDR sonuçları incelendiğinde, maksimum tork (M_H) ve % 90 pişmedeki tork değeri ($S'@t_{90}$) CF katkısının artışı ile artmakta ve mekanik özelliklerin geliştiğine işaret etmektedir. Mooney test sonuçlarına benzer şekilde, t_{s1} ve t_{s2} süreleri artan CF miktarı ile kısalmakta ve yanma riskinin artmakta olduğunu göstermektedir. Pişme başlangıcı olarak kabul edilebilecek t_{10} değeri ile pişme süresini tanımlayan t_{90} değeri CF miktarı ile kısalmaktadır. Tüm bu sonuçlar CF katkısının pişmeyi hızlandırdığını ortaya koymaktadır.

Tablo 7.5. Mooney test sonuçları (130 °C’de)

Özellik	Birim	Karışım kodu					
		KA	2C1A	5C1A	10C1A	15C1A	20C1A
IV	MU	61,6	74,6	71,8	70,9	77,7	76,7
MV	MU	47,5	57,6	54,6	51,2	55,6	53,9
M_L (1+4)	MU	47,8	57,8	55,2	51,6	56,2	54,5
t_5	dak	15,47	13,53	13,13	13,17	12,47	12,15
t_{35}	dak	18,28	16,53	15,75	15,97	15,05	14,28

Tablo 7.6. MDR test sonuçları (160 °C’de)

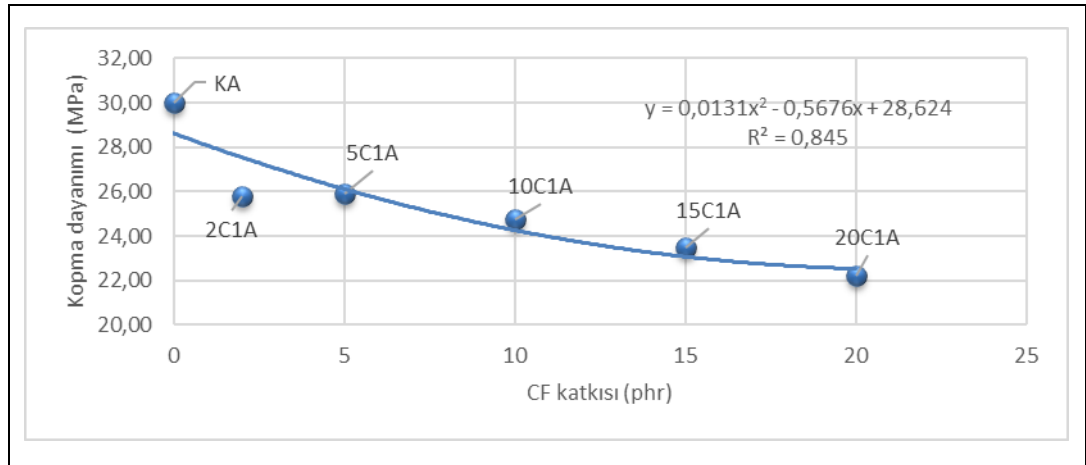
Özellik	Birim	Karışım kodu					
		KA	2C1A	5C1A	10C1A	15C1A	20C1A
M_L	dNm	2,05	2,54	2,47	2,41	2,64	2,65
M_H	dNm	12,40	14,94	15,37	16,19	16,78	17,92
t_{s1}	dak	2,14	2,02	1,94	1,93	1,88	1,80
t_{s2}	dak	2,57	2,46	2,36	2,34	2,28	2,19
t_{10}	dak	2,15	2,16	2,09	2,12	2,08	2,04
t_{50}	dak	3,31	3,18	3,11	3,16	3,11	3,04
t_{90}	dak	5,39	4,91	4,83	5,04	4,88	4,80
$S'@t_{s2}$	dNm	4,06	4,58	4,50	4,42	4,68	4,65
$S'@t_{10}$	dNm	3,08	3,77	3,74	3,78	4,06	4,17
$S'@t_{50}$	dNm	7,22	8,75	8,93	9,29	9,71	10,29
$S'@t_{90}$	dNm	11,37	13,70	14,07	14,80	15,36	16,40

7.1.3. Karışımların çekme ve yaşlandırma testleri

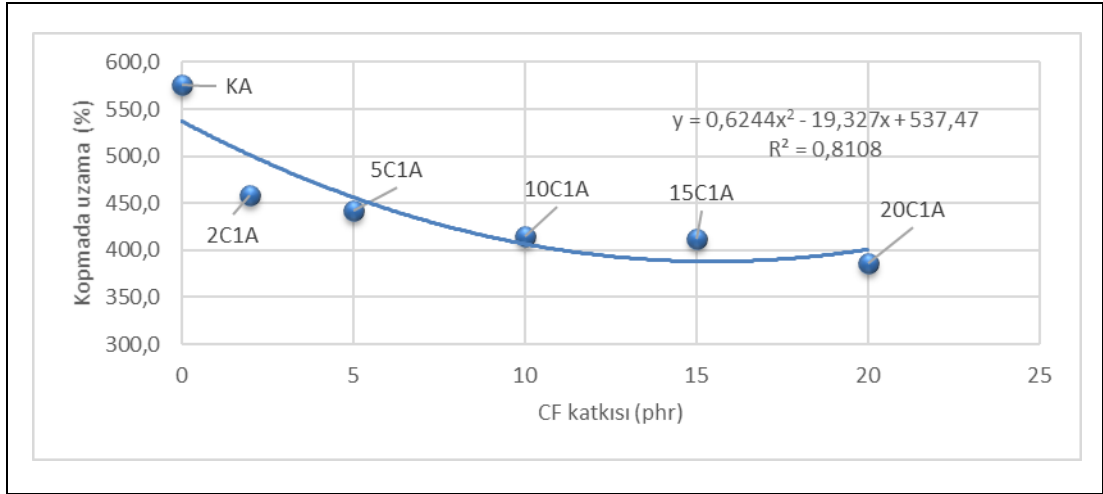
Karışımların mekanik özelliklerini belirlemek amacı ile çekme testleri yapılmış ve sonuçlar Tablo 7.7’de gösterilmiştir. Şekil 7.1 ve 7.2, kopma dayanımı ve kopmada uzama değerlerinin artan CF katkısı ile azalmakta olduğunu açıkça göstermektedir. Tablo 7.7’de artan CF miktarının tüm modül değerlerini artırdığı görülmektedir. Şekil 7.3. modül değerlerinin kontrole göre indeks grafiğini vermektedir ve en yüksek artışın % 25 uzamada olduğunu belirtmektedir. Şekil 7.4, M25 değerlerinin CF katkısı ile değişimini göstermektedir. Bu sonuçlar karışımın mekanik özelliklerinin düşük uzamalarda (%25’e kadar) CF katkısı ile büyük ölçüde iyileştiğini ortaya koymaktadır.

Tablo 7.7. Yaşlandırılmamış (0 saat) örneklerin çekme test sonuçları

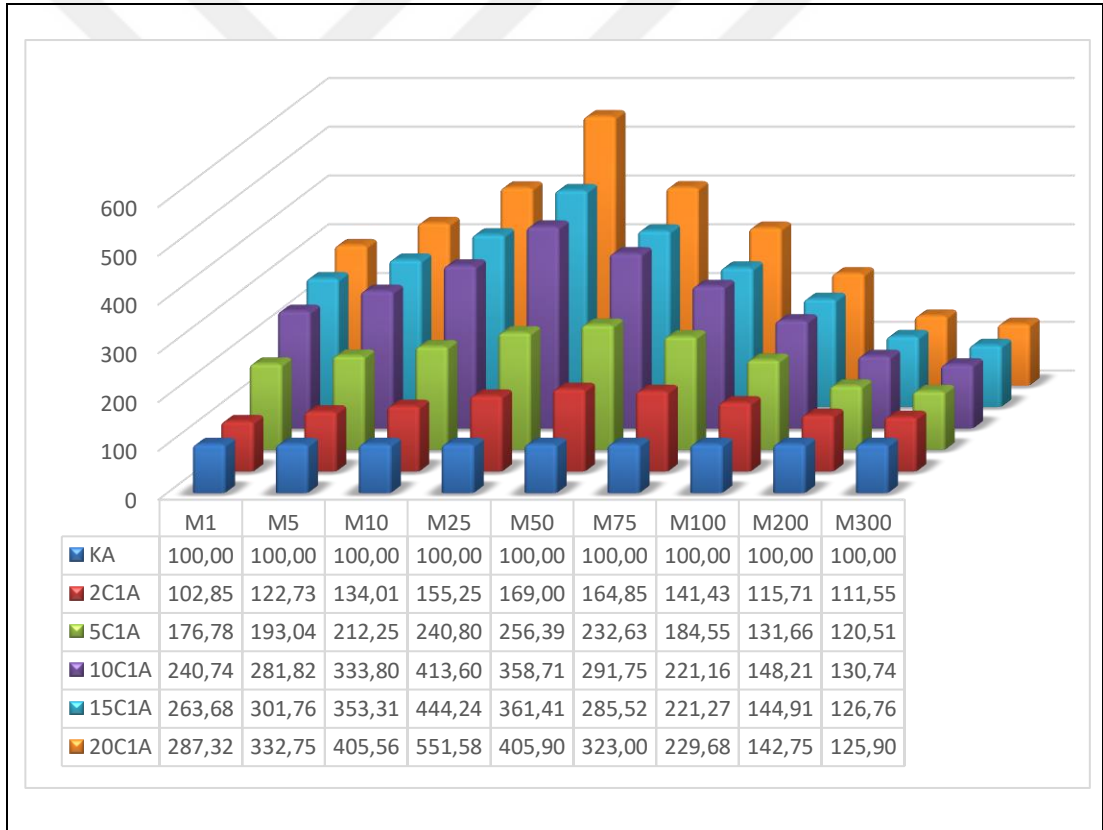
Özellik	Birim	Karışım kodu					
		KA	2C1A	5C1A	10C1A	15C1A	20C1A
Kopma dayanımı	MPa	30,02	25,79	25,89	24,73	23,51	22,19
Kopmada uzama	%	576,1	459,0	442,7	414,1	412,2	386,6
M1	MPa	0,34	0,35	0,61	0,83	0,91	0,99
M5	MPa	0,53	0,65	1,02	1,49	1,60	1,76
M10	MPa	0,70	0,93	1,48	2,32	2,46	2,82
M25	MPa	1,04	1,62	2,51	4,31	4,63	5,75
M50	MPa	1,43	2,41	3,65	5,11	5,15	5,79
M75	MPa	1,85	3,05	4,30	5,39	5,28	5,97
M100	MPa	2,55	3,61	4,71	5,65	5,65	5,87
M200	MPa	7,27	8,41	9,57	10,77	10,53	10,37
M300	MPa	13,48	15,04	16,25	17,63	17,09	16,98



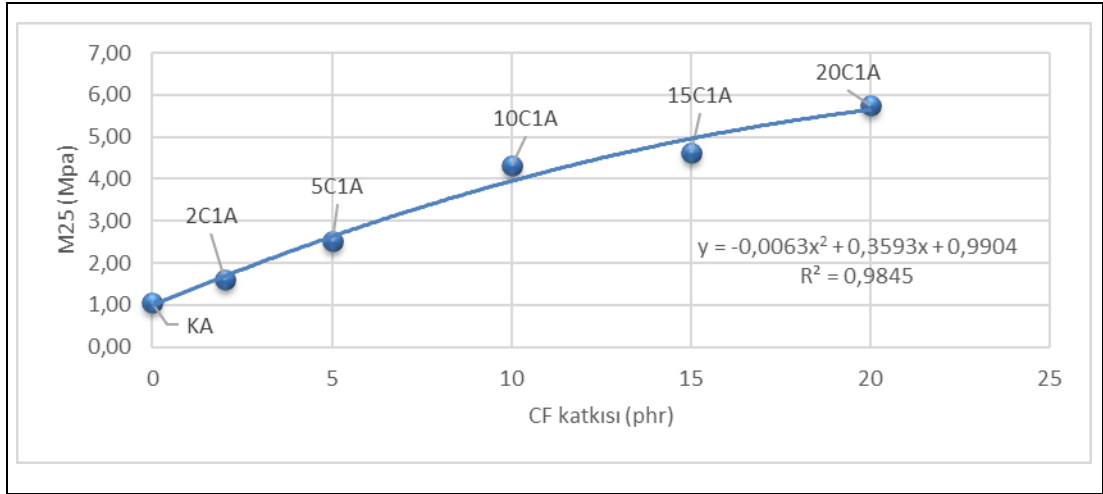
Şekil 7.1. Yaşlandırılmamış (0 saat) örneklerin kopma dayanımı değerlerinin CF katkısı ile değişimi



Şekil 7.2. Yaşlandırılmamış (0 saat) örneklerin kopmada uzama değerlerinin CF katkısı ile değişimi



Şekil 7.3. Yaşlandırılmamış (0 saat) katkılı örneklerin modül değerlerinin kontrole göre indeks grafiği



Şekil 7.4. Yaşlandırılmamış (0 saat) örneklerin kontrole göre, en yüksek modül değerleri artışına ulaştığı %25 uzamadaki, modül değerlerinin CF katkısı ile değişimi

Karışımların yaşlanma özelliklerinin belirlenmesi amacıyla 100 °C’de 24, 48 ve 96 saat süreyle etüvde ısıl yaşlandırma testleri yapılmıştır. Sonuçlar Tablo 7.8, 7.9 ve 7.10’da verilmiştir. Yaşlandırılmamış örneklerdekine benzer şekilde, yaşlandırılmış örneklerin de kopma dayanımı ve kopmada uzama değerleri, CF katkısı ile belirgin bir şekilde düşerken modül değerleri artmaktadır. Şekil 7.5, 7.6 ve 7.7’de yaşlandırılmış örneklerin kontrole göre indeks grafikleri verilmiştir ve M25 değerlerinde en yüksek artış gözlenmiştir. Bu sonuçlar CF katkısının karışımın ısıl yaşlanma özelliklerini iyileştirdiğini göstermektedir.

Tablo 7.8. 24 saat Yaşlandırılmış örneklerin çekme test sonuçları

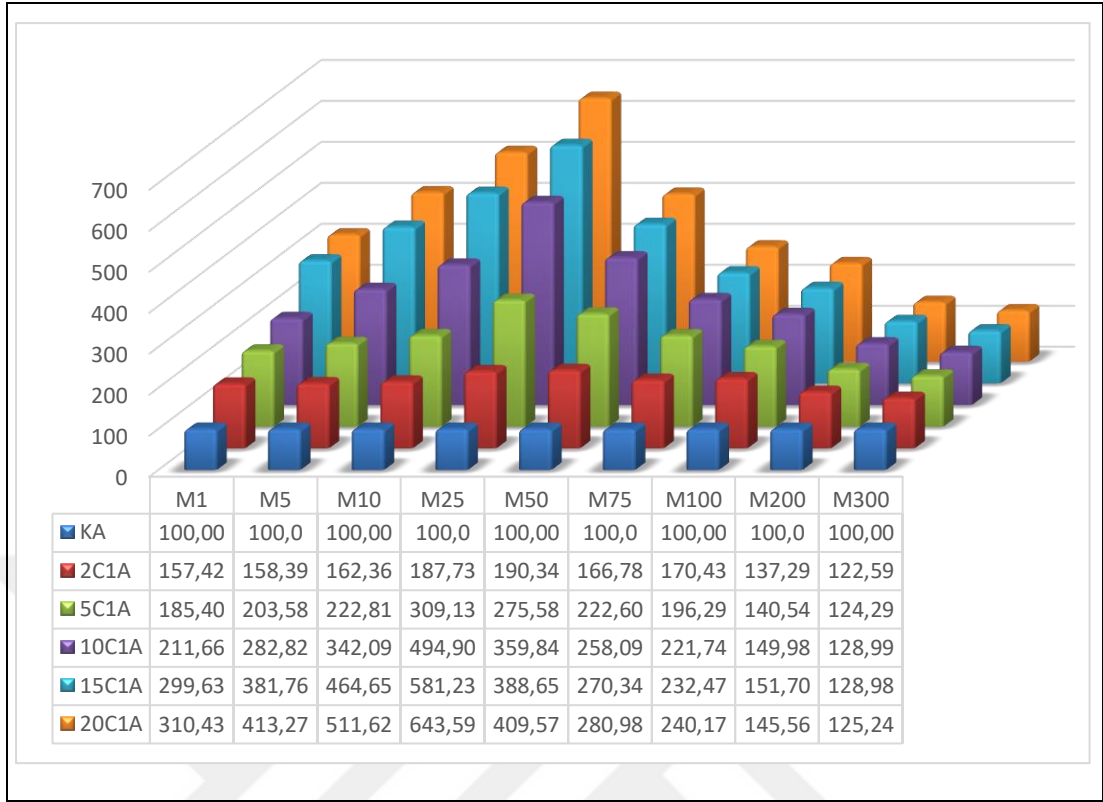
Özellik	Birim	Karışım kodu					
		KA	2C1A	5C1A	10C1A	15C1A	20C1A
Kopma dayanımı	MPa	25,75	26,69	25,08	23,64	21,75	19,81
Kopmada uzama	%	483,8	439,8	403,7	381,2	349,9	330,9
M1	MPa	0,40	0,63	0,74	0,85	1,20	1,24
M5	MPa	0,60	0,95	1,23	1,70	2,30	2,49
M10	MPa	0,79	1,29	1,77	2,71	3,69	4,06
M25	MPa	1,05	1,97	3,24	5,18	6,09	6,74
M50	MPa	1,58	3,01	4,36	5,69	6,14	6,48
M75	MPa	2,26	3,77	5,04	5,84	6,12	6,36
M100	MPa	2,79	4,76	5,48	6,19	6,49	6,70
M200	MPa	7,96	10,93	11,18	11,94	12,07	11,58
M300	MPa	14,63	17,93	18,18	18,87	18,87	18,32

Tablo 7.9. 48 saat Yaşlandırılmış örneklerin çekme test sonuçları

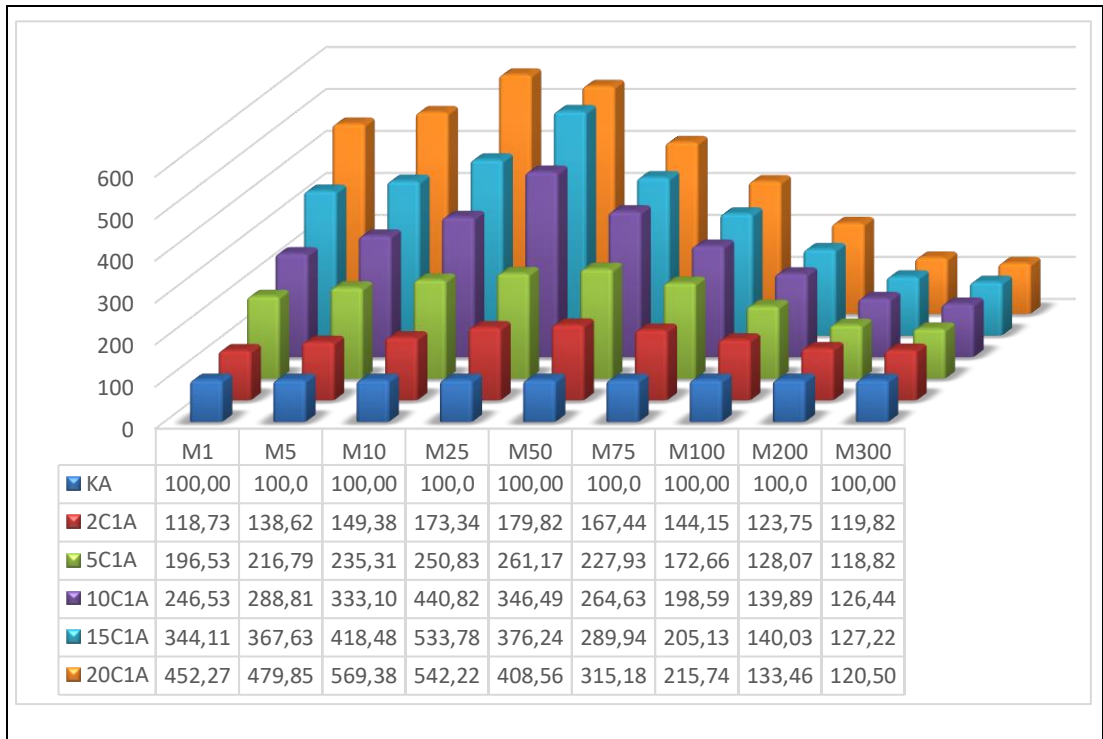
Özellik	Birim	Karışım kodu					
		KA	2C1A	5C1A	10C1A	15C1A	20C1A
Kopma dayanımı	MPa	22,69	23,24	21,89	20,84	19,86	17,71
Kopmada uzama	%	449,8	394,5	378,6	347,5	332,6	302,0
M1	MPa	0,32	0,39	0,64	0,80	1,12	1,47
M5	MPa	0,53	0,73	1,14	1,52	1,93	2,52
M10	MPa	0,71	1,06	1,67	2,37	2,98	4,05
M25	MPa	1,12	1,94	2,81	4,95	5,99	6,08
M50	MPa	1,59	2,85	4,14	5,50	5,97	6,48
M75	MPa	2,12	3,54	4,82	5,60	6,13	6,67
M100	MPa	3,17	4,57	5,48	6,30	6,50	6,84
M200	MPa	8,56	10,60	10,97	11,98	11,99	11,43
M300	MPa	14,64	17,55	17,40	18,52	18,63	17,65

Tablo 7.10. 96 saat Yaşlandırılmış örneklerin çekme test sonuçları

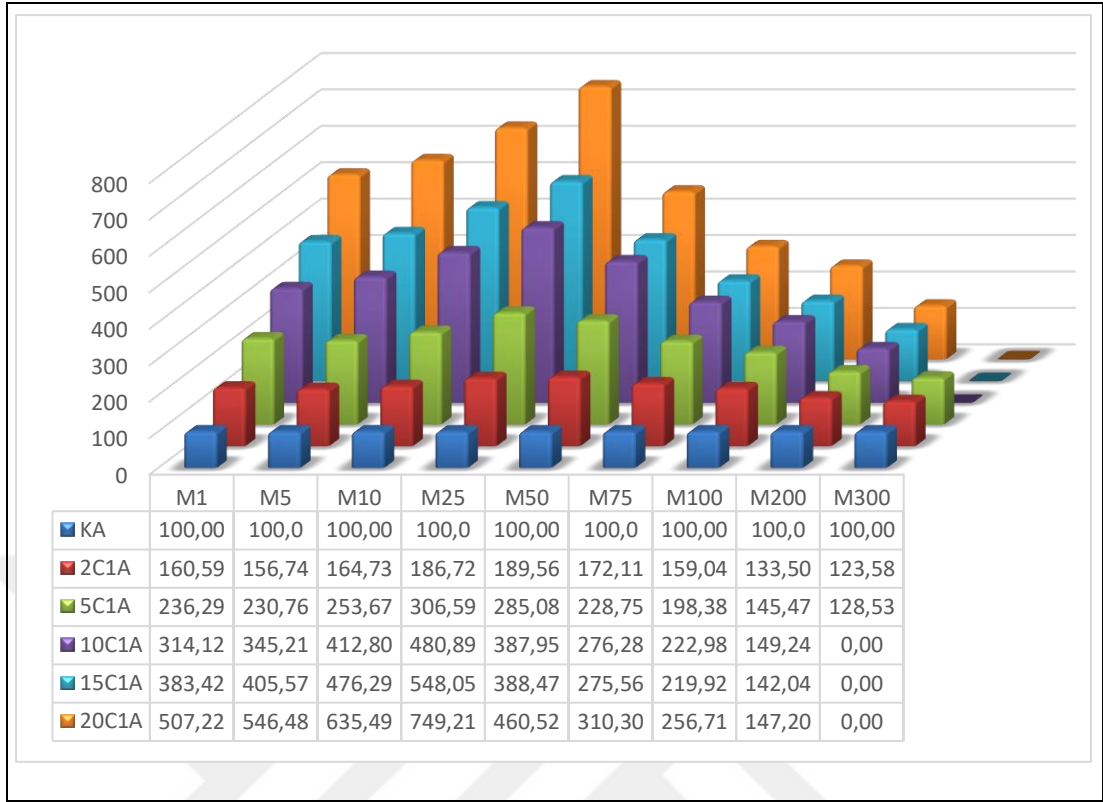
Özellik	Birim	Karışım kodu					
		KA	2C1A	5C1A	10C1A	15C1A	20C1A
Kopma dayanımı	MPa	17,04	19,09	17,34	16,57	15,55	15,10
Kopmada uzama	%	383,4	358,7	319,4	296,2	288,0	273,8
M1	MPa	0,30	0,48	0,71	0,94	1,14	1,51
M5	MPa	0,50	0,79	1,16	1,73	2,04	2,74
M10	MPa	0,67	1,11	1,71	2,78	3,21	4,28
M25	MPa	0,97	1,81	2,97	4,65	5,30	7,25
M50	MPa	1,48	2,80	4,21	5,73	5,74	6,80
M75	MPa	2,13	3,66	4,87	5,88	5,86	6,60
M100	MPa	2,78	4,42	5,51	6,20	6,11	7,13
M200	MPa	7,47	9,97	10,87	11,15	10,61	11,00
M300	MPa	12,84	15,87	16,50	-	-	-



Şekil 7.5. 24 saat Yaşlandırılmış CF katkılı örneklerin modül değerlerinin kontrole göre indeks grafiği



Şekil 7.6. 48 saat Yaşlandırılmış katkılı örneklerin, kontrole göre indeks grafiği



Şekil 7.7. 96 saat Yaşlandırılmış katkıli örneklerin, kontrole göre indeks grafiği

7.1.4. Karışımların sertlik, özgül ağırlık, yorulma testleri

Karışımların sertlik, özgül ağırlık, yorulma test sonuçları Tablo 7.11’de verilmiştir. Beklenildiği üzere sertlik ve özgül ağırlık değerleri, artan CF katkısı ile artmaktadır. Ancak, yorulma testlerinde (FTFT) cihaz yüksek uzamalarda (yaklaşık % 162 uzama) çalıştığı için örneğin içinde bulunan karbon elyaf lifleri ilk ayrılmadan sonra yabancı madde gibi bir davranmaktadır. Sonuç olarak, yüksek CF katkıli örneklerde daha erken kopma meydana gelmektedir.

Tablo 7.11. Sertlik, özgül ağırlık ve yorulma test sonuçları

Özellik	Birim	Karışım kodu					
		KA	2C1A	5C1A	10C1A	15C1A	20C1A
Sertlik	Shore A	62	66	70	76	79	82
Özgül ağırlık	-	1,0749	1,0787	1,0989	1,1007	1,1299	1,1277
Yorulma (FTFT)	Kontür	604	395	312	201	140	123

Bu bölümde yapılan çalışmalar, artan CF katkısı ile karışımda kontrole göre pişmenin hızlandığını, mekanik özelliklerin ve ısıl yaşlanma özelliklerinin % 25 uzamaya kadar

iyileştğini ve yorulma özelliğinin olumsuz etkilendiğini göstermiştir. Bu durumda katkı oranlarının 20 phr'ın altında tutulmasına karar verilmiştir.

7.2. RFL Kaplama ile Yapılan Denemeler

Bu bölümde DowAksa firmasından temin edilen epoksi kaplı karbon elyaf (C2) takviye malzemesi, Kordsa tarafından RFL ile kaplanmış ve Bölüm 7.1'de kullanılan A reçetesine 5 phr katılmıştır. Epoksi üzerine RFL kaplanmış karbon elyafın karışıma tutunmasının incelenmesi için, ışık ve taramalı elektron mikroskoplar ile incelemeler yapılmıştır.

7.2.1. Kullanılan reçeteler

Tablo 7.12. 5C2A Ana karışım reçetesi

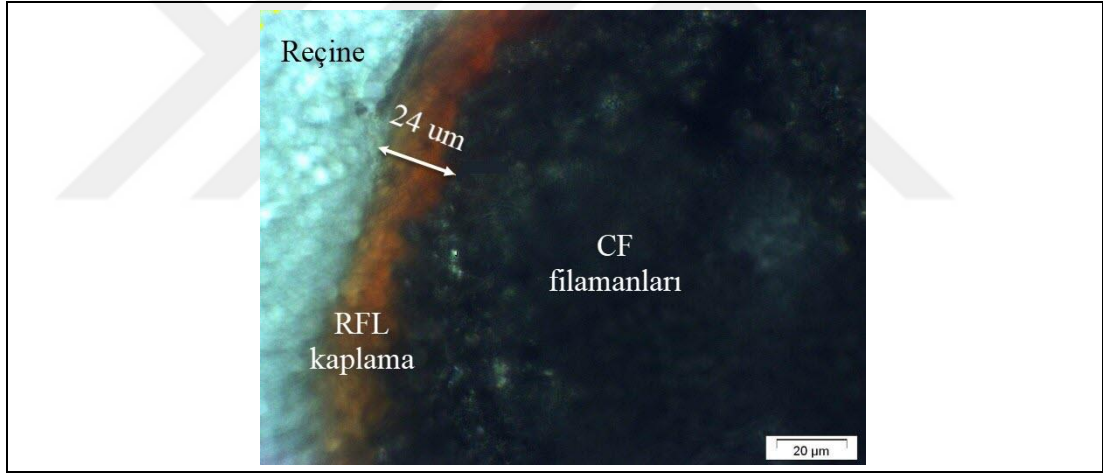
Hammadde	phr	gram
NR	100,00	750,00
N330	50,00	375,00
Stearik asit	2,00	15,00
6PPD	1,00	7,50
TMQ	1,00	7,50
DCPD	1,00	7,50
CF	5,00	37,50
Toplam	160,00	1200,00

Tablo 7.13. 5C2A Son karışım reçetesi

Hammadde	phr	gram
Ana karışım	160,00	1162,45
ZnO	3,00	21,80
TBBS	0,80	5,81
Kükürt	1,37	9,94
Toplam	165,17	1200,00

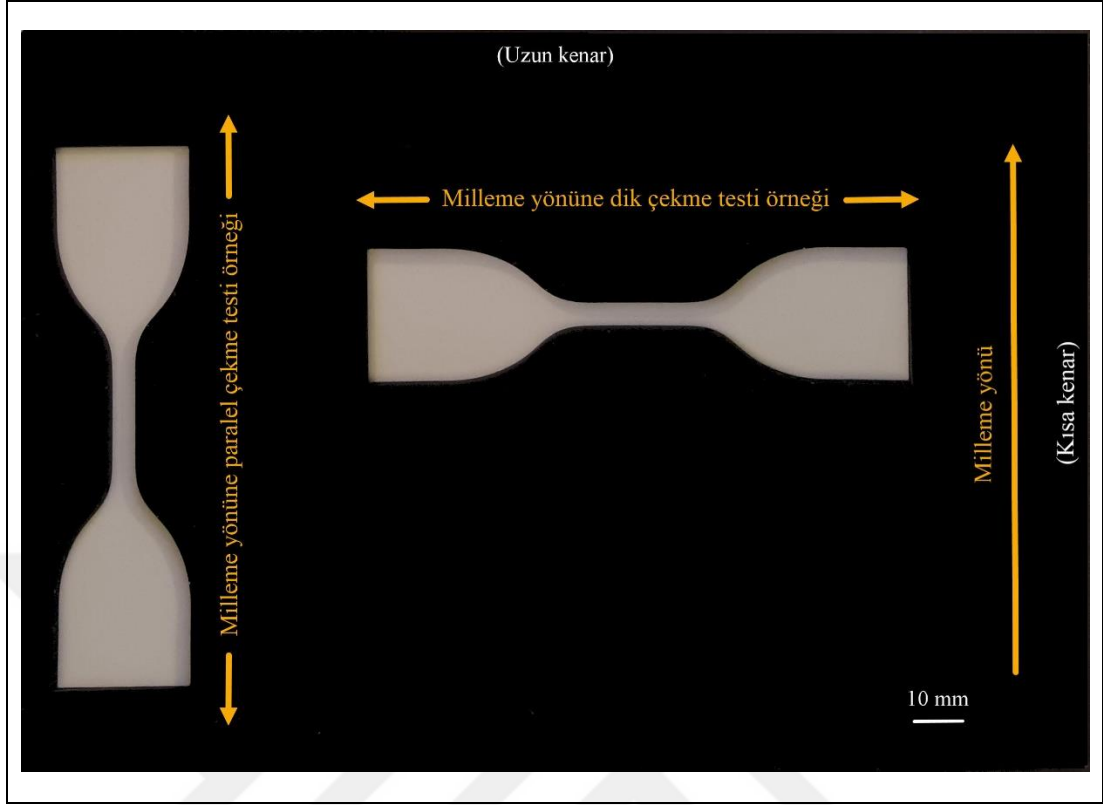
7.2.2. Işık mikroskobu ve taramalı elektron mikroskop çalışmaları

Karbon elyafın filamanlarının ne kadarının RFL ile kaplandığının anlaşılabilmesi için ışık mikroskop çalışmaları yapılmıştır. Bu amaçla reçineye gömülen karbon elyaf örneğinden kızaklı mikrotom yardımı ile ince kesit alınmıştır. Şekil 7.8’de verilen kesit görüntüsünde RFL kaplama net bir şekilde belirlenmiş ve kalınlığı yaklaşık 24 μm olarak ölçülmüştür. Bu durumda RFL kaplamanın sadece elyafın dış yüzeyine yakın filaman gruplarını kapladığı ve içteki filamanların kaplanmadığı görülmektedir. Karbon elyaf karışımında kısa takviye malzemesi olarak kullanıldığında, uzunluğu 50-100 μm aralığına kısalan filamanları karışımın içerisinde dağılmaktadır. İyi bir güçlendirme sağlanabilmesi için bu filamanların homojen olarak dağılması ve yüzeylerinin karışım ile tutunabilecek RFL ile kaplı olması gerekmektedir. Kordsa tarafından yapılan RFL kaplama işleminin geliştirilmesi gereği ortaya çıkmaktadır.

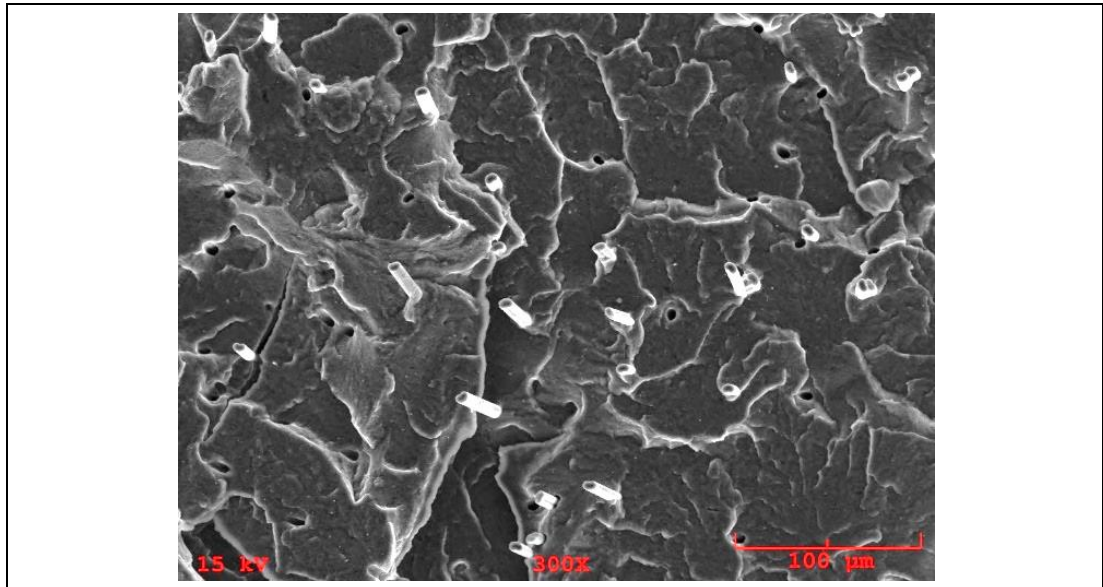


Şekil 7.8. CF demeti ve üzerindeki RFL kaplama (24 μm kalınlıkta)

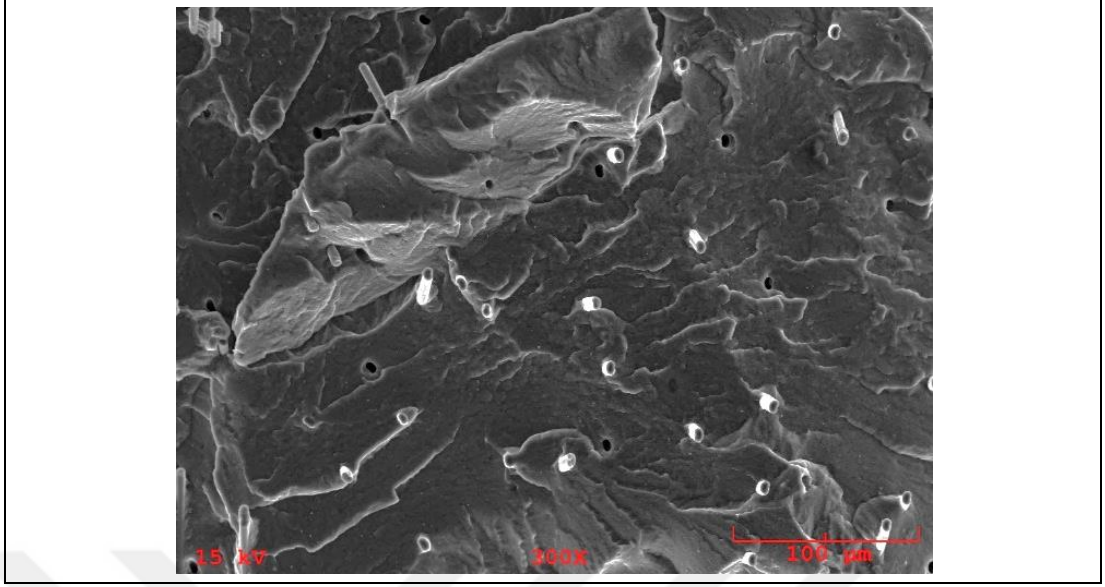
Çekme kalıbında pişirilmiş deneme karışımından Şekil 7.9’da gösterildiği gibi, milled yönüne dik ve paralel olarak alınan iki örnek sıvı azotta dondurularak kırılmıştır. Kırık yüzeyler filamanların karışım içerisindeki dağılımını ve tutunmasını görmek amacıyla SEM’de incelenmiştir. Şekil 7.10 ve 7.11 bu yüzeyleri göstermektedir. Görüntüler filamanların her yöne homojen olarak tek tek dağıldığını ortaya çıkarmaktadır. Ancak kırılma sırasında bazı filamanların kolayca yerinden çıktığı ve yapışmanın zayıf olduğu görülmektedir.



Şekil 7.9. Çekme kalıbında pişirilmiş bir karışım tabakasından, milleme yönüne dik ve paralel olarak alınan iki test örneği. Karışımın millenme yönü, kısa kenar boyuncadır.



Şekil 7.10. Milleme yönüne paralel olarak kırılan yüzey



Şekil 7.11. Milleme yönüne dik olarak kırılan yüzey

Kırılma yüzeyleri mekanik testler sonrasında da incelenmiştir. Bu amaçla çekme testleri standarda uygun olarak milleme yönüne paralel olarak alınan örneklerden yapılmış ve sonuçlar Tablo.7.14'te verilmiştir. Ayrıca sertlik ölçümleri ve yorulma testleri yapılmış ve sonuçlar Tablo 7.15'te gösterilmiştir. Mekanik testlerin sonuçları Bölüm 7.1'de yapılan çalışmalarla kıyaslandığında, bu durumda mevcut teknoloji ile gerçekleştirilen RFL kaplamanın ilave bir güçlendirme getirmediği gözlenmiştir.

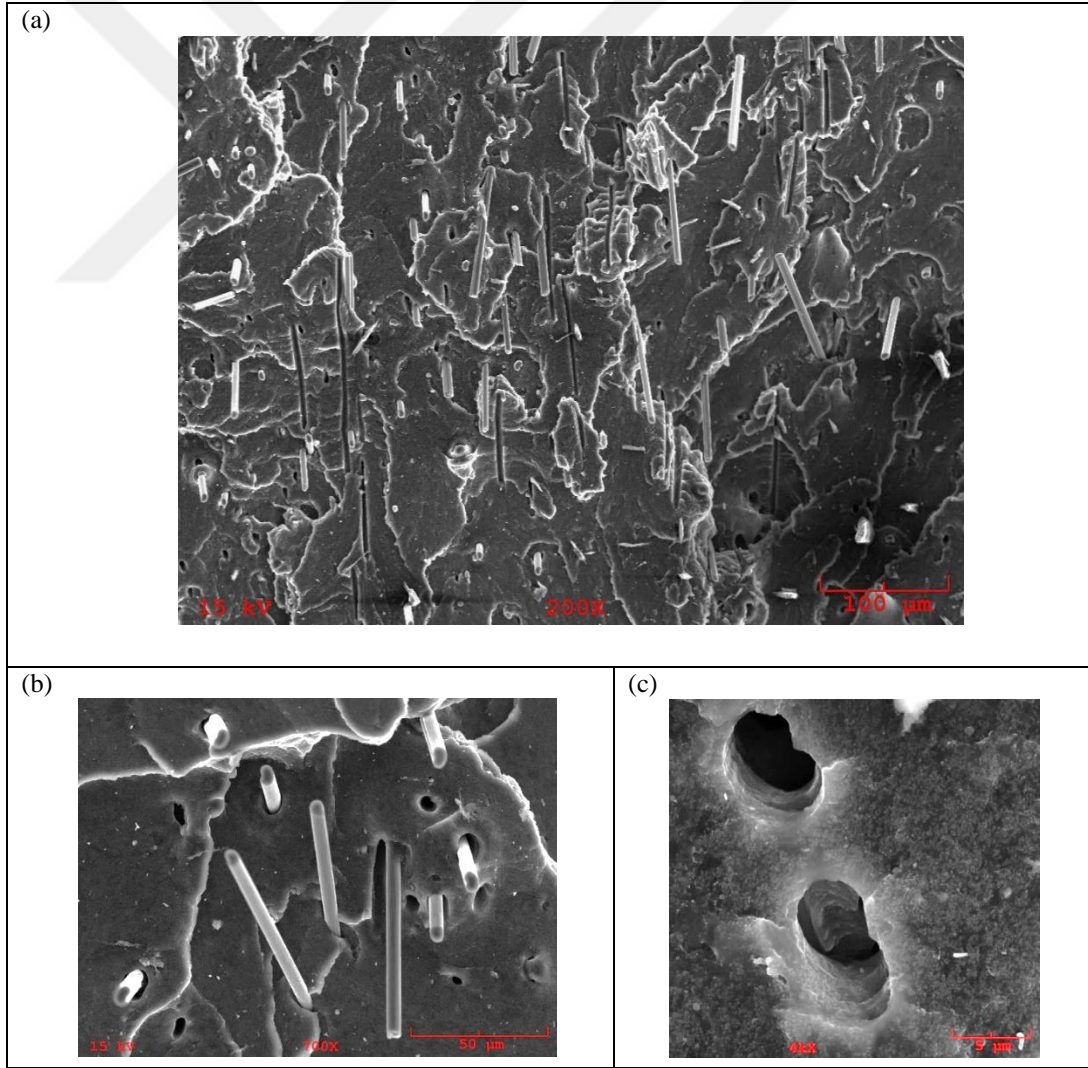
Tablo 7.14. 5C2A Deneme karışımının milleme yönüne paralel ve dik örneklerin çekme test sonuçları

Özellik	Birim	Paralel	Dik
Kopma dayanımı	MPa	24,46	23,66
Kopmada uzama	%	481,9	502,8
M1	MPa	0,42	0,29
M5	MPa	0,74	0,52
M10	MPa	1,05	0,72
M25	MPa	1,86	1,14
M50	MPa	2,93	1,70
M75	MPa	3,63	2,26
M100	MPa	4,27	2,92
M200	MPa	8,51	7,03
M300	MPa	14,58	12,54

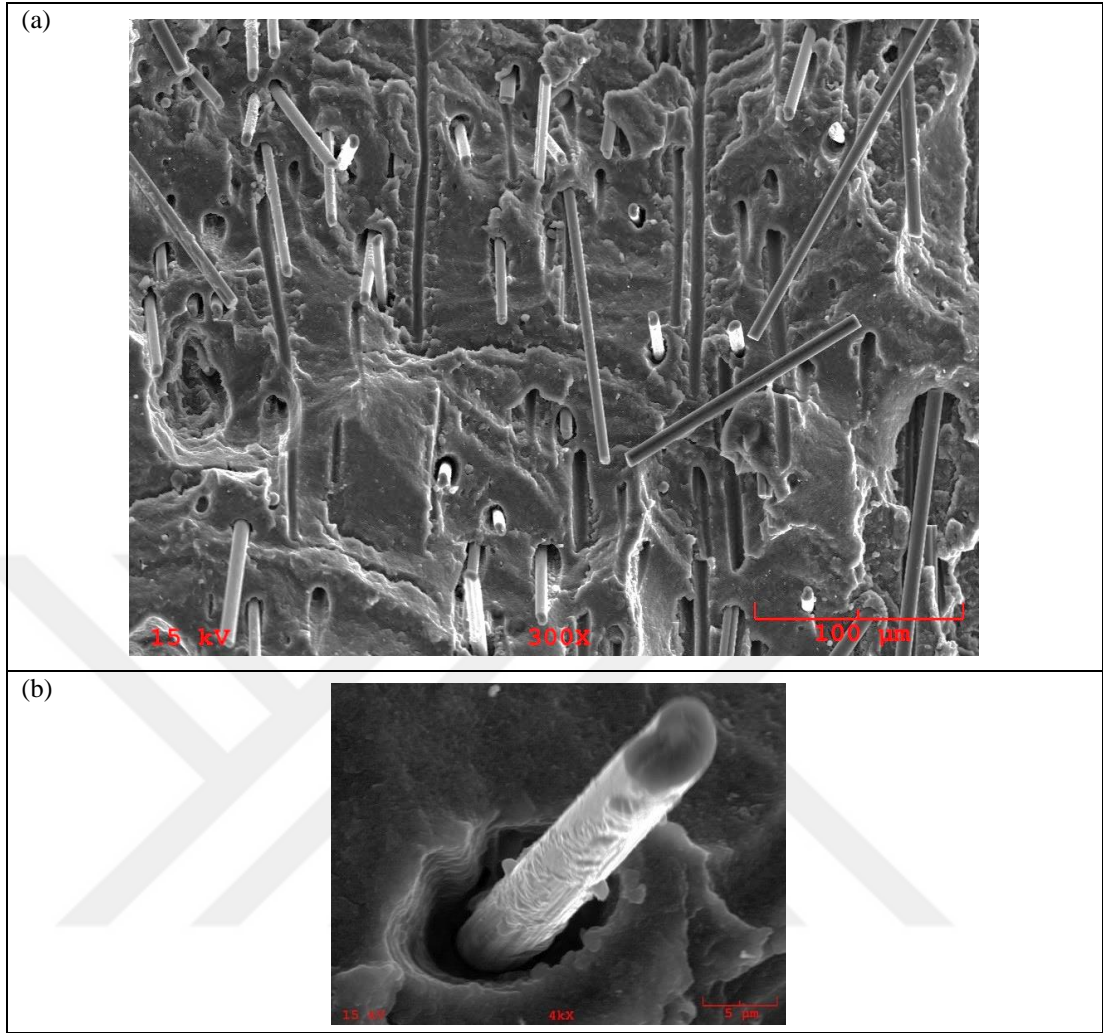
Tablo 7.15. 5C2A Sertlik, özgül ağırlık ve yorulma sonuçları

Özellik	Birim	Değer
Sertlik	Shore A	71
Özgül ağırlık	-	1,121
FTFT	Kontür	244

Şekil 7.12’de çekme testi sonucu kopan örneğin kopma yüzeylerinde, filamanların yapıştığı yuvaların deforme olup, karışımın filamanları serbest bıraktığı gözlenmiştir. Şekil 7.13’te yorulma testi sonucu oluşan kopma yüzeyleri gösterilmiştir. Yüksek uzama ve gevşeme hareketleri sonucu filamanlar, yapıştıkları yüzeylerden kurtularak karışımda yabancı madde gibi davranmış ve buldukları yuvaları deforme ederek genişletmiştir.



Şekil 7.12. Milleme yönüne paralel olarak çekme testi gerçekleştirilen örneğin farklı büyütmelerde kopma yüzey görüntüleri (a) 200x, (b) 700x, (c) 4000x



Şekil 7.13. Yorulma testi sonrası kopan örneğin farklı büyütmelerde kopma yüzey görüntüleri (a) 300x, (b) 4000x

7.3. Kevlar® EE ve Sulfron 3001 Takviye Malzemeleri ile Yapılan Denemeler

Bu bölümde, Bölüm 6.1.1.2 ve 6.1.1.3'te tanımlanan Kevlar® EE ve Sulfron 3001 takviye malzemeleri lastik karışımında kullanılarak özelliklere etkileri araştırılmıştır [60, 62]. Takviye miktarı ve kullanılan reçete literatür bilgisi dikkate alınarak tasarlanmış ve deneme karışımları 2 ile 4 phr takviye malzemesi kullanılarak hazırlanmıştır. Bölüm 6.1.3'te tanımlanan, doğal kauçuk esaslı, ticari niteliği olmayan genel amaçlı B reçetesi kullanılmıştır. Hazırlanan karışımlar pişme özellikleri, mekanik özellikler ve yaşlanma özellikleri açısından test edilmiştir.

7.3.1. Kullanılan reçeteler

Tablo 7.16. Ana karışım reçeteleri (kısım olarak)

Hammadde	Ana karışım				
	KB	2KEB	4KEB	2SUB	4SUB
NR	100,00	98,46	96,92	100,00	100,00
N330	70,00	70,00	70,00	70,00	70,00
6PPD	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
TMQ	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
Yağ	5,00	5,00	5,00	4,40	3,80
Stearik asit	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
ZnO	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50
Kevlar®EE	0,00	2,00	4,00	0,00	0,00
Sulfron	0,00	0,00	0,00	2,00	4,00
Toplam kısım (phr)	182,50	182,96	183,42	183,90	185,30

Tablo 7.17. Ana karışım reçeteleri (ağırlık olarak)

Hammadde	Ana karışım				
	KB	2KEB	4KEB	2SUB	4SUB
NR	657,53	645,78	634,09	652,53	647,60
N330	460,27	459,12	457,97	456,77	453,32
6PPD	6,58	6,56	6,54	6,53	6,48
TMQ	13,15	13,12	13,08	13,05	12,95
Yağ	32,88	32,79	32,71	28,71	24,61
Stearik asit	6,58	6,56	6,54	6,53	6,48
ZnO	23,01	22,96	22,90	22,84	22,67
Kevlar®EE	0,00	13,12	26,17	0,00	0,00
Sulfron	0,00	0,00	0,00	13,05	25,90
Toplam ağırlık (g)	1200,00	1200,00	1200,00	1200,00	1200,00

Tablo 7.18. Son karışım reçeteleri (kısım olarak)

Hammadde	Son karışım				
	KB	2KEB	4KEB	2SUB	4SUB
Ana karışım	182,50	182,96	183,42	183,90	185,30
CBS	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Kükürt	5,63	5,63	5,63	5,63	5,63
Toplam kısım (phr)	189,13	189,59	190,05	190,53	191,93

Tablo 7.19. Son karışım reçeteleri (ağırlık olarak)

Hammadde	Son karışım				
	KB	2KEB	4KEB	2SUB	4SUB
Ana karışım	1157,96	1158,07	1158,17	1158,27	1158,58
CBS	6,35	6,33	6,31	6,30	6,25
Kükürt	35,69	35,60	35,52	35,43	35,17
Toplam ağırlık (g)	1200,00	1200,00	1200,00	1200,00	1200,00

7.3.2. Karışımların pişme özellikleri

Hazırlanan karışımların pişme özelliklerinin belirlenebilmesi için 130 °C’de Mooney viskozimetre ve 160 °C’de reometre (MDR) ile testler yapılmış ve sonuçlar Tablo 7.20 ve 7.21’de verilmiştir. Kontrol karışımına kıyasla, Kevlar® EE içeren karışımların M_L (1+4) değerleri yükselmekte ve karışımın proses edilebilirliğinin zorlaştığını göstermektedir. Buna karşılık Sulfron 3001 ile takviye edilen karışımlarda M_L (1+4) değerleri kontrol karışımının altında kalmaktadır. Bu sonuçlar literatür ile uyumludur [60]. Mooney test sonuçları ayrıca yanma süresini belirleyen t_5 değerinin Kevlar® EE katkısı ile büyük ölçüde azaldığını göstermiştir. Karışıma Sulfron 3001 katılması ise t_5 değerini değiştirmemektedir. Karışımın mekanik özelliklerinin Kevlar® EE katkısı ile büyük ölçüde gelişmesi ve Sulfron 3001 katkısının etkisinin daha az olması literatür bilgisine dayanarak beklenilmektedir [60, 62]. MDR sonuçları incelendiğinde, mekanik özellikleri belirleyen maksimum tork (M_H) ve % 90 pişmedeki tork değerinin ($S'@t_{90}$), her iki takviye malzemesi için de kontrole göre arttığı, ancak Kevlar® EE için bu artışın daha fazla olduğu görülmüştür.

Mooney test sonuçlarına benzer şekilde, t_{s2} süreleri Kevlar® EE katkısı ile kısalmakta ve yanma riskinin artmakta olduğunu göstermektedir. Sulfron 3001 için bu süre kontrole göre artış göstermektedir ve literatür ile uyumludur [60]. Pişme başlangıcı olarak kabul edilebilecek t_{10} değeri ile pişme süresini tanımlayan t_{90} değeri, Kevlar® EE katkısı ile azalırken, Sulfron 3001 katkısı ile artmaktadır ve sonuçlar literatür ile uyumludur [60].

Bu bölümde incelenen takviye malzemelerinin karışımın pişme özelliklerine etkileri değerlendirildiğinde, Kevlar® EE'in pişmeyi hızlandırdığını, Sulfron 3001'in ise yavaşlattığını göstermektedir.

Tablo 7.20. Mooney test sonuçları (130 °C'de)

Özellik	Birim	Karışım kodu				
		KB	2KEB	4KEB	2SUB	4SUB
IV	MU	72,0	80,0	84,1	71,7	67,1
MV	MU	50,7	56,1	58,2	47,9	43,5
M _L (1+4)	MU	52,6	57,7	58,3	49,9	44,7
t ₅	dak	29,53	19,62	21,25	29,33	29,83
t ₃₅	dak	33,42	22,95	24,25	33,02	34,25

Tablo 7.21. MDR test sonuçları (160 °C'de)

Özellik	Birim	Karışım kodu				
		KB	2KEB	4KEB	2SUB	4SUB
M _L	dNm	2,64	2,89	3,01	2,44	2,17
M _H	dNm	22,60	27,04	26,72	24,06	24,22
t _{s1}	(dak)	1,75	1,69	1,79	1,90	2,13
t _{s2}	(dak)	2,99	2,41	2,62	3,15	3,25
t ₁₀	(dak)	2,98	2,52	2,75	3,25	3,34
t ₅₀	(dak)	4,06	3,29	3,54	4,18	4,22
t ₉₀	(dak)	5,36	4,99	5,12	5,60	5,97
S'@t _{s2}	dNm	4,65	4,91	5,01	4,44	4,17
S'@t ₁₀	dNm	4,64	5,32	5,37	4,60	4,38
S'@t ₅₀	dNm	12,63	14,95	14,85	13,24	13,20
S'@t ₉₀	dNm	20,60	24,61	24,36	21,89	22,02

7.3.3. Karışımların çekme ve yaşlandırma testleri

Karışımların mekanik özelliklerini belirlemek amacı ile, çekme test kalıbında pişirilen tabakalardan Şekil 7.9'da gösterildiği gibi milleme yönüne paralel ve dik yönde örnekler alınarak çekme testleri yapılmıştır. Sonuçlar Tablo 7.22 ve 7.23'te verilmiştir. Bu tablolar, kopma dayanımı ve kopmada uzama değerlerinin artan takviye malzemesi katkısı ile azalmakta olduğunu, buna karşılık modül değerlerinin arttığını açıkça göstermektedir. Milleme yönünün mekanik özelliklere olan etkisinin daha iyi anlaşılabilmesi için, dik yönde çekilen örneklerin sonuçlarının paralel yönde çekilenlere göre indekslenmiş değerleri Tablo 7.24'te verilmiştir. Bu tablo, kontrol karışımında milleme yönünün mekanik özelliklere etkisinin olmadığını, ancak takviye

malzemesi katıldığında paralel yönde alınan örneklerin (standart uygulama) daha iyi sonuçlar verdiğini göstermektedir. Bu sonuç takviye malzemelerinin milleme yönüne bir miktar paralel dizilmiş olmasıyla açıklanabilir. Bu fark katkı miktarının 4 phr olduğu örneklerde, mekanik özelliklerin en fazla geliştiği modül değerlerinde (M25, M50, M75) daha belirgindir.

Tablo 7.22. Yaşlandırılmamış (0 saat) örneklerin, milleme yönüne paralel çekme test sonuçları

Özellik	Birim	Karışım kodu				
		KB	2KEB	4KEB	2SUB	4SUB
Kopma dayanımı	MPa	22,75	19,20	18,47	22,59	19,25
Kopmada uzama	%	466,3	393,3	375,3	388,9	358,4
M1	MPa	0,61	0,63	0,75	0,67	0,58
M5	MPa	0,88	0,98	1,10	1,01	1,00
M10	MPa	1,12	1,29	1,44	1,31	1,40
M25	MPa	1,62	2,06	2,33	2,07	2,57
M50	MPa	2,38	3,32	3,75	3,24	4,02
M75	MPa	3,34	4,71	5,19	4,52	5,29
M100	MPa	4,59	6,36	6,70	6,20	7,01
M200	MPa	10,64	12,98	12,86	13,02	14,05
M300	MPa	15,94	18,61	18,29	18,72	19,98

Tablo 7.23. Yaşlandırılmamış (0 saat) örneklerin, milleme yönüne dik çekme test sonuçları

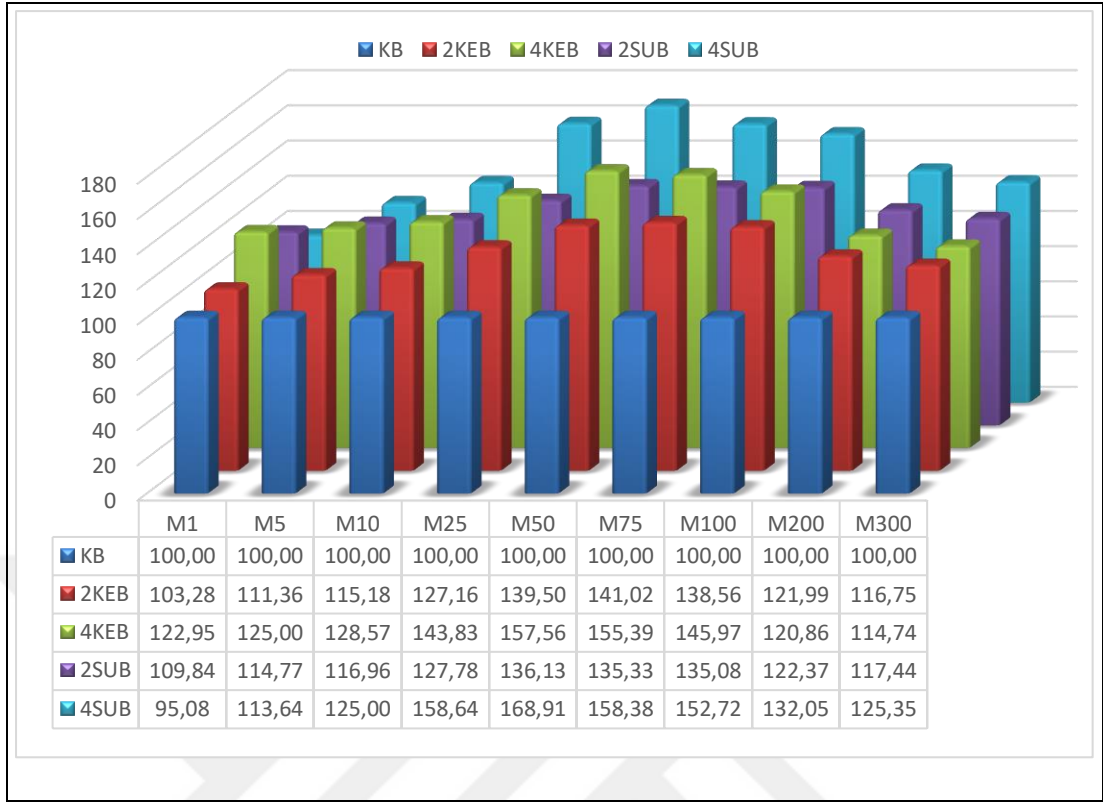
Özellik	Birim	Karışım kodu				
		KB	2KEB	4KEB	2SUB	4SUB
Kopma dayanımı	MPa	23,04	21,84	17,26	21,79	19,09
Kopmada uzama	%	461,2	376,5	367,6	374,7	350,7
M1	MPa	0,66	0,75	0,72	0,65	0,56
M5	MPa	0,94	1,09	1,07	1,00	0,88
M10	MPa	1,18	1,40	1,37	1,29	1,16
M25	MPa	1,65	2,09	2,03	1,93	1,78
M50	MPa	2,33	3,11	3,01	2,84	2,72
M75	MPa	3,19	4,31	4,17	3,94	3,84
M100	MPa	4,29	5,73	5,55	5,36	5,30
M200	MPa	10,44	12,34	11,75	12,09	11,93
M300	MPa	16,05	18,24	17,30	18,07	17,98

Tablo 7.24. Yaşlandırılmamış (0 saat) milleme yönüne dik çekme örneklerinin, paralele göre indeksli çekme test sonuçları

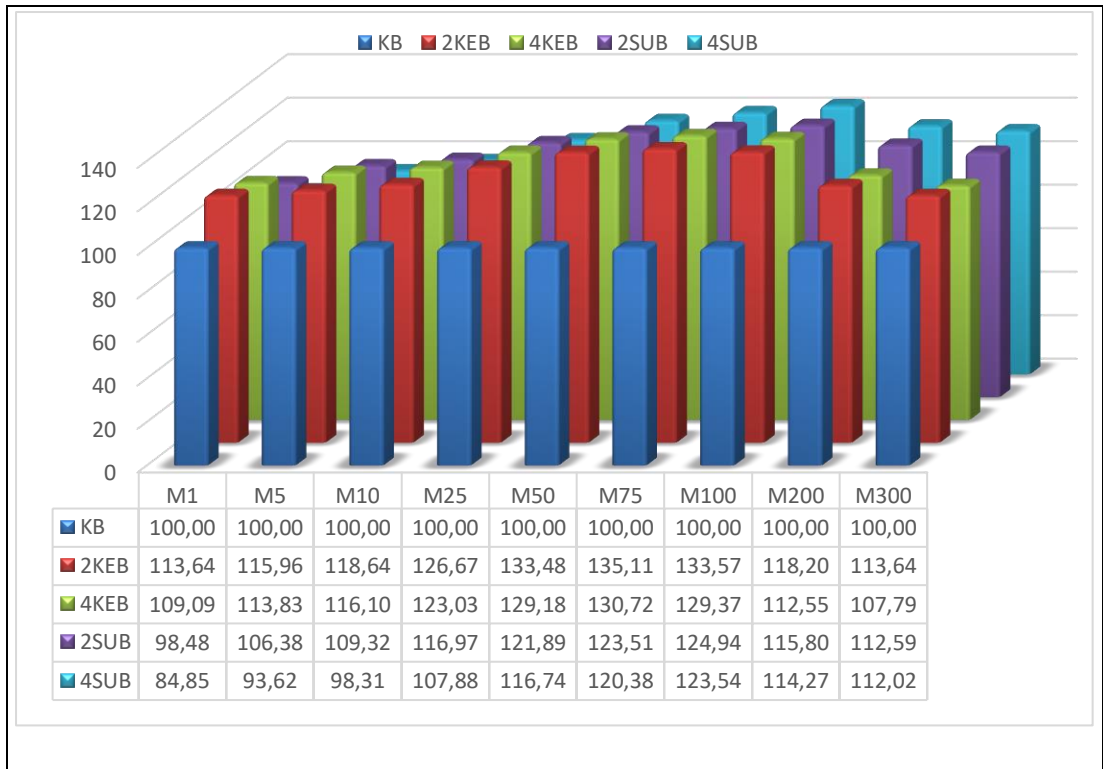
Özellik	Birim	Karışım kodu				
		KB	2KEB	4KEB	2SUB	4SUB
Kopma dayanımı	MPa	101	114	93	96	99
Kopmada uzama	%	99	96	98	96	98
M1	MPa	108	119	96	97	97
M5	MPa	107	111	97	99	88
M10	MPa	105	109	95	98	83
M25	MPa	102	101	87	93	69
M50	MPa	98	94	80	88	68
M75	MPa	96	92	80	87	73
M100	MPa	93	90	83	86	76
M200	MPa	98	95	91	93	85
M300	MPa	101	98	95	97	90

Kontrol karışımına göre takviye edilmiş karışımlarda mekanik özelliklerin gelişiminin daha iyi değerlendirilebilmesi için sonuçlar indekslenerek Şekil 7.14, 7.15 ve 7.16'da gösterilmiştir. Kontrol karışımına göre deneme karışımlarının mekanik özelliklerinin gelişimi, milleme yönüne paralel çekilen örneklerde çok daha belirgindir. Özellikle artan katkı miktarı ile mekanik özellikler daha fazla gelişmektedir. M25, M50 ve M75 değerlerinde 4 phr katkısı özellikle Sulfron'da kontrole göre en yüksek artışı sağlamaktadır.

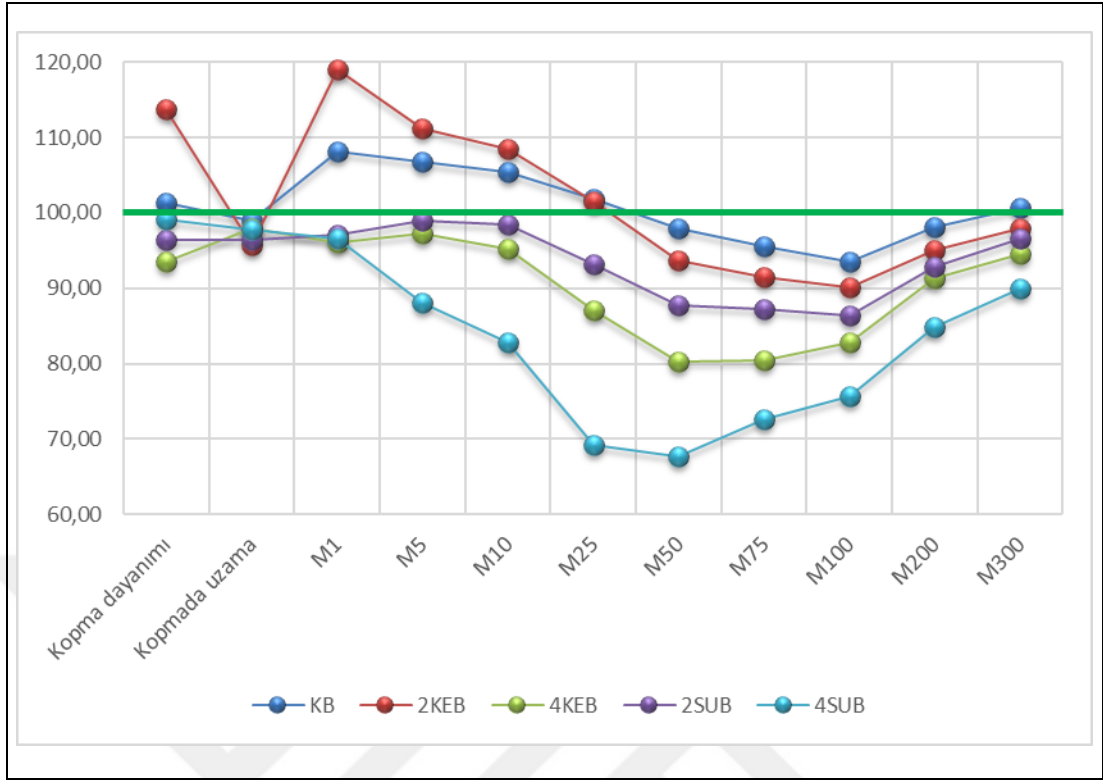
Karışımların yaşlanma özelliklerinin belirlenmesi amacıyla, milleme yönüne paralel çekme örnekleri üzerinde, 100 °C'de 24, 48 ve 96 saat süreyle etüvde ısıl yaşlandırma testleri yapılmıştır. Sonuçlar Tablo 7.25, 7.26 ve 7.27'de verilmiştir. Kontrol karışımına göre takviye malzemesi içeren deneme karışımlarında yaşlanma özelliğindeki iyileşmenin daha net görülebilmesi için, indeks grafikleri Şekil 7.17, 7.18 ve 7.19'da verilmiştir. Bu grafikler, M200 ve M300 dışındaki tüm modül değerlerinin kontrole göre yaşlanma açısından daha iyi olduğunu göstermektedir. Isıl yaşlanma özelliğindeki iyileşme, 4 phr Kevlar® EE ve 2 phr Sulfron 3001 katkılı karışımlarda ve düşük modül değerlerinde daha belirgindir.



Şekil 7.14. Yaşlandırılmamış (0 saat) örneklerin, milleme yönüne paralel çekme test sonuçlarının kontrole göre indeks grafiği



Şekil 7.15. Yaşlandırılmamış (0 saat) örneklerin, milleme yönüne dik çekme test sonuçlarının kontrole göre indeks grafiği



Şekil 7.16 Yaşlandırılmamış (0 saat) milleme yönüne dik çekme örneklerinin, milleme yönüne paralel çekme örneklerine göre indeksli test sonuçlarının karşılaştırılması

Tablo 7.25. 24 Saat yaşlandırılmış örneklerin milleme yönüne paralel çekme test sonuçları

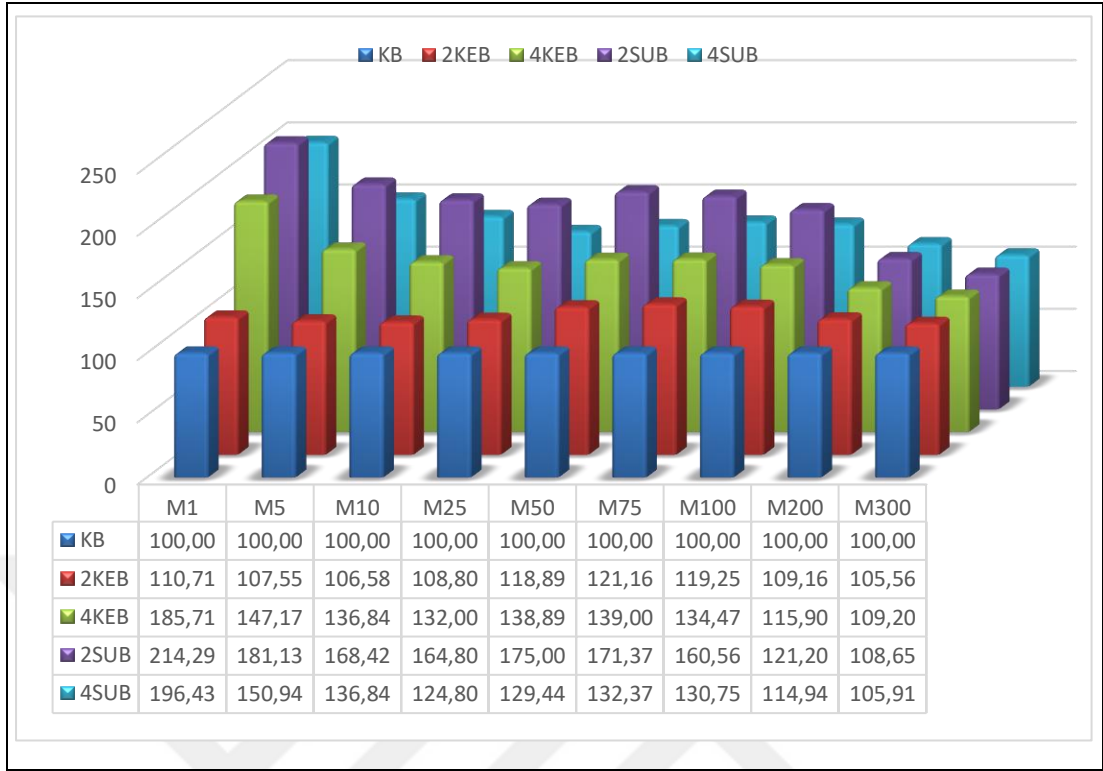
Özellik	Birim	Karışım kodu				
		KB	2KEB	4KEB	2SUB	4SUB
Kopma dayanımı	MPa	25,83	20,64	21,39	19,84	18,18
Kopmada uzama	%	534,5	463,0	419,1	376,9	420,7
M1	MPa	0,28	0,31	0,52	0,60	0,55
M5	MPa	0,53	0,57	0,78	0,96	0,80
M10	MPa	0,76	0,81	1,04	1,28	1,04
M25	MPa	1,25	1,36	1,65	2,06	1,56
M50	MPa	1,80	2,14	2,50	3,15	2,33
M75	MPa	2,41	2,92	3,35	4,13	3,19
M100	MPa	3,22	3,84	4,33	5,17	4,21
M200	MPa	8,30	9,06	9,62	10,06	9,54
M300	MPa	14,56	15,37	15,90	15,82	15,42

Tablo 7.26. 48 Saat yaşlandırılmış örneklerin milleme yönüne paralel çekme test sonuçları

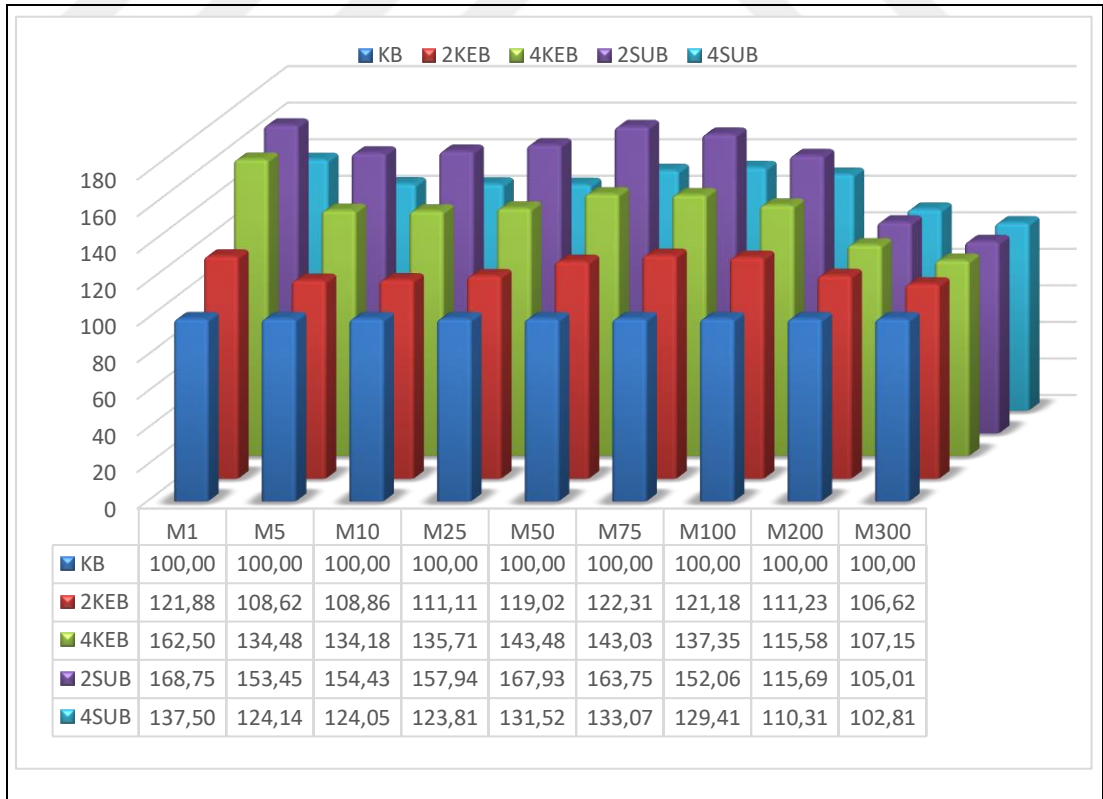
Özellik	Birim	Karışım kodu				
		KB	2KEB	4KEB	2SUB	4SUB
Kopma dayanımı	MPa	23,47	19,11	15,18	15,16	18,42
Kopmada uzama	%	473,7	417,2	382,7	347,1	371,1
M1	MPa	0,32	0,39	0,52	0,54	0,44
M5	MPa	0,58	0,63	0,78	0,89	0,72
M10	MPa	0,79	0,86	1,06	1,22	0,98
M25	MPa	1,26	1,40	1,71	1,99	1,56
M50	MPa	1,84	2,19	2,64	3,09	2,42
M75	MPa	2,51	3,07	3,59	4,11	3,34
M100	MPa	3,40	4,12	4,67	5,17	4,40
M200	MPa	8,73	9,71	10,09	10,10	9,63
M300	MPa	14,96	15,95	16,03	15,71	15,38

Tablo 7.27. 96 Saat yaşlandırılmış örneklerin milleme yönüne paralel çekme test sonuçları

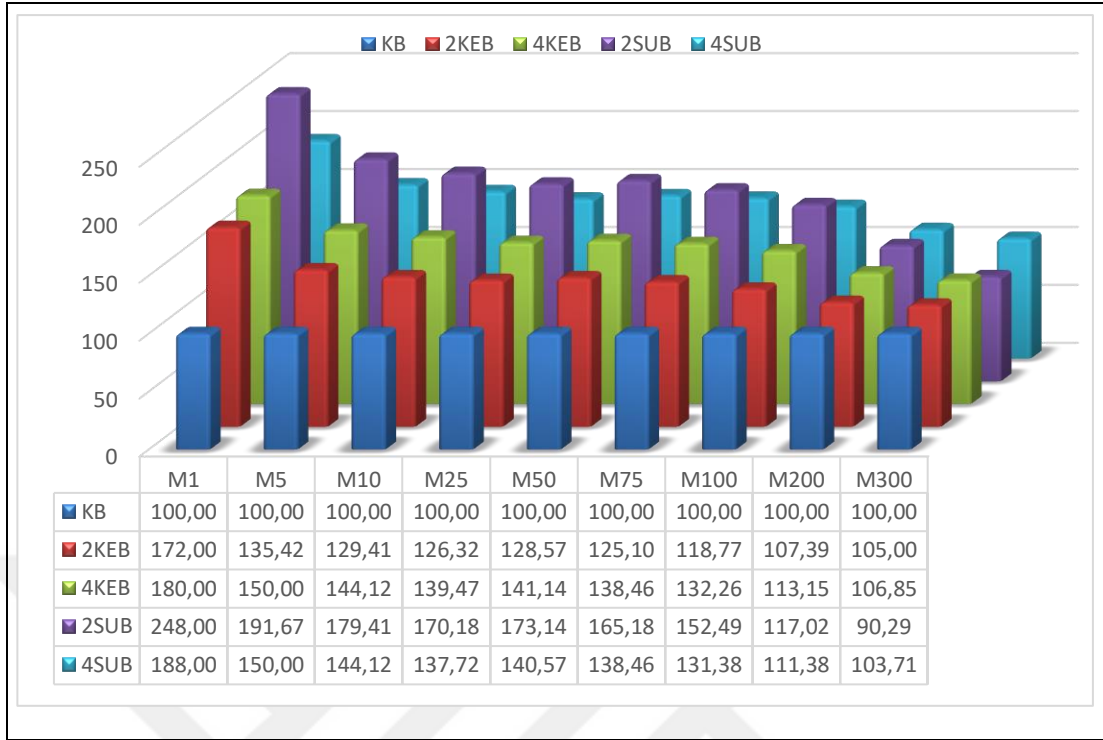
Özellik	Birim	Karışım kodu				
		KB	2KEB	4KEB	2SUB	4SUB
Kopma dayanımı	MPa	17,79	15,49	15,83	14,83	15,35
Kopmada uzama	%	382,8	354,0	350,2	302,7	325,4
M1	MPa	0,25	0,43	0,45	0,62	0,47
M5	MPa	0,48	0,65	0,72	0,92	0,72
M10	MPa	0,68	0,88	0,98	1,22	0,98
M25	MPa	1,14	1,44	1,59	1,94	1,57
M50	MPa	1,75	2,25	2,47	3,03	2,46
M75	MPa	2,47	3,09	3,42	4,08	3,42
M100	MPa	3,41	4,05	4,51	5,20	4,48
M200	MPa	8,52	9,15	9,64	9,97	9,49
M300	MPa	14,01	14,71	14,97	12,65	14,53



Şekil 7.17. 24 Saat yaşlandırılmış örneklerin milledirilmeye yönüne paralel çekme test sonuçlarının kontrole göre indeks grafiği



Şekil 7.18. 48 Saat yaşlandırılmış örneklerin milledirilmeye yönüne paralel çekme test sonuçlarının kontrole göre indeks grafiği



Şekil 7.19. 96 Saat yaşlandırılmış örneklerin milleme yönüne paralel çekme test sonuçlarının kontrole göre indeks grafiği

7.3.4. Karışımların sertlik, özgül ağırlık, yorulma ve sekme esnekliği testleri

Karışımların sertlik, özgül ağırlık, yorulma ve sekme esnekliği test sonuçları Tablo 7.28’de verilmiştir. Beklenildiği üzere karışımların özgül ağırlık değerleri, takviye malzemesi katkısı ile artmaktadır. Sertlik değerleri kontrole göre her iki takviye malzemesi için artmakta, ancak katkı miktarı ile değişmemektedir. Takviye malzemesi yorulma özelliklerini olumsuz etkilemektedir ve özellikle yüksek katkı miktarında (4 phr) kayıp çok fazla olmaktadır. Yorulma özelliğindeki kötüleşme, her iki takviye malzemesi içinde benzer seviyededir. Örneklerin sekme esnekliği de test edilmiş, Kevlar® EE katkılı örneklerde kontrole göre fark görülmezken, Sulfron 3001 katkılı örneklerde çok az artış bulunmuştur.

Tablo 7.28. Sertlik, özgül ağırlık, yorulma ve sekme esnekliği sonuçları

Özellik	Birim	Karışım kodu				
		KB	2KEB	4KEB	2SUB	4SUB
Sertlik	Shore A	72	76	76	74	74
Özgül ağırlık	-	1,1342	1,1302	1,1333	1,1357	1,1372
FTFT	Kontür	1091	714	372	741	471
Sekme esnekliği	%	45,1	45,8	45,7	46,4	47,6

7.4. Farklı Termoplastik Kaplı CF Takviye Malzemeleri ile Yapılan Denemeler

Bu bölümde, DowAksa firmasından temin edilen poliüretan kaplı CF (C1), poliimid kaplı CF (C3) ve poliamid kaplı CF (C4) takviye malzemeleri farklı miktarlarda (5, 10, 15 phr) lastik karışımında kullanılarak özelliklere etkileri araştırılmıştır. Bu malzemeler 6 mm elyaf uzunluğuna ve 24K lif adedine sahiptir, özellikleri Tablo 5.5'te AC0101, AC2101 ve AC4101 ürün kodlarında verilmiştir. Bölüm 7.3'de kullanılan genel amaçlı B reçetesi bu çalışmada da kullanılmış ve farklı takviye malzemelerinin karışım özelliklerine etkileri incelenmiştir.

7.4.1. Kullanılan reçeteler

Tablo 7.29. Ana karışım reçeteleri (kısım olarak)

Hammadde	KB	Ana karışım		
		5C1B 5C3B 5C4B	10C1B 10C3B 10C4B	15C1B 15C3B 15C4B
NR	100,00	100,00	100,00	100,00
N330	70,00	70,00	70,00	70,00
6PPD	1,00	1,00	1,00	1,00
TMQ	2,00	2,00	2,00	2,00
Yağ	5,00	5,00	5,00	5,00
Stearik asit	1,00	1,00	1,00	1,00
ZnO	3,50	3,50	3,50	3,50
CF	0,00	5,00	10,00	15,00
Toplam kısım (phr)	182,50	187,50	192,50	197,50

Tablo 7.30. Ana karışım reçeteleri (ağırlık olarak)

Hammadde	KB	Ana karışım		
		5C1B 5C3B 5C4B	10C1B 10C3B 10C4B	15C1B 15C3B 15C4B
NR	657,53	640,00	623,38	607,59
N330	460,27	448,00	436,36	425,32
6PPD	6,58	6,40	6,23	6,08
TMQ	13,15	12,80	12,47	12,15
Yağ	32,88	32,00	31,17	30,38
Stearik asit	6,58	6,40	6,23	6,08
ZnO	23,01	22,40	21,82	21,27
CF	0,00	32,00	62,34	91,14
Toplam ağırlık (g)	1200,00	1200,00	1200,00	1200,00

Tablo 7.31. Son karışım reçeteleri (kısım olarak)

Hammadde	KB	Son karışım		
		5C1B 5C3B 5C4B	10C1B 10C3B 10C4B	15C1B 15C3B 15C4B
Ana karışım	182,50	187,50	192,50	197,50
CBS	1,00	1,00	1,00	1,00
Kükürt	5,63	5,63	5,63	5,63
Toplam kısım (phr)	189,13	194,13	199,13	204,13

Tablo 7.32. Son karışım reçeteleri (ağırlık olarak)

Hammadde	KB	Son karışım		
		5C1B 5C3B 5C4B	10C1B 10C3B 10C4B	15C1B 15C3B 15C4B
Ana karışım	1157,96	1159,05	1160,08	1161,05
CBS	6,35	6,18	6,03	5,88
Kükürt	35,69	34,77	33,90	33,07
Toplam ağırlık (g)	1200,00	1200,00	1200,00	1200,00

7.4.2. Karışımların pişme özellikleri

Hazırlanan karışımların pişme özelliklerinin belirlenebilmesi için 130 °C’de Mooney viskozimetre testleri yapılmış ve sonuçlar C1, C3 ve C4 takviye malzemeleri için sırasıyla Tablo 7.33, 7.34 ve 7.35’te verilmiştir. M_L (1+4) değerleri C4 takviye malzemesinin 10 ve 15 phr kullanıldığı deneme karışımları dışında kontrole göre artış göstermektedir. Bu sonuçlar Bölüm 7.1’de poliüretan kaplı CF (C1) takviye malzemesinin kullanıldığı karışım A ile yapılan testlerin sonuçları ile uyumludur, ancak karışım farklılığı nedeniyle bu artış B karışımında kontrole göre daha azdır. Bu durum B karışımının 5 phr yağ içermesi nedeniyle A karışımına göre daha kolay proses edilebilir olmasıyla ilgilidir. Bu karışımlarda yanma süresini belirten t_5 değeri katkı miktarı ile birlikte düşmesine rağmen, bu düşüş Bölüm 7.1’de A karışımı ile yapılan denemelerle kıyaslandığında daha azdır. Ayrıca A kontrol karışımının t_5 değeri 15,47 dakika olup, B kontrol karışımına kıyasla (30,83 dakika) çok daha kısadır.

Deneme karışımlarının pişme özelliklerinin belirlenebilmesi için 160 °C’de reometre (MDR) ile de testler yapılmıştır. MDR sonuçları incelendiğinde, maksimum tork (M_H)

ve % 90 pişmedeki tork değeri ($S'@t_{90}$) CF katkısının artışı ile artmakta ve mekanik özelliklerin geliştiğine işaret etmektedir. Ayrıca kontrol karışımının M_H ve $S'@t_{90}$ değerleri sırasıyla 23,04 dNm ve 21,03 dNm olup, Bölüm 7.1'de kullanılan A kontrol karışımının değerlerinden çok daha yüksektir (14,94 dNm ve 13,70 dNm). Bu durum B karışımının A karışımına göre daha fazla karbon siyahı (N330) içermesi ile ilgilidir (Tablo 6.3 ve 6.5). Mooney test sonuçlarına benzer şekilde, t_{s1} ve t_{s2} süreleri artan CF miktarı ile kısalmaktadır ve Bölüm 7.1'de A karışımı ile yapılan denemelerle kıyaslandığında düşüş miktarı daha azdır. Pişme başlangıcı olarak kabul edilebilecek t_{10} değeri ile pişme süresini tanımlayan t_{90} değeri, bu karışımla yapılan denemelerde katkı miktarı ile belirgin bir eğilim göstermemektedir. Ancak C1 katkı malzemesi kullanıldığında pişme süresinin katkı miktarı arttıkça arttığı görülmüştür. B kontrol karışımının pişme süresi 6,57 dakika olup, A karışımından daha uzundur (5.39 dakika), bu da her iki karışımın pişirme sistemlerinin farklı oluşu ile açıklanabilir.

Tablo 7.33. C1 için Mooney test sonuçları (130 °C'de)

Özellik	Birim	KB	Karışım kodu		
			5C1B	10C1B	15C1B
IV	MU	88,0	88,3	92,3	93,0
MV	MU	50,9	54,7	54,4	52,7
$M_L(1+4)$	MU	54,5	56,7	57,8	55,9
t_5	dak	30,83	23,70	28,25	30,40
t_{35}	dak	36,41	36,98	36,17	35,82

Tablo 7.34. C3 için Mooney test sonuçları (130 °C'de)

Özellik	Birim	KB	Karışım kodu		
			5C3B	10C3B	15C3B
IV	MU	88,0	89,8	93,5	87,6
MV	MU	50,9	53,9	55,1	52,6
$M_L(1+4)$	MU	54,5	56,6	58,9	55,8
t_5	dak	30,83	23,80	27,95	25,98
t_{35}	dak	36,41	28,92	36,97	30,99

Tablo 7.35. C4 için Mooney test sonuçları (130 °C’de)

Özellik	Birim	KB	Karışım kodu		
			5C4B	10C4B	15C4B
IV	MU	88,0	98,6	82,3	80,2
MV	MU	50,9	60,3	51,8	48,3
M _L (1+4)	MU	54,5	63,1	54,6	50,6
t ₅	dak	30,83	22,95	28,05	30,65
t ₃₅	dak	36,41	27,36	32,55	35,25

Tablo 7.36. C1 için MDR test sonuçları (160 °C’de)

Özellik	Birim	KB	Karışım kodu		
			5C1B	10C1B	15C1B
M _L	dNm	2,86	3,10	3,11	3,20
M _H	dNm	23,04	24,26	25,43	26,29
t _{s1}	(dak)	2,24	2,30	2,16	2,19
t _{s2}	(dak)	3,63	3,74	3,58	3,57
t ₁₀	(dak)	3,66	3,83	3,76	3,79
t ₅₀	(dak)	4,80	5,00	4,92	4,94
t ₉₀	(dak)	6,57	6,85	6,82	7,09
S’@t _{s2}	dNm	4,86	5,10	5,11	5,21
S’@t ₁₀	dNm	4,90	5,22	5,34	5,51
S’@t ₅₀	dNm	12,95	13,70	14,26	14,74
S’@t ₉₀	dNm	21,03	22,14	23,21	23,98

Tablo 7.37. C3 için MDR test sonuçları (160 °C’de)

Özellik	Birim	KB	Karışım kodu		
			5C3B	10C3B	15C3B
M _L	dNm	2,86	3,05	3,15	3,02
M _H	dNm	23,04	26,56	26,20	28,21
t _{s1}	(dak)	2,24	2,04	2,09	1,91
t _{s2}	(dak)	3,63	2,99	3,49	3,02
t ₁₀	(dak)	3,66	3,11	3,72	3,23
t ₅₀	(dak)	4,80	4,04	4,81	4,21
t ₉₀	(dak)	6,57	6,17	6,69	6,42
S’@t _{s2}	dNm	4,86	5,05	5,15	5,04
S’@t ₁₀	dNm	4,90	5,39	5,47	5,54
S’@t ₅₀	dNm	12,95	14,81	14,68	15,62
S’@t ₉₀	dNm	21,03	24,22	23,89	25,68

Tablo 7.38. C4 için MDR test sonuçları (160 °C’de)

Özellik	Birim	Karışım kodu			
		KB	5C4B	10C4B	15C4B
M_L	dNm	2,86	3,29	3,00	2,86
M_H	dNm	23,04	27,00	25,34	26,73
t_{s1}	(dak)	2,24	1,98	2,20	2,02
t_{s2}	(dak)	3,63	3,02	3,50	3,40
t_{10}	(dak)	3,66	3,17	3,63	3,62
t_{50}	(dak)	4,80	4,12	4,68	4,61
t_{90}	(dak)	6,57	6,17	6,63	6,27
$S'@t_{s2}$	dNm	4,86	5,30	5,00	4,86
$S'@t_{10}$	dNm	4,90	5,66	5,23	5,25
$S'@t_{50}$	dNm	12,95	15,14	14,16	14,79
$S'@t_{90}$	dNm	21,03	24,64	23,12	24,34

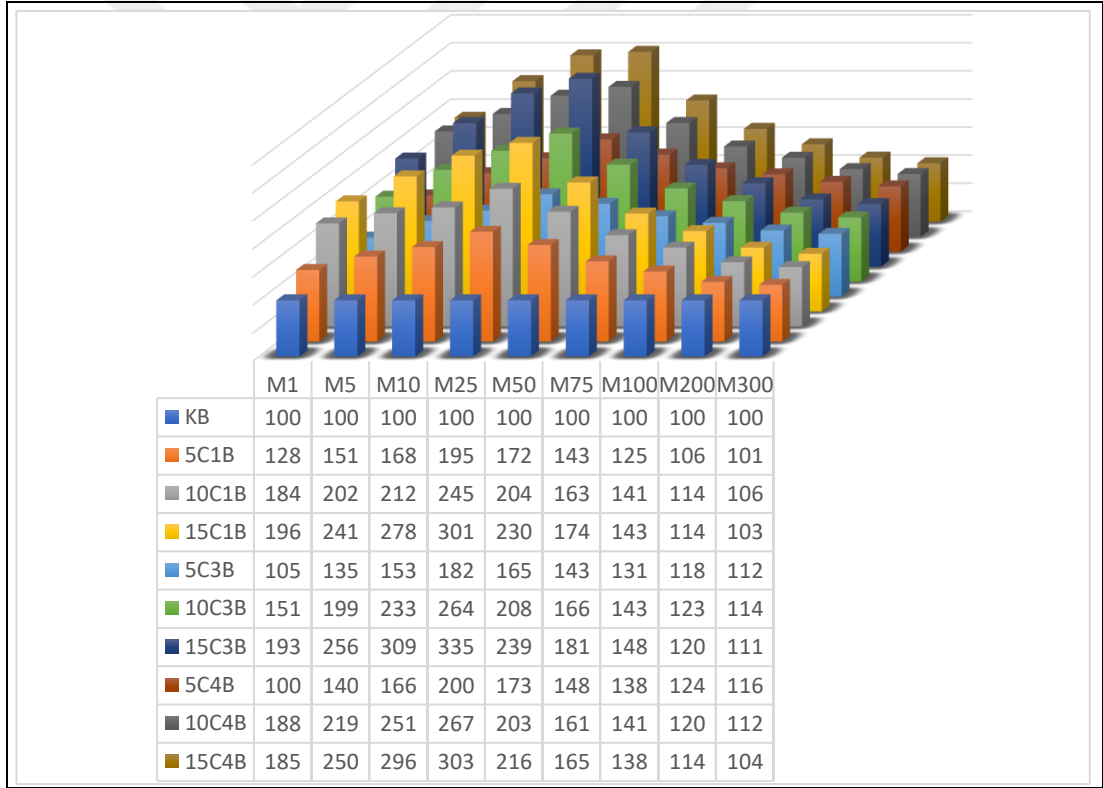
7.4.3. Karışımların çekme testleri

Karışımların mekanik özelliklerini belirlemek amacı ile çekme testleri yapılmış ve sonuçlar Tablo 7.39’da gösterilmiştir. C1, C3 ve C4 takviye malzemelerinin kullanıldığı tüm deneme karışımlarında, artan katkı miktarıyla kopma dayanımı ve kopmada uzama değerleri kontrol karışımına göre azalmaktadır. Aynı zamanda artan katkı oranlarıyla karışımların tüm modül değerleri artmaktadır. Modül değerlerindeki bu artışlar, Bölüm 4.3.2’de verilen MDR sonuçları (M_H ve $S'@t_{90}$) ile uyumludur. Tüm bu sonuçlar Bölüm 7.1.3’te C1 takviye malzemesinin A karışımı içerisindeki davranışı ile uyumludur. Şekil 7.20 modül değerlerinin kontrole göre indeks grafiğini vermektedir ve en yüksek artışın % 25 uzamada olduğu görülmektedir. Kontrole indekslendiğinde en yüksek M25 değeri, poliimid kaplı CF’nin 15 phr kullanıldığı deneme karışımında (15C3B) görülmektedir. Bu sonuçlar karışımın mekanik özelliklerinin düşük uzamalarda (% 25 uzamaya kadar) CF katkısı ile büyük ölçüde iyileştiğini ortaya koymaktadır.

Ancak tüm deneme karışımlarında çiçeklenme (İng. blooming) gözleendiği için yaşlanma özelliklerinin kötüleştiği anlaşılmış ve yaşlandırma deneyleri yapılmamıştır. Böylece B karışımının CF takviyesi için uygun olmadığına karar verilmiştir.

Tablo 7.39. Yaşlandırılmamış (0 saat) çekme test sonuçları

Özellik	Birim	Karışım kodu									
		KB	5C1B	10C1B	15C1B	5C3B	10C3B	15C3B	5C4B	10C4B	15C4B
Kopma dayanımı	MPa	24,01	21,60	22,52	20,81	20,82	22,86	20,69	25,10	21,26	19,49
Kopmada uzama	%	459,1	413,1	400,7	359,7	371,3	372,1	336,6	389,6	364,2	359,5
M1	MPa	0,80	1,02	1,47	1,57	0,84	1,21	1,54	0,80	1,50	1,48
M5	MPa	1,13	1,71	2,28	2,72	1,52	2,25	2,89	1,58	2,47	2,83
M10	MPa	1,39	2,34	2,95	3,86	2,13	3,24	4,29	2,31	3,49	4,12
M25	MPa	1,96	3,83	4,81	5,89	3,57	5,17	6,56	3,92	5,23	5,93
M50	MPa	2,77	4,76	5,66	6,37	4,58	5,77	6,63	4,79	5,61	5,98
M75	MPa	3,76	5,36	6,12	6,56	5,38	6,24	6,81	5,58	6,04	6,22
M100	MPa	5,00	6,23	7,03	7,17	6,57	7,17	7,42	6,88	7,03	6,89
M200	MPa	11,42	12,12	13,07	12,99	13,47	14,00	13,67	14,21	13,75	13,04
M300	MPa	17,81	17,96	18,87	18,34	19,88	20,34	19,84	20,71	19,86	18,54



Şekil 7.20. Yaşlandırılmamış (0 saat) katkılı örneklerin, kontrole göre indeks grafiği

7.4.4. Karışımların sertlik, özgül ağırlık, yorulma ve sekme esnekliği testleri

Karışımların sertlik, özgül ağırlık, yorulma ve sekme esnekliği test sonuçları, C1, C3 ve C4 takviye malzemeleri için sırasıyla Tablo 7.40, 7.41 ve 7.42’de verilmiştir.

Beklenildiği üzere karışımların sertlikleri ve özgül ağırlıkları, artan CF katkısı ile artmaktadır. Ancak, yorulma testlerinde (FTFT) deneme karışımları kontrole göre çok daha erken özür vermektedir, bu sonuçlar Bölüm 7.1.4, 7.2.2 ve 7.3.4'te verilen sonuçlarla uyumludur. Mekanik enerjinin ısıya dönüşmesi sonucu, yüksek CF katkılarında (15 phr) ısı üretimi artmakta ve sekme esnekliği değerleri de azalmaktadır.

Tablo 7.40. C1 takviye malzemesi kullanılan karışımların sertlik, özgül ağırlık, yorulma ve sekme esnekliği sonuçları

Özellik	Birim	Karışım kodu			
		KB	5C1B	10C1B	15C1B
Sertlik	Shore A	69	73	75	78
Özgül ağırlık	-	1,1623	1,1705	1,1846	1,1856
FTFT	Kontür	1234	704	387	265
Sekme esnekliği	%	44,6	45,1	40,5	40,1

Tablo 7.41. C3 takviye malzemesi kullanılan karışımların sertlik, özgül ağırlık, yorulma ve sekme esnekliği sonuçları

Özellik	Birim	Karışım kodu			
		KB	5C3B	10C3B	15C3B
Sertlik	Shore A	69	74	76	77
Özgül ağırlık	-	1,1623	1,1716	1,1749	1,1849
FTFT	Kontür	1234	271	296	317
Sekme esnekliği	%	44,6	46,2	45,3	43,4

Tablo 7.42. C4 takviye malzemesi kullanılan karışımların sertlik, özgül ağırlık, yorulma ve sekme esnekliği sonuçları

Özellik	Birim	Karışım kodu			
		KB	5C4B	10C4B	15C4B
Sertlik	Shore A	69	74	76	77
Özgül ağırlık	-	1,1623	1,1733	1,1786	1,1913
FTFT	Kontür	1234	594	416	335
Sekme esnekliği	%	44,6	45,8	43,6	40,7

Bu bölümde yapılan çalışmalar, B karışımının yaşlanma özelliklerini bozması nedeniyle CF katkısı ile kullanılamayacağını göstermiştir. Yaşlandırılmamış örneklerde mekanik özelliklerin geliştiği modül değerlerinden anlaşılmaktadır. Önceki bölümlerde de görüldüğü üzere kullanılan takviye malzemeleri karışımların yorulma özelliğini olumsuz etkilemektedir.

7.5. Poliimid Kaplı CF ile Yapılan Denemeler

Bölüm 7.1 ve 7.4'te yapılan çalışmaların sonuçları değerlendirilerek kullanılan iki farklı reçeteden A reçetesinin CF takviyesi için daha uygun olduğu belirlenmiştir. Bölüm 7.4'te elde edilen sonuçlar poliimid kaplı CF (C3) ile takviye edilen karışımların modül değerlerinin diğerlerine göre daha yüksek olduğunu göstermiştir. Bu bölümde, DowAksa firmasından temin edilen poliimid kaplı CF (C3) takviye malzemesi farklı miktarlarda (5, 10, 15 phr) A reçetesinde kullanılarak karışımın özelliklerine etkileri araştırılmıştır. Pişme özellikleri, mekanik özellikler, yaşlanma özelliklerinin yanı sıra karışımların ısı üretimi, aşınma ve dinamik özellikler gibi diğer özellikleri de test edilmiştir.

7.5.1. Kullanılan reçeteler

Tablo 7.43. Ana karışım reçeteleri (kısım olarak)

Hammadde	Ana karışım			
	KA	5C3A	10C3A	15C3A
NR	100,00	100,00	100,00	100,00
N330	50,00	50,00	50,00	50,00
Stearik asit	2,00	2,00	2,00	2,00
6PPD	1,00	1,00	1,00	1,00
TMQ	1,00	1,00	1,00	1,00
DCPD	1,00	1,00	1,00	1,00
CF	0,00	5,00	10,00	15,00
Toplam kısım (phr)	155,00	160,00	165,00	170,00

Tablo 7.44. Ana karışım reçeteleri (ağırlık olarak)

Hammadde	Ana karışım			
	KA	5C3A	10C3A	15C3A
NR	774,19	750,00	727,27	705,88
N330	387,10	375,00	363,64	352,94
Stearik asit	15,48	15,00	14,55	14,12
6PPD	7,74	7,50	7,27	7,06
TMQ	7,74	7,50	7,27	7,06
DCPD	7,74	7,50	7,27	7,06
CF	0,00	37,50	72,73	105,88
Toplam ağırlık (g)	1200,00	1200,00	1200,00	1200,00

Tablo 7.45. Son karışım reçeteleri (kısım olarak)

Hammadde	Son karışım			
	KA	5C3A	10C3A	15C3A
Ana karışım	155,00	160,00	165,00	170,00
ZnO	3,00	3,00	3,00	3,00
TBBS	0,80	0,80	0,80	0,80
Kükürt	1,37	1,37	1,37	1,37
Toplam kısım (phr)	160,17	165,17	170,17	175,17

Tablo 7.46. Son karışım reçeteleri (ağırlık olarak)

Hammadde	Son karışım			
	KA	5C3A	10C3A	15C3A
Ana karışım	1161,27	1162,44	1163,54	1164,58
ZnO	22,48	21,80	21,16	20,55
TBBS	5,99	5,81	5,64	5,48
Kükürt	10,26	9,95	9,66	9,39
Toplam ağırlık (g)	1200,00	1200,00	1200,00	1200,00

7.5.2. Karışımların pişme özellikleri

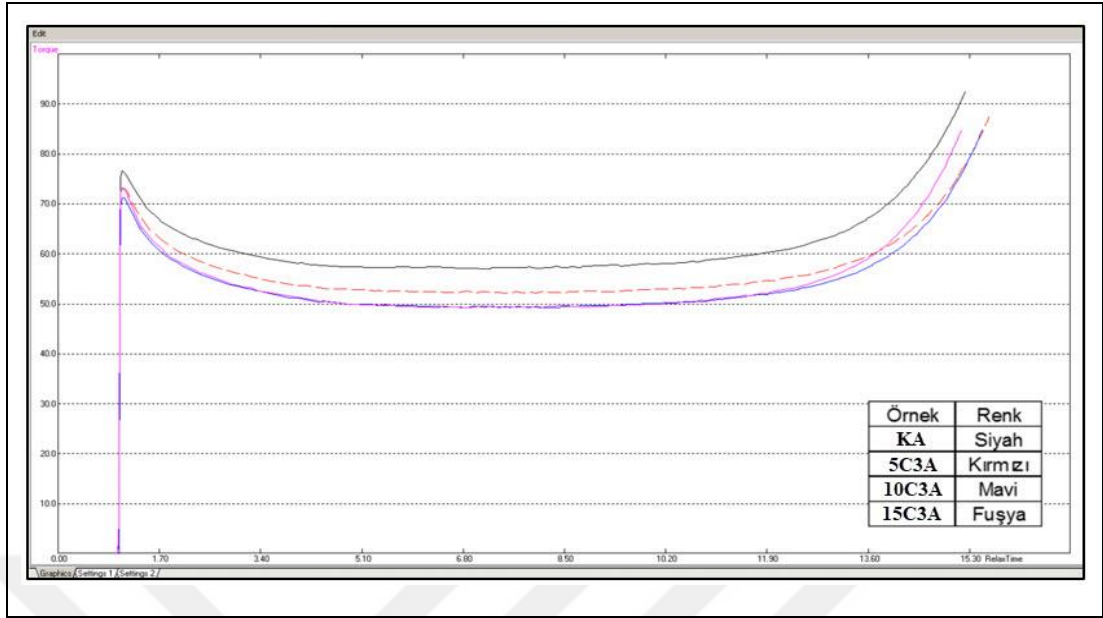
Mooney viskozimetre sonuçları, malzemeye şekil verirken dikkat edilmesi gereken parametreleri, reometre (MDR) sonuçları ise, malzemenin pişme özelliklerine ilave olarak saha performansı ile ilgili bilgileri de verir.

Hazırlanan karışımlar 130 °C’de Mooney viskozimetre ve 160 °C’de reometre (MDR) ile test edilmiş ve sonuçlar Tablo 7.47 ve 7.48’de verilmiştir. Şekil 7.21 Mooney test sonuçları grafiğini, Şekil 7.22 ise MDR test sonuçları grafiğini vermektedir. MDR grafiği, doğal kauçuk esaslı reçetenin uzun pişme sürelerinde geri dönüş (İng. reversion) özelliğini ortaya koymaktadır.

Mooney test sonuçları incelendiğinde M_L (1+4) değerinin kontrol karışımına göre azaldığını ve yüksek takviye oranlarında (10, 15 phr) sabit kaldığını göstermektedir. Bu sonuçlar, takviye malzemesinin A karışımın proses edilebilirliği açısından bir zorluk getirmeyeceğini belirtmektedir. C3 takviye malzemesi B karışımında kullanıldığında bu durumun tersi gözlenmiştir (Bölüm 7.4.2). Mooney test sonuçları ayrıca yanma süresini belirleyen t_5 değerinin CF katkısı ile bu karışımda değişiklik göstermediğini ortaya koymaktadır. Bölüm 7.4.2’de elde edilen sonuçlar, C3 takviye malzemesinin B reçetesinde kullanılması halinde yanma sürelerinin önemli ölçüde kısaldığını göstermekte idi.

MDR sonuçları incelendiğinde, maksimum tork (M_H) ve % 90 pişmedeki tork değeri ($S'@t_{90}$) CF katkısının artışı ile artmakta ve mekanik özelliklerin geliştiğine işaret etmektedir (Şekil 7.23). Mooney test sonuçlarına benzer şekilde, t_{s1} ve t_{s2} süreleri deneme karışımlarında değişiklik göstermemektedir. Pişme başlangıcı olarak kabul edilebilecek t_{10} değeri ile pişme süresini tanımlayan t_{90} değeri CF miktarı ile az bir artış göstermektedir.

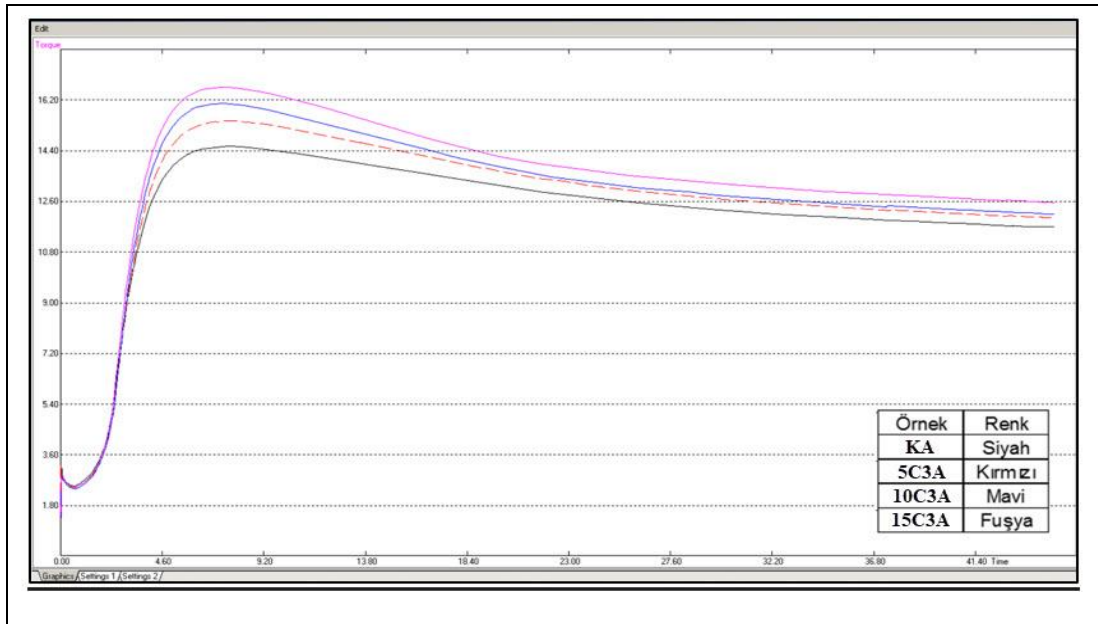
Mooney sonuçları ile MDR sonuçları aşağıdaki konularda uyum göstermektedir; (i) CF artışıyla, viskozite değerleri [IV, MV, ML(1+4), M_L] düşmektedir, (ii) CF artışıyla, yanma zamanı değerleri (t_5 , t_{35} , t_{s1} ve t_{s2}) etkilenmemektedir. Tüm bu sonuçlar C3 takviye malzemesinin A reçetesinde kullanılması ile karışımın proses edilebilme ve pişme özelliklerinin olumsuz etkilenmediğini ortaya koymaktadır.



Şekil 7.21. Mooney test sonuçları grafiği

Tablo 7.47. Mooney test sonuçları (130 °C’de)

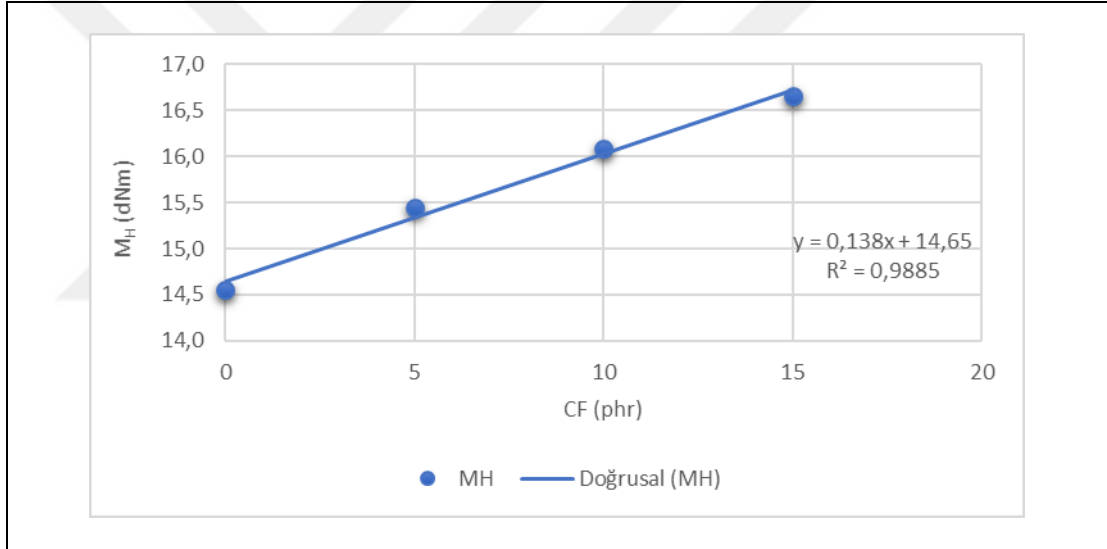
Özellik	Birim	Karışım kodu			
		KA	5C3A	10C3A	15C3A
IV	MU	76,6	73,2	71,3	73,1
MV	MU	57,0	52,2	49,3	49,2
M _L (1+4)	MU	57,3	52,8	49,8	49,8
t ₅	dak	12,58	13,07	12,93	12,67
t ₃₅	dak	15,21	15,62	15,50	15,15



Şekil 7.22. MDR test sonuçları grafiği

Tablo 7.48. MDR test sonuçları (160 °C’de)

Özellik	Birim	Karışım kodu			
		KA	5C3A	10C3A	15C3A
M_L	dNm	2,50	2,45	2,39	2,45
M_H	dNm	14,56	15,45	16,08	16,65
t_{s1}	(dak)	1,80	1,84	1,83	1,79
t_{s2}	(dak)	2,20	2,24	2,22	2,17
t_{10}	(dak)	1,90	1,99	2,00	1,98
t_{50}	(dak)	2,92	2,99	3,01	2,98
t_{90}	(dak)	4,60	4,68	4,65	4,63
$S'@t_{s2}$	dNm	4,52	4,45	4,39	4,46
$S'@t_{10}$	dNm	3,71	3,74	3,76	3,86
$S'@t_{50}$	dNm	8,53	8,96	9,23	9,56
$S'@t_{90}$	dNm	13,36	14,15	14,72	15,23



Şekil 7.23. Maksimum tork değerlerinin CF katkısı ile değişimi

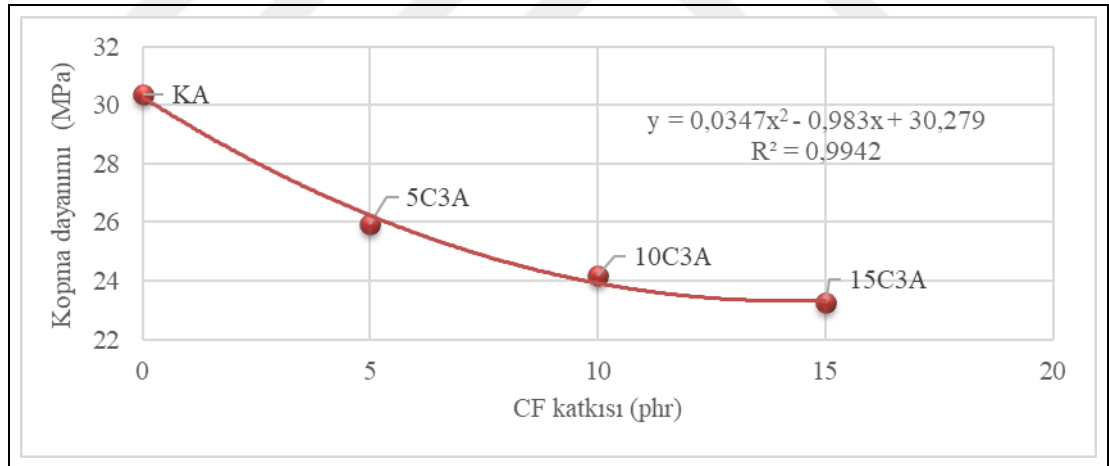
7.5.3. Karışımların çekme ve yaşlandırma testleri

Karışımların mekanik özelliklerini belirlemek amacı ile çekme testleri yapılmış ve sonuçlar Tablo 7.49’de gösterilmiştir. Bu tabloda artan CF miktarı ile tüm modül değerlerinin arttığı, kopma dayanımı ve kopmada uzama değerlerinin azaldığı görülmektedir (Şekil 7.24 ve 7.25). Bu eğilim Tablo 7.7 ve 7.39’da verilen sonuçlar ile uyumludur. Şekil 7.26 modül değerlerinin kontrole göre indeks grafiğini vermektedir ve en yüksek artışın % 25 uzamada olduğunu belirtmektedir. Şekil 7.27, M_{25} değerlerinin CF katkısı ile değişimini göstermektedir. Bu sonuçlar karışımın

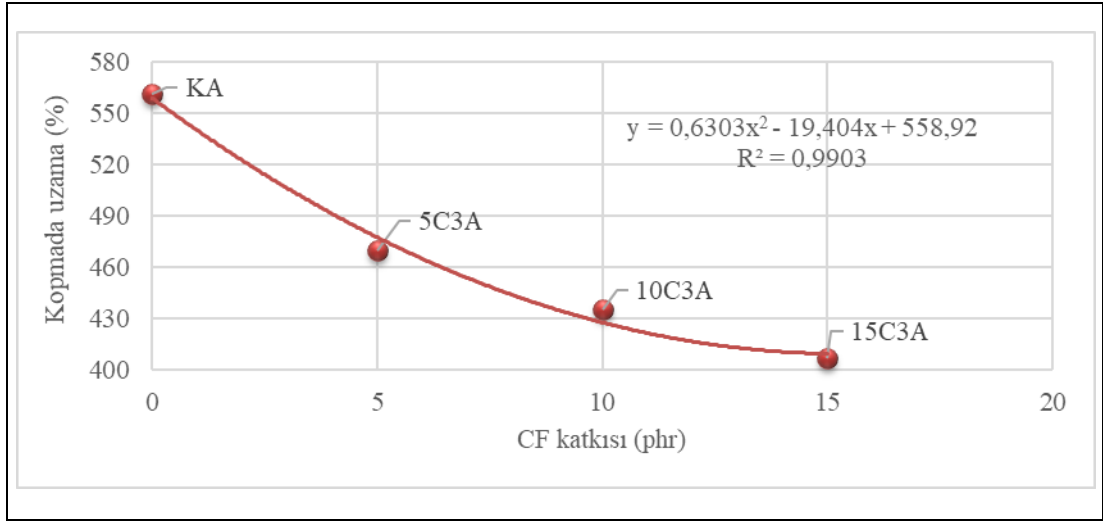
mekanik özelliklerinin düşük uzamalarda (% 25 uzamaya kadar) CF katkısı ile büyük ölçüde iyileştiğini ortaya koymaktadır.

Tablo 7.49. Yaşlandırılmamış (0 saat) örneklerin çekme test sonuçları

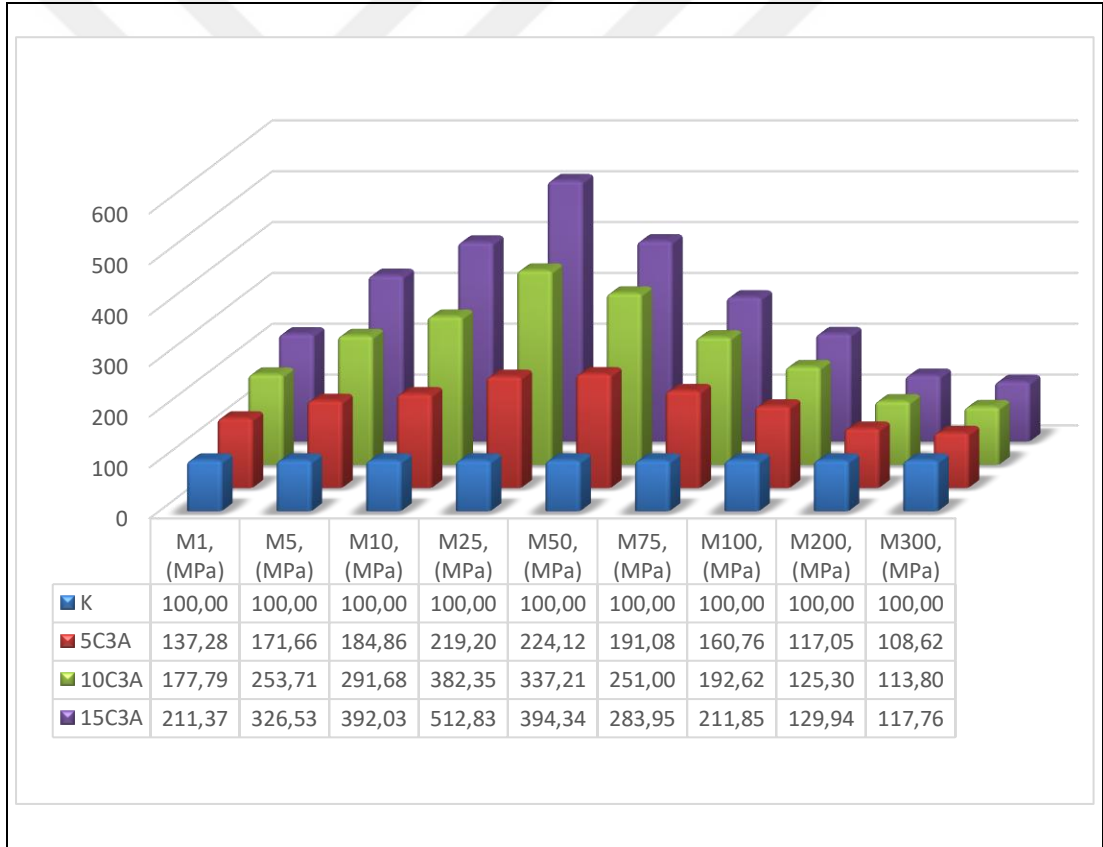
Özellik	Birim	Karışım kodu			
		KA	5C3A	10C3A	15C3A
Kopma dayanımı	MPa	30,37	25,95	24,20	23,24
Kopmada uzama	%	561,5	470,0	435,6	407,1
M1	MPa	0,24	0,32	0,42	0,50
M5	MPa	0,42	0,71	1,05	1,36
M10	MPa	0,60	1,10	1,74	2,34
M25	MPa	0,98	2,14	3,73	5,00
M50	MPa	1,45	3,24	4,87	5,70
M75	MPa	2,02	3,87	5,08	5,75
M100	MPa	2,80	4,50	5,39	5,93
M200	MPa	7,94	9,30	9,96	10,32
M300	MPa	14,42	15,66	16,41	16,98



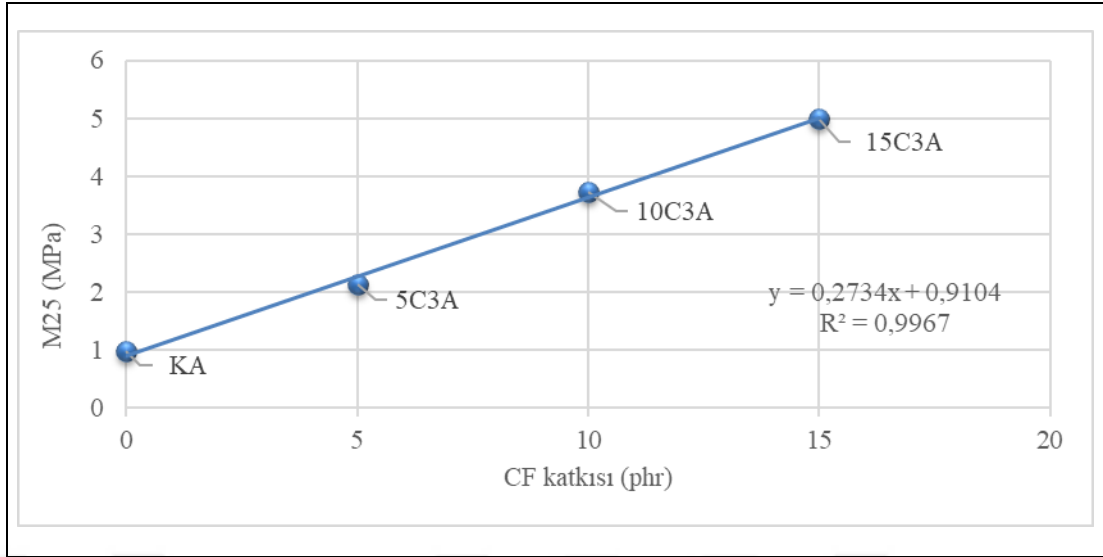
Şekil 7.24. Yaşlandırılmamış (0 saat) örneklerin kopma dayanımı değerleri



Şekil 7.25. Yaşlandırılmamış (0 saat) örneklerin kopmada uzama değerleri



Şekil 7.26. Yaşlandırılmamış (0 saat) CF katkılı örneklerin modül değerlerinin kontrole göre indeks grafiği

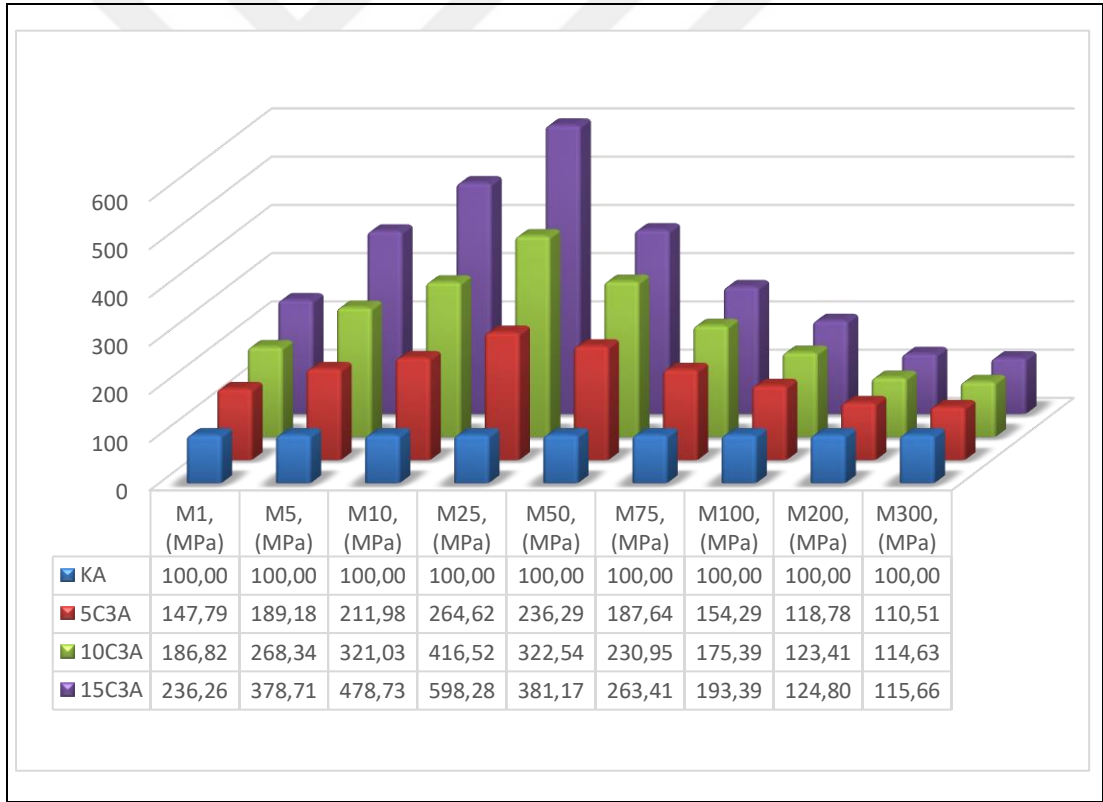


Şekil 7.27. Yaşlandırılmamış (0 saat) örneklerin kontrole göre, en yüksek modül değerleri artışına ulaştığı %25 uzamadaki, modül değerlerinin CF katkısı ile değişimi

Karışımların yaşlanma özelliklerinin belirlenmesi amacıyla 100 °C’de 24, 48 ve 96 saat süreyle etüvde ısıl yaşlandırma testleri yapılmıştır. Sonuçlar Tablo 7.50, 7.51 ve 7.52’de verilmiştir. Yaşlandırılmamış örneklerdekine benzer şekilde, yaşlandırılmış örneklerin de kopma dayanımı ve kopmada uzama değerleri, CF katkısı ile belirgin bir şekilde düşerken modül değerleri artmaktadır. Şekil 7.28, 7.29 ve 7.30’da yaşlandırılmış örneklerin kontrole göre indeks grafikleri verilmiştir ve M25 değerlerinde en yüksek artış gözlenmiştir. Şekil 7.31 ve 7.32’de yaşlandırılmış örneklerde kopma dayanımı ve kopmada uzama değerlerinin değişimi gösterilmiştir. Tüm karışımlarda en uzun yaşlandırma süresindeki kayıp miktarları hesaplanmış ve şekiller üzerinde gösterilmiştir. Görüldüğü üzere ısıl yaşlandırma sonrası CF katkılı deneme karışımlarında kopma dayanımı ve kopmada uzama değerlerindeki yüzde kayıp, kontrol karışımından daha azdır. Tüm bu sonuçlar CF katkısının karışımın ısıl yaşlanma özelliklerini iyileştirdiğini göstermektedir ve Bölüm 7.1.3’te elde edilen sonuçlar ile uyumludur.

Tablo 7.50. 24 saat Yaşlandırılmış örneklerin çekme test sonuçları

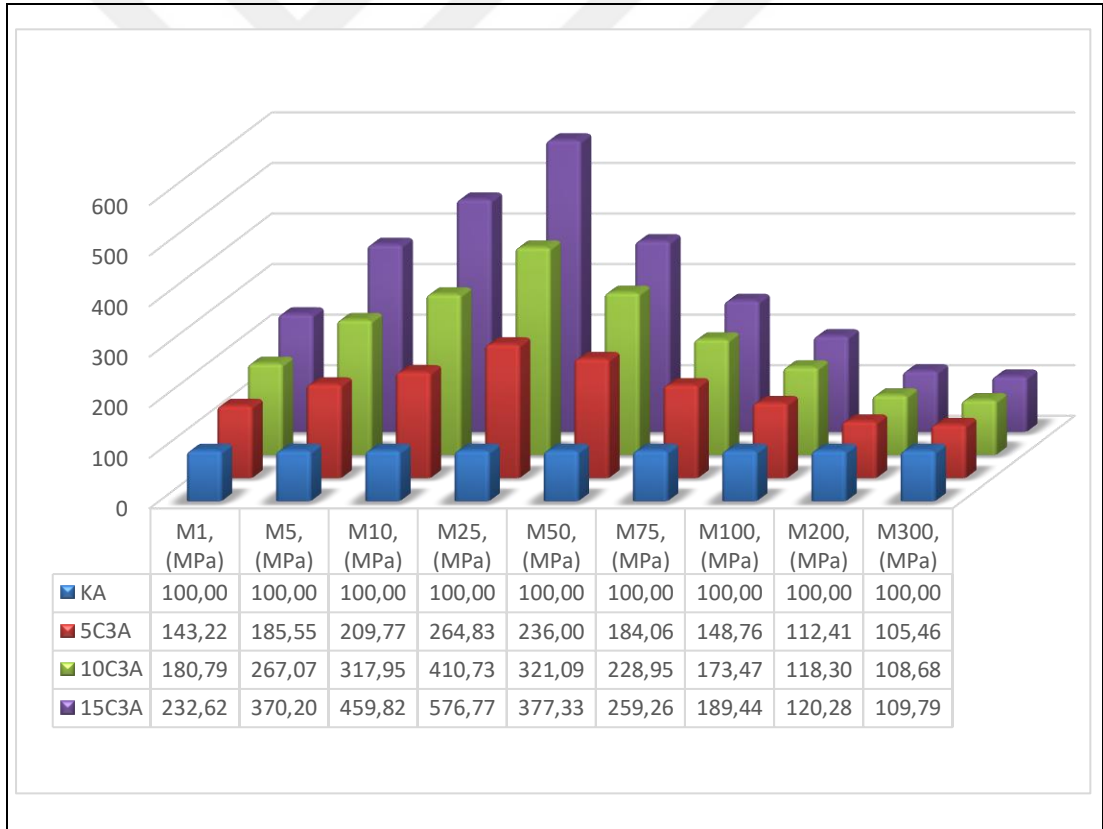
Özellik	Birim	Karışım kodu			
		KA	5C3A	10C3A	15C3A
Kopma dayanımı	MPa	27,82	25,51	24,28	22,58
Kopmada uzama	%	495,2	423,4	391,5	359,6
M1	MPa	0,25	0,37	0,47	0,59
M5	MPa	0,48	0,90	1,28	1,81
M10	MPa	0,69	1,47	2,22	3,31
M25	MPa	1,14	3,01	4,74	6,81
M50	MPa	1,77	4,18	5,71	6,75
M75	MPa	2,55	4,79	5,90	6,72
M100	MPa	3,58	5,53	6,28	6,93
M200	MPa	9,61	11,41	11,86	11,99
M300	MPa	16,47	18,20	18,88	19,05



Şekil 7.28. 24 saat Yaşlandırılmış CF katkılı örneklerin modül değerlerinin kontrole göre indeks grafiği

Tablo 7.51. 48 saat Yaşlandırılmış örneklerin çekme test sonuçları

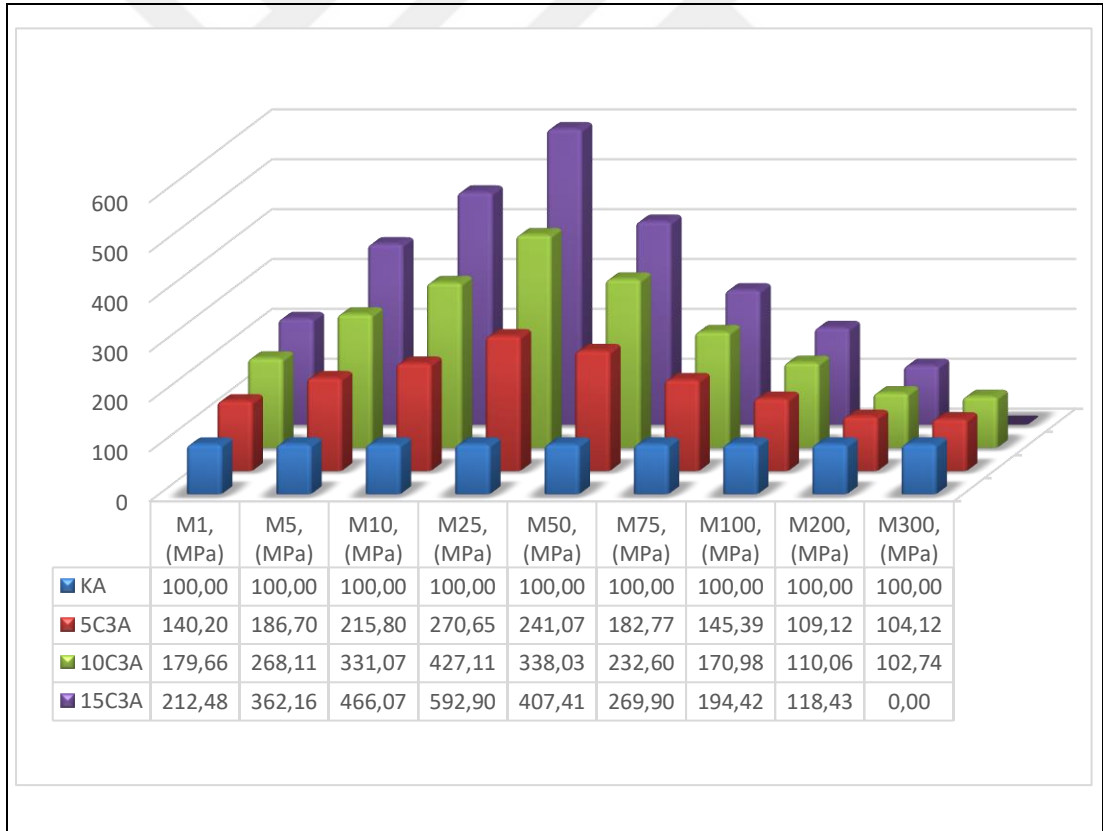
Özellik	Birim	Karışım kodu			
		KA	5C3A	10C3A	15C3A
Kopma dayanımı	MPa	25,66	22,58	21,25	20,90
Kopmada uzama	%	451,8	381,9	350,6	341,5
M1	MPa	0,26	0,37	0,46	0,60
M5	MPa	0,49	0,90	1,30	1,80
M10	MPa	0,70	1,48	2,24	3,24
M25	MPa	1,16	3,09	4,78	6,72
M50	MPa	1,83	4,33	5,89	6,92
M75	MPa	2,67	4,92	6,12	6,93
M100	MPa	3,79	5,63	6,57	7,17
M200	MPa	10,08	11,33	11,93	12,13
M300	MPa	17,00	17,93	18,48	18,67



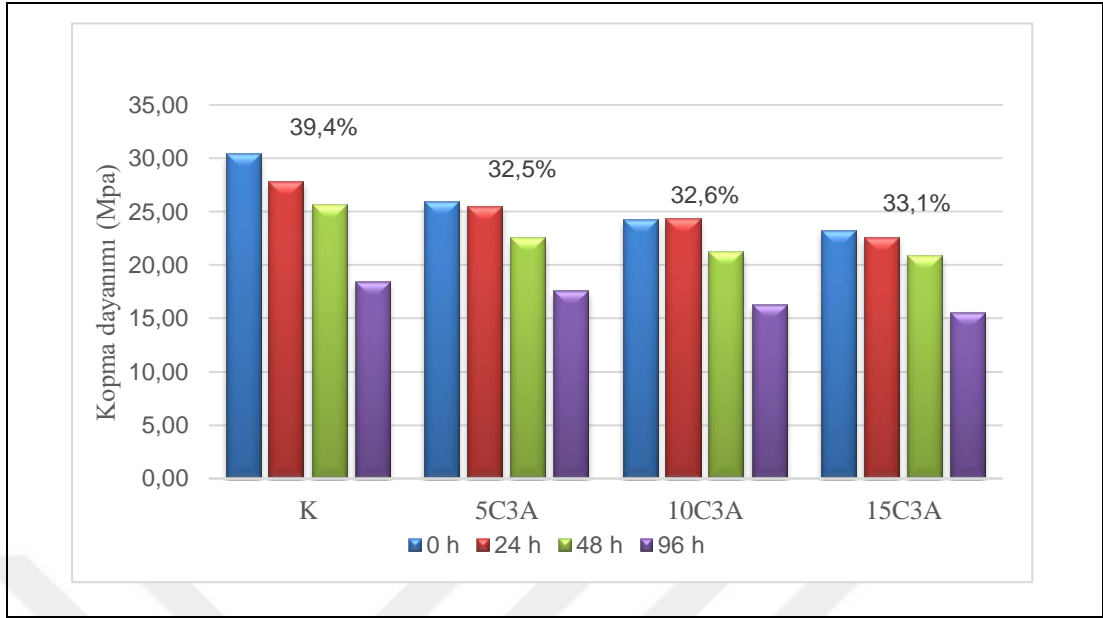
Şekil 7.29. 48 saat Yaşlandırılmış CF katkılı örneklerin modül değerlerinin kontrole göre indeks grafiği

Tablo 7.52. 96 saat Yaşlandırılmış örneklerin çekme test sonuçları

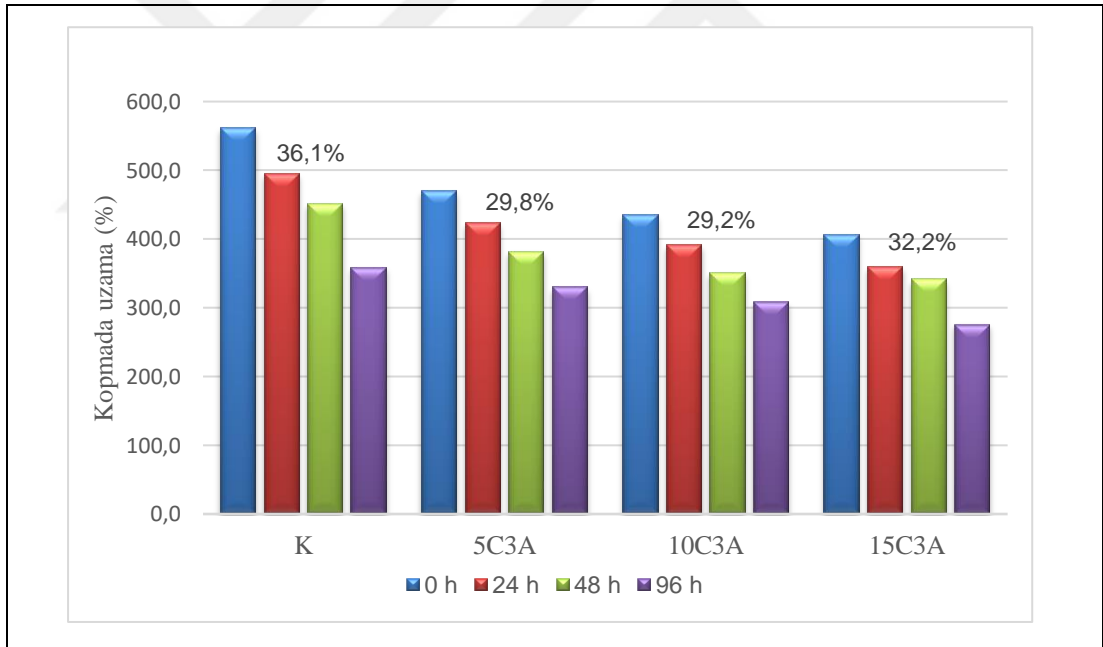
Özellik	Birim	Karışım kodu			
		KA	5C3A	10C3A	15C3A
Kopma dayanımı	MPa	18,42	17,52	16,30	15,54
Kopmada uzama	%	359,0	329,9	308,4	276,1
M1	MPa	0,23	0,32	0,41	0,49
M5	MPa	0,42	0,79	1,13	1,53
M10	MPa	0,61	1,31	2,02	2,84
M25	MPa	1,04	2,81	4,43	6,15
M50	MPa	1,70	4,09	5,74	6,91
M75	MPa	2,56	4,69	5,97	6,92
M100	MPa	3,67	5,33	6,27	7,13
M200	MPa	9,48	10,34	10,43	11,22
M300	MPa	15,44	16,07	15,86	



Şekil 7.30. 96 saat Yaşlandırılmış CF katkılı örneklerin modül değerlerinin kontrole göre indeks grafiği



Şekil 7.31. Yaşlandırma ile kopma dayanımı değerlerinin değişimi



Şekil 7.32. Yaşlandırma ile kopmada uzama değerlerinin değişimi

7.5.4. Karışımların sertlik, özgül ağırlık, yorulma ve sekme esnekliği testleri

Karışımların sertlik, özgül ağırlık, yorulma ve sekme esnekliği test sonuçları Tablo 7.53'te verilmiştir. Beklenildiği üzere karışımların sertlikleri ve özgül ağırlıkları, artan CF katkısı ile artmaktadır. Ancak, yorulma testlerinde (FTFT) deneme karışımları kontrole göre çok daha erken özür vermektedir, bu sonuçlar Bölüm 7.1.4, 7.2.2, 7.3.4

ve 7.4.4'te verilen sonuçlarla uyumludur. Mekanik enerjinin ısıya dönüşmesi sonucu, tüm CF oranlarında ısı üretimi artmakta ve sekme esnekliği değerleri de azalmaktadır.

Tablo 7.53. Sertlik, özgül ağırlık, yorulma ve sekme esnekliği sonuçları

Özellik	Birim	Karışım kodu			
		KA	5C3A	10C3A	15C3A
Sertlik	Shore A	62	69	73	75
Özgül ağırlık	-	1,1132	1,1269	1,1392	1,1511
FTFT	Kontür	700	382	247	178
Sekme esnekliği	%	59,04	56,76	54,94	53,24

7.5.5. Fleksometre testleri

Lastik karışımlarının ömrü ısı üretimi ve yorulma testleri ile belirlenir. Bölüm 6.2.2.9'da bu amaçla yapılan fleksometre testleri açıklanmıştır. Bu bölümde C3 takviye malzemesi ile güçlendirilmiş deneme karışımlarının, kontrol karışımına (A reçetesi) göre, ısı üretimi ve dinamik mekanik özellikleri belirlenmiştir.

7.5.5.1. Isı üretimi test sonuçları

Silindirik formdaki örnekler sabit statik yük altında belirli bir döngüsel basma oranı (İng. cyclic compression rate) ve darbe uzunluğu (İng. stroke length) uygulanarak belirli bir süre test edilir. Test sonucunda örnek tabanında meydana gelen sıcaklık artışı ölçülür ve örnek boyu da ölçülerek kalıcı deformasyon hesaplanır. Kullanılan test koşulları aşağıda verilmiş ve sonuçlar Tablo 7.54'te gösterilmiştir. Testler oda sıcaklığında yapılmıştır.

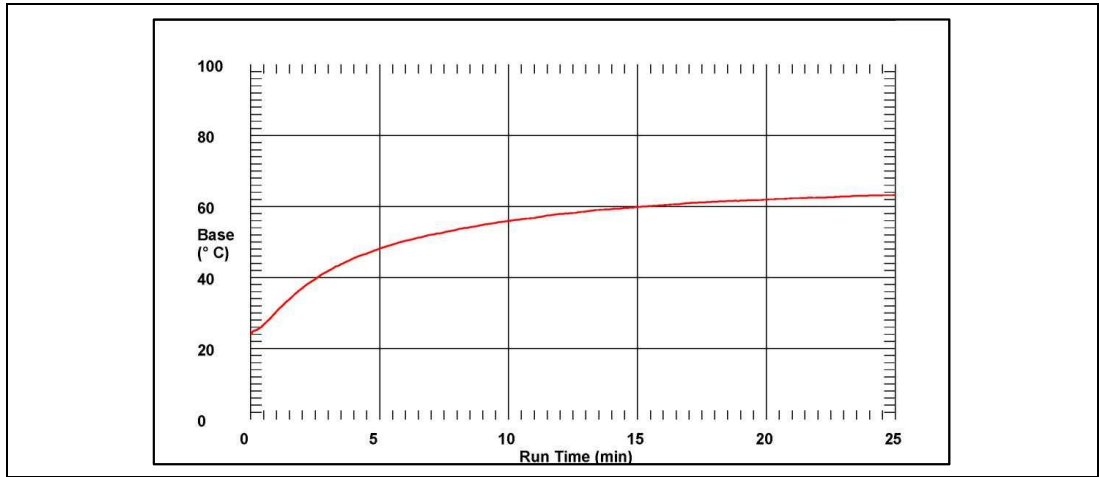
Test koşulları:

- Deney süresi: 25 dakika
- Darbe uzunluğu: 4,45 mm
- Statik yük: 245 N
- Döngüsel basma oranı: 30 Hz

Tablo 7.54. Isı üretimi test sonuçları

Özellik	Birim	Karışım kodu			
		KA	5C3A	10C3A	15C3A
Başlangıç örnek sıcaklığı	°C	24	32	26	27
Başlangıç örnek çapı	mm	17,78	17,78	17,78	17,78
Başlangıç örnek boyu	mm	25,11	25,46	25,52	25,59
Başlangıç basma değeri	mm	4,34	2,69	1,85	1,17
Sıcaklık artışı	°C	39	57	76	93
Kalıcı deformasyon	%	1,9	7,9	8,5	9,1

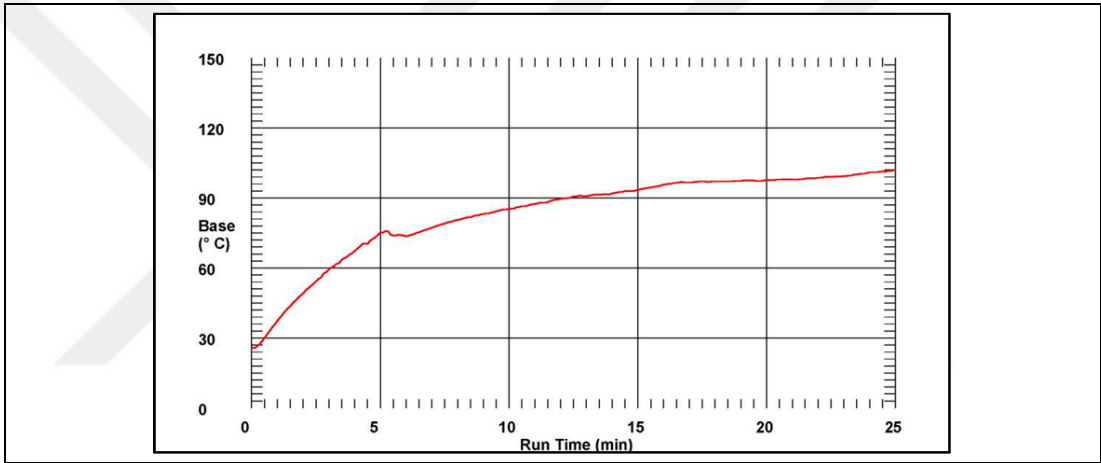
Tablo 7.54'te verilen başlangıç basma değeri, sabit statik yük 245 N örneğe uygulandığında meydana gelen basma miktarıdır. Tablodan görüldüğü üzere karışımlara CF ilave edildiğinde, kontrol karışımına göre aynı yük altında basma değeri azalmaktadır. Bu azalma katkı miktarı arttıkça daha da düşmektedir. Örneklerde meydana gelen sıcaklık artışı sürekli olarak ölçülmüş ve Şekil 7.33 - 7.36'te verilmiştir. Tablo 7.54 test bitiminde meydana gelen sıcaklık artışını göstermektedir. Sonuçlar CF katkısı ile örneklerde ısı üretiminin arttığını ve bu artışın katkı miktarı ile doğru orantılı olduğunu ortaya koymaktadır. Bu sonuçlar Şekil 7.37'de gösterilmiştir. Tablo 7.54, başlangıç ve son örnek boylarından hesaplanan kalıcı deformasyon değerlerini de vermektedir. Sonuçlar, CF katkısı ile kalıcı deformasyon değerlerinin artan katkı ile arttığını ve takviye malzemesinin karışımın bu özelliğini olumsuz etkilediğini göstermektedir.



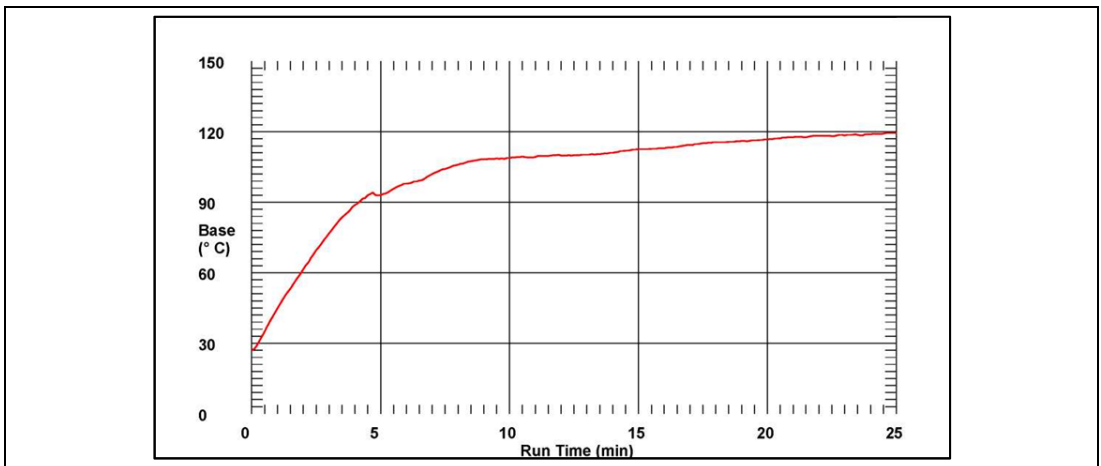
Şekil 7.33. KA kontrol örneği ısı üretim grafiği



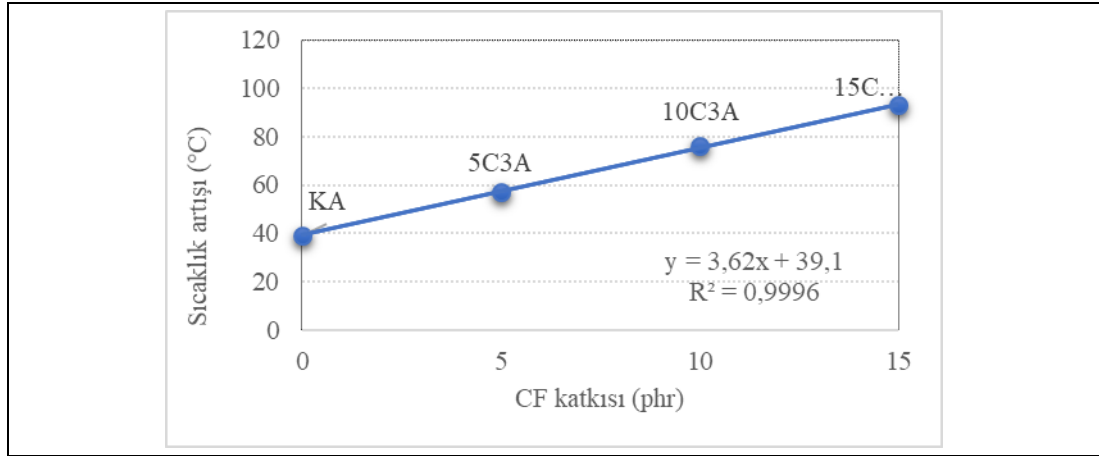
Şekil 7.34. 5C3A örneği ısı üretim grafiği



Şekil 7.35. 10C3A örneği ısı üretim grafiği



Şekil 7.36. 15C3A örneği ısı üretim grafiği



Şekil 7.37. Kontrol ve CF katkılı örneklerin ısı üretimi grafiği

7.5.5.2. Dinamik mekanik test sonuçları

Fleksometre cihazı, sabit yük yerine sabit basma değeri altında çalıştırıldığında örneklerin dinamik mekanik özellikleri (E' , E'' , $\tan \delta$) ölçülebilmektedir. Test koşulları aşağıda belirtilmiş ve sonuçlar Tablo 7.55'te verilmiştir. Bu sonuçlar karışıma CF ilavesi ile mekanik enerjinin ısıya dönmesi sonucu $\tan \delta$ değerinin, artan katkı miktarı ile arttığını göstermektedir. Tüm bu sonuçlar Tablo 7.53'te verilen sekme esnekliği sonuçları ile uyumludur [210].

Test koşulları:

- Ortam sıcaklığı: 24 °C
- Darbe uzunluğu: 1,02 mm
- İlk gerinim: %10
- Döngüsel basma oranı: 10 Hz

Tablo 7.55. Dinamik mekanik test sonuçları

Özellik	Birim	Karışım kodu			
		KA	5C3A	10C3A	15C3A
Başlangıç örnek sıcaklığı	°C	26	27	27	26
Başlangıç örnek boyu	mm	25,17	25,02	25,40	25,60
E' / kesit alanı	N	44,129	58,997	80,814	95,232
E'' / kesit alanı	N	6,392	9,318	16,326	19,984
$\tan \delta$	-	0,145	0,158	0,202	0,210

7.5.6. Lambourn aşınma testleri

Lastik karışımlarının ömrünü belirleyen en önemli özelliklerden bir aşınma dayanımıdır. Bu özelliği test etmek için birçok cihaz geliştirilmiştir [22, 58, 201, 208, 209, 211]. Bu çalışmada Bölüm 6.2.2.10'da tanımlanan Lambourn aşınma test cihazı kullanılarak, CF katkısının karışımın bu özelliğine etkisi araştırılmıştır. Deneyler oda sıcaklığında yapılmış olup, test koşulları aşağıda verilmiştir.

Test koşulları:

- Aşındırıcı tekerlek çapı (İng. drum diameter): 250 mm
- Örnek çapı: 70 mm
- Örnek genişliği: 25 mm
- Kaydırmaz bant kalınlığı (İng. safety-walk thickness): 0,8 mm
- Yükleme hızı (İng. loading speed): 5 N/s
- Hedef yük (İng. target load): 30 N
- Ortalama tekerlek hızı: 67 rpm (0,88 m/s)

Aşındırıcı yüzey olarak 0,8 mm kalınlığında kaydırmaz bant kullanılmıştır. Deneyler % 5, % 7, % 10, % 12 ve % 15 olmak üzere 5 farklı kayma hızında (İng. slip rate) yapılmış ve sonuçlar Tablo 7.56 – 7.60'da verilmiştir. Kayma hızı aşağıda verilen denklem 7.1 ile tanımlanmıştır. Kaymayı sağlamak için aşındırıcı tekerlek ile örnek arasına kayma hızı ile orantılı olarak talk beslenmiştir.

$$\text{Kayma hızı (\%)} = (\text{Örnek hızı} - \text{Tekerlek hızı}) / (\text{Örnek hızı}) \times 100 \quad (7.1)$$

Ortalama tekerlek hızı tüm deneylerde 67 rpm olarak sabit tutulmuş, örnek hızı kullanılan kayma hızına bağlı olarak yukarıda verilen denkleme göre belirlenmiştir. Hız değerleri birim değişikliği için aşağıda verilen denklem 7.2 kullanılarak yapılmıştır.

$$\text{Hız (m/s)} = (\text{Hız (rpm)} \times 2\pi \times \text{Yarıçap (mm)}) / (1000 \times 60) \quad (7.2)$$

Ağırlık kaybının kayma hızı ile değişimi Şekil 7.38'de verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi, ağırlık kaybındaki artış hızı yüksek kayma hızlarında (% 12, % 15)

düşmektedir. Bunun nedeni talk besleme hızının da yüksek kayma hızlarında fazla olması, böylece talkın yağlayıcı özelliği sayesinde sürtünmenin azalmasıdır.

Tablo 7.56. Aşındırma test sonuçları (% 5 kayma hızı)

Özellik	Birim	Karışım kodu			
		KA	5C3A	10C3A	15C3A
Talk besleme hızı	g/dak	0,05	0,05	0,05	0,05
Test süresi	s	3600	3600	3600	3600
Başlangıç örnek ağırlığı	g	86,939	87,543	88,645	89,189
Son örnek ağırlığı	g	86,880	87,436	88,503	89,031
Ağırlık kaybı	g	0,060	0,107	0,142	0,159
Ortalama bant sıcaklığı	°C	35,59	36,17	36,45	36,59
Ortalama örnek sıcaklığı	°C	31,50	32,44	32,90	33,26
Ortalama örnek hızı	rpm (m/s)	255 (0,93)	255 (0,93)	255 (0,93)	255 (0,93)

Tablo 7.57. Aşındırma test sonuçları (% 7 kayma hızı)

Özellik	Birim	Karışım kodu			
		KA	5C3A	10C3A	15C3A
Talk besleme hızı	g/dak	0,07	0,07	0,07	0,07
Test süresi	s	1800	1800	1800	1800
Başlangıç örnek ağırlığı	g	86,876	87,434	88,500	89,029
Son örnek ağırlığı	g	86,785	87,274	88,278	88,769
Ağırlık kaybı	g	0,091	0,160	0,222	0,260
Ortalama bant sıcaklığı	°C	36,83	36,83	36,84	36,89
Ortalama örnek sıcaklığı	°C	34,22	34,14	34,14	34,30
Ortalama örnek hızı	rpm (m/s)	260 (0,95)	260 (0,95)	260 (0,95)	260 (0,95)

Tablo 7.58. Aşındırma test sonuçları (% 10 kayma hızı)

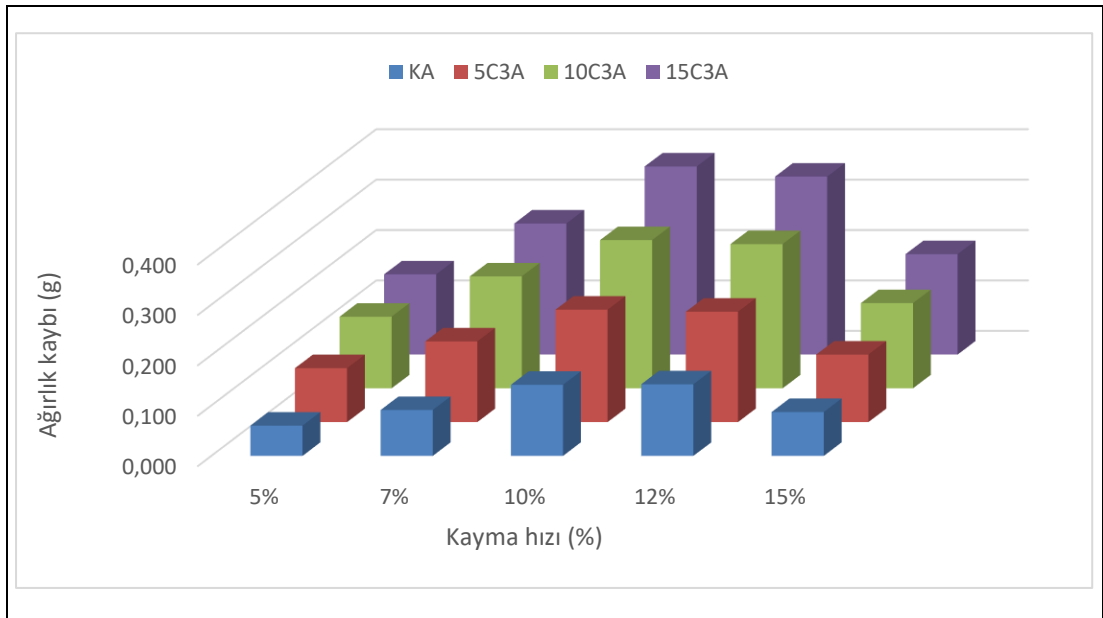
Özellik	Birim	Karışım kodu			
		KA	5C3A	10C3A	15C3A
Talk besleme hızı	g/dak	0,10	0,10	0,10	0,10
Test süresi	s	900	900	900	900
Başlangıç örnek ağırlığı	g	86,785	87,275	88,278	88,770
Son örnek ağırlığı	g	86,644	87,052	87,984	88,396
Ağırlık kaybı	g	0,141	0,223	0,294	0,373
Ortalama bant sıcaklığı	°C	35,54	35,98	36,22	36,37
Ortalama örnek sıcaklığı	°C	32,27	32,77	32,99	33,35
Ortalama örnek hızı	rpm (m/s)	267 (0,98)	267 (0,98)	267 (0,98)	267 (0,98)

Tablo 7.59. Aşındırma test sonuçları (% 12 kayma hızı)

Özellik	Birim	Karışım kodu			
		KA	5C3A	10C3A	15C3A
Talk besleme hızı	g/dak	0,12	0,12	0,12	0,12
Test süresi	s	600	600	600	600
Başlangıç örnek ağırlığı	g	86,644	87,052	87,984	88,396
Son örnek ağırlığı	g	86,502	86,834	87,698	88,043
Ağırlık kaybı	g	0,142	0,219	0,286	0,353
Ortalama bant sıcaklığı	°C	36,67	36,81	36,84	36,89
Ortalama örnek sıcaklığı	°C	34,52	34,60	34,54	34,67
Ortalama örnek hızı	rpm	273	273	273	273
	(m/s)	(1,00)	(1,00)	(1,00)	(1,00)

Tablo 7.60. Aşındırma test sonuçları (% 15 kayma hızı)

Özellik	Birim	Karışım kodu			
		KA	5C3A	10C3A	15C3A
Talk besleme hızı	g/dak	0,15	0,15	0,15	0,15
Test süresi	s	240	240	240	240
Başlangıç örnek ağırlığı	g	86,498	86,831	87,693	88,038
Son örnek ağırlığı	g	86,410	86,698	87,524	87,839
Ağırlık kaybı	g	0,087	0,134	0,169	0,199
Ortalama bant sıcaklığı	°C	35,49	35,88	36,04	36,19
Ortalama örnek sıcaklığı	°C	32,61	32,82	32,84	33,06
Ortalama örnek hızı	rpm	280	280	280	280
	(m/s)	(1,03)	(1,03)	(1,03)	(1,03)



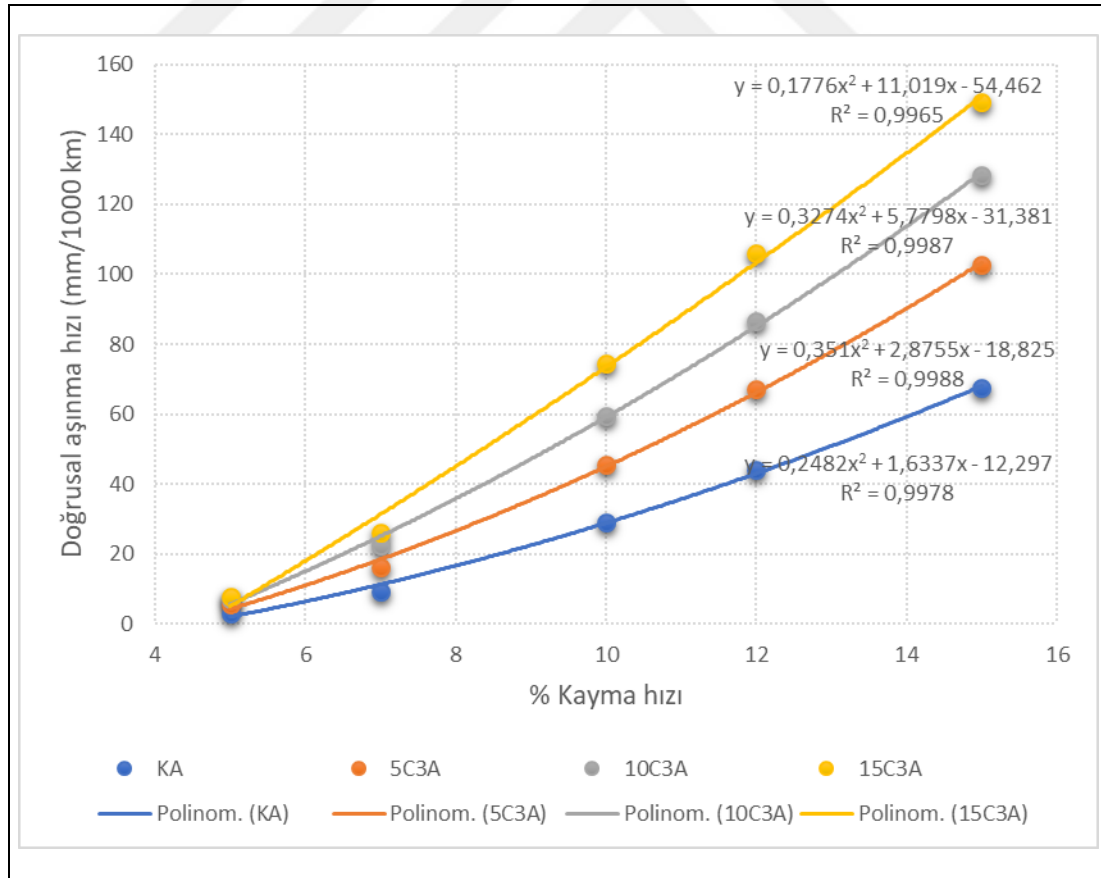
Şekil 7.38. Ağırlık kaybının kayma hızı ile değişimi

Doğrusal aşınma hızı (V) denklem 7.3'e göre hesaplanmıştır. Sonuçlar Şekil 7.39'da gösterilmiştir. Doğrusal aşınma hızı kayma hızı ile polinomial olarak artmaktadır.

$$V \left(\frac{\text{mm}}{1000 \text{ km}} \right) = \frac{\Delta W \text{ (g)} \times (1000^4 \times 60)}{t \text{ (s)} \times D \text{ (g/cm}^3\text{)} \times S_d \text{ (mm)} \times S_w \text{ (mm)} \times D_d \text{ (mm)} \times D_r \text{ (rpm)} \times \pi^2} \quad (7.3)$$

Bu denklemde;

- $\Delta W \text{ (g)}$ = Ağırlık kaybı (Tablo 7.56 – 7.60)
- $t \text{ (s)}$ = Test süresi (Tablo 7.56 – 7.60)
- $D \text{ (g/cm}^3\text{)}$ = Yoğunluk (Tablo 7.53)
- $S_d \text{ (mm)}$ = Örnek çapı = 70 mm
- $S_w \text{ (mm)}$ = Örnek genişliği = 25 mm
- $D_d \text{ (mm)}$ = Aşındırıcı tekerlek çapı = 250 mm
- $D_r \text{ (rpm)}$ = Aşındırıcı tekerlek hızı = 67 rpm



Şekil 7.39. Doğrusal aşınma hızınının kayma hızı ile değişimi

7.5.7. RPA testleri

7.5.7.1. Ham karışımların 100 °C’da viskoelastik özellikleri

Ham karışımlar RPA cihazında 100 °C’da, 3 dakika, 2 Hz frekansta ve % 0.56 açıda şartlandırıldıktan sonra test edilmiştir. Testler 100 °C sıcaklık ve 1 Hz frekansta, nominal değerleri % 1, %15, %50 ve % 100 olan dört farklı gerinimde gerçekleştirilmiştir; % 1 mikser, % 15 kalender, % 50 – 100 ekstruder, > % 100 ise enjeksiyon koşullarını temsil etmektedir. Test sonuçları Tablo 7.61 – 7.64’te kontrol ve deneme karışımları için verilmiştir. Şekil 7.40 ve 7.41’de kontrol karışımı için, sırasıyla G', G'' ve tan δ değerlerinin gerinim ile değişimi gösterilmiştir. Artan gerinim ile modül değerleri azalırken tan δ artmaktadır. 5, 10 ve 15 phr CF içeren deneme karışımları için de benzer eğilim görülmektedir. Tüm karışımların G', G'' ve tan δ değerlerinin gerinim ile değişimi, karşılaştırmalı olarak Şekil 7.42 - 7.44’te verilmiştir. Tüm gerinim değerlerinde artan CF miktarı ile tan δ artmaktadır. Bu sonuçlar Tablo 7.53’te verilen sekme esnekliği ve Tablo 7.55’te verilen fleksometre sonuçları ile uyumludur.

Tablo 7.61. Ham KA örneğinin farklı gerinimlerde viskoelastik özellikleri (100 °C)

Açı	Gerinim (%)	G' (kPa)	G'' (kPa)	G* (kPa)	S' (dNm)	tan δ	Kayma hızı (s ⁻¹)	Süre (dak)
0,974	0,97	385,83	181,27	426,30	0,69	0,470	0,0614	0,29
15,073	15,06	208,19	108,18	234,62	5,77	0,520	0,9469	0,62
49,955	49,90	144,86	86,99	168,97	13,30	0,600	3,1387	0,95
100,077	99,97	93,21	73,85	118,92	17,14	0,792	6,2861	1,29

Tablo 7.62. Ham 5C3A örneğinin farklı gerinimlerde viskoelastik özellikleri (100 °C)

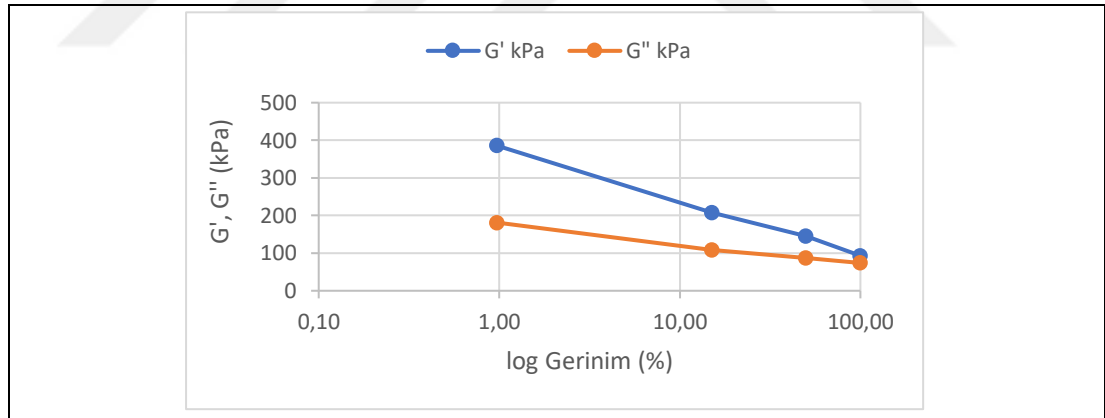
Açı	Gerinim (%)	G' (kPa)	G'' (kPa)	G* (kPa)	S' (dNm)	tan δ	Kayma hızı (s ⁻¹)	Süre (dak)
0,978	0,98	407,21	198,78	453,14	0,73	0,488	0,0614	0,29
15,065	15,05	206,50	114,38	236,06	5,72	0,554	0,9469	0,62
49,958	49,90	138,31	90,63	165,36	12,70	0,655	3,1387	0,95
100,078	99,97	87,60	75,47	115,63	16,11	0,862	6,2861	1,29

Tablo 7.63. Ham 10C3A örneğinin farklı gerinimlerde viskoelastik özellikleri (100 °C)

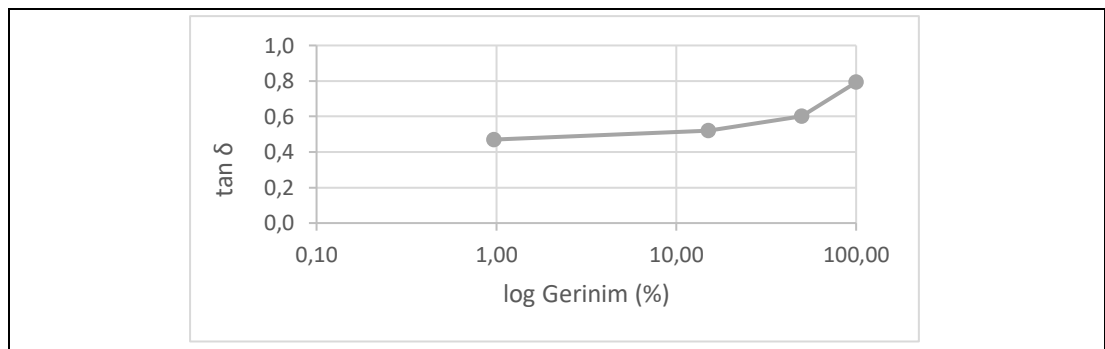
Açı	Gerinim (%)	G' (kPa)	G'' (kPa)	G* (kPa)	S' (dNm)	tan δ	Kayma hızı (s ⁻¹)	Süre (dak)
0,976	0,98	420,58	214,14	471,96	0,75	0,509	0,0614	0,28
15,066	15,05	202,03	116,81	233,36	5,59	0,578	0,9469	0,62
49,956	49,90	132,27	91,12	160,62	12,14	0,689	3,1387	0,95
100,097	99,99	82,29	75,18	111,46	15,14	0,914	6,2861	1,28

Tablo 7.64. Ham 15C3A örneğinin farklı gerinimlerde viskoelastik özellikleri (100 °C)

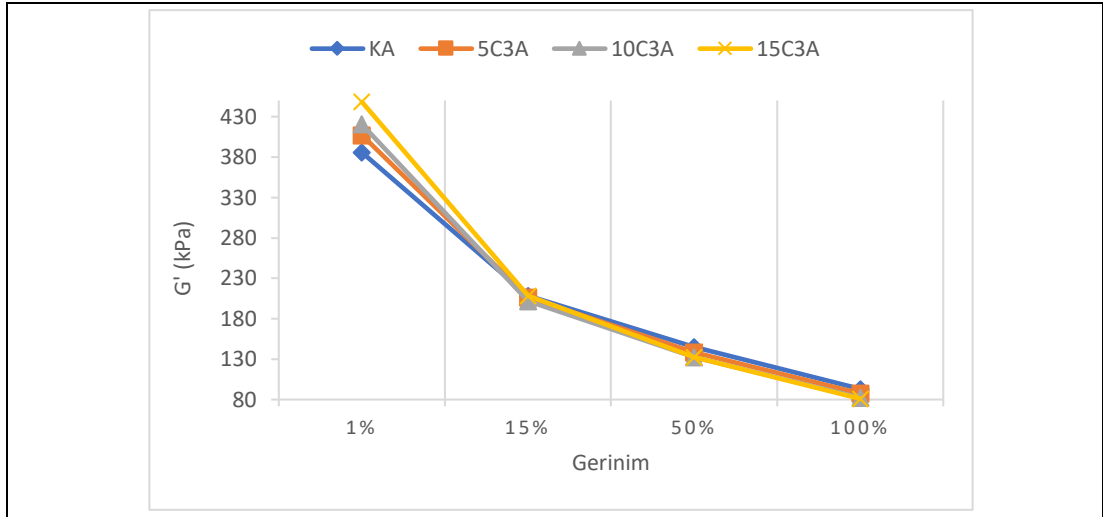
Açı	Gerinim (%)	G' (kPa)	G'' (kPa)	G* (kPa)	S' (dNm)	tan δ	Kayma hızı (s ⁻¹)	Süre (dak)
0,976	0,98	448,29	226,38	502,20	0,80	0,505	0,0614	0,28
15,065	15,05	208,42	121,78	241,39	5,77	0,584	0,9469	0,62
49,952	49,90	132,75	93,79	162,54	12,19	0,707	3,1387	0,95
100,101	99,99	81,04	76,74	111,61	14,91	0,947	6,2861	1,28



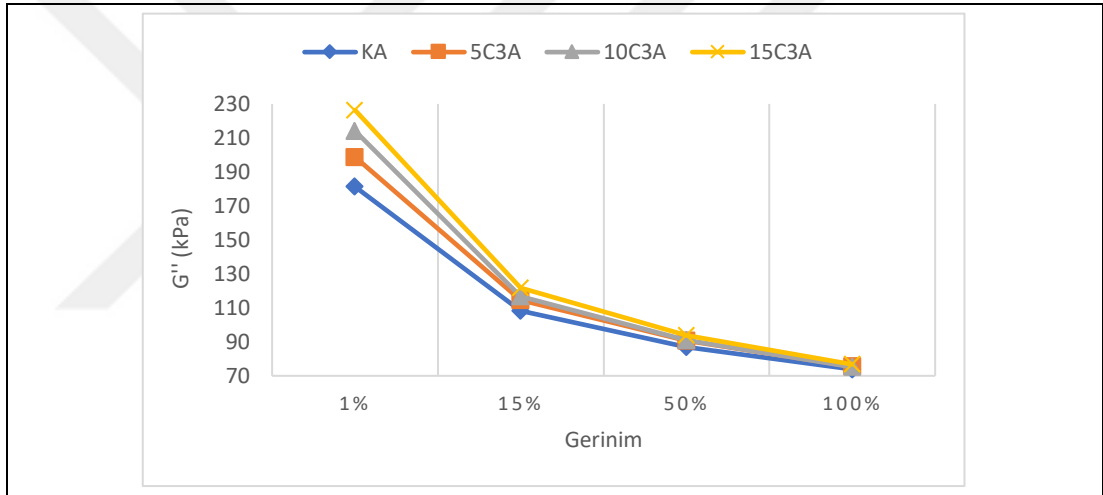
Şekil 7.40. Kontrol karışımı için G' ve G'' değerlerinin gerinim ile değişimi



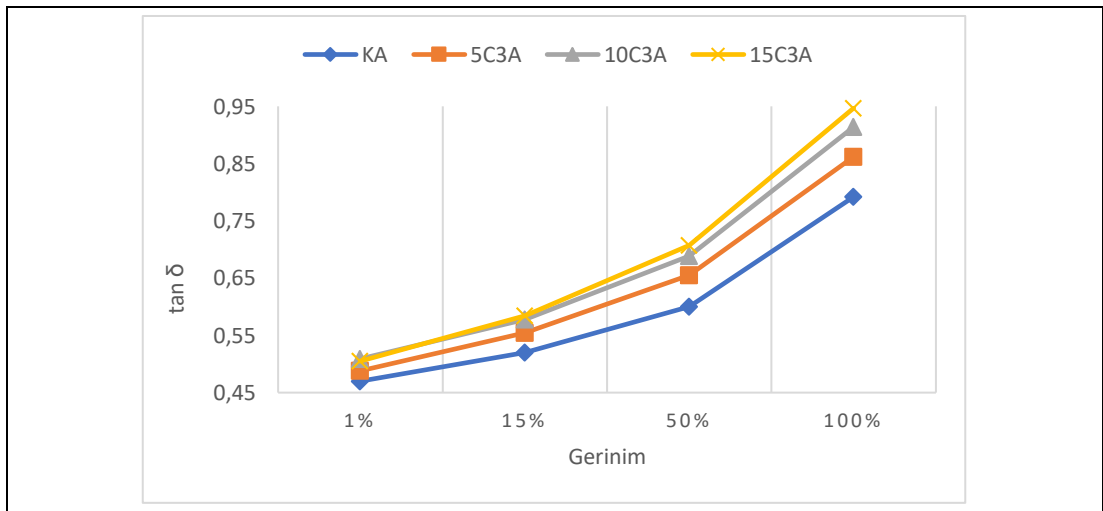
Şekil 7.41. Kontrol karışımı için tan δ değerlerinin gerinim ile değişimi



Şekil 7.42. Kontrol ve deneme karışımları için G' değerlerinin gerinim ile değişimi



Şekil 7.43. Kontrol ve deneme karışımları için G'' değerlerinin gerinim ile değişimi



Şekil 7.44. Kontrol ve deneme karışımları için $\tan \delta$ değerlerinin gerinim ile değişimi

7.5.7.2. Karışımların 145 °C’da pişme özellikleri

Ham karışımların pişme sırasında viskoelastik özelliklerinin belirlenebilmesi için RPA testleri gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla test örnekleri 100 °C’tan başlayarak 3 dakika içerisinde 145 °C’a ısıtılmış ve pişme için 27 dakika bu sıcaklıkta bekletilmiştir. Test parametreleri olarak frekans 2 Hz, açı % 2,51 ve gerinim % 0 alınmıştır. Kontrol ve deneme karışımlarının ilk 5 dakika içerisinde maruz kaldıkları sıcaklıklar ve viskoelastik özelliklerindeki değişimler Tablo 7.65 – 7.68’de verilmiştir. Şekil 7.45, bu tablolarda 5. dakikaya karşılık gelen pişme sıcaklığında (145 °C) elde edilen $\tan \delta$ değerlerini göstermektedir. Şekilden görüldüğü gibi pişme prosesinin başında CF içeren karışımların $\tan \delta$ değerleri kontrol karışımından yüksektir. Ancak yüksek CF değerlerinde (10, 15 phr), $\tan \delta$ artışı yavaşlamaktadır.

Tablo 7.65. KA örneğinin pişmede viskoelastik özellikleri

t (dak)	S' (dNm)	S'' (dNm)	$\tan \delta$	T _{max} (°C)	T _{min} (°C)
0,5	1,18	0,54	0,455	106,1	105,8
1,0	1,17	0,55	0,468	114,1	114,2
1,5	1,16	0,55	0,475	121,7	121,7
2,0	1,16	0,58	0,498	129,2	129,2
2,5	1,14	0,59	0,514	136,7	136,7
5,0	1,37	0,65	0,473	145,0	145,0

Tablo 7.66. 5C3A örneğinin pişmede viskoelastik özellikleri

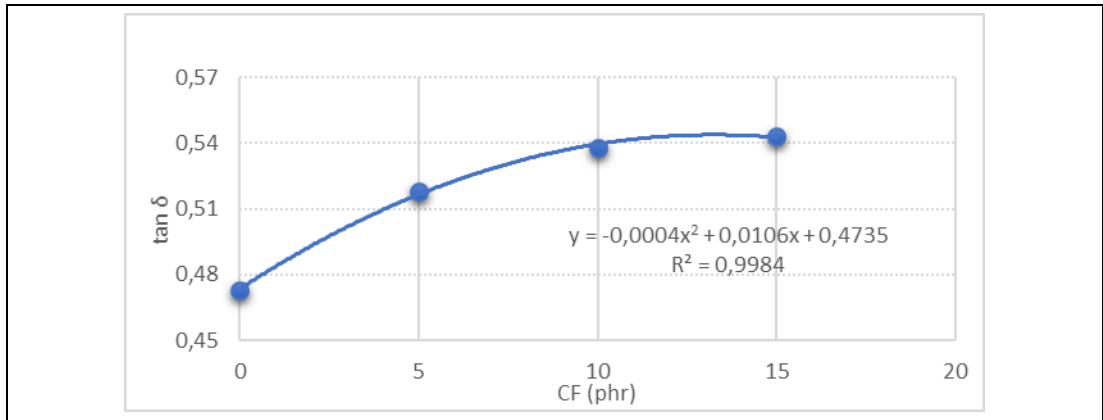
t (dak)	S' (dNm)	S'' (dNm)	$\tan \delta$	T _{max} (°C)	T _{min} (°C)
0,5	1,17	0,57	0,486	106,2	105,9
1,0	1,15	0,57	0,491	114,2	114,3
1,5	1,13	0,58	0,512	121,8	121,8
2,0	1,12	0,59	0,527	129,3	129,3
2,5	1,09	0,60	0,550	136,8	136,8
5,0	1,30	0,67	0,518	145,0	145,0

Tablo 7.67. 10C3A örneğinin pişmede viskoelastik özellikleri

t (dak)	S' (dNm)	S'' (dNm)	tan δ	T _{max} (°C)	T _{min} (°C)
0,5	1,14	0,57	0,503	106,2	105,9
1,0	1,12	0,58	0,518	114,2	114,3
1,5	1,11	0,59	0,533	121,8	121,9
2,0	1,10	0,60	0,546	129,3	129,3
2,5	1,08	0,62	0,570	136,9	136,8
5,0	1,32	0,71	0,538	145,0	145,0

Tablo 7.68. 15C3A örneğinin pişmede viskoelastik özellikleri

t (dak)	S' (dNm)	S'' (dNm)	tan δ	T _{max} (°C)	T _{min} (°C)
0,5	1,19	0,61	0,512	106,2	105,9
1,0	1,16	0,61	0,522	114,2	114,3
1,5	1,15	0,61	0,533	121,8	121,8
2,0	1,13	0,63	0,557	129,3	129,3
2,5	1,11	0,64	0,572	136,8	136,8
5,0	1,34	0,73	0,543	145,0	145,0



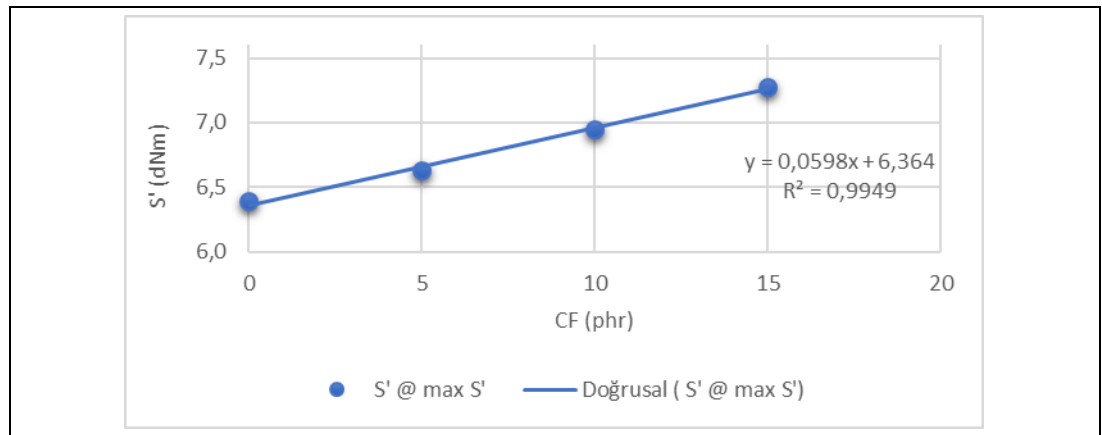
Şekil 7.45. 145 °C'a ısıtılan karışımların 5. dakikada ölçülen tan δ değerleri

Karışımların 145 °C'ta pişme özellikleri; t₁, t₂, t₁₀, t₅₀, t₉₀ süreleri ile minimum ve maksimum S' 'daki tork değerleri Tablo 7.69'da verilmiştir. Şekil 7.46 maksimum tork değerlerinin CF katkısı ile değişimini göstermektedir. Bu sonuçlar Şekil 7.23'te

verilen sonuçlar ile uyumludur ve artan CF katkısı ile mekanik özelliklerin iyileştiğini göstermektedir. CF katkılı karışımların yanma süreleri ($t @ 1 \text{ dNm S'}$ ve $t @ 2 \text{ dNm S'}$) özellikle 5 phr CF içeren karışımda kontrole göre daha uzundur. Tablo 7.47’de, 130 °C’ta yapılan Mooney testinin sonuçları (t_5, t_{35}) ile Tablo 7.48’de, 160 °C’ta yapılan MDR testinin sonuçları (t_{s1}, t_{s2}) yanma süresinde CF katkısı ile değişiklik olmadığını ve yanma konusunda sorun yaratmadığını göstermekte idi. RPA sonuçları da yanma süresinde bir miktar artışı işaret ederek katkılı karışımların daha emniyetli piştiğini ortaya koymuştur. Pişme süresi ise ($t @ \%90 \text{ S'}$) MDR sonuçları ile uyumlu bir şekilde CF katkısı ile artış göstermektedir.

Tablo 7.69. Karışımların RPA ile elde edilen pişme özellikleri (145 °C)

Özellik	Birim	K	5 CF	10CF	15CF
$t @ 1 \text{ dNm yanma S'}$	dak	7,04	7,29	7,13	7,14
$t @ 2 \text{ dNm yanma S'}$	dak	8,02	8,23	8,06	8,06
$t @ \%10 \text{ pişme S'}$	dak	5,86	6,32	6,24	6,33
$t @ \%50 \text{ pişme S'}$	dak	8,79	9,11	9,05	9,16
$t @ \%90 \text{ pişme S'}$	dak	13,86	14,22	14,14	14,31
$S' @ \text{min S'}$	dNm	0,99	0,99	0,98	1,01
$S' @ \text{max S'}$	dNm	6,39	6,63	6,95	7,28
$S'' @ \text{min S' (M}_L)$	dNm	0,47	0,50	0,50	0,53
$S'' @ \text{max S' (M}_H)$	dNm	0,45	0,45	0,50	0,54



Şekil 7.46. Karışımlarda maksimum tork değerlerinin CF katkısı ile değişimi

8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez kapsamında, lastik karışımlarında takviye malzemesi olarak kullanım potansiyeli olan aramid ve karbon esaslı malzemeler ele alınmış ve ticari olmayan reçetelerde denenmiştir. Farklı miktarda katkı içeren deneme karışımları, katkı içermeyen kontrol karışımları ile kıyaslanarak; pişme özellikleri, mekanik özellikleri, yaşlanma özellikleri, yorulma dayanımı, ısı üretimi, aşınma direnci, viskoelastik özellikleri incelenmiştir.

Tez kapsamında yapılan çalışmaların ilk aşamasında, karbon elyaf katkı miktarının karışım özelliklerine olan etkisinin saptanması için, poliüretan kaplı kırılmış karbon elyaf DowAksa firmasından temin edilerek doğal kauçuk esaslı bir reçeteye (A reçetesi) 2, 5, 10, 15 ve 20 phr katılmıştır. Karışımların pişme, çekme ve yaşlandırma testleri ile sertlik, özgül ağırlık ölçümleri ve yorulma deneyleri yapılmış olup aşağıda verilen sonuçlar elde edilmiştir;

- $M_L(1+4)$ değerleri CF içeren karışımlarda katkı içermeyen kontrol karışımına göre daha yüksektir. Mooney testinden elde edilen bu sonuç, katkılı karışımların proses edilebilirliğinin zorlaştığını göstermiştir.
- Maksimum tork (M_H) ve % 90 pişmedeki tork değeri ($S'@t_{90}$) CF katkısının artışı ile artmıştır. MDR testinden elde edilen bu sonuç, mekanik özelliklerin CF katkısı ile geliştiğini göstermiştir.
- Gerek Mooney, gerekse de MDR testleri CF katkısının t_5 , t_{s1} ve t_{s2} sürelerini azalttığını ve böylece yanma riskini arttırdığını ortaya koymuştur.
- MDR sonuçları, t_{90} değerinin CF katkısı ile kısaldığını, dolayısı ile pişmenin hızlandığını göstermiştir.
- Çekme testleri, kopma dayanımı ve kopmada uzama değerlerinin CF katkısı ile azaldığını, ancak tüm modül değerlerinin özellikle düşük uzamalarda arttığını göstermiştir. Karışımın mekanik özellikleri, % 25 uzamaya kadar, CF katkısı ile büyük ölçüde iyileşmektedir.

- Isıl yaşlandırma sonuçları, CF katkısının ısıl yaşlanma özelliklerini iyileştirdiğini göstermiştir.
- Artan CF katkısı ile karışımların sertliği ve özgül ağırlığı artmış, ancak yorulma direnci büyük ölçüde düşmüştür.

Çalışmaların ikinci aşamasında, karbon elyafın kauçuk ile iyi bir bağlanma sağlaması için DowAksa firmasından temin edilen epoksi kaplı elyaf, Kordsa firmasında RFL ile kaplatıldıktan sonra A reçetesine 5 phr katılmıştır. Karbon elyafın filamanlarının ne kadarının RFL ile kaplandığının anlaşılabilmesi için ışık mikroskop çalışmaları yapılmıştır. RFL kaplamanın sadece elyafın dış yüzeyine yakın filaman gruplarını kapladığı ve içindeki filamanların kaplanmadığı görülmüştür. Bu durumda RFL kaplama işleminin Kordsa tarafından geliştirilmesi gereği ortaya çıkmıştır. Çekme kalıbında pişirilmiş CF katkılı örnekler, sıvı azotta dondurularak kırılmış ve kırık yüzeyler filamanların karışım içerisindeki dağılımını ve tutunmasını görmek amacıyla SEM’de incelenmiştir. Görüntüler filamanların her yöne homojen olarak tek tek dağıldığını, ancak kırılma sırasında bazı filamanların RFL kaplamanın yetersizliği nedeniyle kolayca yerinden çıktığını göstermiştir. Kırılma yüzeyleri çekme ve yorulma testleri sonrasında da SEM’de incelenmiş ve yapışmanın yetersiz olduğu görülmüştür.

Tez çalışmasının üçüncü ve dördüncü aşamalarında aramid esaslı takviye malzemeleri ile farklı kaplamalara sahip karbon elyaflar aynı karışım reçetesi kullanılarak karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Denemelerde DuPont™ firmasından temin edilen Kevlar® EE ile Teijin Aramid BV firmasından temin edilen Sulfron 3001, doğal kauçuk esaslı B karışımında 2 ve 4 phr oranlarında kullanılmıştır. DowAksa’dan temin edilen poliüretan, poliimid ve poliamid kaplı kırılmış karbon elyaf malzemeler, karışımlara 5, 10, 15 phr oranlarında katılmıştır. Reçete değişikliği özellikle aramid esaslı malzemelerin karışım içerisinde kolay dağıtılabilmesi ve proses edilebilirliğin geliştirilmesi için literatür bilgisine dayanılarak yapılmıştır. Kontrol ve deneme karışımlarının pişme özellikleri, çekme, yorulma, sertlik testleri ile mekanik özellikleri incelenmiş, özgül ağırlıkları ölçülmüş ve sekme esnekliği testleri yapılmıştır. Elde edilen bulgular karşılaştırmalı olarak aşağıda verilmiştir;

- $M_L(1+4)$ değerleri, Kevlar® EE ile poliüretan, poliimid kaplı karbon elyaf içeren karışımlarda ve düşük katkıda poliamid kaplı karbon elyaf karışımında kontrol

karışımına göre yüksek, Sulfron 3001 ile takviye edilen karışımlarda ise kontrole göre düşüktür. Bu durum Kevlar® EE'nin de karbon elyaf gibi proses edilebilirliği düşürdüğünü göstermiştir.

- Mooney test sonuçları ayrıca yanma süresini belirleyen t_5 değerinin Kevlar® EE katkısı ile karbon elyaf içeren karışımlarda olduğu gibi azaldığını ve yanma riskinin arttığını göstermiştir. Karışıma Sulfron 3001 katılması ise t_5 değerini değiştirmemiştir.
- MDR sonuçları, mekanik özellikleri belirleyen maksimum tork (M_H) ve % 90 pişmedeki tork değerinin ($S'@t_{90}$), tüm takviye malzemeleri için de kontrole göre arttığını göstermiştir.
- MDR sonuçları Kevlar® EE'in pişmeyi hızlandırdığını, Sulfron 3001'in ise yavaşlattığını göstermiştir. Bu karışım için CF katkısı pişme süresinde belirli bir eğilim göstermemiştir.
- Kopma dayanımı ve kopmada uzama değerleri, tüm takviye malzemeleri için deneme karışımlarında kontrole göre azalmış ancak modül değerleri artmıştır.
- Isıl yaşlanma özelliğindeki iyileşme 4 phr Kevlar® EE ve 2 phr Sulfron 3001 katkılı karışımlarda ve düşük modül değerlerinde daha belirgindir. Bu karışımın yaşlanma özelliği CF katkısı ile kötüleşmiştir.
- Tüm takviye malzemeleri için karışımların özgül ağırlığı artan katkı miktarı ile artmıştır.
- Sertlik değerleri kontrole göre tüm takviye malzemeleri için artmış, ancak Kevlar® EE ve Sulfron 3001 katkılı karışımlarda sertlik katkı miktarı ile değişmemiştir.
- Tüm takviye malzemeleri karışımların yorulma davranışını olumsuz yönde etkilemiştir.
- Sekme esnekliği değerleri Kevlar® EE katkılı karışımlarda kontrole benzer olmakla birlikte, Sulfron 3001 katkılı karışımlarda çok az artmıştır. Karbon elyaf takviyesi 5 phr içeren deneme karışımlarında sekme esnekliğini bir miktar artırmış ancak yüksek katkılarda ısı üretiminin artmasına bağlı olarak bu değer azalmıştır.

Tez çalışmalarının son aşamasında, karbon elyaf ile yapılan öncül çalışmaların sonuçları esas alınarak DowAksa firmasından temin edilen poliimid kaplı kırpılmış karbon elyaf A karışımına 5, 10 ve 15 kısım katılmıştır. Karışımların pişme, çekme, yaşlandırma, sertlik, özgül ağırlık, yorulma, sekme esnekliği testlerinin yanı sıra,

fleksometre, Lambourn, lastik proses analizörü cihazları kullanılarak ısı üretimi, aşınma özellikleri ve viskoelastik özellikleri de belirlenmiştir. Sonuçlar aşağıda verilmiştir;

- M_L (1+4) değerleri A karışımının proses edilebilirlik açısından bir zorluk getirmeyeceğini göstermiştir
- Mooney ve MDR test sonuçları kontrol karışımına göre deneme karışımlarının t_5 , t_{s1} , t_{s2} sürelerinin değişmediğini, bu nedenle A karışımında poliimid kaplı CF takviye malzemesinin yanma riski oluşturmadığını göstermiştir.
- MDR sonuçları M_H ve $S'@t_{90}$ değerlerinin takviyeli karışımlarda arttığını, dolayısıyla mekanik özelliklerin geliştiğini ortaya koymuştur.
- MDR sonuçları pişme süresinin CF katkısı ile bir miktar arttığını göstermiştir.
- Artan CF miktarı ile tüm modül değerlerinin artmış, kopma dayanımı ve kopmada uzama değerleri azalmıştır. Modül değerlerindeki artış en fazla % 25 uzamada görülmüştür.
- CF katkısı karışımın ısıl yaşlanma özelliklerini iyileştirmiştir.
- Artan katkı miktarı ile karışımların sertlik ve özgül ağırlık değerleri artmıştır.
- CF katkısı karışımın yorulma direncini olumsuz etkilemiştir.
- Sekme esnekliği artan katkı miktarı ile azalmıştır, böylece ısı üretiminin ve $\tan \delta$ değerinin arttığı anlaşılmaktadır.
- Fleksometre testleri, CF katkısı ile örneklerde ısı üretiminin arttığını ve bu artışın katkı miktarı ile doğru orantılı olduğunu ortaya koymuştur. Testler aynı zamanda CF katkısının kalıcı deformasyonu arttırdığını göstermiştir.
- Fleksometre cihazı ile elde edilen dinamik mekanik test sonuçları, $\tan \delta$ değerinin artan katkı miktarı ile arttığını belirlemiştir.
- Lambourn aşınma cihazı ile yapılan testlerde CF katkısının karışımın aşınma direncini olumsuz etkilediği görülmüştür. Kayma hızının artması ile aşınma hızı artmaktadır.
- Ham karışımların 100 °C'da viskoelastik özelliklerini belirlemek için yapılan RPA testleri, CF katkısının diğer testlerle (sekme esnekliği, fleksometre) uyumlu olarak $\tan \delta$ değerini arttırdığını ortaya koymuştur.
- Ham karışımların pişme sırasında (145 °C'da) viskoelastik özelliklerini belirlemek için yapılan RPA testleri, pişme prosesinin başında CF içeren karışımların $\tan \delta$

değerleri kontrol karışımından yüksek olduğunu, ancak yüksek CF değerlerinde (10, 15 phr), tan δ artışının yavaşladığını göstermiştir. Bu sıcaklıktaki pişme özellikleri, yanma, pişme süreleri ve maksimum tork değerleri açısından 160 °C'da yapılan MDR test sonuçları ile uyumludur.

Tüm bu çalışmaların ve elde edilen bulguların gösterdiği gibi, aramid ve karbon esaslı takviye malzemeleri, lastik karışımlarının düşük uzamalarda mukavemet özelliklerini ve ısıl yaşlanma direncini büyük ölçüde iyileştirmektedir. Pişme özellikleri, karışım reçetesine ve CF kaplama malzemesine bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Karışımın sertleşmesine neden olan bu takviye malzemeleri, yorulma direncini olumsuz yönde etkilemektedir. Mekanik işin ısıya dönüşmesi sonucu CF içeren karışımlarda plastik özellikler ve dolayısıyla tan δ değerleri artmaktadır. CF katkısı aynı zamanda karışımın aşınma direncini de olumsuz etkilemektedir. Bu sonuçlar, söz konusu takviye malzemelerinin araç lastiklerinde esneme göstermeyen, yol ile temas etmeyen topuk dolgusu gibi bir bölgesinde kullanım potansiyeli olduğunu ortaya çıkarmaktadır.

Bir takviye malzemesinin karışım özelliklerini geliştirebilmesi ancak karışım ile iyi bir ara yüzey oluşturması ile mümkündür. Bu nedenle, tez çalışmalarında epoksi kaplı karbon elyaf üzerine RFL uygulaması denenmiştir. Ancak kırılmış elyaf mikser prosesi sırasında kırılarak (50 – 100 μ m uzunluğunda) karışım içerisinde dağılmakta olduğundan, sadece dışta kalan filamanların RFL kaplı olması fayda sağlamamaktadır. Bu prosesin geliştirilmesi ile kırılmış karbon elyaf daha güçlü bir takviye malzemesi olmaya adaydır.

KAYNAKLAR

- [1] Donnet J-B., Custoredo E., Reinforcement of Elastomers by Particulate Fillers, Editors: Mark J. E., Erman B, Eirich F. R., *Science and Technology of Rubber*, 3rd ed., Elsevier Academic Press , Amsterdam, 367-400, 2005.
- [2] Giannini L., Tailoring New Fillers by Control of Particle Shape and Surface, *Tire Technology Expo 2018*, Hannover, Germany, 20–22 February 2018.
- [3] Deuri A. S., Vaidya D. M., Nanoparticles in Tire Application, *Tire Technology Expo 2018*, Hannover, Germany, 20–22 February 2018.
- [4] Sarkawi S. S., Aziz A. A., Brown P., Cook S., Dual Nano-Fillers Reinforcement of Epoxidized Natural Rubber, *Tire Technology Expo 2016*, Hannover, Germany, 16–18 February 2016.
- [5] Lenges C. P., Behabtu N., Sustainable Material Development for Reinforcing Filler Applications, *Tire Technology Expo 2018*, Hannover, Germany, 20–22 February 2018.
- [6] Giese U., Jain A., Dilman T., Investments in Research - Challenges and Future for Tire Materials, *Tire Technology Expo 2017*, Hannover, Germany, 14–16 February 2017.
- [7] What is Carbon Black ?, Orion Engineered Carbons GmbH, 2015, <https://www.thecarycompany.com/media/pdf/specs/orion-what-is-carbon-black.pdf> (Ziyaret tarihi: 17 Kasım 2019).
- [8] Westenbergh H., Novel Carbon Blacks for Upgrades in Abrasion and Rolling Resistance, *Tire Technology Expo 2017*, Hannover, Germany, 14–16 February 2017.
- [9] Herd C. R., Combs Z. A., Spiller G., Cook S., Low Rolling Resistance TBR Tread Compounds based on Epoxidized Natural Rubber and a Surface-Modified Carbon Black, *Tire Technology Expo 2018*, Hannover, Germany, 20–22 February 2018.
- [10] Diehl F., New Generation of Carbon Blacks for Modern Truck Tires, *Tire Technology Expo 2016*, Hannover, Germany, 16–18 February 2016.
- [11] Kiesewetter J., Wehmeier A., A New Rubber Silica for a New Market, *Tire Technology Expo 2018*, Hannover, Germany, 20–22 February 2018.
- [12] Beers H., More Environmental Friendly Alternatives for Biobased Materials in Tires, *Tire Technology Expo 2016*, Hannover, Germany, 16–18 February 2016.

- [13] Nieuwenhuijzen S., Endless Possibilities with Hybrid Cord Technology, *Tire Technology Expo 2017*, Hannover, Germany, 14–16 February 2017.
- [14] Sakai T., Mechanical Properties of SBR Composite Reinforced by Cellulose Nanofiber, *Tire Technology Expo 2018*, Hannover, Germany, 20–22 February 2018.
- [15] Rumpf F., Graphenes: View of Function and Rubber Application, *Tire Technology Expo 2017*, Hannover, Germany, 14–16 February 2017.
- [16] Stevens C. A., Glass and Carbon Fibre Cords for Tires, *Tire Technology Expo 2016, Hannover*, Germany, 16–18 February 2016.
- [17] Heinrich G. (Editor), *Advanced Rubber Composites*, Springer-Verlag Berlin, 2011.
- [18] Thomas S., Stephen R., *Rubber Nanocomposites Preparation, Properties, and Applications*, John Wiley & Sons, Singapore, 2010.
- [19] White J., De S. K., Naskar K. (Editors), *Rubber Technologist's Handbook*, Vol. 2, Smithers, Shawbury UK, 2009
- [20] Lastığınızın Yanak İşaretlerini Nasıl Okumalısınız, Goodyear, https://www.goodyear.eu/tr_tr/consumer/learn/how-to-read-your-tire-sidewall-markings.html (Ziyaret tarihi: 23 Kasım 2019).
- [21] Detaylı Bilgiler, Bridgestone, <https://www.bridgestone.com.tr/detayli-bilgiler> (Ziyaret tarihi: 23 Kasım 2019).
- [22] Gent A. N., Walter J. D. (Editors), *The Pneumatic Tire*, National Highway Traffic Safety Administration U. S. Department of Transportation, Washington DC, 2005.
- [23] Rodgers B., Waddell W., *Tire Engineering*, Editors: Mark J. E., Erman B, Eirich F. R., Science and Technology of Rubber, 3rd ed., Elsevier Academic Press , Amsterdam, 619-661, 2005.
- [24] Tire Speed Rating and Tread Life, BFGoodrich, <https://www.bfgoodrichtires.com/tires-101/tire-basics/about-tires/tire-speed-ratings-and-tread-life.page> (Ziyaret tarihi: 23 Kasım 2019).
- [25] http://autochainik.ru/wp-content/uploads/2016/11/avtomobilnye_shiny_kord.jpg (Ziyaret tarihi: 23 Kasım 2019).
- [26] Rodgers B., Waddell W., *The Science of Rubber Compounding*, Editors: Mark J. E., Erman B, Eirich F. R., Science and Technology of Rubber, 3rd ed., Elsevier Academic Press , Amsterdam, 401-454, 2005.
- [27] Gent A. N. (Editor), *Engineering with Rubber*, 2nd ed, Carl Hanser Verlag, Munich, 2001.

- [28] Ciesielski A., *An Introduction to Rubber Technology*, Rapra Technology Limited, Shawbury UK, 1999.
- [29] Rodgers B. (Editor), *Rubber Compounding Chemistry and Applications*, Marcel Dekker, Inc., New York, 2004.
- [30] Simpson R. B. (Editor), *Rubber Basics*, Rapra Technology Limited, Shawbury UK, 2002.
- [31] Savran H. Ö., *Elastomer Teknolojisi-1*, Kauçuk Derneği Yayınları, İstanbul, 2001.
- [32] Wolf H., Wolf R. (Editors), *Rubber - A Story of Glory and Greed*, Smithers, Shawbury UK, 2009.
- [33] Loadman J., *Tears of the Tree*, Oxford University Press Inc., New York, 2005.
- [34] Reinforcing Materials in Rubber Products, Nokian Tyres PLC, http://laroverket.com/wp-content/uploads/2015/03/reinforcing_materials.pdf (Ziyaret tarihi: 23 Kasım 2019).
- [35] Wootton D. B., *The Application of Textiles in Rubber*, Rapra Technology Limited, Shawbury UK, 2001.
- [36] Assaad M., Fibers and Cords: load-displacement, creep, stress relaxation, and shrinkage, *Tire Technology Expo 2018*, Hannover, Germany, 20–22 February 2018.
- [37] Walter J. D., Tire Materials and Manufacturing, *Tire Technology Expo 2017*, Hannover, Germany, 14–16 February 2017.
- [38] Nideröst K., Reinforcement of Tyres, *Tire Technology Expo 2008*, Cologne, Germany, 19–21 February 2018.
- [39] Van Ooij W. J., Surface composition, oxidation and sulfidation of cold-worked brass and brass-coated steel wire as studied by x-ray photoelectron spectroscopy I. Surface composition of commercial cold-worked brass, *Surface Technology*, 1977, **6**, 1-18.
- [40] Van Ooij W. J., Mechanism of Rubber-to-Brass Adhesion: Effect of Rubber Composition on the Adhesion, *Rubber Chemistry and Technology*, 1978, **51**, 52-71.
- [41] Van Ooij W. J., Fundamental Aspects of Rubber Adhesion to Brass-Plated Steel Tire Cords, *Rubber Chemistry and Technology*, 1979, **52**, 605-675.
- [42] Van Ooij W. J., Weening W. E., Murray P. F., Rubber Adhesion of Brass-Plated Steel Tire Cords: Fundamental Study of the Effects of Compound Formulation Variations of Adhesive Properties, *Rubber Chemistry and Technology*, 1981, **54**, 227-254.

- [43] Van Ooij W. J., Mechanism and Theories of Rubber Adhesion to Steel Tire Cords - an Overview, *Rubber Chemistry and Technology*, 1984, **57**, 421-456.
- [44] ASTM D1765-18, Standard Classification System for Carbon Blacks Used in Rubber Products, *ASTM International*, West Conshohocken, PA, 2018.
- [45] Datta R. N., *Rubber Curing Systems*, Rapra Technology Limited, Shawbury UK, 2002.
- [46] Coran A. Y., Vulcanization, Editors: Mark J. E., Erman B, Eirich F. R., *Science and Technology of Rubber*, 3rd ed., Elsevier Academic Press , Amsterdam, 321-366, 2005.
- [47] <https://vital-people.com.au/wp-content/uploads/2018/03/maxresdefault.jpg> (Ziyaret tarihi: 24 Kasım 2019).
- [48] https://www.google.com.tr/url?sa=i&source=imgres&cd=&ved=2ahUK Ewj1uKXc7ILmAhVKXBoKHYanB4wQjRx6BAgBEAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.jingshiou.com.tw%2Frubber-kneader-machine%2Fenforce-compressible-dense-mixer.html&psig=AOvVaw2L42-a_1fZ79UQ059FEEIg&ust=1574684954708150 (Ziyaret tarihi: 24 Kasım 2019).
- [49] Funt J. F., *Mixing of Rubber*, Smithers Rapra Technology Limited, Shawbury UK, 2009.
- [50] Nakajima N., *The Science and Practice of Rubber Mixing*, Rapra Technology Limited, Shawbury UK, 1999.
- [51] <https://www.etwinternational.com/1-9-2-steel-cord-calender-line-107642.html> (Ziyaret tarihi: 24 Kasım 2019).
- [52] Assaad M., Rubber viscoelasticity, Static, and Dynamic Properties Tire Applications, *Tire Technology Expo 2018*, Hannover, Germany, 20–22 February 2018.
- [53] Harris C. M., Piersol A. G., Harris' *Shock and Vibration Handbook*, 5th ed., McGraw-Hill, New York, 2002.
- [54] *D-MDR 3000 Application Manual*, MonTech Rubber Testing Instruments GmbH, Germany, 2008.
- [55] *D-RPA 3000 Rheometer/Rubber Process Analyser Manual*, MonTech Rubber Testing Instruments GmbH.
- [56] Dick J. S., Selecting RPA test conditions for rubber testing, *Rubber & Plastics News*, October 2012, 15-22.
- [57] Ngai K. L., Plazek D. J., The Viscoelastic Behavior of Rubber, Editors: Mark J. E., Erman B, Eirich F. R., *Science and Technology of Rubber*, 3rd ed., Elsevier Academic Press , Amsterdam, 183-236, 2005.

- [58] Dick J. S. (Editor), *Basic Rubber Testing: Selecting Methods for a Rubber Test Program*, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2003.
- [59] A True All-Round Para-Aramid Performer, Teijin, 2018, https://www.teijinaramid.com/wp_content/uploads/2018/10/Product_brochure_Twaron.pdf (Ziyaret tarihi: 30 Kasım 2019).
- [60] Tsimpris C. W., Jakob J. P., Vercesi G. P., KEVLAR® Engineered Elastomer for Tire Reinforcement, *International Tire Exhibition and Conference*, Akron, Ohio, USA, 10-12 September 2002.
- [61] Durable Eco-friendly Tires, Teijin, 2010, <http://pdf.directindustry.com/pdf/teijin-aramid/sulfron-tires/18087-604402.html> (Ziyaret tarihi: 30 Kasım 2019).
- [62] Datta R., Sulfron 3001-An Innovative Material Addressing Fuel Economy, Durability and Safety, *Tire Technology Expo 2008*, Cologne, Germany, 19–21 February 2008.
- [63] Datta R. N., Huntink N., van der Made M., Mixing Aspects of Sulfron 3001 in Carbon Black Compounds, *Kautschuk und Gummi, Kunststoffe*, 2009, **60**(3), 108-111.
- [64] Huntink N., Datta R., Paping P., van der Made M., Parker S., Addressing Rolling Resistance and Durability of Tires by using Sulfron 3001, *176th Technical Meeting of the Rubber Division*, American Chemical Society 2009, Pittsburgh, Pennsylvania, USA, 13-15 October 2009, v.1, 337-353.
- [65] Kunti N. N., Chandra A. K., Influence of Higher Mixing Temperature on Sulfron 3001 Modified Tire Tread Compounds, *Rubber World*, 2011, **243**(5), 24-27.
- [66] Improving Tyre Reinforcement with Kevlar® Engineered Elastomer, Dupont, <http://www.dupont.co.uk/products-and-services/fabrics-fibers-nonwovens/fibers/articles/improving-tyre-reinforcement-kevlar-engineered-elastomer.html> (Ziyaret tarihi: 30 Kasım 2019).
- [67] Dunlop SP Sport Maxx® TT with DuPont™ Kevlar® Technology, Dupont, <http://www.dupont.co.uk/products-and-services/fabrics-fibers-nonwovens/fibers/case-studies/dunlop-sp-sport-maxx-tt-with-dupont-kevlar-technology.html> (Ziyaret tarihi: 30 Kasım 2019).
- [68] https://yandex.com.tr/gorsel/search?pos=14&img_url=https%3A%2F%2Fd2jmvrsizmvf4x.cloudfront.net%2F1jQ1AqgjS69ucRAYHkzQ_Eight-allotropes-of-carbon.jpg&text=carbon%20allotropes&rpt=simage (Ziyaret tarihi: 30 Kasım 2019).
- [69] Morgan P., *Carbon Fibers and Their Composites*, Taylor & Francis, Boca Raton, FL, USA, 2005.
- [70] Chung D. D. L., *Carbon Fiber Composites*, Butterworth-Heinemann, Boston, MA, USA, 1994.

- [71] Bhatt P., Goel A., Carbon Fibres: Production, Properties and Potential Use, *Material Science Research India*, 2017, 14(1), 52-57.
- [72] Chawla K. K., *Fibrous Materials*, Cambridge University Press, Cambridge UK, 1998.
- [73] Walsh P. J., Carbon Fibers, Editors: Miracle D. B., Donaldson S. L., *ASM Handbook*, Vol. 21, Composites, ASM International, Materials Park, Ohio, USA, 35-40, 2001.
- [74] Amanda J., The Popularity of Carbon Fibre, *Reinforced Plastics*, 2006, 50(3), 22-24.
- [75] Carbon Nanotube Stitches Make Stronger, Lighter Composites, Inter-Consulting Aero Design Ltd., <https://www.icaerodesign.com/carbon-nanotube-stitches-make-stronger-lighter-composites> (Ziyaret tarihi: 30 Kasım 2019).
- [76] NASA + SpaceX Work Together, Nasa, https://appel.nasa.gov/2010/10/17/40s_space-x-html/ (Ziyaret tarihi:30 Kasım 2019).
- [77] McLaren Developing Next-Generation Carbon Tub and Powertrain, Motor Authority, 2016, https://www.motorauthority.com/news/1103795_mclaren-developing-next-generation-carbon-tub-and-powertrain (Ziyaret tarihi: 30 Kasım 2019).
- [78] Boot Mazda RX-8 Hydrogen RE '2004-08, WheelsAge.org, 2005, <https://en.wheelsage.org/mazda/rx-8/pictures/h44duh/> (Ziyaret tarihi: 30 Kasım 2019).
- [79] <https://www.crumptoncycles.com/> (Ziyaret tarihi: 30 Kasım 2019).
- [80] Hardie S., Carbon Marine to Launch 65 Knot Paragon Super Sport 28 Tender, 2016, <https://www.boatinternational.com/yachts/news/carbon-marine-to-launch-65-knot-carbon-fibre-paragon-super-sport-28-tender--29237> (Ziyaret tarihi: 30 Kasım 2019).
- [81] Shury J., ESE Launch World Lightest Carbon Fibre Wheels, 2015, <https://www.compositestoday.com/2015/03/ese-launch-world-lightest-carbon-fibre-wheels/> (Ziyaret tarihi: 30 Kasım 2019).
- [82] Applications Fields of Composite Materials, Sita Compositi, <http://sitacompositi.com/en/applicazioni/> (Ziyaret tarihi: 30 Kasım 2019).
- [83] What is Composites Reinforcement ?, Beyond Materials, <https://beyondmaterials.com.au/residential/floor-repairs/> (Ziyaret tarihi: 30 Kasım 2019).
- [84] Chung M., Zhang G., Sengh J., Developing a New Polyolefin Precursor for Low-Cost, High-Strength Carbon Fiber, *DOE Hydrogen Program Annual Merit Review and Peer Evaluation Meeting*, Washington, D.C., 13-15 June 2018.

- [85] Summerscales J. (Editor), *Microstructural Characterisation of Fibre-Reinforced Composites, 2nd ed.*, Woodhead Publishing Limited, Cambridge UK, 2001.
- [86] Mazumdar S., Karthikeyan D., Pichler D., Benevento M., Frassine R., State of the Composites Industry Report for 2017, <http://compositesmanufacturingmagazine.com/2017/01/composites-industry-report-2017/7/> (Ziyaret tarihi: 30 Kasım 2019).
- [87] <http://www.dowaksa.com/aksaca/> (Ziyaret tarihi: 30 Kasım 2019).
- [88] Carbon Fiber Products and Usage, Tha Japan Carbon Fiber Manufacturers Assoc., 2014, <https://www.carbonfiber.gr.jp/english/material/usage.html> (Ziyaret tarihi: 30 Kasım 2019).
- [89] <https://directvoltage.com/shop/carbon-fiber-material/5000m-toray-torayca-12k-t700sc-carbon-fiber-tow-continuous-carbon-fiber-filament-yarn-thread-tape-5000-meters/> (Ziyaret tarihi: 30 Kasım 2019).
- [90] <http://zoltek.com/products/ox/staple-fiber/> (Ziyaret tarihi: 30 Kasım 2019).
- [91] <https://www.fuelcellstore.com/cetech-carbon-paper-gds090> (Ziyaret tarihi: 30 Kasım 2019).
- [92] <https://www.cableorganizer.com/carbon-fiber-sleeving/> (Ziyaret tarihi: 30 Kasım 2019).
- [93] <https://www.haufler.com/en/content/carbon-fibre/cut-carbon-fibers/> (Ziyaret tarihi: 30 Kasım 2019).
- [94] https://www.ecplaza.net/offers/carbon-fiber-nonwoven-mat_8615193 (Ziyaret tarihi: 30 Kasım 2019).
- [95] <https://www.fuelcellstore.com/cetech-carbon-paper-gds090> (Ziyaret tarihi: 30 Kasım 2019).
- [96] <http://www.hitexinsulation.com> (Ziyaret tarihi: 30 Kasım 2019).
- [97] O'Connell M. J. (Editor), *Carbon Nanotubes Properties and Applications*, Taylor & Francis, Boca Raton, FL, USA, 2006.
- [98] Carbon Nanotubes and Other Carbon Materials Part 2 (Nanotechnology), <http://what-when-how.com/nanoscience-and-nanotechnology/carbon-nanotubes-and-other-carbon-materials-part-2-nanotechnology/> (Ziyaret tarihi: 30 Kasım 2019).
- [99] Wang D. H., Baek J-B., Tan L-S., Grafting of Vapor-Grown Carbon Nanofibers (VGCNF) with a Hyperbranched Poly(Ether-Ketone), *Materials Science and Engineering: B*, 2006, **132**(1-2), 103-107.

- [100] Matsui H., Nakayama A. (Bridgestone), Tire, 2004, JP2004010689 (A), *Japan Patent Office*.
- [101] Kaneko S. (Bridgestone), Rubber Composition and Tire Using the Same, 2004, JP2004051796 (A), *Japan Patent Office*.
- [102] Shirasaka J. (Bridgestone), Rubber Composition and Tire Using the Same, 2004, JP2004051856 (A), *Japan Patent Office*.
- [103] Takeichi H. (Bridgestone), Carbon Fiber Yarn and Method for Producing the Same, 2004, JP2004149996 (A), *Japan Patent Office*.
- [104] Kusano T. (Bridgestone), Tire, 2004, JP2004203332 (A), *Japan Patent Office*.
- [105] Kusano T. (Bridgestone), Tire, 2004, JP2004203342 (A), *Japan Patent Office*.
- [106] Kusano T. (Bridgestone), Tire, 2004, JP2004203350 (A), *Japan Patent Office*.
- [107] Nishizaki T., Kusano T. (Bridgestone), Pneumatic Tire, 2004, JP2004249888 (A), *Japan Patent Office*.
- [108] Nakamura E. (Bridgestone), Pneumatic Tire, 2006, JP2006193620 (A), *Japan Patent Office*.
- [109] Oshima N. (Bridgestone), Rubber Composition, 2007, JP2007070617 (A), *Japan Patent Office*.
- [110] Nakamura E., inoue T. (Bridgestone), Tire for Construction Vehicle, 2007, JP2007145242 (A), *Japan Patent Office*.
- [111] Oshima N., Maeda M., Aoki S., inamura T. (Bridgestone), Rubber Composition for Carcass Coating and Pneumatic Tire, 2007, JP2007211194 (A), *Japan Patent Office*.
- [112] Inamura T. (Bridgestone), Selection Method of Carbon Fiber Filler, Rubber Composition and Pneumatic Tire, 2007, JP2007217459 (A), *Japan Patent Office*.
- [113] Maeda M. (Bridgestone), Rubber Composition, 2008, JP2008115330 (A), *Japan Patent Office*.
- [114] Nukui N., Takeichi H. (Bridgestone), Rubber Composition and Tire Using the Same, 2009, JP2009144109 (A), *Japan Patent Office*.
- [115] Nukui N., Takeichi H. (Bridgestone), Rubber Composition and Tire Using the Same, 2009, JP2009144110 (A), *Japan Patent Office*.
- [116] Maeda M., Yako T., Yamaguchi H., Takeichi H. (Bridgestone), Rubber Composition and Tire Using the Same, 2009, JP2009144131 (A), *Japan Patent Office*.

- [117] Nakajima D., (Bridgestone), Run Flat Tire, 2009, JP2009184510 (A), *Japan Patent Office*.
- [118] Otani T. (Bridgestone), Manufacturing Method for Rubber Composition, Rubber Composition, and Tire Using It, 2009, JP2009185145 (A), *Japan Patent Office*.
- [119] Zuigyou Y. (Bridgestone), Rubber-Fiber Composite Material and Rubber Article Using the Same, 2004, EP1389540 (B1), *European Patent Office*.
- [120] Takeichi H., Fukushima A., Sakata A. (Bridgestone), Rubber Composition and Tire Using the Same, 2010, JP2010265363 (A), *Japan Patent Office*.
- [121] Ohshima N. (Bridgestone), Rubber Composition, (2007), EP1818363 (B1), *European Patent Office*.
- [122] Nukui N. (Bridgestone), Rubber Composition, and Belt Coating Rubber and Pneumatic Tire Using the Same , 2012, JP2012172141 (A), *Japan Patent Office*.
- [123] Maekawa K., Kure Y. (Bridgestone), Pneumatic Tire, 2013, JP2013095385 (A), *Japan Patent Office*.
- [124] Takaoka S., Akai H., Sawada S., Nagatani H., Banzashi G. (Bridgestone), Method for Manufacturing Rubber Composition, Rubber Composition, Vulcanized Rubber, and Tire, 2016, US2016009877 (A1), *United States Patent and Trademark Office*.
- [125] RFT - Patlak Yol Alabilen Lastik, Bridgestone, <https://www.bridgestone.com.tr/rft-patlak-yol-alabilen-lastik>, (Ziyaret tarihi: 30 Kasım 2019).
- [126] Becker H-F., Run Flat Tires from the OEM Point of View, *Tire Technology Expo 2010*, Cologne, Germany, 09–11 February 2010.
- [127] Hein H-R, The status of Car Tire Runflat and Run-On Performance, *Tire Technology Expo 2010*, Cologne, Germany, 09–11 February 2010.
- [128] Matrascia G., Sangalli R., The Pirelli Way to Run-Flat Tyres, *Tire Technology Expo 2010*, Cologne, Germany, 09–11 February 2010.
- [129] Mitarai Y., Development of the Next Generation of Run-Flat Tires, *Tire Technology Expo 2010*, Cologne, Germany, 09–11 February 2010.
- [130] <https://www.bing.com/images/search?view=detailV2&ccid=OrzFDHFL&id=AE90BD50516ED999AA178FAE0DF6F24F931C1166> (Ziyaret tarihi: 30 Kasım 2019).
- [131] Assaad M. C., Croyle W. L., Shaw J. E., Vera D. G., Hubbell J. K., Bell P. W., Bair D. L., Chawla S. K. (Goodyear), Tire with Carbon Fiber Reinforcement, 1994, EP0604807 (A1), *European Patent Office*.

- [132] Hubbell J. K., Bell P. W., Bair D. L., Chawla S. K., Assaad M. C., Croyle W. L., Shaw J. E., Vera D. G. (Goodyear), Tire with Carbon Fiber Reinforcement, 1994, US5323829 (A), *United States Patent and Trademark Office*.
- [133] Verthe J. J. A., Hubbell J. K., Holtzapple G. M. (Goodyear), Tire Having Silica Reinforced Rubber Tread Containing Carbon Fibers, 1998, US5718781 (A), *United States Patent and Trademark Office*.
- [134] Gillick J. G., Bennett J. C. (Goodyear), Coated Multi-Filament Reinforcing Carbon Yarn, 2000, US6077606 (A), *United States Patent and Trademark Office*.
- [135] Gillick J. G., Bennett J. C. (Goodyear), Coated Multi-Filament Reinforcing Carbon Yarn, 2002, US6350492 (B1), *United States Patent and Trademark Office*.
- [136] Burrowes T. G., Gregg M. J. W. (Goodyear), Curing Sleeve Reinforced with Chopped Carbon Fibers, 2007, EP1813405 (A1), *European Patent Office*.
- [137] Zanzig D. J., Ryba J. L., Baldwin D. W. Jr., Putinski M. E., Dheur J. L., Ghislain D. P. M. (Goodyear), Pneumatic Tire with Electrically Conductive Cord Extending Between a Bead Portion and a Tread Portion of the Tire, 2007, US7284582 (B2), *United States Patent and Trademark Office*.
- [138] Sandstrom P. H., Westgate W. K., Botts B. Patel., Barnette R. R. (Goodyear), Tire with Rubber Tread Composed of a Primary and at Least One Lateral Tread Portion Containing a Dispersion of Short Carbon Fibers, 2007, US2007221303 (A1), *United States Patent and Trademark Office*.
- [139] Sanstrom P. H., Robinson J. J., Barnette R. R., Alford D. A., Neidert M. J., Whisner J. E., Luecke E. M., Schmalix C. K., Puhala A. S., Botts B. P., Bezilla B. M. Jr. (Goodyear), Tire Having a Sidewall Component Containing a Dispersion Of Adhesive Coated Short Carbon Fiber Reinforcement, 2008, EP1923233 (A1), *European Patent Office*.
- [140] Sandstrom P. H., Robinson J. J., Barnette R. R., Alford D. A., Neidert M. J., Whisner J. E., Luecke E. M., Schmalix C. K., Puhala A. S., Botts B. P., Bezilla B. M., Tire Having a Sidewall Component Containing a Dispersion of Adhesive Coated Short Carbon Fiber Reinforcement, 2008, US2008115871 (A1), *United States Patent and Trademark Office*.
- [141] Botts B. P., Puhala A. S., Sandstrom P. H., Westgate W. K., Barnette R. R. (Goodyear), Tire Containing Chopped Carbon Fibers, 2010, EP2159075 (A1), *European Patent Office*.
- [142] Pilkington M. V. (Goodyear), Rubber Compound with Aramid-Fiber-Reinforced Elastomeric Composite Having Increased Blow-Out Resistance, 2006, EP1676878 (A1), *European Patent Office*.

- [143] Zanzig D. J., Ryba J. L. (Goodyear), Tire with Rubber Component Containing Electrically Conductive Carbon Black and Fibrillated Aramid Fibers, 2004, EP1454765 (A1), *European Patent Office*.
- [144] Lechtenboehmer A., Wieczorek D. G. (Goodyear), Tire with Component Containing Aramid Fibers, 2009, EP2072283 (A1), *European Patent Office*.
- [145] Zhang P., Sandstrom P., H., Zhao J. (Goodyear), Tire Having Tread with An internal Softer Transition Rubber Layer Containing Short Fiber Reinforcement , 2013, US8439095 (B2), *United States Patent and Trademark Office*.
- [146] Hahn B. R., Papakonstantopoulos G. J., Iverson B. J. (Goodyear), Rubber Composition Containing Fibrillated Aramid Fiber Micropulp with Pre-Hydrophobated Silica Reinforcement and Tire with Component, 2017, US2017283598 (A1), *United States Patent and Trademark Office*.
- [147] Tatsuya M. (Sumitomo), Rubber Composition for Topping a Case and/Or Breaker Used for Run-Flat Tire and Run-Flat Tire Using the Same, 2009, EP2072280 (A1), *European Patent Office*.
- [148] Imoto Y. (Sumitomo), Rubber Composition For Bead Apex And Pneumatic Tire, 2010, JP2010285510 (A), *Japan Patent Office*.
- [149] Imoto Y. (Sumitomo), Tire With a Rubber Composition for Sidewall Reinforcing Layer or Sidewall, 2010, 35. EP2191982 (A1), *European Patent Office*.
- [150] Kondo S. (Sumitomo), Rubber Composition for Clinch Apex and Pneumatic Tire, 2011, JP2011140548 (A), *Japan Patent Office*.
- [151] Yamauchi S. (Sumitomo), Base Tread Rubber Composition for Winter Tire, and Winter Tire, 2013, JP2013057041 (A), *Japan Patent Office*.
- [152] Otsubo S. (Sumitomo), Pneumatic Tire, 2013, JP2013071977 (A), *Japan Patent Office*.
- [153] Yoji I. (Sumitomo), Rubber Composition for Sidewall Reinforcement Layer or Sidewall, and Tire, 2010, CN101747544 (A), *China Patent & Trademark Office*.
- [154] Kajita H. (Sumitomo), Pneumatic Tire, 2016, JP2016222165 (A), *Japan Patent Office*.
- [155] Kunisawa T. (Sumitomo), Rubber Composition for Breaker Topping and Pneumatic Tire, 2011, JP5519385 (B2), *Japan Patent Office*.
- [156] Kikuchi N., Imoto Y. (Sumitomo), Run Flat Tire, 2009, JP2009119976 (A), *Japan Patent Office*.
- [157] Kamisaka K., (Sumitomo), Run Flat Tire, 2009, JP2009132234 (A), *Japan Patent Office*.

- [158] Kunisawa T. (Sumitomo), Rubber Composition for Clinch, Process for Producing the Same and Pneumatic Tire, 2009, JP2009256516 (A), *Japan Patent Office*.
- [159] Miyazaki T. (Sumitomo), Run-Flat Tire, 2009, EP2072289 (A1), *European Patent Office*.
- [160] Miyazaki T. (Sumitomo), Run-Flat Tire, 2009, JP5091652 (B2), *Japan Patent Office*.
- [161] Imoto Y. (Sumitomo), Run Flat Tire, 2010, JP5204577 (B2), *Japan Patent Office*.
- [162] Daval B. (Michelin & Cie), Rolling Assembly, 2016, WO2016046201 (A1), *World Intellectual Property Organization*.
- [163] Bucher L. (Michelin & Cie), Method of Creating Tire Bead Core with a Carbon Fiber Composite, 2017, WO2017112630 (A1), *World Intellectual Property Organization*.
- [164] Bucher L. (Michelin & Cie), Carbon Fiber Composite For Tire Bead Core, 2017, WO2017111898 (A1), *World Intellectual Property Organization*.
- [165] Bucher L. (Michelin & Cie), Carbon Fiber Composite for Tire Bead Core, 2019, US2019009488 (A1), *United States Patent and Trademark Office*.
- [166] Cornille R., Guillaumain J., Le Clerc. C., Bosquet A. (Michelin), Aramid Textile Cord with An at Least Triple Twist, 2017, US2017327977 (A1), *United States Patent and Trademark Office*.
- [167] Neddenriep T., Frucht T. (Continental), Tyre Construction for Commercial Vehicles - Has Aramid Carcass with Ends Wrapped Round Aramid Bead Cores and these Plus Belt Are Made of Synthetic Fibre-Reinforced Rubber, 1994, DE4318825 (C1), *German Patent and Trademark office*.
- [168] Huinink H., Meier H., Stevens, H. (Continental), Tyre with Long Life at High Speed Has Radially Outermost Reinforcement Consisting of Straight, E.G. Polyamide, Filaments with Two Stiffer, E.G. Aramid, Filaments Wound Round them, 1993, DE4135599 (A1), *German Patent and Trademark office*.
- [169] Wahl G. (Continental), Yarn or Multi-Yarn Cord, for Reinforcing Automobile Tires, Consists of Polyester, Nylon and/Or Aramid Filaments Having Surface Enlarged By Projections and indentations To Improve Adhesion To Rubber, 2007, DE102006011160 (A1), *German Patent and Trademark office*.
- [170] Carole J., Barneveld C. V. (Continental), Hybrid Cord for Use As Firmness Carrier in Belt Bandage of Vehicle Pneumatic Tire, Has Yarn Made of Aramid Fibers and Another Yarn Made of Polyamide, Particularly Nylon, Where Both Yarns Are Twisted in Same Direction, 2010, DE102008037615 (A1), *German Patent and Trademark office*.

- [171] Pöhler U. (Continental), Tire Cord Fabric for Use As Reinforcing Fabric in E.G. Carcass for Manufacturing Reinforcing Layers of Pneumatic Tire of Vehicle, Has Threads Made of Polyamide, Polyester, Rayon or Aramid Material, Where Fabric Comprises Half-Leno Weave, 2014, DE102012112014 (A1), *German Patent and Trademark office*.
- [172] Kim B. L. (Hankook), Rubber Composition for Tire Belt and Tire Manufactured By Using the Same, 2013, KR101382202 (B1), *Korean Intellectual Property Office*.
- [173] Kim B. L. (Hankook), Rubber Composition for Tire Tread and Tire Manufactured By Using the Same, 2014, KR101390262 (B1), *Korean Intellectual Property Office*.
- [174] Kim S. K., Huh S. H. (Hankook), Rubber Composition for Tire Hump Strip and Tire Manufactured By Using the Same, 2012, KR20120058698 (A), *Korean Intellectual Property Office*.
- [175] inoue Y. (Yokohama), Rubber Composition for Tire and Pneumatic Tire Using It, 2011, JP2011241248 (A), *Japan Patent Office*.
- [176] Kutsuzawa R. (Yokohama), Rubber Composition and Pneumatic Tire Using the Same, 2012, JP5652160 (B2), *Japan Patent Office*.
- [177] Nakano T., Inoue Y. (Yokohama), Pneumatic Tire, 2012, JP5740932 (B2), *Japan Patent Office*.
- [178] Manabe T., Kondo H., Kishi H. (Toray), Cord for Reinforcing Rubber, and Fiber-Reinforced Rubber Material, 2001, JP2001200067 (A), *Japan Patent Office*.
- [179] Kondo H., Manabe T., Kishi H. (Toray), Cord for Reinforcing Rubber and Fiber Reinforced Rubber Material, 2002, JP2002071057 (A), *Japan Patent Office*.
- [180] Kondo H., Manabe T., Kishi H. (Toray), Rubber-Reinforcing Cord and Fiber-Reinforced Rubber Material, 2002, JP2002105789 (A), *Japan Patent Office*.
- [181] Manabe T., Kishi H. (Toray), Carbon Fiber Cord for Reinforcing Rubber and Fiber Reinforced Rubber Material, 2003, JP2003117923 (A), *Japan Patent Office*.
- [182] Kishi H., Manabe T. (Toray), Carbon Fiber Bundle for Rubber Reinforcing, Cord, and Fiber-Reinforced Rubber, 2003, JP2003247127 (A), *Japan Patent Office*.
- [183] Manabe T., Kishi H. (Toray), Carbon Fiber Cord for Reinforcing Rubber and Carbon Fiber-Reinforced Rubber Material, 2003, JP2003342850 (A), *Japan Patent Office*.

- [184] Kondo H., Manabe T., Kishi. H. (Toray), Prepreg and Fiber-Reinforced Rubber Materials, 2001, EP1081180 (A1), *European Patent Office*.
- [185] Manabe T., Kondo H., Kishi H. (Toray), Rubber Reinforcing Cord and Fiber Reinforced Material, 2001, EP1108740 (A2), *European Patent Office*.
- [186] Hirano N., Tsuchiya A., Honma M. (Toray), Carbon Fiber Bundle, 2012, US2012276383 (A1), *United States Patent and Trademark Office*.
- [187] Fidan S., The Potential Applications of Carbon Fiber in Tire Technology, Kordsa, <https://www.reinforcer.com/en/category/detail/The-Potential-Applications-of/34/229/0> (Ziyaret tarihi: 30 Kasım 2019).
- [188] Fidan M. S., Aksoy K., Şenocak E. (Kordsa), Carbon Fiber Hybrid Cord As Bead Wire, 2017, WO2017123167 (A1), *World Intellectual Property Organization*.
- [189] Aksoy K., Gülbeycan N., Fidan M. S. (Kordsa), Carbon Fiber Hybrid Cord As Bead Wire, 2019, MX2018008574 (A), *Mexican Patent Office*.
- [190] Fidan M. S., Aksoy K., Gülbeycan N. (Kordsa), Novel Bielastic Carbon Fiber Cord As Cap Ply, 2018, US2018312004 (A1), *United States Patent and Trademark Office*.
- [191] Fidan M. S., Aksoy K., Gülbeycan N. (Kordsa), Novel Bielastic Carbon Fiber Cord As Cap Ply, 2018, LU100709 (A1), *Luxemburg Office for Intellectual Property*.
- [192] Korkmaz D., Fidan M. S., Bilge E. (Kordsa), Carbon Fiber Composite Strips As Belt in Pneumatic Radial Tires, 2018, WO2018063109 (A1), *World Intellectual Property Organization*.
- [193] Fidan M. S., Aksoy K., Şenocak E. (Kordsa), Novel Bielastic Aramid Tire Cord As Cap Ply, 2018, US2018313004 (A1), *United States Patent and Trademark Office*.
- [194] Fidan M. S., Kaya B., Aksoy K. (Kordsa), Novel Bielastic Aramid Tire Cord As Cap Ply, 2018, LU100713 (A1), *Luxemburg Office for Intellectual Property*.
- [195] Fidan M. S., Aksoy K., Şenocak E. (Kordsa), a Novel Bielastic Aramid Tire Cord As Carcass Reinforcement, 2018, MX2017016668 (A), *Mexican Patent Office*.
- [196] Dunlop's 4th Generation Runflat Tires Thermal Control Technology Enhances Ride Comfort to be Same as or Better than Standard Tires, Sumitomo, 2009, <http://www.srigroup.co.jp/english/news/2009/2009-205.html> (Ziyaret tarihi: 30 Kasım 2019).

- [197] Goodyear's New Eagle F1 All Season Tire: Detroit Report, <https://www.popularmechanics.com/cars/a1663/4216978/> (Ziyaret tarihi: 30 Kasım 2019).
- [198] Goodyear Eagle F1 All Season - Tire Review, <http://www.superstreetonline.com/how-to/wheels-tires/modp-0912-goodyear-eagle-f1-all-season-tire-review/> (Ziyaret tarihi: 30 Kasım 2019).
- [199] Brown R. P., Butler T., Hawley S. W., *Ageing of Rubber Accelerated Weathering and Ozone Test Results*, Rapra Technology Limited, Shawbury, UK, 2001.
- [200] Brown R. P., Butler T., *Natural Ageing of Rubber*, Rapra Technology Limited, Shawbury, UK, 2000.
- [201] Chandrasekaran V. C., *Essential Rubber Formulary*, William Andrew Publishing, NY, USA, 2007.
- [202] Coran A. Y., Vulcanization, Editors: Mark J. E., Erman B, Eirich F. R., *Science and Technology of Rubber*, 3rd ed., Elsevier Academic Press , Amsterdam, 321-366, 2005.
- [203] *MV2000 Mooney Viscometer*, Alpha Technologies Manual
- [204] *Use of Rheometers for Rubber Compounds Control*, Gibitre Instruments Manual
- [205] <https://www.ektrontek.com/dumbbell-cutter-iron-tqn0000192.html> (Ziyaret tarihi: 30 Kasım 2019).
- [206] Lessig E. T., The Goodrich Flexometer, *Industrial and Engineering Chemistry*, 1937, **9(12)**, 582-588.
- [207] *Dynisco Flexometer Model II, Instrument and Software Manual*, Alpha Technologies, 2009.
- [208] Holwell W. B., Chung B., Denstaedt G., Luo R., Parametric Study on Abrasion Wear of Compounds, *Rubber & Plastics News*, July 2012, 14-19.
- [209] *Lambourn Abrasion Test*, Ueshima Manual
- [210] Maghami S., Dierkes W. K., Noordermeer J. W. M., Schultz S. M., Tolpekina T. V., Reuvekamp L. A. E. M., Blume A., Functionalized SBRs in Silica-Reinforced Hardness-Adjusted Tire Tread Compounds: Interactions with Filler and ZnO, *Tire Technology Expo 2017*, Hannover, Germany, 14–16 February 2017.
- [211] Zhang S-W., *Tribology of Elastomers*, Elsevier, Amsterdam, Netherlands, 2004.



EKLER

EK -A Teknik Terimler Dizini

Agglomerate: Topak
Aggregate: Salkım
Analysis: Çözümleme
Anisotropic: Yönlü, eş yönsüz
Apex: Topuk dolgusu
Base: İç sırt (TBR)
Based: Esaslı
Bead bundle: Topuk demeti
Bead filler: Topuk dolgusu
Bead: Topuk
Belt edge tape: Kuşak kenar kapama şeridi
Belt: Kuşak
Bladder: Pişirme torbası
Block: Blok
Body ply: Gövde katı
Braid: Örgü, lif ya da tovdan yapılan iplik örgüsü
Cap: Dış sırt (TBR)
Carbonization: Karbonlaştırma
Carcass: Gövde
CB: Karbon siyahı
Center rib: Sürekli diş
CF: Karbon elyaf
Chafer: Topuk takviye şeriti
Chain entanglement: Zincir dolaşıklığı
Chopped fiber: Kırpılmış elyaf
Clinch rubber: Jant destek karışımı
CNTs: Karbon nanotüpler
Compound: Karışım
Coupling agent: Yüzey aktif madde
Creel room: Koşullandırılmış oda
Curing: Pişirme
Deflection angle: Sapma açısı
Dimple sidewall: Gamzeli yanak
Dome :Buhar cepli
Drawing process: Germe işlemi
Durability: Dayanıklılık
Elastomer: Kauçuk
Elongation: Uzama
Endothermic: Isı alan
Energetic: Enerji açısından yüklü
Exothermic: Isı veren
Felt mat: Keçe halı
Fibrillated: Dallanmış (aramid)
Filament: Lif, filaman
Filipper Topuk bölgesi şeridi
Filmaşın: 5,5 mm çapında çelik tel (yüksek karbon)Final batch: Son karışım

Graphitization: Grafitleştirme
Gum chafer: Jant yastığı
Heat build-up: Isı birikimi
Homogen :Türdeş
Hydroplaning: Islak zeminde lastik temasın azalması
Hysteresis: Histerezis, gecikme
Induction :Ön ısıtma
Initial Viscosity: Başlangıç viskozitesi
Inner liner: Astar
Invariant: Değişmeyen
Isothermal: Eş ısı
Iteration :Yineleme
Lower oscillating die: Alt salınımlı kalıp
Marching cure: Devam eden pişme
Master batch: Ana karışım
Melt spinning process: Ergiyikten iplik üretim yöntemi
Mil: Açık karıştırıcı
Milled fiber: Öğütülmüş elyaf (toz)
Mixer: Kapalı karıştırıcı
Modulus : Modül
Monocoque: Monokok
Oscillation frequency: Salınım frekansı
pfr: Kısım
Pitch based: Katran esaslı
Ply: Kat
Precipitated silica: Çöktürülmüş silika
Precursor: Öncül madde
Prepreg: Ön reçinelenmiş kompozit, karbon elyaftan oluşan yarı sertleştirilmiş tabaka şeklinde ara ürün
Process: Süreç
Pulp: Pulpa
Ram: Şahmerdan
Rebound resilience: Sekme esnekliği
Relaxation: Gevşeme
Reversion: Geri dönüş
RFT: Patlak yol alabilen lastik (Run on Flat Tire)
Rim: Jant
Rigidity: Rijitlik, katılık, esnemezlik
Rotation: Dönme
Scorch: Yanma
Serrated rotor: Dişli rotor
Shear rate: Kayma hızı
Sholder blocks: Omuz blokları
Shoulder: Omuz
Sidewall: Yanak
Silane coupling agent: Silan bağlayıcı ajan
Simulation: Benzetim
Sizing: Kaplama (Fonksiyonel grupların yüzeye bağlanması için)
Spinning gear: Eğirme kirişi

Spinning: Eğirme
Spread: Yayılma
Stabilization: Dengeleme
Staple yarn: Kesikli iplik, kesik liflerden eğirilen iplik
Staple: Liflenmiş
Steel belt: elik kuşak
Stepper motor: Adımlı motor
Stiffness: Dirilik
Strain: Gerinim
Stress relaxation: Gerilim gevşemesi
Stress: Gerilim
Structure: Yapı
Tensile Strain: Kopmada uzama
Tensile Strength: Kopma dayanımı
Tensile testing: Çekme testi
Tow: Tov, çok sayıda elyaftan oluşan bükümsüz iplik
Transient: Geçişken
Tread: Sırt
Uniformity: Üniformite, düzgünlük, değişmezlik
VGCNFs: Buharda büyütölmüş karbon nano elyaflar
Vulcanizate: Pişik
Vulcanization: Pişirme
Woven fabric: Dokunmuş kumaş
Winding: Sarım
Yarn: Demet, iplik

KİŞİSEL YAYINLAR VE ESERLER

- [1] Gümüş S., Lackner J. M., Polat Ş., Kraschitzer W., Hanning H., Bayram A., Kaya M., Çallı M., **Alkan A.**, Failure Behavior of PA12 Based SLS Lattice Structure with Macro-Porosity, *5th International Conference of Engineering Against Failure (ICEAF-V 2018)*, Chios, Greece, 20-22 Haziran 2018.
- [2] **Alkan A.**, Gümüş S., Atapek Ş. H., Polat Ş., A Case Study of a Stress Corrosion Cracking Failure in a AA5083 Mold Material Used for Curing Rubber Compounds, *Protection of Metals and Physical Chemistry of Surfaces*, 2016, **52**(6), 1130–1135.
- [3] Torgan E., **Alkan A.**, Karadağ R., 16–19. Yüzyıla ait Osmanlı Sultan Kaftanlarındaki Metallerin SEM–EDX ile Karakterizasyonu, *22. Ulusal Elektron Mikroskopi Kongresi*, Sabancı Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2-4 Eylül 2015.
- [4] Atapek Ş. H., **Alkan A.**, Yılmaz M., Polat Ş., Eşgin H., Aktaş G., Tribological Characterization of Cu-Al-X Bronzes under Dry Sliding Conditions, *12th Multinational Congress on Microscopy*, Eger, Hungary, 23-28 Ağustos 2015.
- [5] **Alkan A.**, Zeren M., Polat Ş., Physical and Mechanical Properties of Rubber Compounds Reinforced by Carbon Fibers Sized with Different Emulsion Agents, *4th International Conference of Engineering Against Failure (ICEAF IV)*, Skiathos, Greece, 24-26 Haziran 2015.
- [6] Ünal H. İ., Turgut E., Atapek Ş. H., **Alkan A.**, Direct Reduction of Ferrous Oxides to Form an Iron-Rich Alternative Charge Material, *High Temperature Materials and Processes*, 2015, **34**(8), 751–756.
- [7] **Alkan A.**, Zeren M., Polat Ş., Evaluation of the Physical and Mechanical Properties of Rubber Compounds Reinforced with Aramid-Based Materials, *VI. International Congress of Metallurgists of Macedonia*, Ohrid, Macedonia, 29 Mayıs – 01 Haziran 2014.
- [8] **Alkan A.**, Zeren M., Polat Ş., Evaluation of The Physical and Mechanical Properties of Rubber Compounds Reinforced with Carbon Fiber, *Advanced Materials World Congress (AMWC 2013)*, Çeşme-İzmir, Türkiye, 16-19 Eylül 2013.
- [9] **Alkan A.**, Gümüş S., Atapek Ş. H., Polat Ş., A Failure Analysis of AA5083 Mold Material Used For Curing Rubber Compounds, *3th International Conference of Engineering Against Fracture (ICEAF III)*, Kos, Greece, 26-28 Haziran 2013.

- [10] **Alkan A.**, Gümüş S., Atapek Ş. H., Polat Ş., AA5083 Kalıp Malzemesinde Gerilmeli Korozyon Çatlama Nedenli Hasar Oluşumu Üzerine Bir Çalışma, 21. *Ulusal Elektronik Mikroskopik Kongresi*, Mersin, Türkiye, 28-31 Mayıs 2013.
- [11] Altuğ G. S., Polat Ş., **Alkan A.**, Farklı Isıl İşlem Koşullarında Çökelti Sertleştirilmiş Cu-%2 Be Alaşımının Mikroyapısal Karakterizasyonu, 21. *Ulusal Elektronik Mikroskopik Kongresi*, Mersin, Türkiye, 28-31 Mayıs 2013.
- [12] Polat Ş., Altuğ G. S., **Alkan A.**, Çökelti Sertleştirilmiş Cu-Cr-Zr Alaşımının Mikroyapısal Karakterizasyonu, 21. *Ulusal Elektronik Mikroskopik Kongresi*, Mersin, Türkiye, 28-31 Mayıs 2013.
- [13] Alkan R., Yılmaz C., **Alkan A.**, Kefir Fermantasyonlarında Bazı Biyokimyasal Parametrelerin Değişimlerinin İncelenmesi İncelenmesi, 21. *Ulusal Elektronik Mikroskopik Kongresi*, Mersin, Türkiye, 28-31 Mayıs 2013.
- [14] Alkan R., Yılmaz C., **Alkan A.**, Üretilen Beta-1,3-Glukan ve Sodyum Kazeinat Biyoteknolojik Ürünlerin Taramalı Elektronik Mikroskopta (SEM) İncelenmesi, 21. *Ulusal Elektronik Mikroskopik Kongresi*, Mersin, Türkiye, 28-31 Mayıs 2013.
- [15] Gümüş S., Atapek Ş. H., Polat Ş., Erişir E., **Alkan A.**, Microstructural Characterization of Carbides in a Cast High-Speed Steel Using Different Metallographic Techniques, *Practical Metallography*, 2012, **49**(12), 767-781.
- [16] Gümüş S., Atapek Ş. H., Polat Ş., Erişir E., **Alkan A.**, Microstructural Characterization of Carbides in a Cast High-Speed Steel Using Different Metallographic Techniques, *21st International Conference on Metallurgy and Materials (METAL 2012)*, Brno, Czech Republic, 23-25 May 2012.
- [17] Ünal H. İ., Turgut E., Atapek Ş. H., **Alkan A.**, Direct Reduction of Ferrous Oxides to Form an Iron-Rich Alternative Charge Material and Its Characterization, *International Iron & Steel Symposium (IISS 2012)*, Karabük University, Karabük, Turkey, 02-04 April 2012.
- [18] Gümüş S., Atapek Ş. H., Polat Ş., Erişir E., **Alkan A.**, Yüksek Hız Çeliklerinde Karbür Fazlarının Farklı Metalografik Yöntemler ile Işık Mikroskobu ve Taramalı Elektronik Mikroskobunda Görüntülenmesi, 20. *Ulusal Elektronik Mikroskopik Kongresi*, Antalya, Türkiye, 25-28 Ekim 2011.
- [19] Kahrıman F., Gümüş S., **Alkan A.**, Zeren M., Alüminyum Silisyum Alaşımında Derin Dağlama Tekniği ile Mikroyapısal İnceleme, 20. *Ulusal Elektronik Mikroskopik Kongresi*, Antalya, Türkiye, 25-28 Ekim 2011.
- [20] Ünal H. İ., **Alkan A.**, Atapek Ş. H., Turgut E., Hadde Tufalinin İndirgenmesi ile Üretilen Sünger Demirin Karakterizasyonu, 20. *Ulusal Elektronik Mikroskopik Kongresi*, Antalya, Türkiye, 25-28 Ekim 2011.
- [21] Ünal H. İ., Turgut E., Atapek Ş. H., **Alkan A.**, Hadde Tufalinden Sünger Demir Üretimi ve Sünger Demirin Pıkkı Demire Aşılması Sonrası Mikroyapısal

Karakterizasyonu, *6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11)*, Fırat University, Elazığ, Turkey, 16-18 May 2011.

- [22] **Alkan A.**, Brisa Mikroinceleme Laboratuvarında Yapılan İyileştirmeler ve Uygulamalardan Bazı Örnekler, *18. Ulusal Elektron Mikroskopi Kongresi*, Anadolu Üniversitesi., Eskişehir, Türkiye, 26-30 Ağustos 2007.
- [23] Demir M. M., Gülgün M. A., Menceloğlu Y., **Alkan A.**, Elektrodokuma Yöntemi ile Yüzey Aktif Polimerik Nanolif Oluşturulması ve SEM/TEM/STEM ve AFM ile İncelenmesi, *16. Ulusal Elektron Mikroskopi Kongresi*, 9 Eylül Üniversitesi., İzmir, Türkiye, 2-5 Eylül 2003.
- [24] **Alkan A.**, Smolej, V., Lastikte Karbon Karası Tip Analizi, *16. Ulusal Elektron Mikroskopi Kongresi*, 9 Eylül Üniversitesi., İzmir, Türkiye, 2-5 Eylül 2003.
- [25] Topçuoğlu N., Bilgen C., **Alkan A.**, Sezer B., Palatin Tonsilden Çıkarılan Tonsil Taşının Işık Mikroskop ve Tarama Elektron Mikroskop ile Gözlenen Yapısı, *16. Ulusal Elektron Mikroskopi Kongresi*, 9 Eylül Üniversitesi., İzmir, Türkiye, 2-5 Eylül 2003.
- [26] Altay A., Gülgün M. A., **Alkan A.**, Kalsiyum Katkılı Alüminyum Oksit Çok Kristalli Seramiğinin Anayapı ve Mikrokimyası, *16. Ulusal Elektron Mikroskopi Kongresi*, 9 Eylül Üniversitesi., İzmir, Türkiye, 2-5 Eylül 2003.
- [27] **Alkan A.**, Lastikte Mikroskopi ve Görüntü Analiz Uygulamaları, *16. Ulusal Elektron Mikroskopi Kongresi*, 9 Eylül Üniversitesi., İzmir, Türkiye, 2-5 Eylül 2003.
- [28] Elibol M. C., **Alkan A.**, Brisa-Argesa'nın Tanıtımı ve Çalışmaları, *4. Fizik Mühendisliği Bilimsel ve Teknik Kurultayı*, Ankara, Türkiye, 26-28 Şubat 1992.
- [29] Kazancı N., Özkan H. M., **Alkan A.**, Erol O., Burdur Havzası Pleyistosen Deltayık Kuvars Kumlarının Yüzey Özellikleri, *Elektron Mikroskop Uygulaması, Tübitak Doğa TU Müh. ve Çev. Dergisi*, 1986, **10**(3), 255-266.
- [30] **Alkan A.**, Turan C., Şahin M., Çimento Klinkerinde Mikroyapısal Özelliklerin Hammadde Karakteristikleri, Isıl İşlem parametreleri ve Ögünebilirlik ile İlişkisi, *Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği Çimento Bülteni*, 1985, **22** (221), 3-17.
- [31] Şahin M., Turan C., **Alkan A.**, Çimento Klinkerinde Mikroyapısal Özelliklerin Hammadde Karakteristikleri, Isıl İşlem parametreleri ve Ögünebilirlik ile İlişkisi, *7. Ulusal Elektron Mikroskopi Kongresi*, İstanbul, Türkiye, 16-20 Eylül 1985.
- [32] Çokpekin F., **Alkan A.**, Dişlere Uygulanan Bazı Eser Element Solüsyonlarının Mine Çözünürlüğüne Etkilerinin Tarama Elektron Mikroskopta (SEM) İncelenmesi, *7. Ulusal Elektron Mikroskopi Kongresi*, İstanbul, Türkiye, 16-20 Eylül 1985.

- [33] Baylı E., **Alkan A.**, Aydın A., Durlu T. N., Bazı Fe Alaşımlarındaki Martensitik Faz Transformasyonlarının Elektron Mikroskobu ile İncelenmesi, 2. *Balkan Elektron Mikroskopi Kongresi*, İstanbul, Türkiye, 25-30 Eylül 1977.
- [34] **Alkan A.**, Fe-%24 Ni Alaşımında Austenite-Martensite Faz Dönüşümünde Gözlenen Şekil Değişiminin Bulunması, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Fakültesi Fizik Bölümü, Ankara, 1977.



ÖZGEÇMİŞ

Attila ALKAN 1953 yılında Bursa 'da doğdu. İlk ve orta öğrenimini Elazığ ile Çatalca, lise öğrenimini ise Edirne ile Adana'da tamamladıktan sonra; Ankara Üniversitesi Fizik Mühendisliği'nde 1975 yılında lisans, 1977 yılında da Metal Fiziği'nden yüksek lisans yaparak Fizik Yüksek Mühendisi ünvanını aldı.

Çalışma hayatına 1976 yılında başlayıp, AÜFF Elektron Mikroskop [SEM (Cambridge S600) – TEM (Hitachi HS-9)] laboratuvarında uzman olarak 1978 yılına kadar çalıştı. Askerliğini 1978 – 1979 yılları arasında GATA mikrobiyoloji elektron mikroskop [TEM (Carl Zeiss EM9A)] laboratuvarında tamamladı. 1979 ile 1982 yılları arasında AÜFF Fizik bölümünde araştırma görevlisi olarak çalıştı. 1982 ile 1986 yılları arasında ise Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği Çimento Araştırma ve Geliştirme Merkezi elektron mikroskop [SEM-EDS (Leitz-AMR 1000 – EDAX 9100)] laboratuvarında uzman olarak çalıştı. 1986 Yılında Sabancı Holding ARGESA lastik araştırma merkezi mikroinceleme laboratuvarının kuruluşunda görev aldı. Bu laboratuvarda yer alan elektron mikroskop sistemleri [SEM-EDS (Jeol 840A–Link A./iXRF), STEM-EDS-EELS (Jeol 2000 FX –Link A./iXRF–Gatan)] ile ışık (LM-IA) mikroskopları, EDXRF ve Cryo-Ultramicrotome'uda içeren örnek hazırlama sistemlerinin devreye alınmasında çalıştı. 1988 yılında Bridgestone ile yapılan ortaklık sonucunda ARGESA, BRİSA bünyesine dahil oldu. 1988 yılından emekli olduğu 2012 yılına kadar Mikroinceleme laboratuvarında Elektron Mikroskop Uzmanı olarak çalıştı. 2009 yılında Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı'nda doktora eğitimine başladı. Doktora eğitiminin yanısıra, 2014 yılından itibaren Atomika Teknik firmasında Elektron Mikroskop uzmanı olarak çalışmaktadır.

Tamamlanan iki Avrupa Birliği projesinde (Eureka ve Eurostars) görev aldı. Üyesi olduğu Türk Elektron Mikroskopi Derneği'nin iki senede bir düzenlediği kongrelerde, katıldığı “en iyi mikroyapı” fotoğraf yarışmalarında bir kez birincilik ve bir kez de ikincilik ödülü aldı. Uluslararası dergilerde yayınlanmış 3 makalesi, ulusal dergilerde yayınlanmış 2 makalesi ile ulusal ve uluslararası kongrelerde yayınlanmış 28 bildirisi bulunmaktadır.