



**T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



YÜKSEK LİSANS TEZİ

**LÜBRİKANT İLAVESİNİN ETİLEN VİNİL ASETAT
KOPOLİMERİNİN TEK VİDALI EKSTRÜDERDE KALMA
SÜRESİNE ETKİSİ**

Emine Büşra EKER

Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

Proses ve Reaktör Tasarımı Programı

**DANIŞMAN
Prof. Dr. İsmail AYDIN**

Şubat, 2017

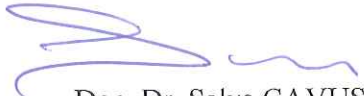
İSTANBUL

Bu çalışma 24.02.2017 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Kimya Mühendisliğı Anabilim Dalı, Proses ve Reaktör Tasarımı Programında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi



Prof. Dr. İsmail AYDIN(Danışman)
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi



Doç. Dr. Selva ÇAVUŞ
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi



Prof. Dr. Sevil YÜCEL
Yıldız Teknik Üniversitesi
Kimya Metalurji Fakültesi



Prof. Dr. Serkan Naci KOÇ
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi



Doç. Dr. Ali DURMUŞ
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi



20.04.2016 tarihli resmi gazetede yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince; Bu Lisansüstü teze, İstanbul Üniversitesi'nin aboneli olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Fen Bilimleri Enstitüsü'nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır.

Bu tez, İstanbul Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yürütücü Sekreterliğinin 20956 numaralı projesi ile desteklenmiştir.

Bu tez, 20956 numaralı İÜ BAP projesi ile desteklenmiştir.

ÖNSÖZ

Lisansüstü eğitimim süresince her konuda sonuna kadar sabırla desteklerini esirgemeyen danışman hocam Sayın Prof. Dr. İsmail AYDIN'a sonsuz teşekkür ediyorum.

Birlikte çalıştığım değerli Araş. Gör. M.Fatih ERGİN'e çalışmalarımın her aşamasında verdikleri katkılar için teşekkür ederim.

Yüksek lisans eğitimi almamı destekleyen ve iş hayatı ile eğitim hayatımı birlikte yürütmemi sağlamak için tüm kolaylıkları sağlayan Akgün-Bezek Kuyumculuk Ltd. Şti. Üretim Müdür'ü Hakan Ali İNCESoy'a teşekkür ederim.

Hayatımın her aşamasında beni maddi, manevi her konuda destekleyen ve hayatta sahip olduğum en değerli varlığım olan aileme ve bana destek olan arkadaşlarım Araş. Gör. Fatma ÜNAL, Araş. Gör. Meltem BOLLUK ve Hatice ÇOŞKUN'a teşekkürü bir borç bilirim.

Şubat 2017

Emine Büşra EKER

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ.....	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİL LİSTESİ.....	v
TABLO LİSTESİ	x
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ	xi
ÖZET.....	xii
SUMMARY	xiv
1. GİRİŞ.....	1
1.1. TEZ ÇALIŞMASININ AMACI VE HEDEFİ	1
1.2. KONUYLA İLGİLİ YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	2
2. GENEL KISIMLAR	5
2.1. TERMOPLASTİK MALZEMELER	5
2.1.1. Etilen Vinil Asetat (EVA).....	5
2.2. TERMOPLASTİK MALZEMELERİ İŞLEME YÖNTEMLERİ	8
2.2.1. Kalıplama (Molding)	9
2.2.2. Ekstrüzyon (Extrusion).....	9
2.2.3. Şişirerek Kalıplama.....	10
2.2.4. Isıl Şekillendirme (Thermoforming).....	12
2.2.5. Dönerek Kalıplama (Rotational Molding).....	15
2.3. TERMOPLASTİK MALZEMELERİN İŞLENMESİNDE KULLANILAN KATKILAR.....	16
2.3.1. Lübrikantlar ve Önemi.....	19
2.3.1.1. Stearik Asit ve Önemi	20
2.4. TEK VİDALI PLASTİK İŞLEME EKSTRÜDERLERİ.....	22
2.4.1. Çalışma Sistemi	22
2.5. EKSTRÜDERDE KALMA ZAMANI DAĞILIMI (RESIDENCE TIME DISTRIBUTION) HESAPLAMALARI	26
2.5.1. Kalma Zamanı Dağılımı Ölçüm Yöntemleri	26
3. MALZEME VE YÖNTEM	30
3.1. KULLANILAN MALZEMELER.....	30
3.1.1. Etilen Vinil Asetat Kopolimeri (EVA).....	30

3.1.2. Stearik Asit	31
3.1.3. Metil Alkol.....	32
3.1.4. Polistiren	32
3.2. KULLANILAN CİHAZLAR.....	33
3.2.1. Tek Vidalı Ekstrüder	33
3.2.2. Reometre.....	34
3.2.3. FT-IR (Fourier Transform Infrared Spectroscopy)	35
3.3. YÖNTEM.....	36
3.3.1. Etilen Vinil Asetat Kopolimerinin Stearik Asit ile Kaplanması.....	36
3.3.2. Tek Vidalı Ekstrüderde Kalma Zamanı Dağılımının Ölçülmesi (Residence Time Distribution)	36
4. BULGULAR	38
4.1. KALMA ZAMANI DAĞILIMI SONUÇLARI.....	38
4.1.1. Saf EVA Üzerine Sıcaklık Ve Vida Hızı Etkisinin Kalma Zamanı Dağılım Grafikleri.....	38
4.1.1.1. <i>Saf EVA Üzerine Sıcaklık Ve Vida Hızı Etkisinin Ortalama Kalma Zamanı Değerleri</i>	41
4.1.2. %3,75 Stearik Asit/EVA Üzerine Sıcaklık Ve Vida Hızı Etkisinin Kalma Zamanı Dağılım Grafiği.....	43
4.1.2.1. <i>%3,75 Stearik Asit/EVA Üzerine Sıcaklık Ve Vida Hızı Etkisinin Ortalama Kalma Zamanı Değerleri</i>	46
4.1.3. %7,50 Stearik Asit/EVA Üzerine Sıcaklık Ve Vida Hızı Etkisinin Kalma Zamanı Dağılım Grafiği.....	48
4.1.3.1. <i>%7,50 Stearik Asit/EVA Üzerine Sıcaklık Ve Vida Hızı Etkisinin Ortalama Kalma Zamanı Değerleri</i>	51
4.1.4. %11,25 Stearik Asit/EVA Üzerine Sıcaklık Ve Vida Hızı Etkisinin Kalma Zamanı Dağılım Grafiği.....	54
4.1.4.1. <i>%11,25 Stearik Asit/EVA Üzerine Sıcaklık Ve Vida Hızı Etkisinin Ortalama Zamanı Değerleri</i>	57
4.1.5. %15,00 Stearik Asit/EVA Üzerine Sıcaklık Ve Vida Hızı Etkisinin Kalma Zamanı Dağılım Grafiği.....	59
4.1.5.1. <i>%15,00 Stearik Asit/EVA Üzerine Sıcaklık Ve Vida Hızı Etkisinin Ortalama Kalma Zamanı Değerleri</i>	62
4.1.6. Saf EVA, %3,75 – 7,50 – 11,25 – 15,00 Stearik Asit/EVA Karışımları Üzerine Sıcaklık Ve Vida Hızı Etkisinin Kalma Zamanı Dağılım Grafiği	65
4.1.6.1. <i>Saf EVA, %3,75 – 7,50 – 11,25 – 15,00 Stearik Asit/EVA Karışımları Üzerine Sıcaklık Ve Vida Hızı Etkisinin Ortalama Kalma Zamanı Değerleri</i>	73
4.2. KARARLI HAL AKIŞI VİSKOZİTE ÖLÇÜMLERİ	76
4.2.1. 60-70-80 °C’de Viskozite Ölçümleri.....	76

4.3. FT-IR ÖLÇÜMLERİ.....	79
5. TARTIŞMA VE SONUÇ.....	83
KAYNAKLAR	86
ÖZGEÇMİŞ.....	91



ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa No
Şekil 1.1: Yıllara göre dünyada plastik üretimi (1950-2014).....	2
Şekil 2.1: Termoplastik molekül zincir yapısı.....	5
Şekil 2.2: Etilen vinil asetat kopolimeri (EVA) molekül yapısı.....	6
Şekil 2.3: Etilen vinil asetat (EVA) granülleri.....	7
Şekil 2.4: Etilen vinil asetat (EVA) kullanım alanları.....	8
Şekil 2.5: Enjeksiyon şekillendirme yöntemi.....	9
Şekil 2.6: Ekstrüzyon şekillendirme yöntemi.....	10
Şekil 2.7: Şişirerek şekillendirme yöntemi.....	11
Şekil 2.8: Enjeksiyonla şişirme yöntemi.....	12
Şekil 2.9: Vakumla ısıll şekillendirme yöntemi.....	13
Şekil 2.10: Hava yardımı ile ısıll şekillendirme yöntemi.....	14
Şekil 2.11: Mekanik ısıll şekillendirme yöntemi.....	15
Şekil 2.12: Dönerek şekillendirme yöntemi.....	16
Şekil 2.13: Stearık asit molekül yapısı.....	21
Şekil 2.14: Tek vidalı ekstrüder sistemi.....	23
Şekil 2.15: Ekstrüder besleme bölgesi.....	23
Şekil 2.16: Ekstrüder çalışma sistemi.....	24
Şekil 2.17: Ekstrüder vida yapısı.....	25
Şekil 2.18: Atış (pulse input) yöntemi.....	28
Şekil 2.19: Kalma zamanı dağılım eğrisi.....	29
Şekil 3.1: Tez çalışmasında izlenen deneysel yöntemler.....	30

Şekil 3.2: Transparan cam kovandan oluşan tek vidalı ekstrüder düzeneği.....	33
Şekil 3.3: Kullanılan tek vidalı ekstrüderin şeffaf cam kovanı.	34
Şekil 3.4: Kullanılan ekstürder vidası.....	34
Şekil 3.5: Tez çalışmasında kullanılan AR-G2 Reometre ve çelik-cam plate.....	35
Şekil 3.6: FT-IR (Buker ATR-2013).	36
Şekil 3.7: Kalma zamanı dağılımını hesaplamak için sıcak pres ile film haline getirilmiş numuneler.	37
Şekil 4.1: Saf EVA 60 °C’de 50-60-70 rpm çalışma koşullarında kalma zamanı dağılımı.	38
Şekil 4.2: Saf EVA 70 °C’de 50-60-70 rpm çalışma koşullarında kalma zamanı dağılımı.	38
Şekil 4.3: Saf EVA 80 °C’de 50-60-70 rpm çalışma koşullarında kalma zamanı dağılımı.	39
Şekil 4.4: Saf EVA 50 rpm’de 60-70-80 °C çalışma koşullarında kalma zamanı dağılımı.	39
Şekil 4.5: Saf EVA 60 rpm’de 60-70-80 °C çalışma koşullarında kalma zamanı dağılımı.	40
Şekil 4.6: Saf EVA 70 rpm’de 60-70-80 °C çalışma koşullarında kalma zamanı dağılımı.	40
Şekil 4.7: Saf EVA 50-60-70 °C ve 50-60-70 rpm çalışma koşullarında ortalama kalma zamanı.	41
Şekil 4.8: %3,75 SA/EVA 60 °C’de 50-60-70 rpm çalışma koşullarında kalma zamanı dağılımı.	43
Şekil 4.9: %3,75 SA/EVA 70 °C’de 50-60-70 rpm çalışma koşullarında kalma zamanı dağılımı.	43
Şekil 4.10: %3,75 SA/EVA 80 °C’de 50-60-70 rpm çalışma koşullarında kalma zamanı dağılımı.	44
Şekil 4.11: %3,75 SA/EVA 50 rpm’de 60-70-80 °C çalışma koşullarında kalma zamanı dağılımı.	44
Şekil 4.12: %3,75 SA/EVA 60 rpm’de 60-70-80 °C çalışma koşullarında kalma zamanı dağılımı.	45
Şekil 4.13: %3,75 SA/EVA 70 rpm’de 60-70-80 °C çalışma koşullarında kalma zamanı dağılımı.	45

Şekil 4.14: %3,75 SA/EVA 50-60-70 °C ve 50-60-70 rpm çalışma koşullarında ortalama kalma zamanı.	46
Şekil 4.15: %7,50 SA/EVA 60 °C'de 50-60-70 rpm çalışma koşullarında kalma zamanı dağılımı.	48
Şekil 4.16: %7,50 SA/EVA 70 °C'de 50-60-70 rpm çalışma koşullarında kalma zamanı dağılımı.	49
Şekil 4.17: %7,50 SA/EVA 80 °C'de 50-60-70 rpm çalışma koşullarında kalma zamanı dağılımı.	49
Şekil 4.18: %7,50 SA/EVA 50 rpm'de 60-70-80 °C çalışma koşullarında kalma zamanı dağılımı.	50
Şekil 4.19: %7,50 SA/EVA 60 rpm'de 60-70-80 °C çalışma koşullarında kalma zamanı dağılımı.	50
Şekil 4.20: %7,50 SA/EVA 70 rpm'de 60-70-80 °C çalışma koşullarında kalma zamanı dağılımı.	51
Şekil 4.21: %7,50 SA/EVA 50-60-70 °C ve 50-60-70 rpm çalışma koşullarında ortalama kalma zamanı.	52
Şekil 4.22: %11,25 SA/EVA 60 °C'de 50-60-70 rpm çalışma koşullarında kalma zamanı dağılımı.	54
Şekil 4.23: %11,25 SA/EVA 70 °C'de 50-60-70 rpm çalışma koşullarında kalma zamanı dağılımı.	54
Şekil 4.24: %11,25 SA/EVA 80 °C'de 50-60-70 rpm çalışma koşullarında kalma zamanı dağılımı.	55
Şekil 4.25: %11,25 SA/EVA 50 rpm'de 60-70-80 °C çalışma koşullarında kalma zamanı dağılımı.	55
Şekil 4.26: %11,25 SA/EVA 60 rpm'de 60-70-80 °C çalışma koşullarında kalma zamanı dağılımı.	56
Şekil 4.27: %11,25 SA/EVA 70 rpm'de 60-70-80 °C çalışma koşullarında kalma zamanı dağılımı.	56
Şekil 4.28: %11,25 SA/EVA 50-60-70 °C ve 50-60-70 rpm çalışma koşullarında ortalama kalma zamanı.	57
Şekil 4.29: %15,00 SA/EVA 60 °C'de 50-60-70 rpm çalışma koşullarında kalma zamanı dağılımı.	59
Şekil 4.30: %15,00 SA/EVA 70 °C'de 50-60-70 rpm çalışma koşullarında kalma zamanı dağılımı.	60

Şekil 4.31: %15,00 SA/EVA 80 °C'de 50-60-70 rpm çalışma koşullarında kalma zamanı dağılımı.	60
Şekil 4.32: %15,00 SA/EVA 50 rpm'de 60-70-80 °C çalışma koşullarında kalma zamanı dağılımı.	61
Şekil 4.33: %15,00 SA/EVA 60 rpm'de 60-70-80 °C çalışma koşullarında kalma zamanı dağılımı.	61
Şekil 4.34: %15,00 SA/EVA 70 rpm'de 60-70-80 °C çalışma koşullarında kalma zamanı dağılımı.	62
Şekil 4.35: %15,00 SA/EVA 50-60-70 °C ve 50-60-70 rpm çalışma koşullarında ortalama kalma zamanı.	63
Şekil 4.36: Saf EVA ve %3,75-7,50-11,25-15,00 SA/EVA'nın 60 °C ve 50 rpm'de kalma zamanı dağılımı.	65
Şekil 4.37: Saf EVA ve %3,75-7,50-11,25-15,00 SA/EVA'nın 60 °C ve 60 rpm'de kalma zamanı dağılımı.	66
Şekil 4.38: Saf EVA ve %3,75-7,50-11,25-15,00 SA/EVA'nın 60 °C ve 70 rpm'de kalma zamanı dağılımı.	67
Şekil 4.39: Saf EVA ve %3,75-7,50-11,25-15,00 SA/EVA'nın 70 °C ve 50 rpm'de kalma zamanı dağılımı.	68
Şekil 4.40: Saf EVA ve %3,75-7,50-11,25-15,00 SA/EVA'nın 70 °C ve 60 rpm'de kalma zamanı dağılımı.	69
Şekil 4.41: Saf EVA ve %3,75-7,50-11,25-15,00 SA/EVA'nın 70 °C ve 70 rpm'de kalma zamanı dağılımı.	70
Şekil 4.42: Saf EVA ve %3,75-7,50-11,25-15,00 SA/EVA'nın 80 °C ve 50 rpm'de kalma zamanı dağılımı.	71
Şekil 4.43: Saf EVA ve %3,75-7,50-11,25-15,00 SA/EVA'nın 80 °C ve 60 rpm'de kalma zamanı dağılımı.	72
Şekil 4.44: Saf EVA ve %3,75-7,50-11,25-15,00 SA/EVA'nın 80 °C ve 70 rpm'de kalma zamanı dağılımı.	73
Şekil 4.45: Saf EVA ve %3,75-7,50-11,25-15,00 SA/EVA'nın 60 °C'de 50-60-70 rpm çalışma koşullarında ortalama kalma zamanı.	74
Şekil 4.46: Saf EVA ve %3,75-7,50-11,25-15,00 SA/EVA'nın 70 °C'de 50-60-70 rpm çalışma koşullarında ortalama kalma zamanı.	74
Şekil 4.47: Saf EVA ve %3,75-7,50-11,25-15,00 SA/EVA'nın 80 °C'de 50-60-70 rpm çalışma koşullarında ortalama kalma zamanı.	75

Şekil 4.48: Saf EVA ve %3,75-7,50-11,25-15,00 SA/EVA'nın 60 °C'de kararlı hal akış davranışı.	76
Şekil 4.49: Saf EVA ve %3,75-7,50-11,25-15,00 SA/EVA'nın 70 °C'de kararlı hal akış davranışı.	77
Şekil 4.50: Saf EVA ve %3,75-7,50-11,25-15,00 SA/EVA'nın 80 °C'de kararlı hal akış davranışı.	78
Şekil 4.51: Saf EVA FT-IR ölçümü.	79
Şekil 4.52: Stearik asit FT-IR ölçümü.	80
Şekil 4.53: %3,75 SA/EVA FT-IR ölçümü.	80
Şekil 4.54: %7,50 Sa/EVA FT-IR ölçümü.	81
Şekil 4.55: %11,25 SA/EVA FT-IR ölçümü.	81
Şekil 4.56: %15,00 SA/EVA FT-IR ölçümü.	82
Şekil 4.57: Saf EVA, %3,75-7,50-11,25-15,00 SA/EVA FT-IR ölçümleri.	82

TABLO LİSTESİ

	Sayfa No
Tablo 3.1: Etilen vinil asetat (Elvax 40W) karakteristik özellikleri.	31
Tablo 3.2: Stearik asit karakteristik özellikleri.	31
Tablo 3.3: Metil alkol (Emsure® Merck) karakteristik özellikleri.	32
Tablo 3.4: Polistiren (EastChem) karakteristik özellikleri.	32
Tablo 4.1: Saf EVA'nın ortalama kalma zamanı değerleri.	41
Tablo 4.2: %3,75 SA/EVA'nın ortalama kalma zamanı değerleri.	46
Tablo 4.3: %7,50 SA/EVA'nın ortalama kalma zamanı değerleri.	51
Tablo 4.4: %11,25 SA/EVA'nın ortalama kalma zamanı değerleri.	57
Tablo 4.5: %15,00 SA/EVA'nın ortalama kalma zamanı dağılımı.	62
Tablo 4.6: Saf EVA ve %3,75-7,50-11,25-15,00 SA/EVA'nın ortalama kalma zamanı değerleri.	73

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler	Açıklama
E(t)	: Kalma Zamanı Dağılım Fonksiyonu (sn^{-1})
τ	: Ortalama Kalma Zamanı (sn)
t_{\min}	: Minimum Kalma Zamanı (sn)
t	: Zaman (sn)
Δt	: Zaman Değişimi (sn)
gr	: Gram
rpm	: Dakikadaki Devir Sayısı (Revolution Per Minute)
γ	: Kayma Hızı (Shear Rate, sn^{-1})
C(t)	: İzleyici Bileşeni (Tracer) Miktarı (adet/10sn)
N_0	: İzleyici Bileşeni (Tracer) Miktarı (gram)
ΔN	: İzleyici Bileşeni (Tracer) Değişim Miktarı (gram)
V	: Volumetrik Akış Hızı (m^3/sn)
H	: Ergime Bölgesi Vida Kanal Derinliği (mm)
N	: Vida Dönme Hızı (Screw Rotation, rpm)

Kısaltmalar	Açıklama
EVA	: Etilen Vinil Asetat
SA	: Stearik Asit
RTD	: Kalma Zamanı Dağılımı (Residence Time Distribution)
wt	: Ağırlıkça (Weight)
Dc	: Vida Çapı (Core Diameter, mm)

ÖZET

LÜBRİKANT İLAVESİNİN ETİLEN VİNİL ASETAT KOPOLİMERİNİN TEK VIDALI EKSTRÜDERDE KALMA SÜRESİNE ETKİSİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Emine Büşra EKER

İstanbul Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman : Prof. Dr. İsmail AYDIN

Tek vidalı ekstrüderler plastik işleme yöntemleri arasında en önemlilerinden biridir ve plastik işleme yöntemlerini iyileştirmek amacıyla polimerik malzemelere katkıları eklenerek birçok çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmanın amacı da polimer malzemeye lübrikant katkısının etkisini tek vidalı ekstrüderde kalma zamanı dağılımı olarak incelemektir. Polimer malzeme olarak ağırlıkça %40 vinil asetat içeriğine sahip etilen vinil asetat kopolimeri, lübrikant olarak ise stearik asit kullanılmıştır. Stearik asit, EVA kopolimerinin üzerine çözücü yardımı ile ağırlıkça %3,75-7,50-11,25-15,00 olacak şekilde kaplanmıştır.

Saf EVA ve %3,75-7,50-11,25-15,00 SA/EVA malzemelerinin 50-60-70 rpm vida dönme hızlarında ve 60-70-80 °C sıcaklıklarda tek vidalı ekstrüderde kalma zamanı dağılımı, ortalama kalma zamanı ve minimum kalma zamanı değerleri hesaplanmıştır.

Saf EVA ve %3,75-7,50-11,25-15,00 SA/EVA malzemelerinin tek vidalı ekstrüder içerisinde 50-60-70 rpm vida dönme hızlarında ve 60-70-80 °C sıcaklıklarında davranışını anlamak için reometre ölçüm cihazı kullanılmış ve kararlı hal akış davranışı

viskozite olarak incelenmiştir. Ayrıca FTIR analizinden yararlanılarak EVA üzerine stearik asit kaplanan yapıların absorbands ve dalga boyu değerleri ölçülmüştür.

Yapılan çalışmada; saf EVA ve %3,75-7,50-11,25-15,00 SA/EVA numunelerin her biri tek vidalı ekstrüderde sıcaklık ve vida dönme hızı artışıyla kalma zamanı değerlerinde azalma gösterirken, stearik asit kaplama oranının artmasıyla (%3,75-7,50-11,25-15,00) da lübrیکant etkisinin sağlandığı ve kalma zamanının azaldığı gözlemlenmiştir. Ayrıca reometre analizi sonuçlarına göre; stearik asidin lübrیکant özelliklerinden viskozite düşürme özelliği gösterdiği de gözlemlenmektedir.

FTIR analiz sonuçları incelendiğinde; EVA kopolimeri ve stearik asite ait bağ pikleri gözlemlenmiştir. Stearik asit kaplama oranının artmasıyla stearik asit piklerinin baskın geldiği ve farklı dalga boyuna sahip EVA ve stearik asit absorbands pikleri sönümlenirken benzer dalga boyuna sahip absorbands değerlerinde artış gözlemlenmiştir. EVA üzerine istenilen stearik asit kaplamanın gerçekleştiği tespit edilmiştir.

Şubat 2017, 107 sayfa.

Anahtar kelimeler: Etilen vinil asetat (EVA), lübrیکant, stearik asit, tek vidalı ekstrüder, kalma zamanı dağılımı

SUMMARY

EFFECT OF LUBRICANT INCLUSION ON THE RESIDENCE TIME OF ETHYLENE VINYL ACETATE COPOLYMER IN SINGLE SCREW EXTRUSION

M.Sc. THESIS

Emine Busra EKER

Istanbul University

Institute of Graduate Studies in Science and Engineering

Department of Chemical Engineering

Supervisor : Prof. Dr. Ismail AYDIN

A single screw extruder is an important manufacturing method of plastics and lots of studies have been performed to improve methods of manufacturing plastics by adding additives to polymeric materials and the residence time distribution in an extruder is a useful means for determining optimal processing conditions.

Aim of this study is to examine the effects of lubricants additives to polymer material by means of the residence time distribution in a single screw extruder. In this study, ethylene vinyl acetate copolymer with 40 weight percentage of vinyl acetate content (Elvax 40W) has been used as the polymeric material and stearic acid has been used as a lubricant. Stearic acid has been coated on EVA copolymer with the ratios of 3,75-7,50-11,25-15,00 wt.% using a solvent.

Residence time distribution, mean residence time and Minimum residence time of virgin EVA and EVA with 3,75-7,50-11,25-15,00 wt.% stearic acid coated EVA materials were calculated at 60-70-80 °C of temperature and 50-70-80 rpm of screw speed values of the single screw extruder.

Steady state flow behaviour of virgin EVA and 3,75-7,50-11,25-15,00 wt.% SA/EVA was examined with their viscosity values using a reometer to construe behaviour of the material in the single screw exturder at variable temperatures and screw speeds. In addition, absorbans and wavenumbers of EVA and EVA coated with different ratio of stearic acid have been measured by Fourier Transform Infrared Spectroscopy.

In the study, residence time distribution of each of virgin EVA and 3,75-7,50-11,25-15,00 wt.% SA/EVA samples have shown a decrease with the increase of screw speed and the temperature in the single screw extruder. On the other hand, increasing ratio of stearic acid, used as a lubricant, on EVA (3,75-7,50-11,25-15,00) decreased the RTD influence of stearic acid on viscosity was observed as the lubricant effect on EVA; viscosity values decreased.

From the analyses of FT-IR results, both virgin EVA and stearic acid exhibited signature peaks of their bonds. Stearic acid coated EVA exhibited sharp peaks with the increase of absorbance values at similar wavenumbers of virgin eva and stearic acid and compared with absorbance values of virgin EVA and stearic acid at different wavenumbers. This result proves that prediction of stearic acid was coated on EVA (3,75-7,50-11,25-15,00 wt.%) samples.

February 2017, 107 pages.

Keywords: Ethylene vinyl acetate (EVA), lubricant, stearic acid, single screw extruder, residence time distribution

1. GİRİŞ

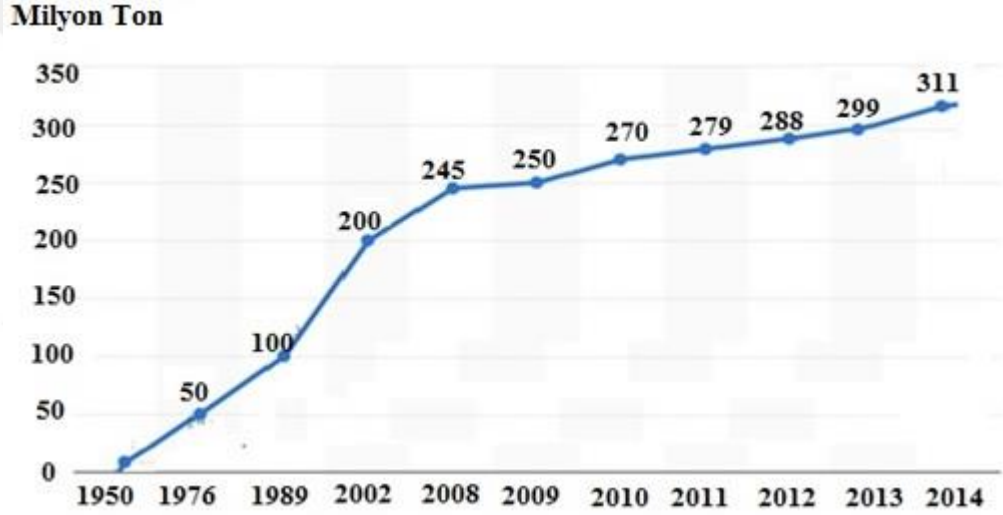
1.1. TEZ ÇALIŞMASININ AMACI VE HEDEFİ

Bir vida ve içerisinde döndüğü silindirik bir kovandan oluşan tek vidalı ekstrüderler, plastik üretim prosesinin temel yöntemleri arasındadır. Boru, hortum, kablo, profil, levha, film gibi günlük yaşamımızın neredeyse her yerinde kullanılan bu ürünler ekstrüderler kullanılarak üretilir. Termoplastik polimer malzeme, ekstrüzyonu esnasında önce besleme bölgesinden ısıtılan kovan içinde dönen vidadan oluşan ekstrüdere aktarılmaktadır. Bu aşamada hala katı fazda olan bileşim, ergitme bölgesine geçerek akışına devam eder. Burada tamamen ergidikten sonra ergiyik aktarma kısmından ekstrüder dışına pompalanan malzemenin tüm bu “kalma süresi” ekstrüderin karıştırma performansının sayısal bir ölçütüdür. Bu alandaki en önemli sorunlardan birisi “ekstrüderlerin karıştırma performansı”dır ve bu bağlamda, örneğin; ekstrüzyon karıştırma performansını olumlu yönde etkileyecek lubrikantlar formül bileşeni olarak kullanılmaktadır. Bu Yüksek Lisans Tez çalışması bu konuyla ilgilenmeyi amaç edinmiştir.

Çalışmada termoplastik malzeme olarak etilen vinil asetat kopolimer ve lubrikant olarak da öncelikle en yaygın olarak plastik ekstrüzyon formülasyonlarında yer alan stearik asit kullanılacaktır. Çalışma süresince Reoloji Laboratuvarı’nda geliştirilmiş olan “strafor izleyici bileşeni (tracer) yöntemi” kullanılarak malzemenin ekstrüderde kalma süresi deneysel olarak belirlenecektir. Bu yöntemde polimer malzeme, izleyici ile ekstrüdere beslenerek her 10 saniyede bir ekstrüder çıkışında numune alınıp, bu numunelerdeki izleyici sayısı, $C(t)$, belirlenecektir. $E(t)$ fonksiyonu olarak ifade edilen kalma zamanı dağılımı (residence time distribution, RTD); $E(t) = C(t) / \int C(t) dt$ denklemi kullanılarak; farklı miktardaki lubrikant katkısının farklı proses (farklı ekstrüzyon çalışma sıcaklıkları ve vida hızları) koşullarındaki etkileşimi olarak hesaplanarak not edilecektir. Böylece; homojen bir karışımın hangi lubrikant miktarlarında ve proses koşullarında gerçekleştirilebileceği bulunacaktır.

1.2. KONUYLA İLGİLİ YAPILAN ÇALIŞMALAR

Günlük hayatımızda kullandığımız eşyaların birçoğu plastik malzemelerden üretilmektedir. İstatistiklere baktığımızda; Dünya’da plastik üretimi 1950’den 2014 yılına kadar 20 kat artışla 311 milyon tona ulaşmıştır ve her yıl hızla artmaktadır (Şekil 1.1). Plastik üretiminin %95’lik kısmını termoplastik malzeme üretimi oluşturmaktadır. Termoplastiklerin içerisinde ticari amaçla kullanılan polietilen (PE), polipropilen (PP), polivinil klorür (PVC) %67 üzerinde bir paya sahiptir ve etilen vinil asetat kopolimeri (EVA) üretimi ise yaklaşık %13 olarak gerçekleşmiştir. Termoplastikler, paketleme endüstrisinden otomobil parçalarına, boru üretiminden film kaplamaya, enerji pillerinden ayakkabı üretimine kadar birçok alanda kullanılmaktadır [1].



Şekil 1.1: Yıllara göre dünyada plastik üretimi (1950-2014).

Ekstrüzyon yöntemi ilk olarak 1909’da ilk sentetik kauçuğun üretilmesiyle başlayıp 1930’lu yıllarda PE, PVC, PS malzemelerin ticarileşmesiyle plastik üretiminde kullanılmıştır. Teknolojik gelişmenin plastik sektörüne de yansmasıyla 1950’lilerde tek vidalı ekstruderlerin, 1960’larda ise çift vidalı ekstruder cihazlarının üretilmesiyle plastik işleme yönteminde yeni bir dönem başlamıştır. Ekstrüzyon yönteminin düşük maliyetli olması, güvenli çalışma şartları ve malzeme işlemeyi kolaylaştırması gibi avantajlarından dolayı gıda, ilaç ve plastik endüstrisinde her geçen yıl kullanımı hızla artmaktadır [2, 3].

Ekstrüzyon yönteminde kalma zamanı dağılımı en önemli karakteristik parametrelerden biridir. Malzemenin ekstrüderde geçirdiği süre; verimi, iş gücünü, kullanılan enerji miktarını, ürün kalitesini ve ürün maliyetini etkilemektedir. Ekstrüzyon yönteminin anahtar parametrelerinden biri olması sebebiyle malzemenin ekstrüderde kalma zamanının dağılımını inceleyen birçok araştırmalar yapılmıştır.

Chen and Pan, tek vidalı ve çift vidalı ekstrüderde atış (pulse input) izleyici yöntemini kullanarak vida sayısı ve farklı ölü hacim uzunluklarının kalma zamanı dağılımı (RTD) üzerinde etkisi olduğunu göstermişlerdir [4].

Ilo and Berghofer, gıda endüstrisinde kullanılan ekstrüzyonla pişirme yönteminde malzeme bileşik yüzdesi, besleme hızı, kovan sıcaklığı ve vida dönme hızının kalma zamanı dağılımı (RTD) üzerine etkisini incelenmişler, vida dönme hızı ve besleme hızının ekstrüderde kalma zamanını azaltırken ürünün pişmesini negatif yönde etkilediğini tespit etmiş ve pişirmeyi olumlu yönde etkileyen parametrelerin malzeme bileşimi ve kovan sıcaklığı olduğunu gözlemlemişlerdir [5].

An-I ve Yih Mon, farklı geometrik yapıda vidalar kullanarak vidaların malzeme iletme kabiliyetlerini tek vidalı ekstrüderde kalma zamanı dağılımı olarak incelemişler, hem yüksek malzeme aktarım kapasitesini hem de aksel karışımın vida hızı arttıkça kalma zamanını azalttığını tespit etmişlerdir [6, 7].

Titus ve arkadaşları, Afrika ekmek ağacı karışımlarını farklı nem oranlarında ve vida hızlarında çalışarak, tek vidalı ekstrüderde kalma zamanı dağılımını boya izleyici (congo red) yöntemi kullanarak gözlemlemiş; nem oranı ve vida hızı azaldıkça ortalama kalma zamanının arttığını tespit etmişlerdir [8].

Chao and Jiang, düşük yoğunluklu polietilenin ekstrüderde kalma zamanı dağılımını tek vidalı perçinli ekstrüder (Buss Kneader çeşidi)'de incelemişlerdir [9].

Clémence ve arkadaşları, ilaç üretiminde kullanılmakta olan Eudragit, E100, polimerin tek vidalı ekstrüderde kalma zamanı dağılımını farklı proses şartlarında incelemişler; vida dönme hızı ve sıcaklık artışının kalma zamanını azalttığını tespit etmişlerdir [10].

Waje and arkadaşları, tek vidalı ekstrüderde kuru malzeme taşınımının; besleme hızı ve vida dönme hızının akış davranışına etkisini incelemişlerdir. Vida dönme hızı arttıkça

Minimum kalma zamanında azalma sağlarken aksel karışımın arttırdığı ve karıştırmalı akışlı reaktöre benzediğini; besleme hızının artmasıyla da piston akışlı davranış gösterdiğini ve aksel karışımın azaldığını tespit etmişlerdir [11].



2. GENEL KISIMLAR

2.1. TERMOPLASTİK MALZEMELER

Termoplastik, ısıtıldığında eriyip şekil verilebilen, soğutulduğunda tekrar sertleşebilen ve tekrar işlenebilen polimerler için kullanılan bir kavramdır [12].

Termoplastikler lineer ya da dallanmış molekül zincir yapısına sahiptirler (Şekil 2.1) ve zinciri oluşturan moleküller bir birlerine kovalent bağlarla bağlıdır. Fakat moleküller arası fiziksel bağ (çapraz bağ) mevcut değildir ve moleküller arasında ısınma ile zayıflayan elektrostatik bağ vardır. Bu bağ kuvveti zincirlerin birbirine göre hareketini engellerken elektrostatik bağın ısı ile zayıflaması sonucu malzeme sıvı davranışa geçer ve bir kalıpta kolayca istenilen şekil elde edilebilir. Sıvı haldeki termoplastik, soğutma ile moleküller arası bağ kuvveti büyür ve malzeme sertleşerek şekillendirilmiş olur [13, 14].

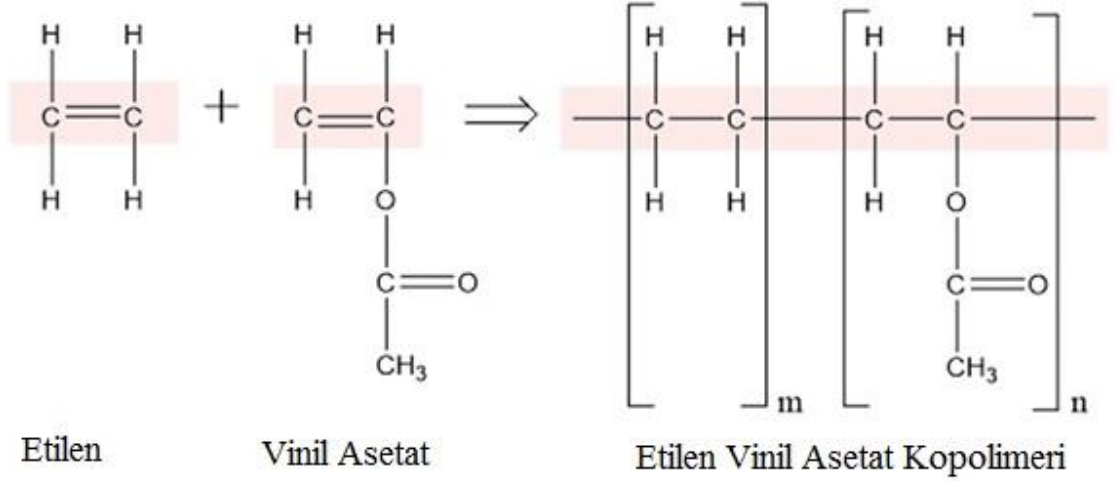


Şekil 2.1: Termoplastik molekül zincir yapısı.

Polietilen (PE), polivinil klorür (PVC), polietilen tereftalat (PET), polipropilen (PP), polistiren (PS) termoplastik özelliği gösteren ve ticari polimerlere örnek verilebilir.[12]

2.1.1. Etilen Vinil Asetat (EVA)

Etilen vinil asetat (EVA), etilen ve vinil asetat monomerlerinin rastgele kopolimerizasyonu sonucu oluşan ve polietilen vinil asetat (PEVA) olarak bilinen termoplastik malzemelerdendir. Kimyasal formülü $(C_2H_4)_n(C_4H_6O_2)_m$ şeklindedir [15, 16].



Şekil 2.2: Etilen vinil asetat kopolimeri (EVA) molekül yapısı.

Etilen vinil asetat kopolimerinin (EVA) kristallenme özelliği polietilen'e göre daha az ve içerisindeki vinil asetatın amorf yapısından dolayı yoğunluğu ($0,922-0,943 \text{ g/cm}^3$) yüksektir [17].

EVA; esnek, berrak, yumuşak, düşük sıcaklıkta katılaştıran, üstün ozon direncine sahip, çatlama gerilimine, UV ışınımına, hava koşullarına dayanıklı ve üstün mekanik özellikli bir yapıya sahiptir [15, 18].

Vinil asetat içeriği ağırlıkça %2-50 olan EVA'lar kullanımda yaygındır. Ağırlıkça (wt%) vinil asetat oranının, molekül ağırlığının ve moleküler dallanma yapısının farklılık göstermesi EVA'nın erime sıcaklığı, camsı geçiş sıcaklığı, solventlerde çözünme direnci ve yapışma özelliği gibi birçok karakteristik özelliğini etkiler [18].

VA oranının artmasıyla EVA kopolimerinin kristallenme özelliği kaybolur ve %50 VA içerdiğinde tamamen amorf özellik gösterir. VA polar bir yapıya sahip olduğundan EVA'nın polaritesini artırır ve birçok plastik ve reçinelerle uyumluluğu artar. Ayrıca spesifik adhezyon (yapışkanlığı artar) kuvvetindeki artışa sebep olmasıyla da EVA'nın endüstriyel kullanım alanı genişlemektedir [18, 19].

%4 oranından düşük VA içerikli EVA, düşük yoğunluklu polietilene benzer özellik gösterir fakat daha yumuşak, daha esnek ve daha parlaktır. Toksik olmayan malzeme olarak değerlendirilir [17]. %7,50-12,0 VA içerikli EVA'nın esnekliği daha da fazladır ve darbe dayanımı yüksektir. Bu özelliklerinden dolayı yüksek performanslı film

kaplamada tercih edilirler [20]. %20-40 oranında VA içeren EVA'nın vinil asetat oranının artmasıyla kristallenmesi düşerken, esnekliği ve şeffaflığı daha da artar. Genellikle ekstrüzyon ve kalıplama uygulamalarında kullanılır [20]. %40 oranından fazla VA içeren EVA ise etilen vinil asetat kauçuğu olarak adlandırılır [17].



Şekil 2.3: Etilen vinil asetat (EVA) granülleri.

Kullanım alanları;

- Biyomühendislik alanında; ilaç taşıma sisteminde kullanılır [21].
- İşlenebilir olması ve esnek olmasından dolayı paketleme endüstrisinde, ayakkabı tabanı, boru ve tüp yapımında kullanılır [22].
- Paketleme endüstrisinin oluşan ihtiyaçları sebebiyle yapılan araştırmalarda EVA'nın PVC ile oluşturulan karışımları, düşük geçirgenlik, su ve gaz seçimliliğiyle bio ürünlerin paketlenmesinde iyi bir performans göstermektedir [23].
- EVA, organik olarak modifiye edilmiş kil ile karıştırıldığında deformasyon süresi uzamaktadır. Maliyetinin düşük olması, esnek olması, hem de kolay işlenebilirliği ile ince film elde etmede ve yüzey kaplamada kullanılır [24]. Alevlenebilir özelliğin iyileştirilmesi ile de tel ve kablo kaplama da kullanımını arttırmıştır [25, 26].
- Düşük maliyeti, yüksek ışık geçirgenliği, iyi ısı iletme özelliğine sahip olması ve uzun süre kullanılabilirliğinden dolayı fotovoltaik modülde güneş pillerinin kapsüllenmesinde kullanılır [27].

- Metal, deri, polimer, tahta, kâğıt yüzeylerde sıcak eriyik yapıştırıcı olarak kullanılır [28].



Şekil 2.4: Etilen vinil asetat (EVA) kullanım alanları.

2.2. TERMOPLASTİK MALZEMELERİ İŞLEME YÖNTEMLERİ

Termoplastikler;

- Granül ya da toz
- Kompozit ve
- Yarı mamul (levha, boru, çubuk vb.)

halinde bulunabilir. Termoplastikler ısı ile işlem uygulanarak eriyik hale getirilip işlenirler [29].

İşleme yöntemleri;

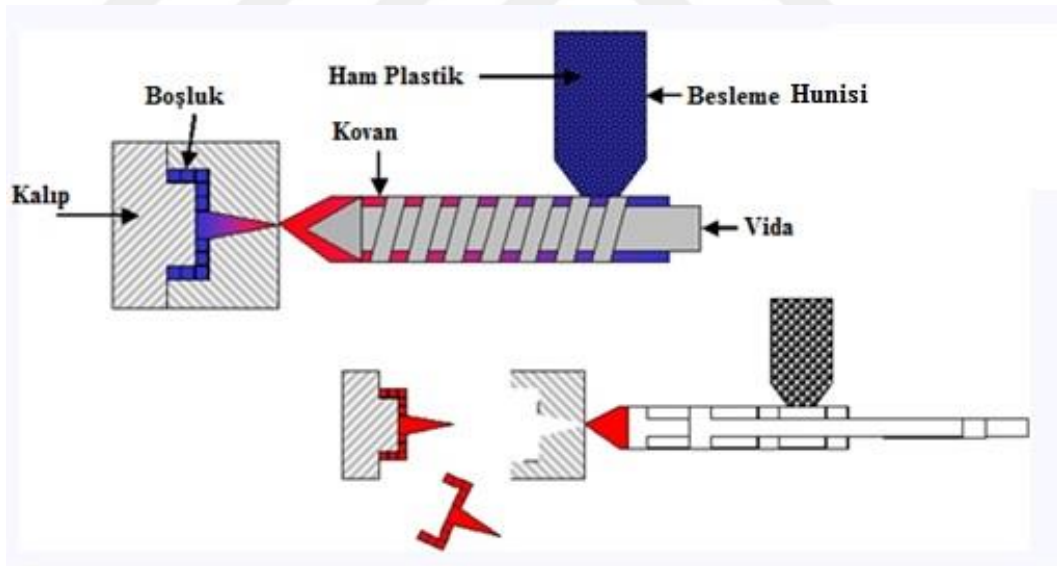
1. Kalıplama (Molding)
2. Ekstrüzyon (Extrusion)
3. Şişerek kalıplama (Blow molding)
4. Isıl şekillendirme (Thermoforming)
5. Dönerek kalıplama (Rotational molding) [30]

2.2.1. Kalıplama (Molding)

Kalıplama, esnek malzemelerin şekillendirilmesinde kullanılır ve plastik endüstrisinde önemli bir yere sahiptir. En yaygın olarak kullanılan kalıplama yöntemi ise enjeksiyonla kalıplamadır [30].

Enjeksiyonla kalıplama

Polimer eriyik hale geldikten sonra, akışkan polimer basınç altında kapalı bir kalıp içerisine enjekte edilir ve soğutma işlemi gerçekleştirildikten sonra kalıp açılarak polimer malzemeye istenilen şekil verilmiş olur. Termoplastiklerin hepsi enjeksiyonla kalıplama yöntemi ile işlenebilir [12]. Enjeksiyonla kalıplama yönteminin en yaygın kullanıldığı alan otomotiv endüstrisidir. Bir çok otomobil parçaları enjeksiyon yöntemi ile elde edilir [30]. Ayakkabı tabanları, oyuncaklar, plastik tabak, çatal ve bıçak gibi ürünler bu yöntem ile elde edilen ürünlere örnek verilebilir [12].



Şekil 2.5: Enjeksiyon şekillendirme yöntemi.

2.2.2. Ekstrüzyon (Extrusion)

Ekstrüzyon, akışkan hale getirilen plastik malzemenin, ekstrüder boyunca taşınarak istenilen şekle sahip kafa (kalıp) kısmında basınç altında ve sürekli akış halinde biçimlendirilmesidir.

Ekstrüder kafasından çıkan malzeme yumuşak haldedir, ürün çekme sistemi ile çekilerek boyutlandırma kısmından geçtikten sonra su dolu havuz veya püskürtme sisteminden geçirilerek katılaştırılması sağlanır ve istenilen ebatlarda kesilir.

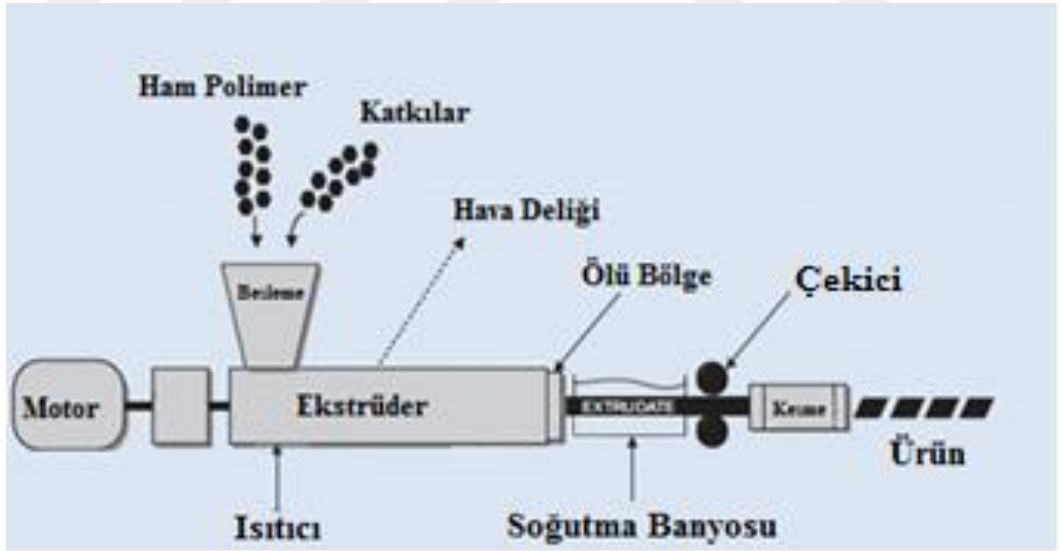
Termoplastikler, ekstrüzyon tekniği ile şekillendirmeye en uygun malzemedir. Termoplastiklerin hepsine ekstrüzyon yöntemi uygulanabilir. Bu yöntem ile işlenen en önemli ticari termoplastiklere polietilen (PE), polistiren (PS), polivinil klorür (PVC) ve polietilen vinil asetat (EVA) örnek verilebilir [12, 31].

Ekstrüder makinesi tek vidalı ve çift vidalı olmak üzere iki çeşittir.

Ekstrüderler;

- Profil, levha, boru, çubuk ürün
- Kablo kaplama ve
- Tek adımda hem karıştırma hem de ekstrüzyon

işlemlerinde kullanılırlar [29].



Şekil 2.6: Ekstrüzyon şekillendirme yöntemi.

2.2.3. Şişirerek Kalıplama

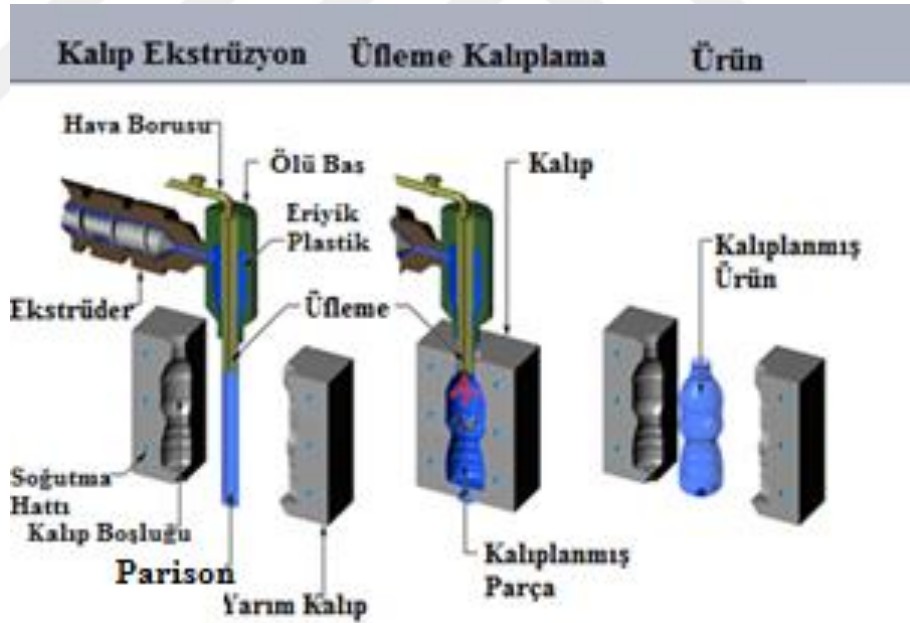
İçi boş kapların (bidon, şişe) ve parçaların üretiminde kullanılan polimer işleme yöntemidir.

Ekstrüzyonla şişirme yöntemi ve enjeksiyonla şişirme yöntemi olarak ikiye ayrılır. Küçük şişelerin ve karmaşık ürünlerin elde edilmesinde *enjeksiyon şişirme yöntemi*, büyük şişelerin elde edilmesi için ise *ekstrüzyon şişirme yöntemi* kullanılır.

Ekstrüzyonla şişirme yönteminde kullanılan en önemli termoplastikler polietilen (PE), polipropilen (PP) ve polivinilklorür (PVC)'dür. Enjeksiyonla şişirme yönteminde ise plastik şişe ürünlerini elde etmek için polietilen tereftalat (PET) kullanılır [32].

Ekstrüzyonla şişirme

Şişirme prosesinde en çok kullanılan yöntemdir. Bu yöntemde; termoplastik malzeme ekstrüzyon işleminden sonra ekstrüderin kafasından akışkan ve yumuşak hortum halinde çıkar. Elde edilen yarı erimiş tüpe 'parison' denir. Parison kalıp içerisine alınır ve şişirme pimlerinden hava üflenerek parisonun hava basıncıyla şişmesi sağlanır. Şişmenin etkisiyle soğutma suyu ile soğutulmuş kalıp yüzeyine değen akışkan plastik, sertleşir ve istenilen son şekli almış olur [32, 33].

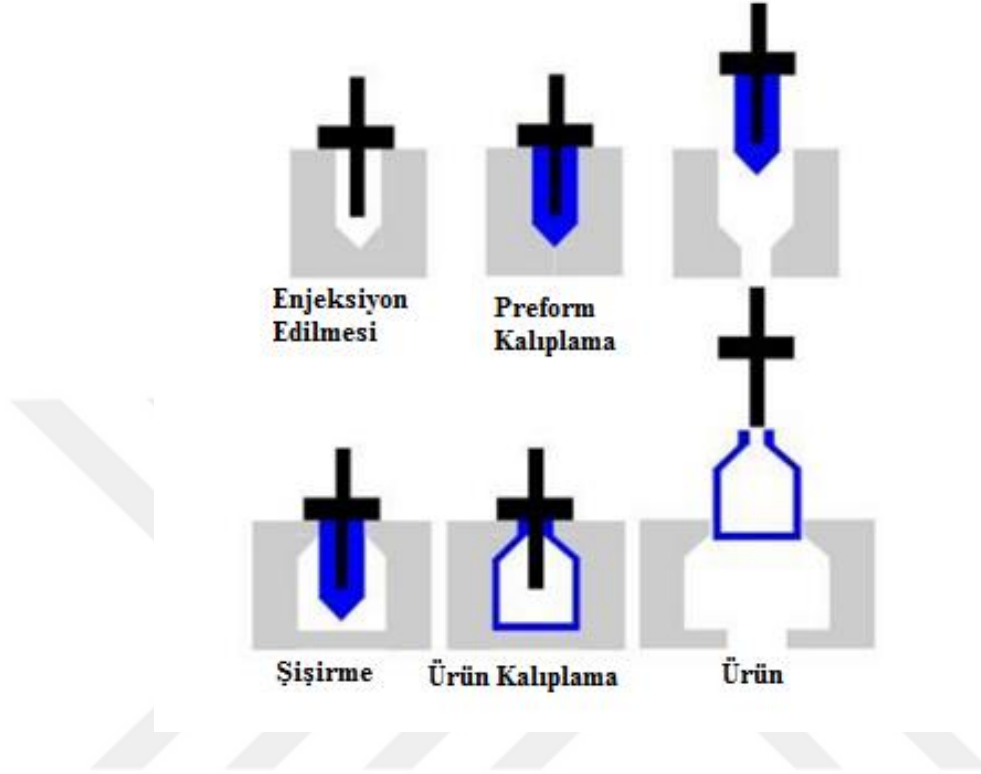


Şekil 2.7: Şişirerek şekillendirme yöntemi.

Enjeksiyonla şişirme

Termoplastik malzeme enjeksiyon yöntemi ile kalıba basılır. Oluşan yarı mamule 'preform' denilir. Daha sonra preform ısıtılarak şişirme çubuğu yardımıyla kalıba alınır

ve basınçlı hava ile şişirilir. Soğutma işleminden sonra istenilen ürün elde edilmiş olur [32, 34].



Şekil 2.8: Enjeksiyonla şişirme yöntemi.

2.2.4. Isıl Şekillendirme (Thermoforming)

Isıl işlemle şekillendirme yöntemi film veya ince levha halindeki termoplastiklere uygulanan bir yöntemdir. *Vakumla şekillendirme, hava yardımı ile şekillendirme* ve *mekanik şekillendirme* olarak üçe ayrılır [30].

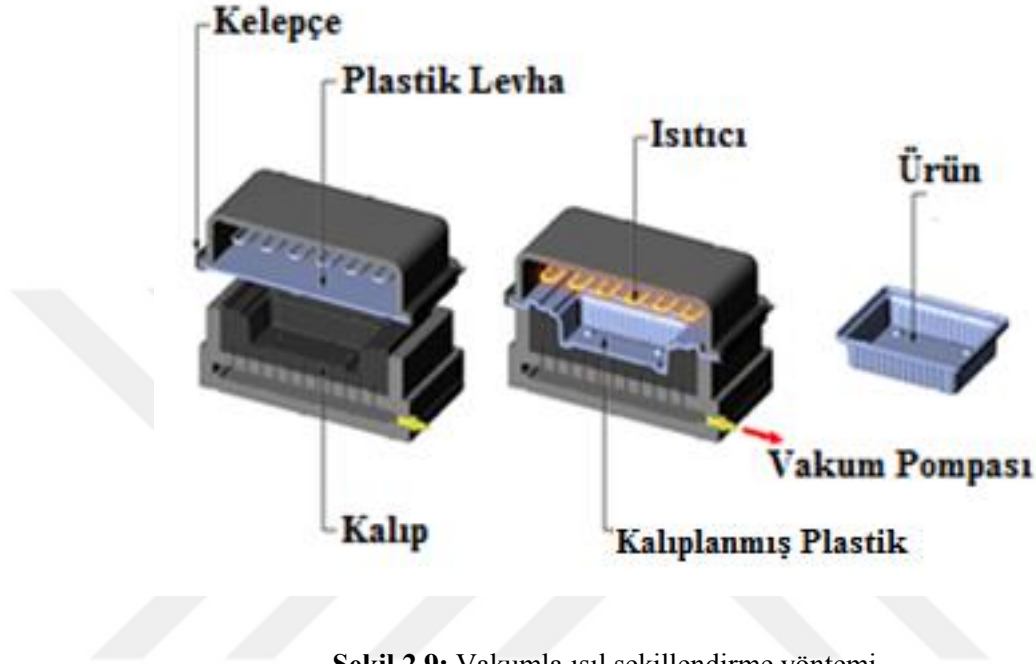
Polipropilen (PP), polistiren (PS), polivinilklorür (PVC), polietilen (HDPE, LDPE), polimetilmetakrilat (PMMA) ve akrilonitril bütadien stiren (ABS) ısıl şekillendirme yöntemi kullanılarak ürün elde edilen ürünler termoplastiklere örnek verilebilir [35].

Bu yöntem; yiyecek ambalajı üretiminden oyuncak üretimine, uçak ön camından mutfak eşyalarına kadar birçok ürünün elde edilmesinde kullanılır [36].

Vakumla şekillendirme

Film veya ince levha halindeki polimer ilk olarak ısı ile yumuşatılır. Yumuşamış haldeki termoplastik levha vakum sağlamak için küçük hava kanallarına sahip, ürünün

istenilen son şekline uygun bir kalıp üzerine yerleştirilir. Hava kanalları aracılığıyla yumuşamış levha, kalıbın alt kısmından vakumlanır ve kalıp yüzeyine oturması sağlanır. Kalıp, soğutma suyu ile soğutulduğundan dolayı malzemenin temas etmesiyle yumuşak haldeki malzeme sertleşir ve istenilen şekil verilmiş olur [36].



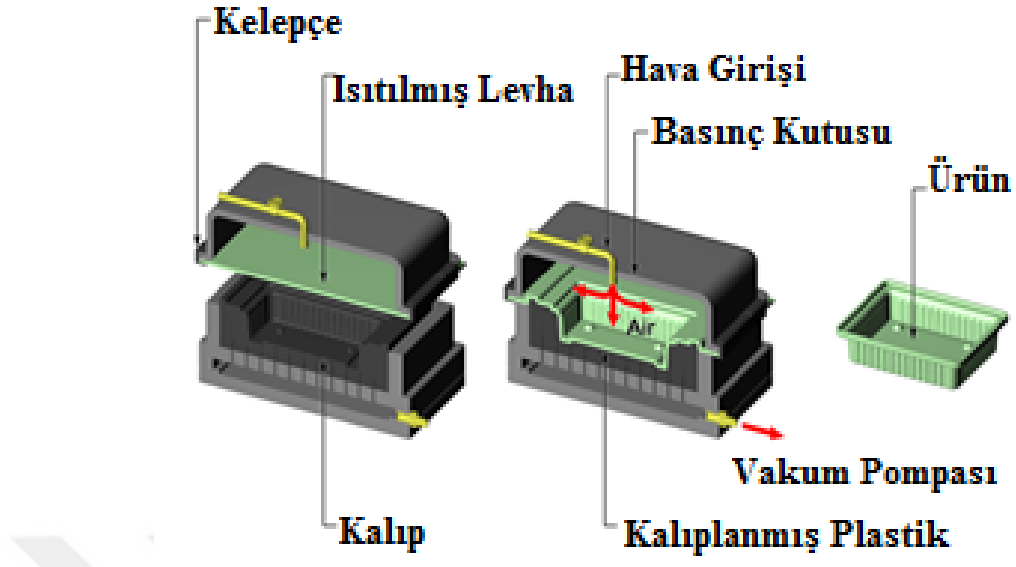
Şekil 2.9: Vakumla ısıll şekillendirme yöntemi.

Polietilen (PE), polimetilmetakrilat (PMMA), polistiren (PS), poliesterler, nitril polimerleri vakumla şekillendirme yönteminde kullanılabilen termoplastiklere örnek verilebilir.

Bu yöntemin kullanıldığı en önemli alanlardan bir tanesi içerisindekini gösteren şeffaf hem de hafif ambalaj üretimidir [12].

Hava yardımı ile şekillendirme

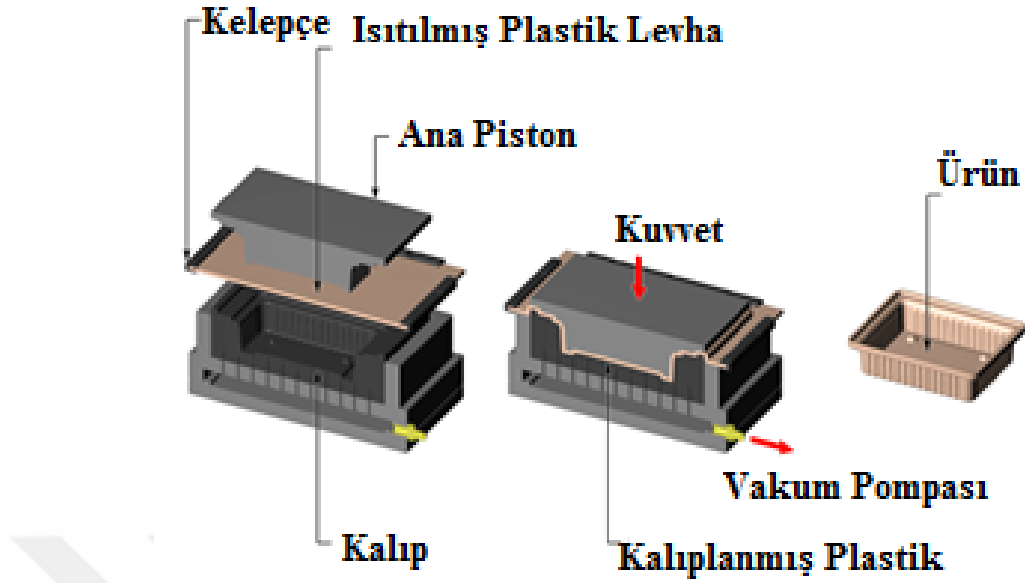
Kalınlığı daha fazla olan film veya levha halindeki termoplastiklerin şekillendirilmesi için malzemeye daha fazla kuvvet uygulanması gerekir. Önceden ısıtılmış, yumuşak plastik levha vakumla alttaki kalıbın içerisine doğru çekilirken aynı anda üst kalıptan hava üflenerek çift taraflı olarak levha üzerindeki basınç arttırılmış olur. Her iki taraftan uygulanan bu kuvvet ile termoplastiğin kalıbın şeklini yani ürünün son şeklini alması sağlanır [30, 36].



Şekil 2.10: Hava yardımı ile ısıl şekillendirme yöntemi.

Mekanik şekillendirme

Sert termoplastiklerin şekillendirilmesinde ve karmaşık şekilli ürün oluşturmak için kullanılan yaygın yöntemlerden biridir. Isıtılmış levha, birbiri içerisine geçen (maça kalıp) kalıpların arasına yerleştirilir. Levha üzerine piston yardımı ile kuvvet uygulanırken aynı anda basıncı arttırmak ve levhanın alt kalıba boşluk kalmayacak şekilde oturması için alt kalıptan vakum uygulanır. Levhanın soğuyup sertleşmesi ile ürün elde edilmiş olur [36, 37].



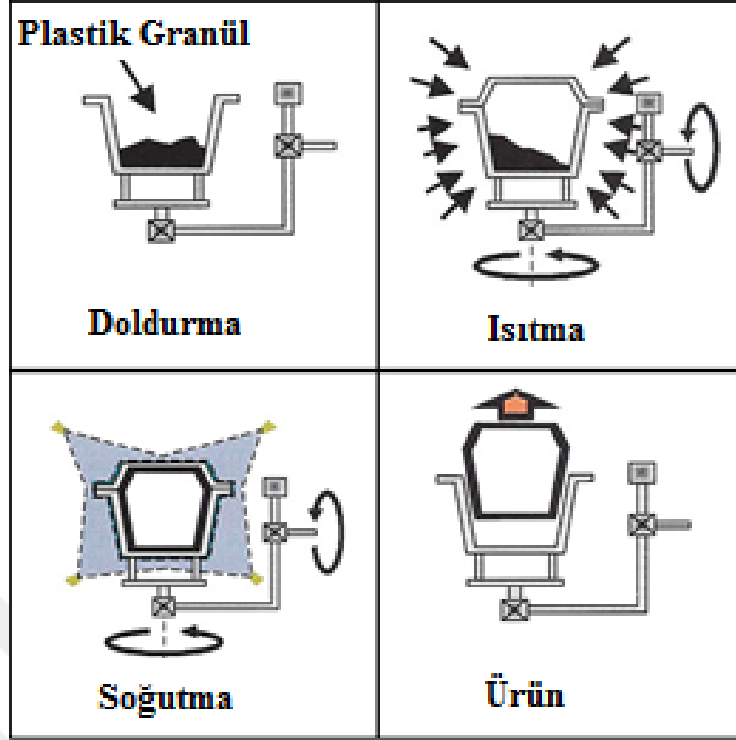
Şekil 2.11: Mekanik ısıl şekillendirme yöntemi.

2.2.5. Dönerek Kalıplama (Rotational Molding)

Ek izi bulunmayan içi boş büyük ve karmaşık geometrili parçalar elde etmek için kullanılan yöntemlerden biridir. Sıvı depolama tankları, çeşitli şekillere sahip konteynırlar, bot, kano, oyuncak ve mobilya parçaları dönerek kalıplama yöntemi kullanılarak elde edilen ürünlere örnek verilebilir [38].

Çalışma prensibi; iki adet içi çukur kalıp vardır. Kalıplar üst üste kapandığında ürünün şekli oluşur. Polimer ve katkı maddelerinden oluşan süspansiyon ya da toz karışım alt kalıbın içerisine konur ve üzerine üst kalıp parçası konularak üzeri kapatıldıktan sonra fırına yerleştirilir. Kalıbı fırına yerleştirdiğimiz sistem birbirine dik açı ile iki yönde dönebilir özellikte olup ısı ile eritilmiş polimer malzemenin homojen olarak kalıbın tüm yüzeyini kaplaması sağlanır. Daha sonra kalıbın soğutulma işlemi gerçekleştirilir ve sertleşen malzeme kalıp içerisinden alınır [12].

Polietilen (PE, LLDPE, HDPE), polipropilen (PP), polietilen vinil asetat (EVA), polivinilklorür (PVC) ve poliakrilonitril bütadien stiren (ABS) dönerek kalıplama yöntemi kullanılarak şekil verilen termoplastiklerdendir [39].



Şekil 2.12: Dönerek şekillendirme yöntemi.

2.3. TERMOPLASTİK MALZEMELERİN İŞLENMESİNDE KULLANILAN KATKILAR

Polimerler, plastik olarak endüstriyel alanda kullanıma uygun değildir. Özelliklerin iyileştirilmesi ve maliyetin düşürülmesi gibi özellikler kazandırılarak kullanıma uygun hale gelmesini sağlamak amacıyla katkı maddeleri ilave edilir [40].

Kullanılan katkı maddelerinin sınıflandırılması;

- Antioksidantlar
- Isı stabilizatörleri
- Alevlenmeyi geciktiriciler
- Renklendiriciler
- Antistatik maddeler
- Dolgu maddeleri
- Plastikleştiriciler
- Proses iyileştiriciler
- Diğer katkıları [40, 41]

Proses iyileştiriciler kapsamında ele alınan lübrikantlar, bir sonraki bölümde ayrıca anlatılacaktır.

Antioksidantlar

Termoplastik zincir molekülleri, atmosferde bulunan oksijen ile reaksiyona girerek termoplastiğin kimyasal yapısında değişimlere sebep olur. Malzeme de kırılma, çatlama ve sararma gibi bozunumlar gözlenir. Termoplastiğe katılan antioksidantlar sayesinde kimyasal bozunma önlenmiş olur. Polimerin yapısına ve işlevine göre çeşitli antioksidantlar mevcuttur [40].

Birincil antioksidantlar; sekonder aminler ve fenollerdir. Son ürünlerin kullanımları esnasında oksidatif bozunmadan korumak amacıyla katılırlar.

İkincil antioksidantlar; organik fosfat ve organik sülfür bileşikleridir. Termoplastiklerin ekstrüzyon, enjeksiyon gibi işleme yöntemleri sırasında oksidatif bozunmasını önlemek amacıyla katılırlar [42].

Isı stabilizatörleri

Termoplastiklerin işlenmesi ve kullanımları esnasındaki çevresel koşulların etkisiyle oluşan ısı enerjisinin ısıl bozunum oluşturmasını engellemek için kullanılırlar [43]. Kireç, pudra, alümina, Al, Mg, Ba gibi metallerin stearatları ısıl stabilizatörlere örnektir [42].

Alevlenmeyi geciktiriciler

Polimerler yanabilen malzemelerdir ve günlük hayatımızda kullandığımız eşyaların birçoğu polimer malzemedir yapılmıştır. Halı, sandalye, elektronik eşyalar ve elektrik kabloları örnek verilebilir. Polimerler yandıklarında zehirli gazlar açığa çıkar. Hem yangının yayılmasını engellemek hem de zehirli gaz çıkışını önlemek için alev geciktiricilerden faydalanılır. Alevlenmeyi geciktirici kimyasallar; halojenli, fosforlu veya yapısında su bulunan inorganik maddeler, atimon trioksitler ve bor bileşikleridir [42, 43].

Renklendiriciler

Termoplastikler, içerisine pigment ya da boya katılarak renklendirilir. Boyalar plastik içerisinde çözünebilir organik bileşiklerdir. Pigmentler ise plastik içerisinde çözünmeyen organik veya inorganik bileşiklerdir [43]. Diğer katkı maddeleri gibi polimerin özelliklerini etkilerler. Ayrıca çevresel şartlarda kullanımı sırasında toksik özellik göstermeyen pigmentlerin kullanılması gerekir [40].

Titanyum dioksit polimere beyaz renk vermede, karbon siyahı siyah renk vermede sık kullanılan pigmentlerdir ve polimeri sertleştirirler [42].

Antistatik maddeler

Antistatik maddeler plastik üzerinde biriken statik yükün dağıtılmasını sağlamak amacıyla kullanılır. Statik yükü yüklenme plastik toz taneciklerinin toplanmasına, paketlenme ve depolamada filmlerin veya liflerin birbirine yapışmasına veya dokuma, örgü halindeki malzemeye dokunulması ile elektriksel şok yaşanmasına sebep olur [42].

İyonik ve iyonik olmayan antistatik maddeler mevcuttur. İyonik antistatik maddelere; kuaterner amonyum, fosfonyum ya da sülfonyum tuzu katyonik, sülfanat, fosfonat ve karboksilli asitlerin sodyum tuzları anyonik örnektir. İyonik olmayan antistatikler ise yağ asidi gliserol esteri ve etoksilenmiş tersiyer aminlerdir [44].

Dolgu maddeleri

Termoplastik malzemenin maliyeti azaltmak amacıyla katılan maddelerdir. Dolgu maddeleri *aktif dolgu maddesi* ve *inert dolgu maddesi* olarak ikiye ayrılır.

Aktif dolgu maddeleri maliyeti düşürmenin yanında polimerin sertlik, mekanik dayanım, kimyasal direnç, ısı dayanımı, fiziksel görünüş gibi özelliklerini de iyileştirir. Karbon siyahı, metal oksitler, silika ve seramik oksitler başlıca aktif dolgu maddeleridir.[42]

İnert dolgu maddeleri ise sadece maliyeti düşürmek amacıyla kullanılır. Bu bağlamda kalsiyum karbonat en önemli dolgu maddelerindendir [43].

Plastikleştiriciler

Termoplastik işleme karışımlarına eklenen ve malzemenin fiziksel ve mekanik yapısını değiştiren maddelerdir. Şekillendirme sırasında malzemenin işlenebilirliğini ve akışını kolaylaştırırlar, kırılganlığı azaltır ve esnekliği arttırırlar. Plastik malzeme ile uyumlu ve karışabilir olması gerekir [45].

Proses iyileştirici katkılar

Yüksek molekül ağırlıklı polimerlerin işlenmesini kolaylaştırmak amacıyla kullanılan *lübrikant* ya da *kaydırıcı* olarak nitelendirilen kimyasal maddelerdir. Lübrikantların amacı; plastiğin viskozitesini düşürmek ya da işlem sırasında sürtünmeyi azaltmak ve metal yüzeye yapışmasını önlemektir. Metal sabunlar, hidrokarbon vakslar, polietilen, amin vakslar, yağ asitleri, yağ alkolleri ve esterleri lübrikantlara örnek olarak verilebilir [44].

Diğer katkılar

Özel amaçlı katkı maddeleridir; antimikrobiyal, florans beyazlatıcı ajanlar ve PVC katkıları bunlara örnektir [44].

2.3.1. Lübrikantlar ve Önemi

Lübrikant katkı maddeleri plastik endüstrisinde önemli bir yer tutmaktadır.

Lübrikantların temel özellikleri;

- Plastik işleme yöntemlerini kolaylaştırır
- Plastik yüzeyini kaplayarak su geçirmez tabaka oluşturur
- Fazla ısınmayı önleyici ısı stabilizatörü görevi görür

Lübrikant (kaydırıcı) *iç kaydırıcılar* ve *dış kaydırıcılar* olarak iki kısma ayrılır [46].

İç kaydırıcılar; plastik malzemenin molekülleri arasına nüfus ederek moleküller arası sürtünmeyi azaltır ve akışkanlığını arttırırlar. Örneğin; teflon poliamid, poliasetal' ler

plastiklere eklendiğinde viskozitelerinde azalma gözlenir [47]. Metalik sabunlar, poliglikoller ve sentetik vakslar iç kaydırıcılardandır.

Dış kaydırıcılar; plastik malzeme ile bağdaşmaz ve metal yüzeye yapışmazlar. Plastiğin dış yüzeyine göç ederek plastik yüzeyi ile vida yüzeyi ve kovan yüzeyi arasındaki sürtünmeyi azaltırlar [46]. Yağ esterleri, yağ alkoller ve yağ asitleri örnek verilebilir.

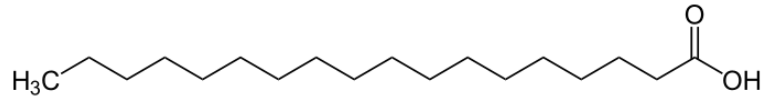
Hem iç kaydırıcı özelliği hem de dış kaydırıcı özelliği gösteren lübrikantlar da mevcuttur. Tez çalışmamızda dış kaydırıcı ve iç kaydırıcı olarak *stearik asit* yağ asidi kullanılmıştır [45].

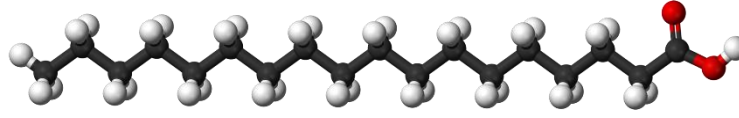
İşlem süresince, iç kaydırıcılar malzeme çıkış akışını iyileştirirken, dış kaydırıcılar malzemenin yol aldığı metal (ekstrüder) yüzeyine yapışmasını engelleyerek sonsuz vida boyunca hareketini kolaylaştırır ve ayrıca kalıp yüzeyinden kolayca ayrılmasını sağlar. Fakat, bu aşamaların herhangi bir kısmında oluşabilecek en ufak bir yapışma; malzeme akış hızını, verimini, ürün hatalarını ya da ekstüredere arızalarını beraberinde getirir. Ayrıca dış kaydırıcılar plastik malzemenin fiziksel özelliklerinin değişmesine de sebep olabilir. Bu gibi problemlerin oluşmaması için lübrikant seçimi çok önemlidir [46, 47].

2.3.1.1. *Stearik Asit ve Önemi*

Stearik asit, doymuş bir yağ asididir. Hayvani yağların hidrolizi ile soya yağı veya diğer bitki yağlarının hidrojenasyonu ile elde edilir.

Kimyasal formülü $C_{17}H_{35}CO_2H$ 'dir. Kimyasal yapısı Şekil 2.13'deki gibidir. Stearik asit beyaz kristaller şeklindedir, Yoğunluğu $0,9408 \text{ gr/cm}^3$ ($20 \text{ }^\circ\text{C}$), molekül ağırlığı $284,48 \text{ gr/mol}$, erime noktası $69,4 - 72 \text{ }^\circ\text{C}$, çözünürlüğü $0,34 \text{ gr/L}$ (suda $25 \text{ }^\circ\text{C}$)'dir [48].





Şekil 2.13: Stearik asit molekül yapısı.

Kullanım alanları;

- Stearik asit esterleri yüzey aktif maddesi ve yumuşatıcı ajanı olarak deterjan, sabun ve kozmetik alanında kullanılmaktadır.
- Asidik pil üretiminde negatif elektrot kısmında kullanılmaktadır [49].
- Tablet ilaç formulasyonunda ilaç dağılımını ve vücutta bulunma zamanını iyileştirmek için kullanılmaktadır [50].
- Hint yağı karışımı ile dokuma kumaş boyutlamada yumuşatıcı hazırlamada kullanılmaktadır.
- Stearik asit prina tozu ile karıştırılarak ısı enerjisi depolamada kullanılmaktadır [51].
- Çevreci plastik olarak bilinen soya protein plastik (SPI)'in termal ve reolojik özelliklerini iyileştirmek amacıyla kullanılmaktadır [52].
- HDPE, LDPE, LLDPE/zeolit karışımlarının üzeri stearik asit ile kaplandığında termal, morfolojik ve reolojik özelliklerini iyileştirmektedir. Elde edilen özellikler bu plastiklerin işlenmesini de kolaylaştırmaktadır [53].
- LLDPE/termoplastik nişasta karışımlarında stearik asit uyumlaştırıcı olarak, karışımın hem morfolojik hem de ekstrüzyonda işlenebilirlik özelliklerini iyileştirmek amacıyla kullanılmaktadır.

Stearik asit ve tuzlarının en önemli kullanım amacı lübrikant özelliği göstermesidir. İç ve/veya dış kaydırıcı özelliğe sahip olmaları da ekstrüzyon işlemlerinde kullanımını arttırmaktadır [54].

- Zirkonya seramiklerin enjeksiyonla kalıplanmasında lübrikant olarak kullanılmaktadır [55].

- Özellikle çinko, kadmiyum, kalsiyum stearatlar ile birlikte PVC yumuşatmada ve PVC film üretiminde lübrیکant olarak kullanılmaktadır [54].
- Polietilen (PE) geri dönüşümü ile odun plastik kompoziti (WPC)'ni ekstrüzyon yöntemi ile üretmek için lübrیکant olarak çinko stearat ile birlikte kullanılmaktadır [56].

2.4. TEK VIDALI PLASTİK İŞLEME EKSTRÜDERLERİ

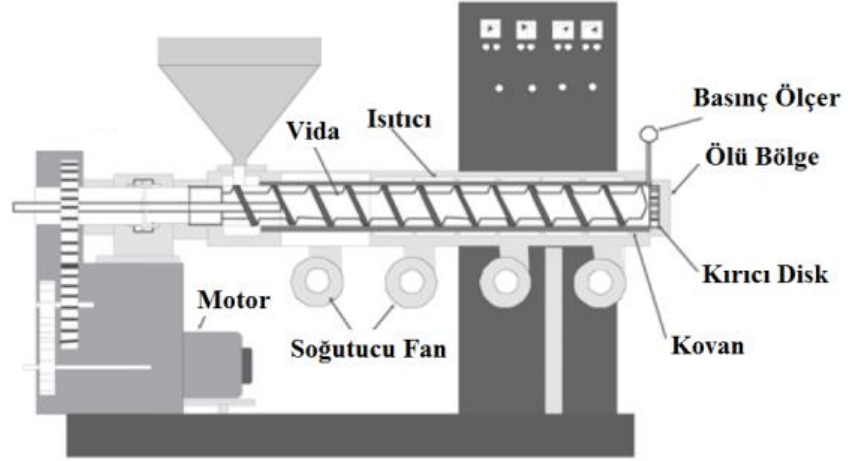
Tek vidalı ekstrüderler düşük maliyet, daha basit tasarım, yüksek performans ve emniyetli çalışma avantajlarından dolayı polimer endüstrisinde yaygın olarak kullanılan en önemli ekstrüder tiplerindedir.

Tek vidalı ekstrüderde, ısıtıcı ceketle sarılmış kovanın içerisinde sonsuz bir vida bulunur. Vidanın dönmesi, vidanın redüktörlü motora bağlanması ile sağlanır. İşlenecek malzemeyi ekstrüdere beslemek için kovanın ilk kısmında hammadde besleme boğazı ve besleme hunisi mevcuttur. Besleme hunisine malzeme, tanecik ya da toz halinde konulur. Ham polimer yer çekimi etkisi ile besleme boğazına serbestçe düşer ve vidanın dönmesi sonucu oluşan sürtünme kuvvetlerinin etkisiyle vida boyunca ilerler. Polimer, vida boyunca ilerlerken katı halden eriyik hale geçer ve ekstrüder kafasından akışkan halde çıkar [57, 58].

2.4.1. Çalışma Sistemi

Tek vidalı ekstrüderler 5 önemli kısımdan oluşur.

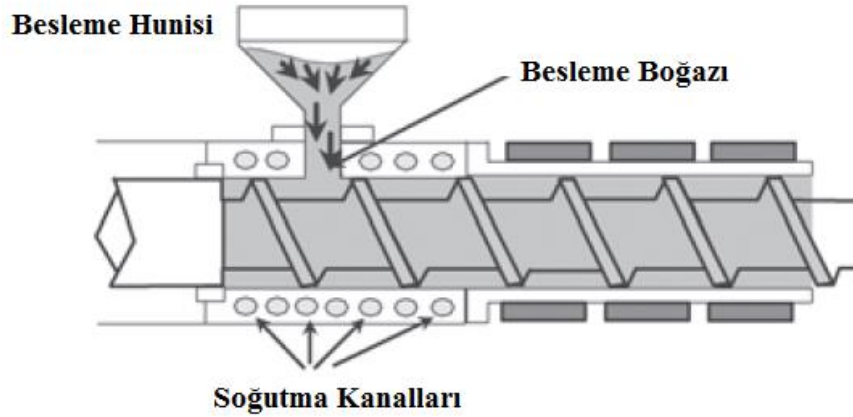
- Sürücü sistemi
- Besleme sistemi
- Vida, kovan ve ısıtma sistemi
- Baş ve ölü kısım
- Kontrol sistemi



Şekil 2.14: Tek vidalı ekstrüder sistemi.

Sürücü sistemi; motor, şanzıman ve dişli çark kısmından oluşur. Polimer malzemenin ekstrüderde işlenmesi için gerekli uygun tork değerinde, vidanın sabit hızda dönmesini sağlayan kısımdır.

Besleme sistemi; besleme hunisi, besleme boğazı ve vida besleme bölümünden oluşur.

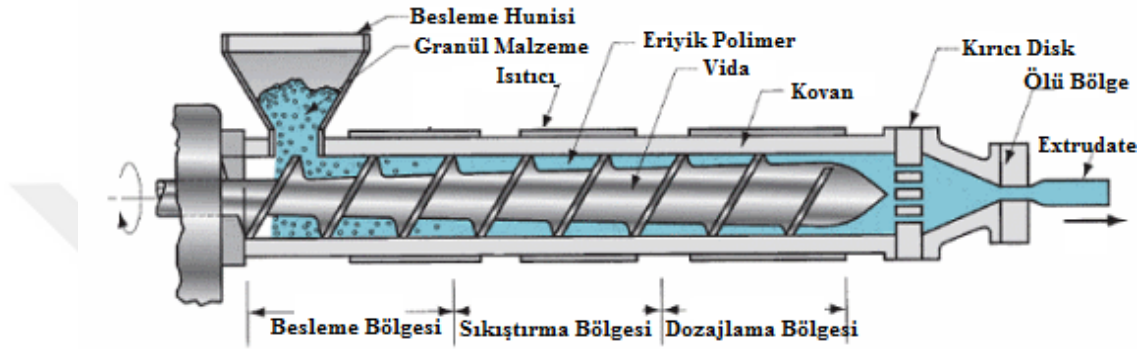


Şekil 2.15: Ekstrüder besleme bölgesi.

Ekstrüderde malzeme beslenmesindeki temel prensip, polimerin ekstrüder boyunca ilerlemesi sonucu besleme bölgesinde malzeme eksilir ve polimer, besleme hunisinden yerçekimi etkisiyle besleme boğazından geçerek vida besleme bölgesine düşer. Besleme boğazı doğrudan ekstrüder kovanına bağlıdır ve bu bölgede soğutma sistemi mevcuttur. Soğutma sistemi; malzemenin bu bölgede yumuşamasına, yapışmasına ve vaktinden

önce erimesine engel olur. Genellikle su ile soğutma yapılır. Böylece polimer ile kovan arasındaki sürtünme değeri artırılmış olur ve polimer malzemenin kovan içinde ilerlemesi sağlanır.

Vida, kovan ve ısıtma sistemi; katı reçinenin ekstrüder boyunca ilerlemesi, erimesi, karıştırılması ve dozajlama kısımlarından sorumludur.



Şekil 2.16: Ekstrüder çalışma sistemi.

Vida, malzemeyi vida boyunca ileriye taşıma, malzemenin ısınma ve ergimesine katkı sağlama, ergiyik malzemenin homojen bir şekilde karışmasını ve ekstrüder kafasına iletilmesini sağlar.

Plastik ekstrüderlerinde kullanılan vida, geometrik olarak 3 bölgeye ayrılır (Şekil 2.16). Bu bölgelerin sınırları; işlenen malzemelerin özelliğine, makine tasarımına ve proses şartlarına bağlı olarak değişiklik gösterebilir.

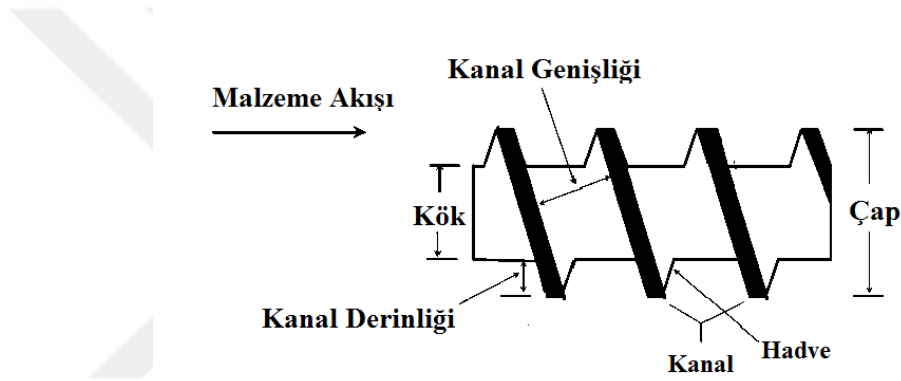
Besleme bölgesi; besleme boğazından düşen polimer malzemenin vida boyunca ilerleyebilmesi için vida bu bölgede en derin hatve kısmına sahiptir ve polimer malzeme katı tanecikler halinde bu bölgeden geçerek ilerler.

Sıkıştırma bölgesi; derinliği gittikçe azalan hatve kanalları ile malzeme üzerinde basınç uygulanır ve malzeme, besleme kısmından dozajlama kısmına doğru ilerletilir. Bu bölgede polimer katı halden ergiyik hale geçmeye başlar.

Dozajlama bölgesi; ekstrüderin son bölümüdür ve en sık hatve kısmıdır. Malzeme bu bölgede tamamen ergiyik haldedir. Ergiyik malzeme ekstrüder çıkışına doğru pompalanır ve çıkış kısmına, istenilen ürün şeklini vermek için çeşitli kalıplar ve prosesler uygulanabilir.

Kovan Şekil 2.16’da görülmektedir. Kovan ve ısıtıcılar, polimerik malzemenin ekstrüder çalışma sıcaklığına getirilmesine ve ergiyik hale geçmesine yardımcı olur. Kovan, karbon çeliğinden ya da diğer malzemelerden yapılabilir. Isıtıcılar, kovan yüzeyini tamamen saracak şekilde kovan boyunca yerleştirilir ve mika, seramik ya da döküm malzemedan yapılabilirler. Sıcaklığı kontrol etmek için her bölgeye termokupl ile su veya hava soğutma sistemi yerleştirilebilir.

Ekstrüderler genellikle vida ya da kovan çap (D) ve uzunluğu (L) oranına göre tasarlanırlar (L/D mm) (Şekil 2.17). Bazı tipik ekstrüderlerin L/D oranları şu şekildedir; 18:1, 20:1, 24:1, 30:1, 36:1, 41:1 [58, 59].



Şekil 2.17: Ekstrüder vida yapısı.

Kanal derinliği: Hatve’ nin üst noktasından köküne olan uzaklığı

Kanal: İki hatve arası uzaklık

Vida çapı: Vida mili boyunca en uzak hatve’ nin mesafesi

L/D: Vida uzunluğunun çapa oranı

Sıkıştırma oranı: Besleme kanal derinliğinin dozajlama kanal derinliğine oranı

Polimer malzeme proseslerinde sıkıştırma oranı çalışılan malzemenin viskoelastik özelliğine göre farklılık gösterir. Bazı polimerler 2,5:1 sıkıştırma oranına sahip vidalar ile yüksek verim alınırken diğer malzemeler ile 3,5:1, 4:1 sıkıştırma oranlarına sahip vidalarda yüksek verim alınır.

Baş ve ölü kısım (hacim); ekstrüde edilmiş malzemenin taşınması ve istenilen şeklin verilmesi için uygun hale getirildiği kısımdır. Baş kısmında ekstrüde edilmiş ergiyik

haldeki polimerin içerisindeki kirlilikleri gidermek için gözenekli yapıya sahip kırıcı disk üzerinde ayrıca filtre (screen pack) bulunur.

Kontrol sistemi; ekstrüder cihazının istenilen proses şartlarında çalışmasını sağlar. Besleme akımını, vida dönme hızını ve çekme hızını kontrol eder [58].

2.5. EKSTRÜDERDE KALMA ZAMANI DAĞILIMI (RESIDENCE TIME DISTRIBUTION) HESAPLAMALARI

Genel olarak reaktörler ideal akış gösterdiği düşünülerek ideal reaktör olarak kabul edilirler. Fakat birçok çalışmada reaktörler ideal akıştan sapmalar gösterir. Bunun sebebi reaktörde kanalcıkların oluşması ve durağan bölgelerin meydana gelmesindedir.

Bu tez çalışmasında kullanılan reaktör tipi ekstrüderdir. Ekstrüderdeki akışın ideallikten sapmasını karakterize edebilmek için akışkanın giriş ve çıkış akımları incelenir. Her bir akışkan molekülünün ekstrüderde izlediği yol ve geçirdiği süre farklıdır ve oluşan bu süre dağılımı *akışkanın ekstrüderde kalma süresi dağılımı* olarak tanımlanır. Farklı akışkanların ekstrüderde kalma süreleri farklılık gösterir. İdeal olmayan akış biçimlerini analiz edebilmek için farklı akışkanların ekstrüderde kalma süresi dağılımlarının tespit edilmiş olması gerekir [60, 61].

2.5.1. Kalma Zamanı Dağılımı Ölçüm Yöntemleri

Ekstrüderde kalma süresi dağılımının tespit edilebilmesi için *etki-tepki* teknikleri kullanılır. Bu metotta ekstrüder içerisinde akışkana $t=0$ sn anında belirli bir konsantrasyonda inert madde izleyici (tracer) olarak eklenerek çıkış konsantrasyon değeri zamanın bir fonksiyonu olarak incelenir.

Seçilecek izleyici (tracer), malzeme ile reaksiyona girmemeli, seçilebilir olmalı, karışım ile benzer fiziksel özelliklere sahip olmamalıdır. Ayrıca ekstrüder yüzeyine ve duvarlarına tutunmamalıdır. En yaygın kullanılan izleyiciler (tracerlar) renkli ve radyoaktif malzeme içeren inert malzemeler olmuştur.

İzleyiciyi (tracer) ekstrüdere atış (pulse input), basamak (set input), periyodik (periodic input) ve rastgele (random input) yöntemleri kullanılarak enjekte edilir. Bu tez

çalışmasında izleyici (tracer) ekstrüdere *atış (pulse input) yöntemi* kullanılarak ilave edilmektedir [60, 61].

Atış (Pulse Input) Yöntemi

Atış (Pulse Input) yönteminde N_0 miktarında (gr ya da mol) izleyici (tracer), ekstrüder besleme akımına mümkün olan en kısa sürede ve tek atışta ilave edilir. Çıkış akımı konsantrasyonu C (gr/m^3) zamanın bir fonksiyonu olarak ölçülür (Şekil 2.18). Kalma zamanı dağılımı analizinde çıkış konsantrasyonu - zaman eğrisi C eğrisi olarak ifade edilir. Atış (pulse input) yönteminde izleyici konsantrasyonu $C(t)$ tek giriş akımında ilave edilmeli ve zamanı belirli miktarlarda arttırarak (Δt) tek çıkış akımında gözlenmelidir. t ve $t+\Delta t$ zaman aralığında ekstrüder çıkışında gözlemlenen izleyici (tracer) miktarı ΔN ;

$$\Delta N = C(t)v \Delta t \quad (2.1)$$

elde edilir. Burada v , volumetrik akış hızıdır (m^3/sn). Diğer bir deyişle ΔN ; t ve $t + \Delta t$ zaman aralığında ekstrüder içerisinde kalan izleyici (tracer) miktarıdır. Denklem toplam izleyici (tracer) miktarına bölünürse;

$$\frac{\Delta N}{N_0} = \frac{vC(t)}{N_0} \Delta t \quad (2.2)$$

elde edilir. Bu denklem, ekstrüder içerisinde t ve $t + \Delta t$ zaman aralığı süresince kalma zamanına sahip malzemenin fraksiyonunu ifade eder.

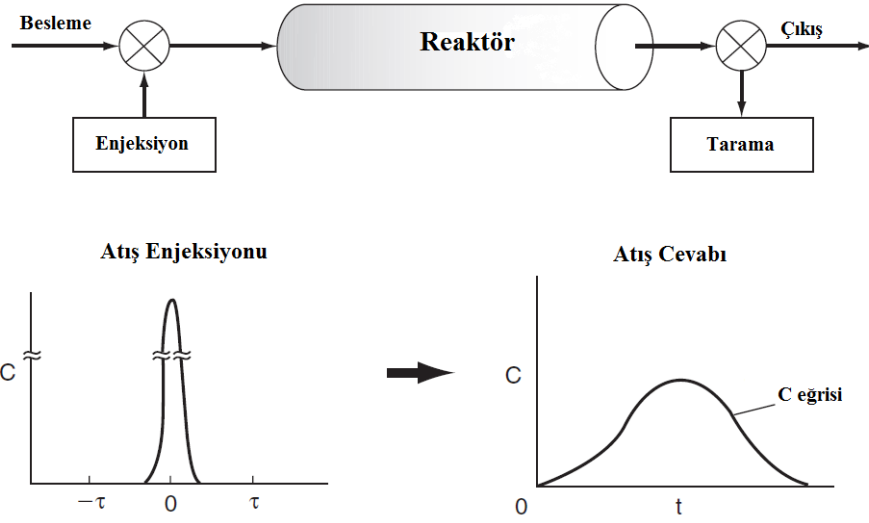
Atış (pulse input) enjeksiyonu yöntemi için tanımlanan;

$$E(t) = \frac{vC(t)}{N_0} \quad (2.3)$$

ve

$$\frac{\Delta N}{N_0} = E(t)\Delta t \quad (2.4)$$

elde edilir. $E(t)$ ifadesi *kalma zamanı dağılımı fonksiyonu* olarak ifade edilir (s^{-1}). $E(t)$ fonksiyonu farklı akış elementlerinin ekstrüderde geçirdiği zamanın sayısal olarak tanımlanmasıdır. $E(t)dt$ ifadesi de t ve $t + \Delta t$ zaman aralığı süresince reaktörde kalan malzemenin reaktör çıkış akımının fraksiyonudur [61].



Şekil 2.18: Atış (pulse input) yöntemi.

N_0 başta bilinmese dahi çıkış akım konsantrasyon toplamından $t=0$ sn ve $t=\infty$ zaman aralığında (ΔN) hesaplanabilir.

Verimin diferansiyel denklemi ise;

$$dN = vC(t)dt \quad (2.5)$$

İntegral uygulanırsa;

$$N_0 = \int_0^{\infty} vC(t)dt \quad (2.6)$$

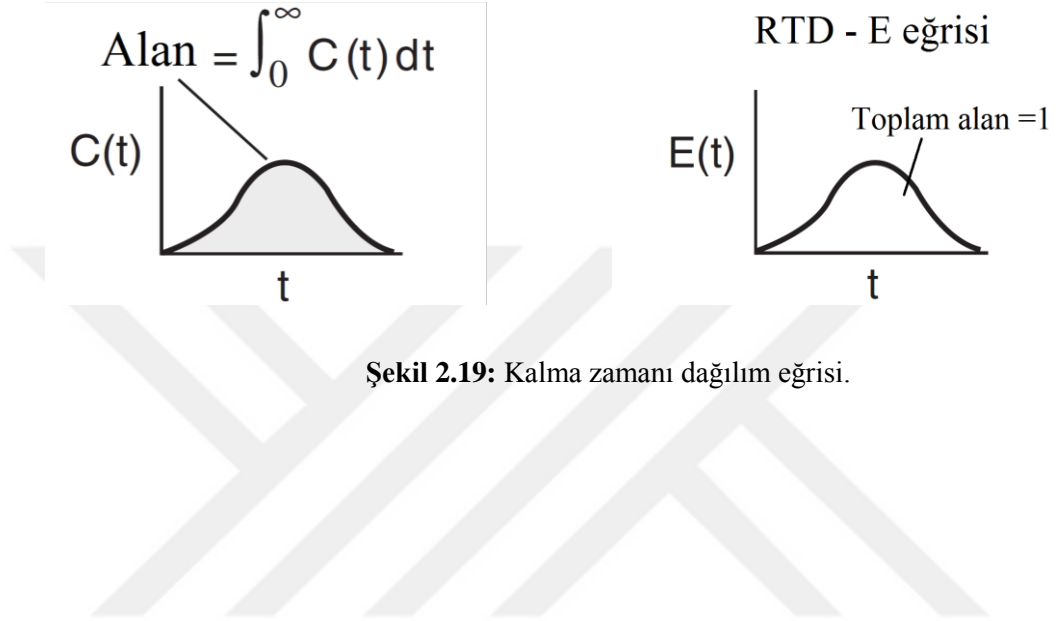
denklemini elde edilir. Volumetrik akış hızı genellikle sabittir ve izleyici konsantrasyonundan kalma zamanı dağılım fonksiyonu $E(t)$;

$$E(t) = \frac{C(t)}{\int_0^{\infty} C(t)dt} \quad (2.7)$$

denklemini ile bulunur. $\int_0^{\infty} C(t)dt$ ifadesi $C(t)$ - t grafiğinde eğrinin altında kalan alanı verir ve buradan elde edilen eğriye de E eğrisi denilir veya kalma zamanı dağılımı eğrisi olarak da ifade edilir (Şekil 2.19) [60, 61].

İzleyici bileşenin (tracer) ekstrüderde geçirdiği ortalama süre ise **ortalama kalma zamanı** (τ) olarak 2.8'deki denklem ile ifade edilir [60, 61].

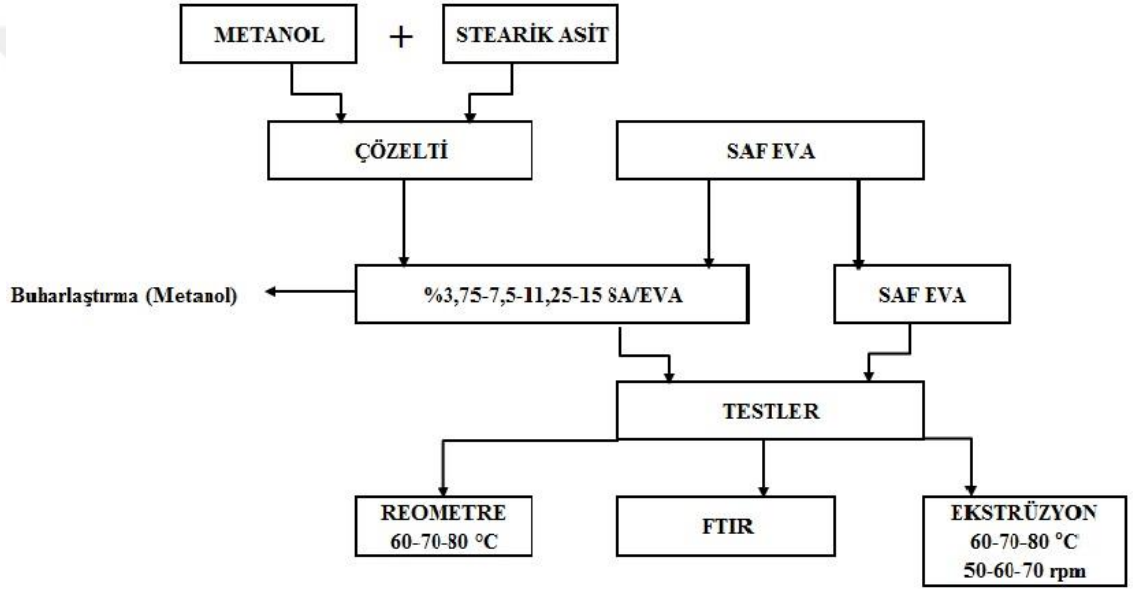
$$\tau = \int_0^{\infty} tE(t)dt \quad (2.8)$$



Şekil 2.19: Kalma zamanı dağılım eğrisi.

3. MALZEME VE YÖNTEM

Bu tez çalışmasında kullanılan malzemeler ve deneysel yöntem Şekil 3.1’de ifade edilmiştir.



Şekil 3.1: Tez çalışmasında izlenen deneysel yöntemler.

3.1. KULLANILAN MALZEMELER

3.1.1. Etilen Vinil Asetat Kopolimeri (EVA)

Bu tez çalışmasında termoplastik polimer malzeme olarak kullanılan etilen vinil asetat kopolimeri; Elvax 40W DuPont (USA) ürünüdür. Elvax 40W'nin kimyasal özellikleri Tablo 3.1’de verilmektedir.

Tablo 3.1: Etilen vinil asetat (Elvax 40W) karakteristik özellikleri.

KARAKTERİSTİK ÖZELLİKLERİ		
Bileşimi	Vinil Asetat Komonomeri	Etilen Komonomeri
%	40	60
Fiziksel	Nominal Değerleri	Test Metodları
Yoğunluğu	0.965 gr/cm ³	ASTM D792 ISO 1183
Erime Akış Hızı (190 °C/2.16kg)	52 gr/10 min	ASTM D1238 ISO 1133
Thermal	Nominal Değerleri	Test Metodları
Erime Noktası (DSC)	47 °C	ASTM D3418 ISO 3146
Donma Noktası (DSC)	27 °C	ASTM D3418 ISO 3146
Maximum Proses Sıcaklığı	230 °C	

3.1.2. Stearik Asit

Lübrikant olarak stearik asit; Hangsun (Malezya) ürünüdür. Stearik aside ait özellikler Tablo 3.2’de verilmektedir.

Tablo 3.2: Stearik asit karakteristik özellikleri.

KARAKTERİSTİK ÖZELLİKLERİ	
Safılık	97%
Kimyasal Adı	Oktadekanoik asit
Fiziksel Hali	Katı
Görünüş	Beyaz kristal
Kütle	284,48 gr.mol ⁻¹
Yoğunluğu 20°C	0.9408 gr·cm ⁻³
Erime Noktası	69,3 °C
Kaynama Noktası	361 °C
Çözünürlüğü	0.34 gr/L (25 °C Su)
	1 gr/L (40 °C Su)
	8,5 gr/100mL (25 °C Metanol)
	95 gr/100mL (40 °C Metanol)

3.1.3. Metil Alkol

Lübrikant olarak kullanılan stearik asit malzemesi için çözücü olarak metanol; Emsure® Merck ürünü kullanılmıştır. Metil alkol'e ait karakteristik özellikler Tablo 3.3'de belirtilmektedir.

Tablo 3.3: Metil alkol (Emsure® Merck) karakteristik özellikleri.

KARAKTERİSTİK ÖZELLİKLERİ	
%	≥99
Fiziksel Hali	Sıvı
Görünüş	Renksiz, Temiz
Kütle	32.04 g.mol ⁻¹
Yoğunluğu 20 °C	0,791-0,793 g.cm ⁻³
Kaynama Noktası	64,5 °C
Buhar Basıncı 20 °C	12,8 kPa

3.1.4. Polistiren

Bu tez çalışmasında izleyici bileşeni (tracer) olarak EastChem (İzmir/Türkiye) menşei polistiren (genişletilmiş polistiren) kullanılmaktadır. Polistiren kimyasal özellikleri Tablo 3.4'de belirtilmektedir.

Tablo 3.4: Polistiren (EastChem) karakteristik özellikleri.

KARAKTERİSTİK ÖZELLİKLERİ	
Tanecik Boyutu	0,9-1,25 mm
Elek Analizi	0,9-1,4 mm (min.%96)
Kütle Yoğunluğu	≈615 kg/m ³

3.2. KULLANILAN CİHAZLAR

3.2.1. Tek Vidalı Ekstrüder

Bu tez çalışmasında kalma zamanı dağılımı (RTD), ortalama kalma zamanı (τ) ve minimum kalma zamanı (t_{\min}) deneysel çalışmaları Şekil 3.2’de gösterilen transparan cam kovandan oluşan tek vidalı ekstrüder düzeneğinde gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.2: Transparan cam kovandan oluşan tek vidalı ekstrüder düzeneği.

Kovan kısmı iç içe geçmiş iki adet camdan oluşup şeffaftır. Çelik vidaya yakın olan cam kovan ile ısıtmayı sağlayacak dıştaki ceket kovan arasında ısıtıcı olarak kullandığımız silikon yağ dolaşmaktadır. Ceket kovan ile iç kovan arasındaki boşluk, teflon ile 4 bölüme ayrılmaktadır. Isıtılmış yağın devir daimi bu bölümlerin giriş-çıkış kısımlarından silikon hortum ile aktarılması sonucu sağlanmaktadır (Şekil 3.3).



Şekil 3.3: Kullanılan tek vidalı ekstrüderin şeffaf cam kovanı.

Bu tez çalışmasında kullanılan vida Şekil 3.4'te gösterilmekte olup motorun dişli kutusuna doğrudan bağlanmaktadır. Vida Mikrosan A.Ş. ürünüdür. Vida çapı 15 mm, L/D oranı 29, besleme bölgesi vida kanal derinliği 2,5 mm ve ergime bölgesi vida kanal derinliği 1,5 mm'dir.



Şekil 3.4: Kullanılan ekstrüder vidası.

3.2.2. Reometre

Farklı oranlarda stearik asit ile kaplanan EVA'nın 50-60-70 rpm vida dönme hızlarında ve 60-70-80 °C sıcaklıklardaki tek vidalı ekstrüder içerisinde göstermiş olduğu malzeme akış davranışını incelemek için reometre cihazı ile kararlı hal viskozite/kayma gerilimi değerleri ölçülmüştür. Kullanılan reometre cihazı; TA Instruments Ltd. Şti.'nin AR-G2 2005 modelidir (Şekil 3.5). Analizler; plate-plate modunda ve plâtelere arasındaki mesafe 1000 µm olarak 60-70-80 °C'de yapılmaktadır. Ölçümler ve veriler 'Rheology Advantage' yazılım programı kullanılarak alınmıştır. Plate çapı 25 mm olup üst plate ETC çelik, alt plate camdan oluşmaktadır. Deneysel çalışmada kullanılan tek vidalı ekstrüderde; dönen vida çelik ve çevresindeki sabit kovanın cam malzemeden olması sebebiyle aynı koşulları reometre cihazında da sağlamak amacıyla dönen üst plate kısmı çelik, alttaki sabit plate kısmında ise cam malzeme kullanılmıştır.



Şekil 3.5: Tez çalışmasında kullanılan AR-G2 Reometre ve çelik-cam plate.

Ekstrüder vida dönme hızlarını (50-60-70 rpm) reometrede kayma hızı γ (shear rate) olarak ifade etmek için aşağıdaki formülden (3.1) yararlanılmıştır [62].

$$\gamma = \frac{\pi DcN}{60H} \quad (3.1)$$

Çalışma şartlarımızdaki değerler; Dc vida çapı 15 mm, N/60 vida dönme hızları sırasıyla 6,67-8,33-10 rev/sn, H ergime bölgesi vida kanal derinliği 1,5mm'dir.

3.2.3. FT-IR (Fourier Transform Infrared Spectroscopy)

Deneysel çalışmada kullanılan FT-IR cihazı; Bruker ATR – 2013 modelidir (Şekil 3.6). %3,75-7,50-11,25-15,00 oranlarında stearik asit ile kaplanmış olduğumuz EVA, saf stearik asit ve saf EVA'nın kızılötesi ışın altında absorbanans değerleri 500 – 4000 cm^{-1} dalga boyu aralığında ölçülmüştür.



Şekil 3.6: FT-IR (Buker ATR-2013).

3.3. YÖNTEM

3.3.1. Etilen Vinil Asetat Kopolimerinin Stearik Asit ile Kaplanması

Etilen vinil asetat kopolimerini (EVA), ağırlıkça %3,75, %7,50, %11,25, %15,00'lik stearik asit oranlarında kaplamak için metil alkol çözücü olarak kullanılmıştır. İlk olarak ağırlıkça %3,75, %7,50, %11,25, %15,00 oranlarında stearik asit ile kaplanmış EVA karışımından 500 gr hazırlamak için; 100 gr metil alkolde 18,75 gr, 37,50 gr, 56,25 gr, 75,00 gr stearik asit 40 °C'de ortalama 10 dk karıştırılarak çözünmesi sağlanmıştır. Daha sonra EVA (481,25-462,50-443,75-425 gr) ilave edilerek manuel olarak 30 dk karıştırılmıştır. Hazırlanan karışımlar çözücünün tamamen uçmasını sağlamak için 24 saat oda koşullarında ve daha sonra 24 saat 35-37 °C etüvde bekletilmiştir.

3.3.2. Tek Vidalı Ekstrüderde Kalma Zamanı Dağılımının Ölçülmesi (Residence Time Distribution)

Saf etilen vinil asetat kopolimeri ve ağırlıkça %3,75, %7,50, %11,25, %15,00 oranlarında stearik asit ile kapladığımız etilen vinil asetat karışımlarının tek vidalı ekstrüderde kalma zamanı dağılımları; etki-tepki tekniklerinden izleyici (tracer) bileşeni, atış enjeksiyonu yöntemi ile üç farklı sıcaklıklarda (60-70-80 °C) ve üç farklı vida dönme hızlarında (50-60-70 rpm) incelenmiştir. Ekstrüder sıcaklığını 60-70-80 °C değerlerinde elde etmek için ısıtma yağı sıcaklığı değerleri sırası ile 85-105-115 °C olarak ayarlanmış ve sıcaklık değerleri IR termometre ile ölçülmüştür.

Ekstürdere malzeme beslenmesi ile kararlı hal oluştuğunda polistiren izleyici (tracer) bileşeni atış (pulse input) enjeksiyonu yöntemine uygun olarak (0,250gr) polistiren

(tracer), taneciklerin hepsi aynı anda boğazdan geçecek şekilde ilave edilmiştir ($t=0$ sn) ve ilk polistiren taneciğinin ekstrüder çıkışında görülmesi ile taneciğin ekstrüder içerisinde geçirdiği süre Minimum kalma zamanı (t_{\min}) olarak belirtilmiştir.

Kalma zamanı dağılımını hesaplamak için ise; ilk polistiren taneciğinin ekstrüder çıkışında gözlemlenmesi sıfır noktası kabul edilerek ($t=0$ sn) ekstrüderdeki polistiren tanecikleri bitene kadar geçen süre boyunca ekstrüder çıkışından her 10 sn'de bir malzeme toplanmıştır. 10 sn'de bir topladığımız her bir numune sıcak pres ile film haline getirilmiş (Şekil 3.7) ve içerisindeki polistiren tanecik adeti dijital mikroskop (easy digital microscope) ile hesaplanmıştır. Numune içerisindeki polistiren tanecik sayısı, $C(t)$ değeri olarak ifade edilmiştir ve her bir malzeme için deneysel çalışma 2 kez tekrarlanıp ortalama $C(t)$ değeri, kalma süresi dağılımı (RTD) formülünde yerine konularak $E(t)$ kalma zamanı fonksiyon değeri hesaplanmıştır. $E(t)$ - t grafiği çizilerek kalma süresi dağılım grafiği elde edilmiştir.

$$RTD = E(t) = \frac{C(t)}{\int_0^{\infty} C(t)dt} \quad (3.1)$$

Elde edilen $E(t)$ değerinden ortalama kalma zamanı değeri 3.2'de belirtilen formül ile hesaplanmıştır.

$$\tau = \int_0^{\infty} tE(t)dt \quad (3.2)$$

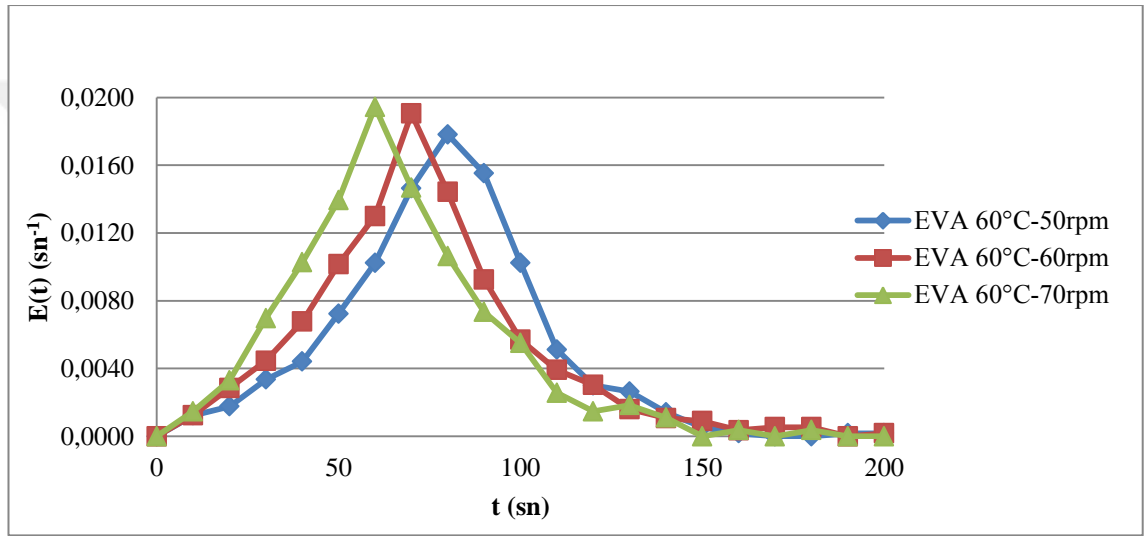


Şekil 3.7: Kalma zamanı dağılımını hesaplamak için sıcak pres ile film haline getirilmiş numuneler.

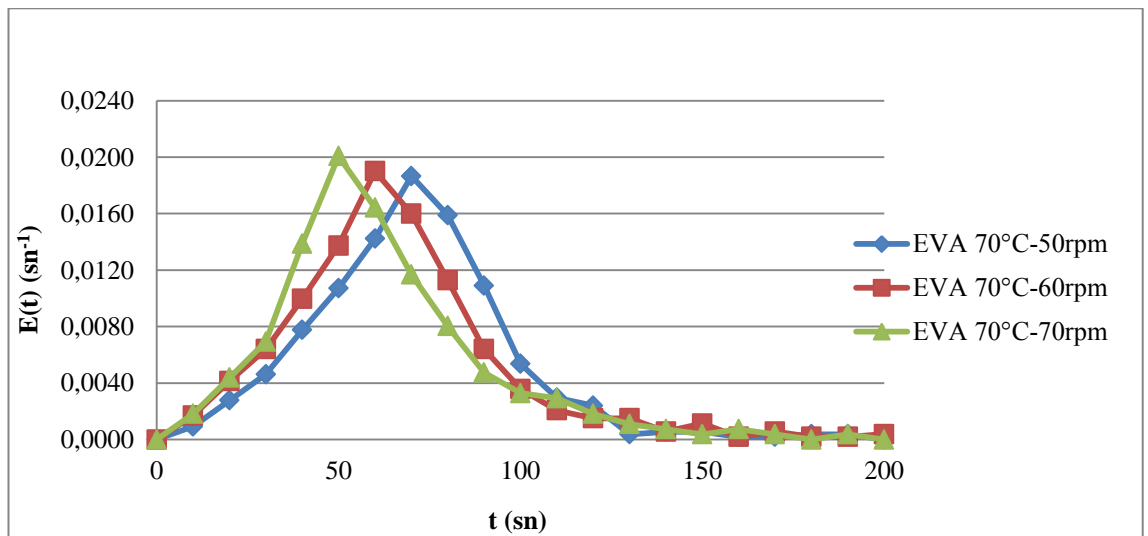
4. BULGULAR

4.1. KALMA ZAMANI DAĞILIMI SONUÇLARI

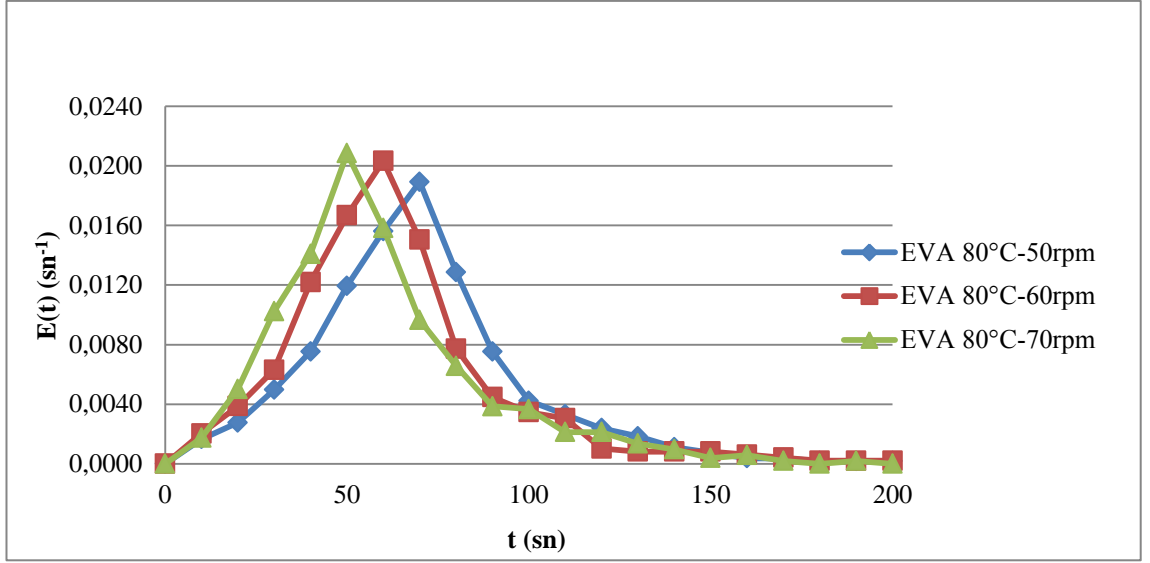
4.1.1. Saf EVA Üzerine Sıcaklık Ve Vida Hızı Etkisinin Kalma Zamanı Dağılım Grafikleri



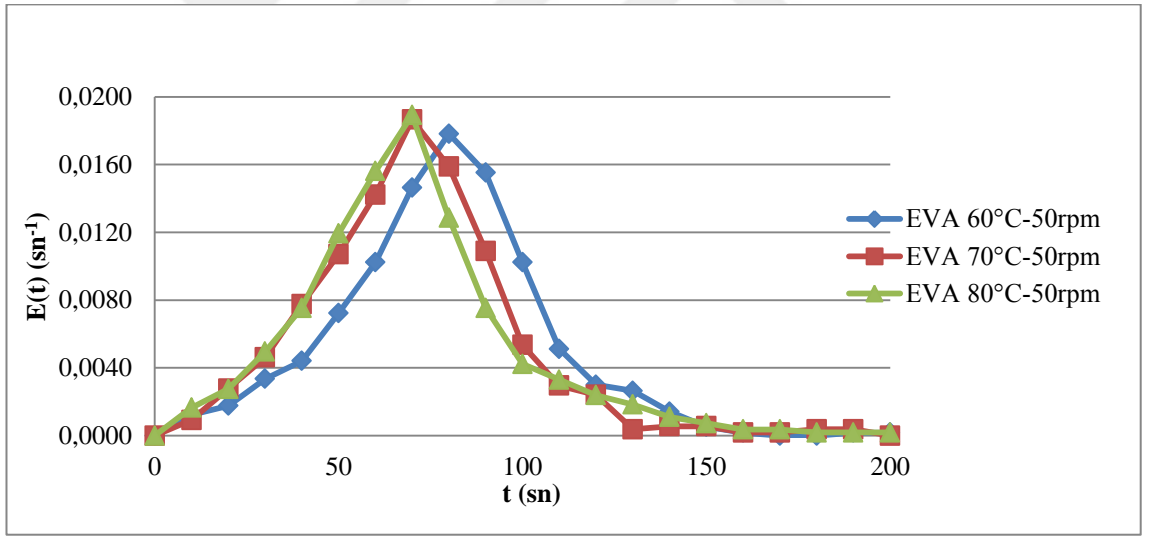
Şekil 4.1: Saf EVA 60 °C’de 50-60-70 rpm çalışma koşullarında kalma zamanı dağılımı.



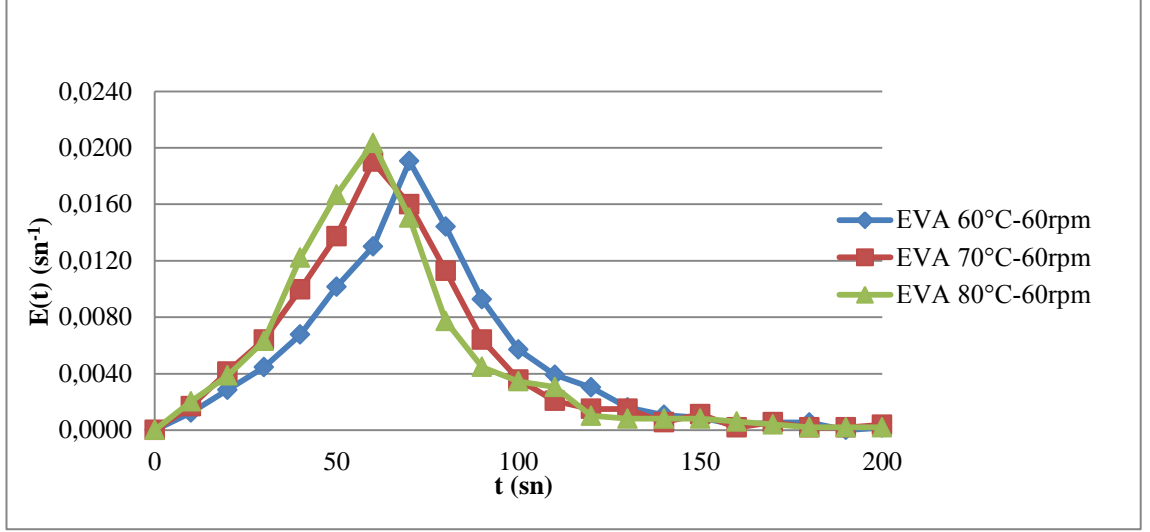
Şekil 4.2: Saf EVA 70 °C’de 50-60-70 rpm çalışma koşullarında kalma zamanı dağılımı.



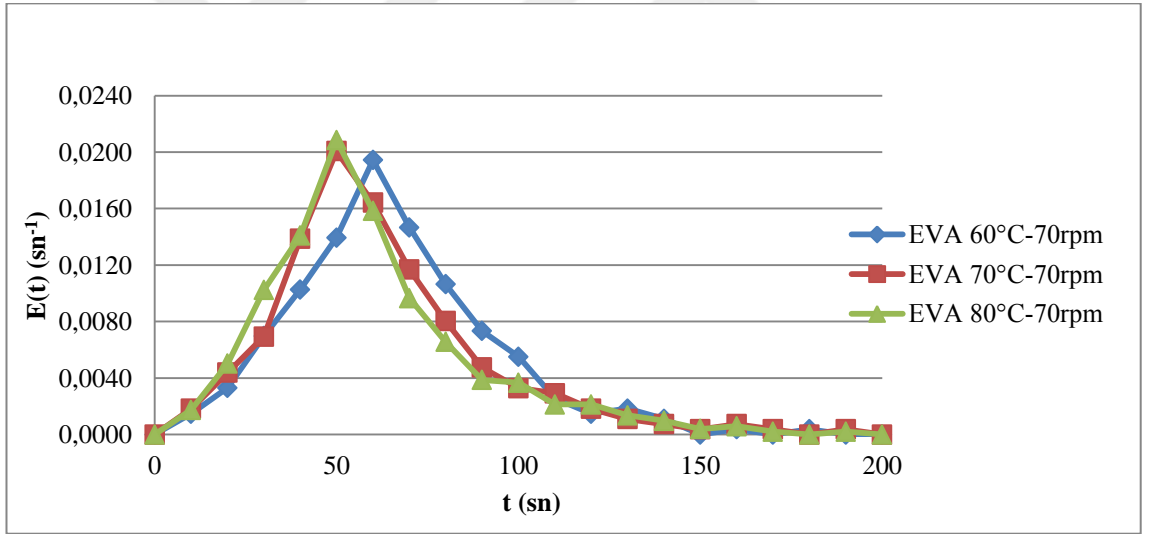
Şekil 4.3: Saf EVA 80 °C'de 50-60-70 rpm çalışma koşullarında kalma zamanı dağılımı.



Şekil 4.4: Saf EVA 50 rpm'de 60-70-80 °C çalışma koşullarında kalma zamanı dağılımı.



Şekil 4.5: Saf EVA 60 rpm'de 60-70-80 °C çalışma koşullarında kalma zamanı dağılımı.

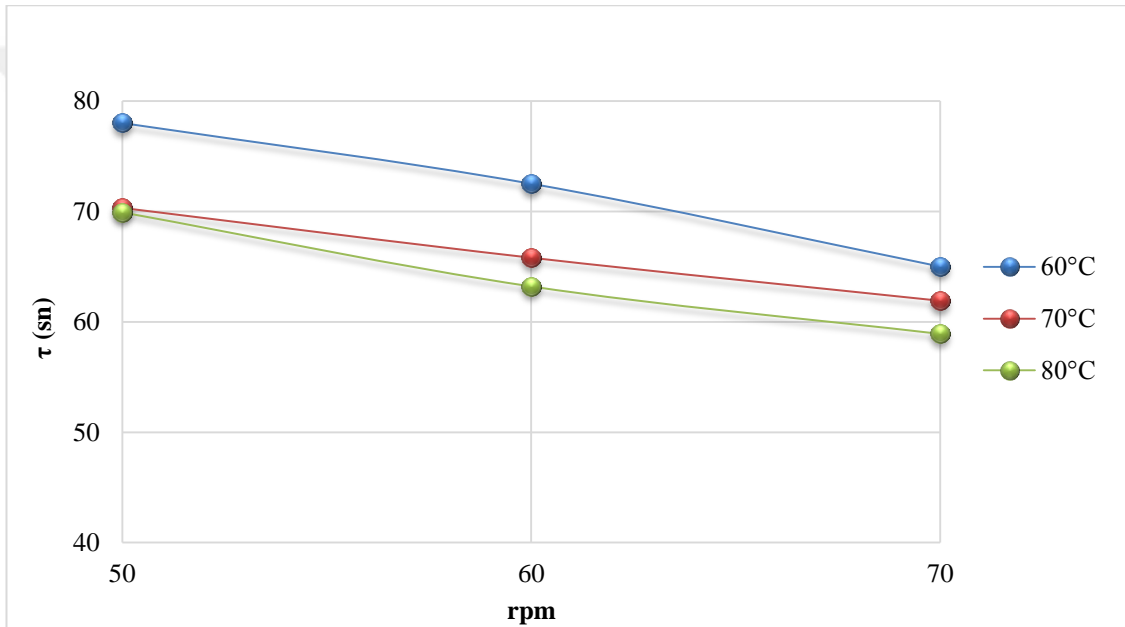


Şekil 4.6: Saf EVA 70 rpm'de 60-70-80 °C çalışma koşullarında kalma zamanı dağılımı.

4.1.1.1. Saf EVA Üzerine Sıcaklık Ve Vida Hızı Etkisinin Ortalama Kalma Zamanı Değerleri

Tablo 4.1: Saf EVA'nın ortalama kalma zamanı değerleri.

Saf EVA			
τ (sn)	60 °C	70 °C	80 °C
50 rpm	78	70,3	69,9
60 rpm	72,5	65,8	63,2
70 rpm	65	61,9	58,9



Şekil 4.7: Saf EVA 50-60-70 °C ve 50-60-70 rpm çalışma koşullarında ortalama kalma zamanı.

Saf EVA'nın 60-70-80 °C' de ve 50-60-70 rpm vida hızlarında ekstrüderde kalma zamanı dağılım grafikleri elde edilmiştir. Ortalama kalma zamanı (τ) ile minimum kalma zamanı (t_{\min}) değerleri ölçülmüştür.

Saf EVA sabit sıcaklıkta;

- 60 °C sabit sıcaklıkta 50 rpm'de kalma zamanı dağılımı $E(t)$ piki maksimum değeri 0,0132, 90 sn'de, 60 rpm'de $E(t)$ değeri 0,0191, 70 sn'de, 70 rpm'de $E(t)$ değeri ise 0,0194, 60 sn'de gözlemlenmiştir. Ortalama kalma zamanı (τ) 78 sn iken 60 ve 70 rpm vida dönme hızlarında sırasıyla 72,5 sn ve 65 sn olarak

ölçülmektedir. Minimum kalma zamanı (t_{\min}) değerleri de 50 rpm'de 2,55 sn, 60 rpm'de 2,48 sn ve 70 rpm'de 2,44 sn olarak ölçülmektedir.

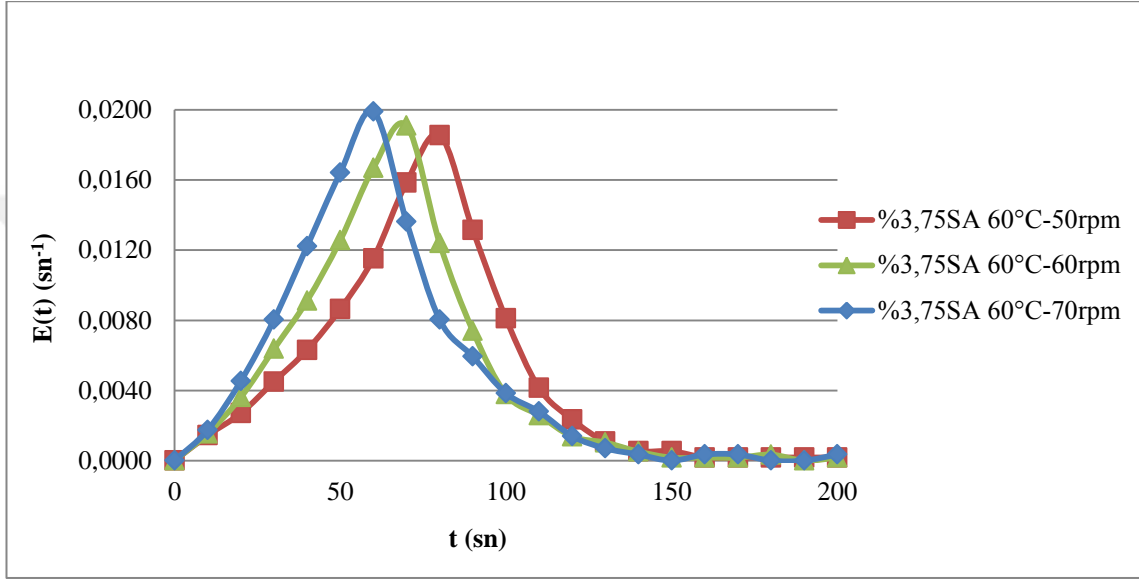
- 70 °C sabit sıcaklıkta 50 rpm'de kalma zamanı dağılımı E(t) piki maksimum değeri 0,0182, 70 sn'de 60 rpm'de E(t) değeri 0,0190, 60 sn'de, 70 rpm'de E(t) değeri ise 0,0195, 50 sn'de gözlemlenmiştir. Ortalama kalma zamanı (τ) 70,30 sn iken 60 ve 70 rpm vida dönme hızlarında sırasıyla 65,80 sn, 61,90 sn olarak ölçülmektedir. Minimum kalma zamanı (t_{\min}) değerleri de 50 rpm'de 2,50 sn, 60 rpm'de 2,30 sn, 70 rpm'de 2,23 sn olarak ölçülmektedir.
- 80 °C sabit sıcaklıkta 50 rpm'de kalma zamanı dağılımı E(t) piki maksimum değeri 0,0189, 70 sn'de, 60 rpm'de E(t) değeri 0,0203, 60 sn'de, 70 rpm'de E(t) değeri ise 0,0206, 50 sn'de gözlemlenmiştir. Ortalama kalma zamanı (τ) 69,90 sn iken 60 ve 70 rpm vida dönme hızlarında sırasıyla 63,20 sn ve 58,90 sn olarak ölçülmektedir. Minimum kalma zamanı (t_{\min}) değerleri de 50 rpm'de 2,39 sn, 60 rpm'de 2,25 sn ve 70 rpm'de 2,12 sn olarak ölçülmektedir.

Saf EVA sabit vida dönme hızında;

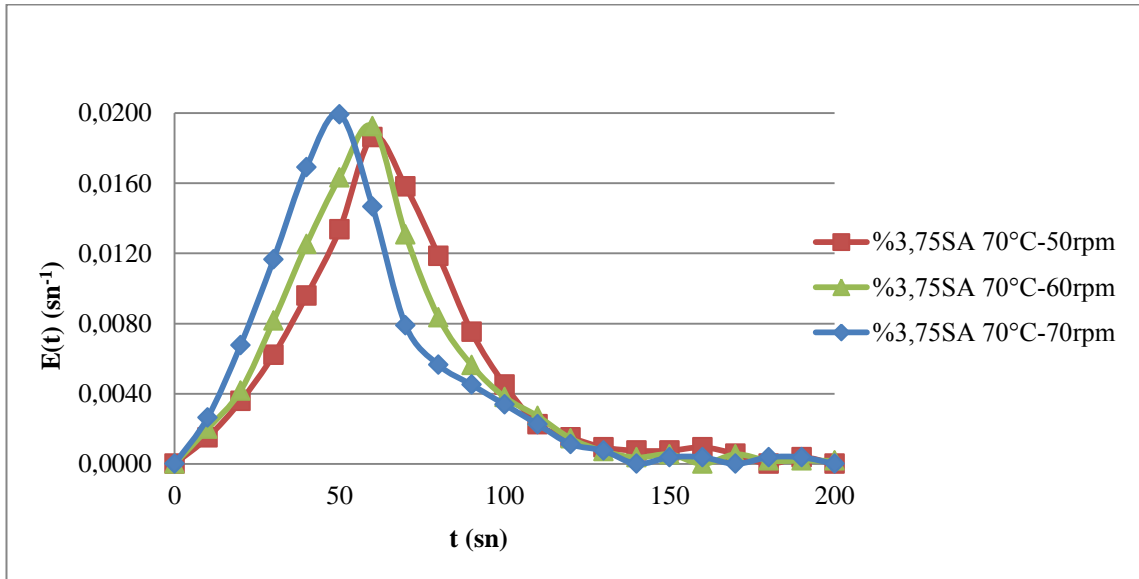
- 50 rpm sabit vida dönme hızında 60 °C sıcaklıkta E(t) piki maksimum değeri 0,0132, 90 sn'de, 70 °C'de E(t) değeri 0,0182, 70 sn'de ve 80 °C'de E(t) değeri ise 0,0189, 70 sn'de gözlemlenmiştir. Ortalama kalma zamanı (τ) 60 °C'de 78 sn, 70 °C'de 70,30 sn, 80 °C'de 69,90 sn olarak ölçülmektedir. Minimum kalma zamanı (t_{\min}) değerleri de 60 °C'de 2,55 sn, 70 °C'de 2,50 sn ve 80 °C'de 2,39 sn olarak ölçülmektedir.
- 60 rpm sabit vida dönme hızında 60 °C sıcaklıkta E(t) piki maksimum değeri 0,0191, 70 sn'de, 70 °C'de E(t) değeri 0,0190, 60 sn'de ve 80 °C'de E(t) değeri ise 0,0203, 60 sn'de gözlemlenmiştir. Ortalama kalma zamanı (τ) 60 °C'de 72,50 sn, 70 °C'de 65,80 sn ve 80 °C'de 63,20 sn olarak ölçülmektedir. Minimum kalma zamanı (t_{\min}) değerleri de 60 °C'de 2,48 sn, 70 °C'de 2,30 sn ve 80 °C'de 2,25 sn olarak ölçülmektedir.
- 70 rpm sabit vida dönme hızında 60 °C sıcaklıkta E(t) piki maksimum değeri 0,0194, 60 sn'de, 70 °C'de E(t) değeri 0,0195, 50 sn'de ve 80 °C'de E(t) değeri

ise 0,0206, 50 sn'de gözlemlenmiştir. Ortalama kalma zamanı (τ) 60 °C'de 65 sn, 70 °C'de 61,90 sn ve 80 °C'de 58,90 sn olarak ölçülmektedir. Minimum kalma zamanı (t_{\min}) değerleri de 60 °C'de 2,44 sn, 70 °C'de 2,23 sn ve 80 °C'de 2,12 sn olarak ölçülmektedir.

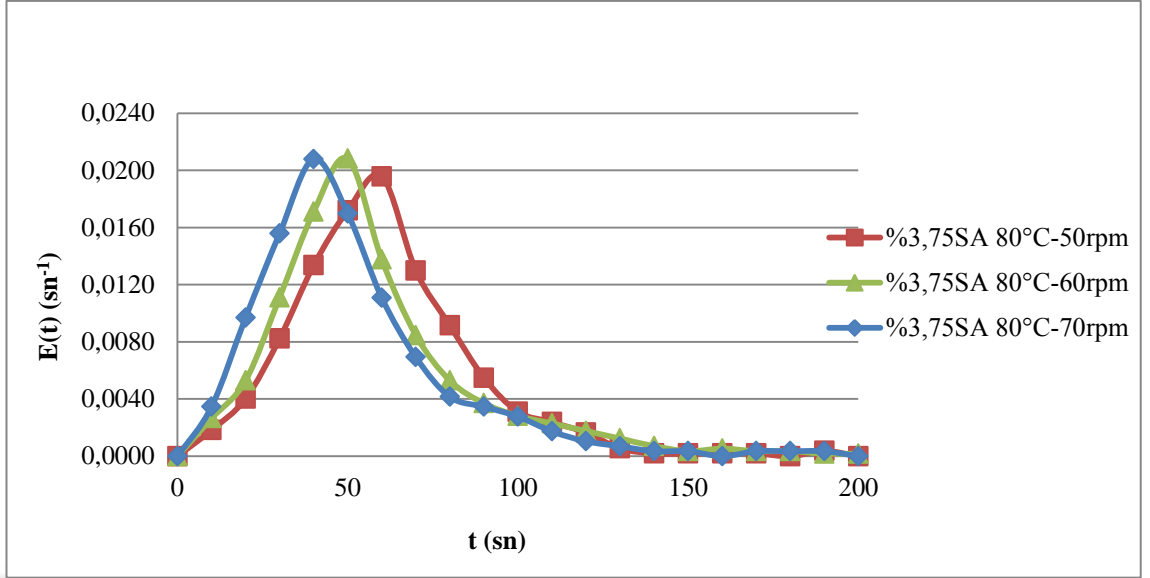
4.1.2. %3,75 Stearik Asit/EVA Üzerine Sıcaklık Ve Vida Hızı Etkisinin Kalma Zamanı Dağılım Grafiği



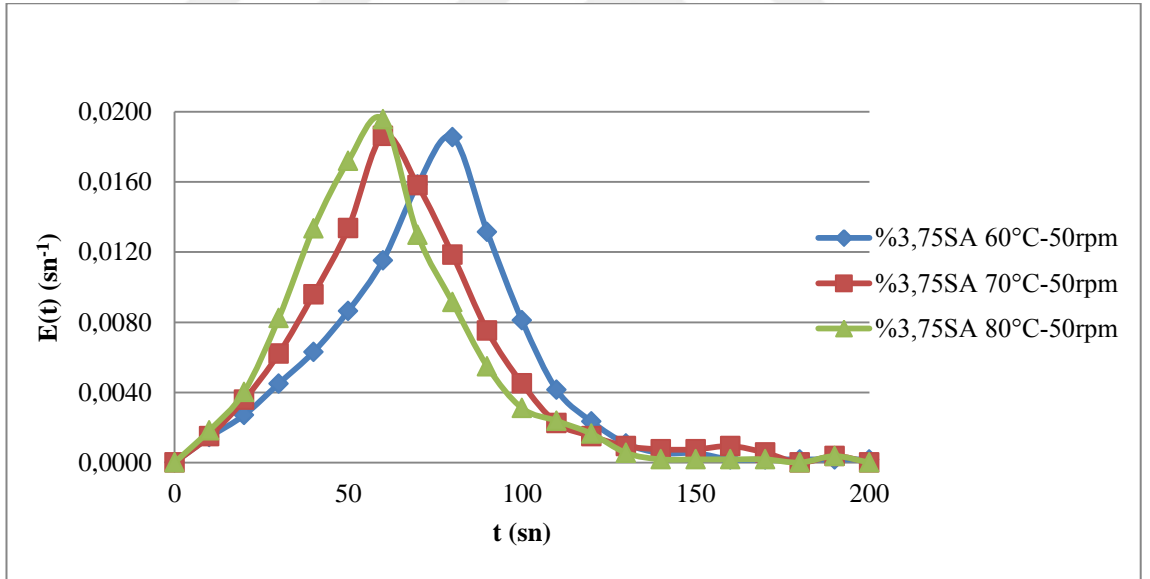
Şekil 4.8: %3,75 SA/EVA 60 °C'de 50-60-70 rpm çalışma koşullarında kalma zamanı dağılımı.



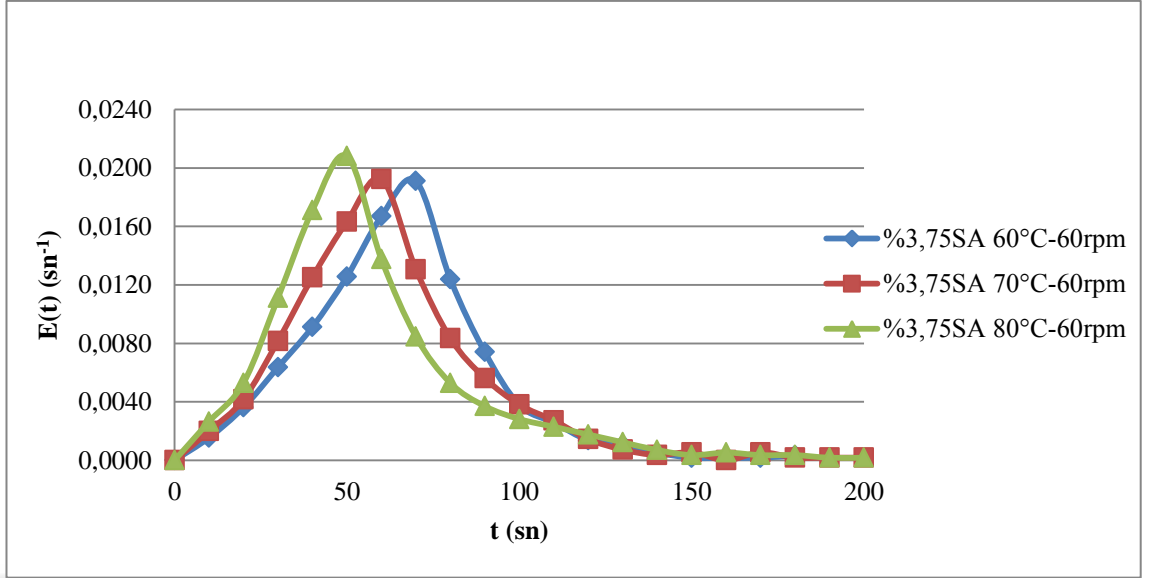
Şekil 4.9: %3,75 SA/EVA 70 °C'de 50-60-70 rpm çalışma koşullarında kalma zamanı dağılımı.



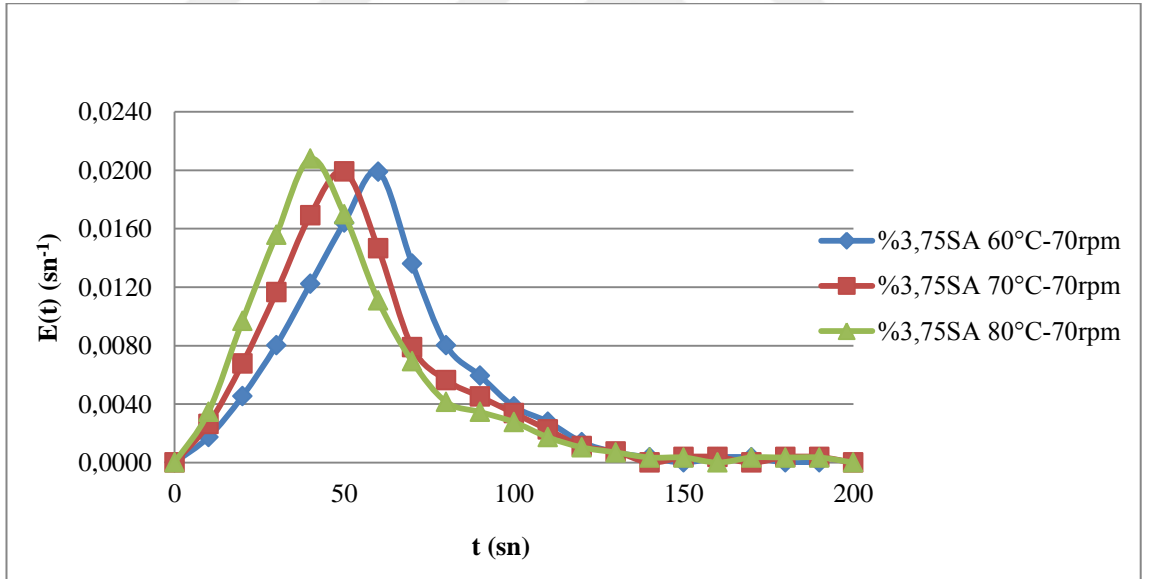
Şekil 4.10: %3,75 SA/EVA 80 °C'de 50-60-70 rpm çalışma koşullarında kalma zamanı dağılımı.



Şekil 4.11: %3,75 SA/EVA 50 rpm'de 60-70-80 °C çalışma koşullarında kalma zamanı dağılımı.



Şekil 4.12: %3,75 SA/EVA 60 rpm'de 60-70-80 °C çalışma koşullarında kalma zamanı dağılımı.

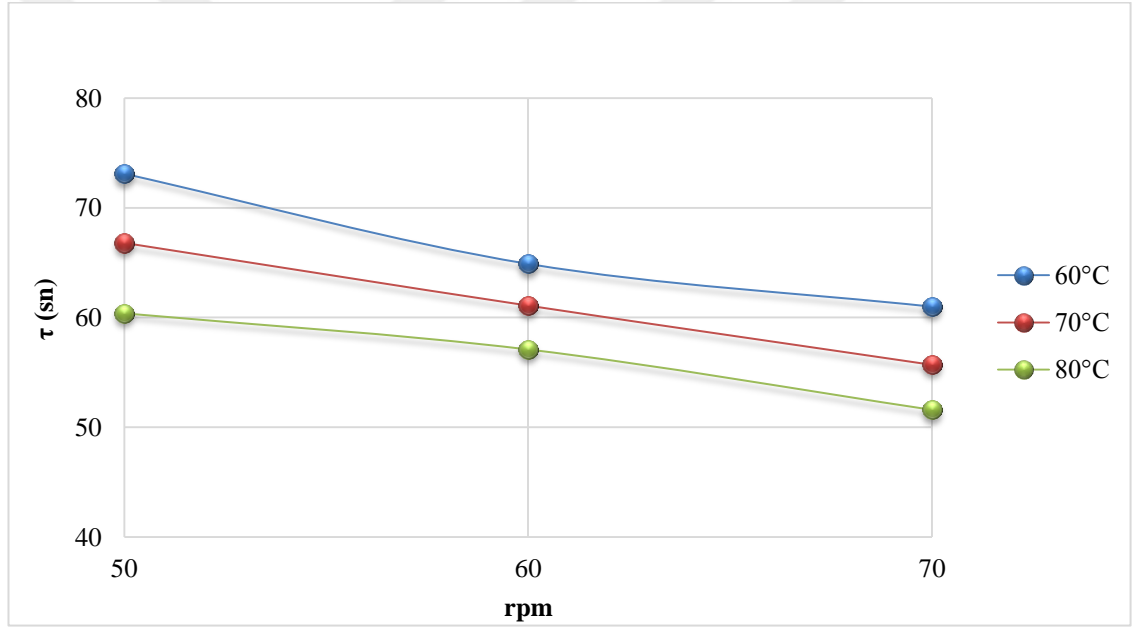


Şekil 4.13: %3,75 SA/EVA 70 rpm'de 60-70-80 °C çalışma koşullarında kalma zamanı dağılımı.

4.1.2.1. %3,75 Stearik Asit/EVA Üzerine Sıcaklık Ve Vida Hızı Etkisinin Ortalama Kalma Zamanı Değerleri

Tablo 4.2: %3,75 SA/EVA'nın ortalama kalma zamanı değerleri.

%3,75 SA/EVA			
τ (sn)	60 °C	70 °C	80 °C
50 rpm	73,1	66,8	60,4
60 rpm	64,9	61,1	57,1
70 rpm	61,0	55,7	51,6



Şekil 4.14: %3,75 SA/EVA 50-60-70 °C ve 50-60-70 rpm çalışma koşullarında ortalama kalma zamanı.

%3,75 Stearik asit/EVA karışımının 60-70-80 °C'de ve 50-60-70 rpm vida hızlarında ekstrüderde kalma zamanı dağılım grafikleri elde edilmiştir. Ortalama kalma zamanı (τ) ile minimum kalma zamanı (t_{\min}) değerleri ölçülmüştür.

%3,75 Stearik asit/EVA sabit sıcaklıkta;

- 60 °C sabit sıcaklıkta 50 rpm'de kalma zamanı dağılımı $E(t)$ piki maksimum değeri 0,0186, 80 sn'de, 60 rpm'de $E(t)$ değeri 0,0191, 70 sn'de ve 70 rpm'de $E(t)$ değeri ise 0,0199, 60 sn'de gözlemlenmiştir. Ortalama kalma zamanı (τ)

73,10 sn iken 60 ve 70 rpm vida dönme hızlarında sırasıyla 64,90 sn ve 61,00 sn olarak ölçülmektedir. Minimum kalma zamanı (t_{\min}) değerleri de 50 rpm'de 2,52 sn, 60 rpm'de 2,45 sn ve 70 rpm'de 2,40 sn olarak ölçülmektedir.

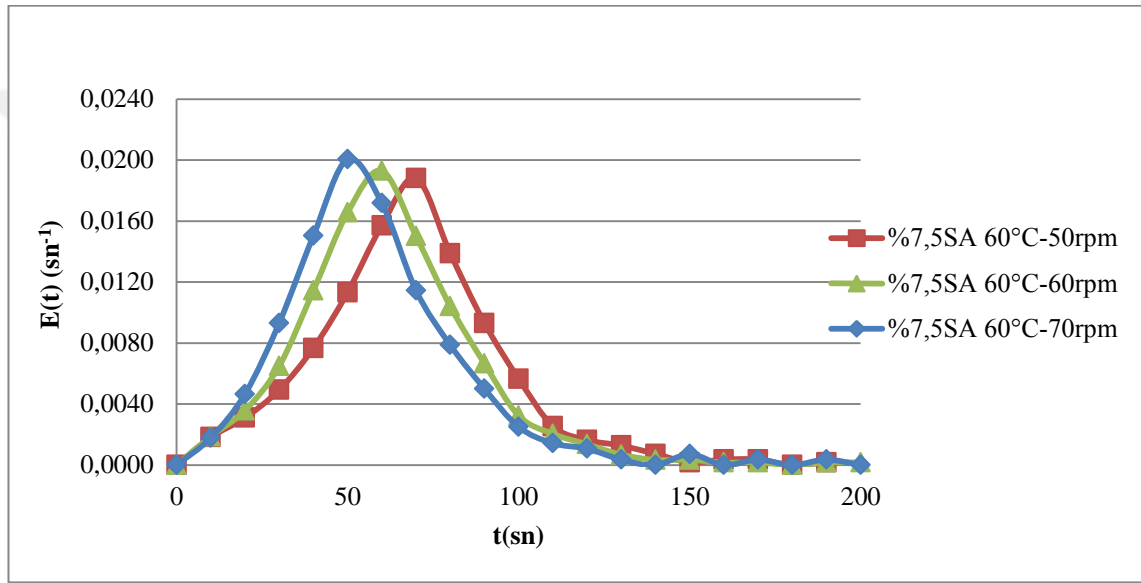
- 70 °C sabit sıcaklıkta 50 rpm'de kalma zamanı dağılımı $E(t)$ piki maksimum değeri 0,0186, 60 sn'de, 60 rpm'de $E(t)$ değeri 0,0192, 60 sn'de ve 70 rpm'de $E(t)$ değeri ise 0,0199, 50 sn'de gözlemlenmiştir. Ortalama kalma zamanı (τ) 66,80 sn iken 60 ve 70 rpm vida dönme hızlarında sırasıyla 61,10 sn ve 55,70 sn olarak ölçülmektedir. Minimum kalma zamanı (t_{\min}) değerleri de 50 rpm'de 2,45 sn, 60 rpm'de 2,22 sn ve 70 rpm'de 2,18 sn olarak ölçülmektedir.
- 80 °C sabit sıcaklıkta 50 rpm'de kalma zamanı dağılımı $E(t)$ piki maksimum değeri 0,0196, 60 sn'de, 60 rpm'de $E(t)$ değeri 0,0208, 50 sn'de ve 70 rpm'de $E(t)$ değeri ise 0,0208, 40 sn'de gözlemlenmiştir. Ortalama kalma zamanı (τ) 60,40 sn iken 60 ve 70 rpm vida dönme hızlarında sırasıyla 57,10 sn ve 51,60 sn olarak ölçülmektedir. Minimum kalma zamanı (t_{\min}) değerleri de 50 rpm'de 2,35 sn, 60 rpm'de 2,16 sn ve 70 rpm'de 2,08 sn olarak ölçülmektedir.

%3,75 Stearik asit/EVA sabit vida dönme hızında;

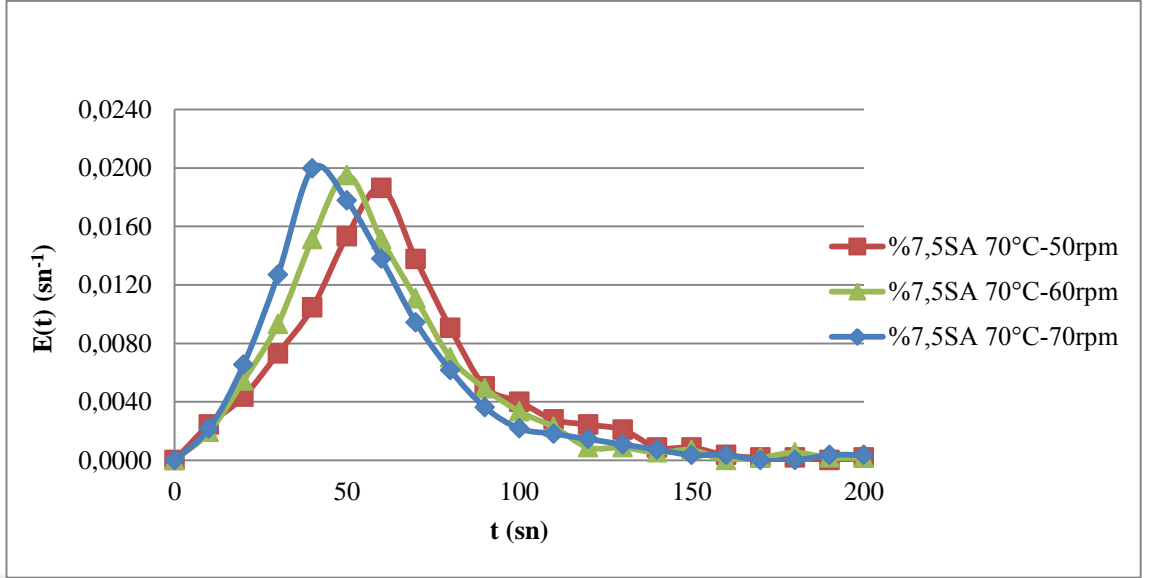
- 50 rpm sabit vida dönme hızında 60 °C sıcaklıkta $E(t)$ piki maksimum değeri 0,0186, 80 sn'de, 70 °C'de $E(t)$ değeri 0,0186, 60 sn'de ve 80 °C'de $E(t)$ değeri ise 0,0196, 60 sn'de gözlemlenmiştir. Ortalama kalma zamanı (τ) 60 °C'de 73,10 sn, 70°C'de 66,80 sn ve 80 °C'de 60,40 sn olarak ölçülmektedir. Minimum kalma zamanı (t_{\min}) değerleri de 60 °C'de 2,52 sn, 70 °C'de 2,45 sn ve 80 °C'de 2,35 sn olarak ölçülmektedir.
- 60 rpm sabit vida dönme hızında 60 °C sıcaklıkta $E(t)$ piki maksimum değeri 0,0191, 70 sn'de, 70 °C'de $E(t)$ değeri 0,0192, 60 sn'de ve 80 °C'de $E(t)$ değeri ise 0,0208, 50 sn'de gözlemlenmiştir. Ortalama kalma zamanı (τ) 60 °C'de 64,90 sn, 70 °C'de 61,10 sn, 80 °C'de 57,10 sn olarak ölçülmektedir. Minimum kalma zamanı (t_{\min}) değerleri de 60 °C'de 2,45 sn, 70 °C'de 2,22 sn, 80 °C'de 2,16 sn olarak ölçülmektedir.

- 70 rpm sabit vida dönme hızında 60 °C sıcaklıkta E(t) piki maksimum değeri 0,0199, 60 sn'de, 70 °C'de E(t) değeri 0,0199, 50 sn'de ve 80 °C'de E(t) değeri ise 0,0208, 40 sn'de gözlemlenmiştir. Ortalama kalma zamanı (τ) 60 °C'de 61 sn, 70 °C'de 55,70 sn ve 80 °C'de 51,60 sn olarak ölçülmektedir. Minimum kalma zamanı (t_{\min}) değerleri de 60 °C'de 2,40 sn, 70 °C'de 2,18 sn ve 80 °C'de 2,08 sn olarak ölçülmektedir.

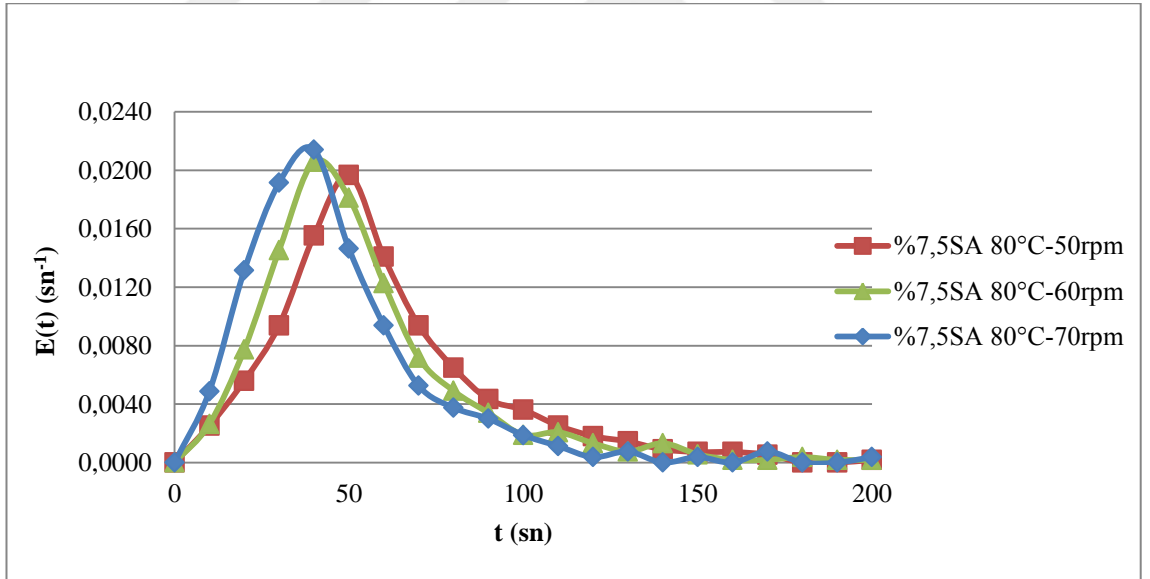
4.1.3. %7,50 Stearik Asit/EVA Üzerine Sıcaklık Ve Vida Hızı Etkisinin Kalma Zamanı Dağılım Grafiği



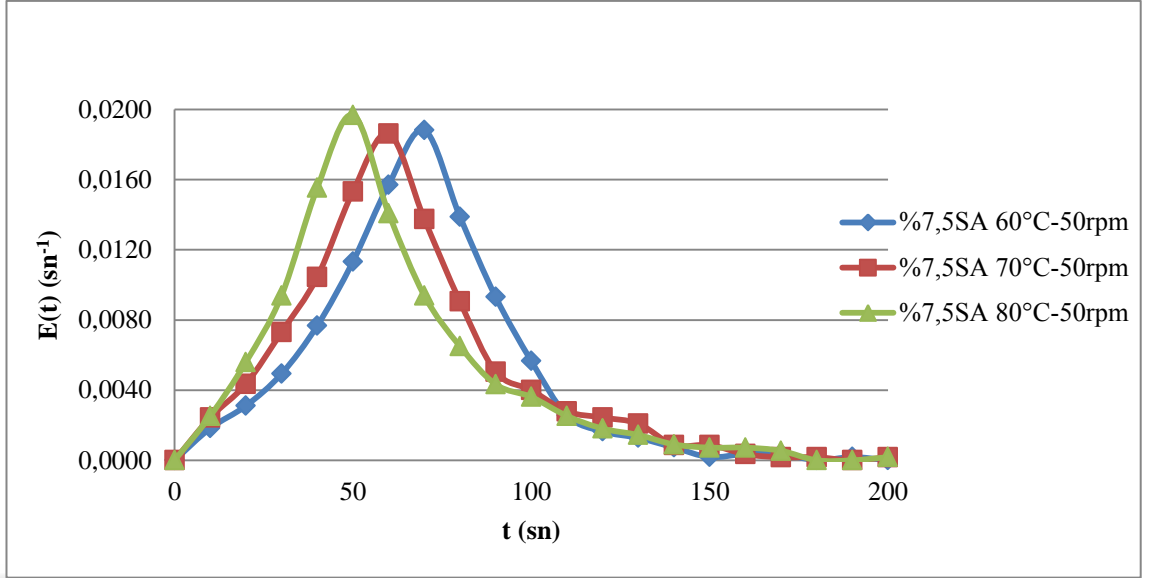
Şekil 4.15: %7,50 SA/EVA 60 °C'de 50-60-70 rpm çalışma koşullarında kalma zamanı dağılımı.



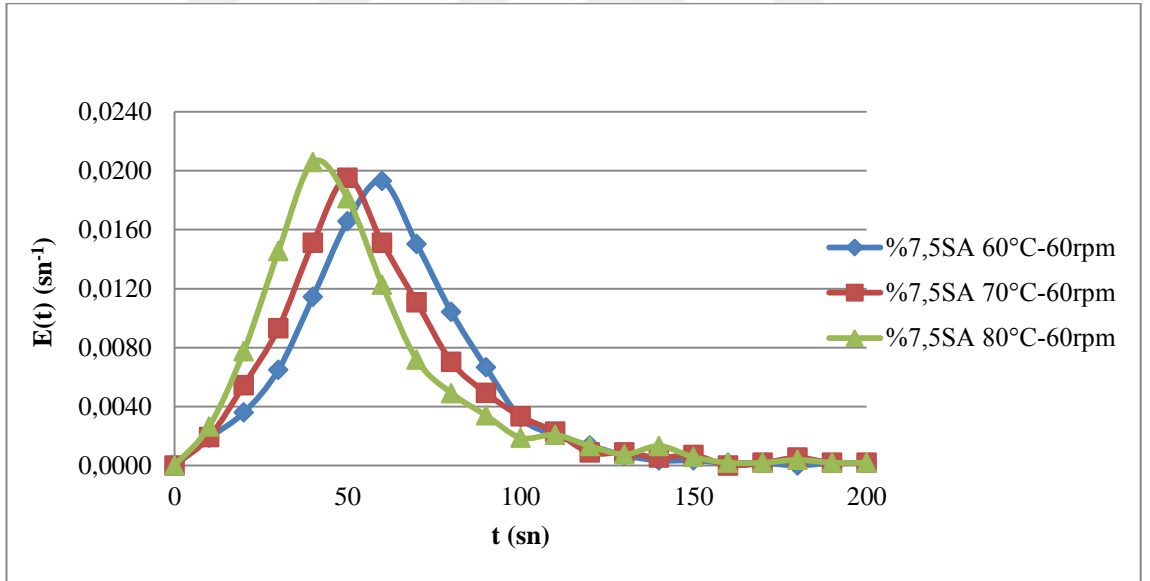
Şekil 4.16: %7,50 SA/EVA 70 °C’de 50-60-70 rpm çalışma koşullarında kalma zamanı dağılımı.



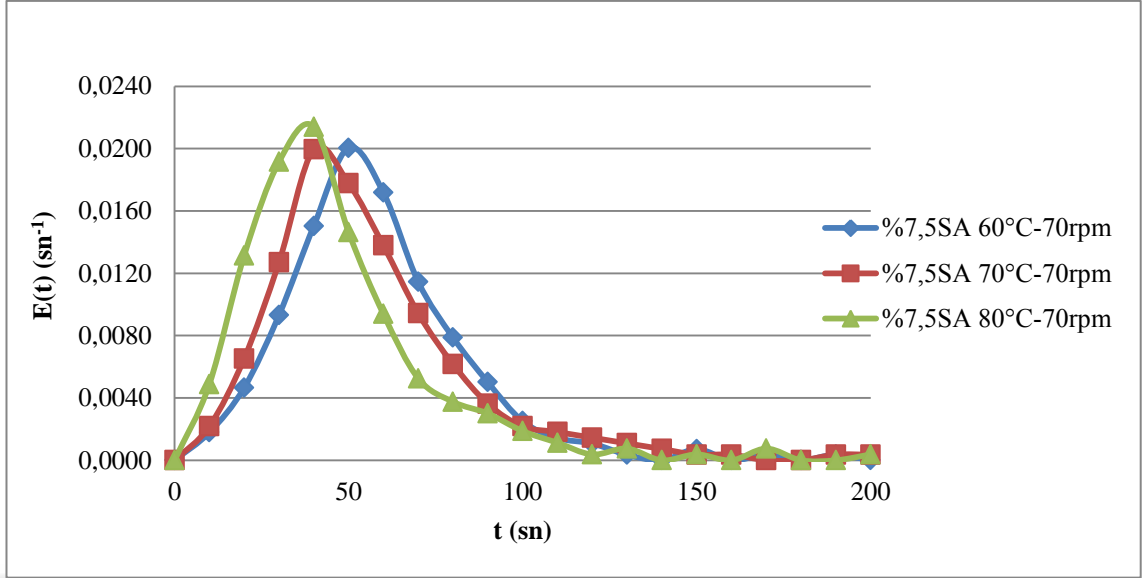
Şekil 4.17: %7,50 SA/EVA 80 °C’de 50-60-70 rpm çalışma koşullarında kalma zamanı dağılımı.



Şekil 4.18: %7,5 SA/EVA 50 rpm'de 60-70-80 °C çalışma koşullarında kalma zamanı dağılımı.



Şekil 4.19: %7,5 SA/EVA 60 rpm'de 60-70-80 °C çalışma koşullarında kalma zamanı dağılımı.

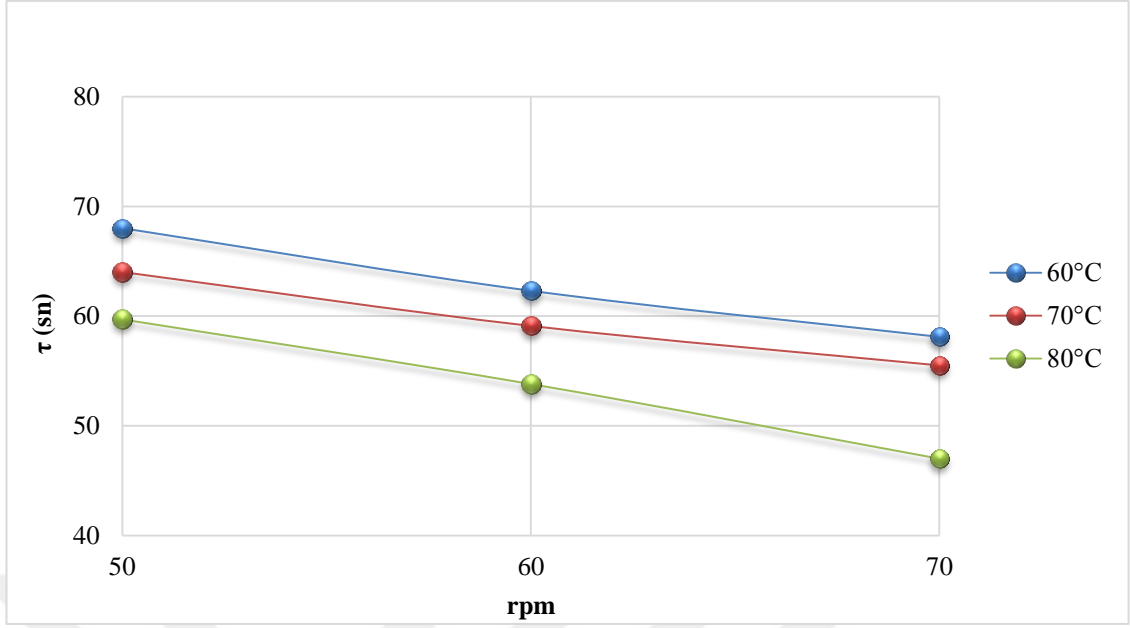


Şekil 4.20: %7,50 SA/EVA 70 rpm'de 60-70-80 °C çalışma koşullarında kalma zamanı dağılımı.

4.1.3.1. %7,50 Stearik Asit/EVA Üzerine Sıcaklık Ve Vida Hızı Etkisinin Ortalama Kalma Zamanı Değerleri

Tablo 4.3: %7,50 SA/EVA'nın ortalama kalma zamanı değerleri.

%7,50 SA/EVA			
τ (sn)	60 °C	70 °C	80 °C
50 rpm	68,0	64,0	59,7
60 rpm	62,3	59,1	53,8
70 rpm	58,1	55,5	47,0



Şekil 4.21: %7,50 SA/EVA 50-60-70 °C ve 50-60-70 rpm çalışma koşullarında ortalama kalma zamanı.

%7,50 Stearik asit/EVA karışımının 60-70-80 °C’de ve 50-60-70 rpm vida hızlarında ekstrüderde kalma zamanı dağılım grafikleri elde edilmiştir. Ortalama kalma zamanı (τ) ile minimum kalma zamanı (t_{min}) değerleri ölçülmüştür.

%7,50 Steraik asit/EVA sabit sıcaklıkta;

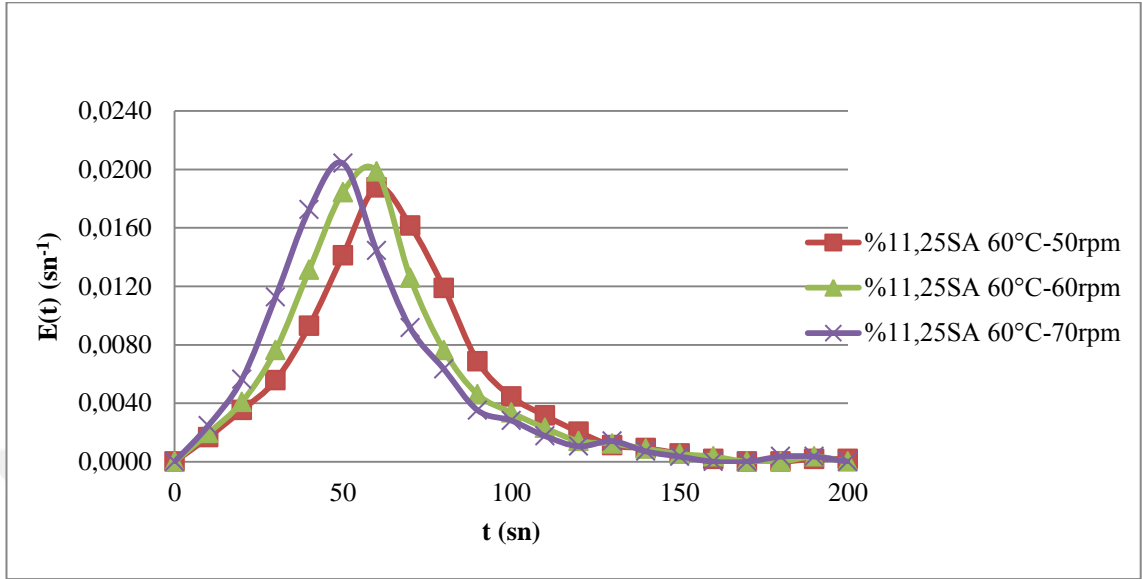
- 60 °C sabit sıcaklıkta 50 rpm’de kalma zamanı dağılımı $E(t)$ piki maksimum değeri 0,0188, 70 sn’de, 60 rpm’de $E(t)$ değeri 0,0193, 60 sn’de ve 70 rpm’de $E(t)$ değeri ise 0,0200, 50 sn’de gözlemlenmiştir. Ortalama kalma zamanı (τ) 68 sn iken 60 ve 70 rpm vida dönme hızlarında sırasıyla 62,30 sn ve 58,10 sn olarak ölçülmektedir. Minimum kalma zamanı (t_{min}) değerleri de 50 rpm’de 2,49 sn, 60 rpm’de 2,42 sn ve 70 rpm’de 2,37 sn olarak ölçülmektedir.
- 70 °C sabit sıcaklıkta 50 rpm’de kalma zamanı dağılımı $E(t)$ piki maksimum değeri 0,0186, 60 sn’de, 60 rpm’de $E(t)$ değeri 0,0195, 50 sn’de ve 70 rpm’de $E(t)$ değeri ise 0,0200, 40 sn’de gözlemlenmiştir. Ortalama kalma zamanı (τ) 64 sn, 59,10 sn ve 55,50 sn olarak ölçülmektedir. Minimum kalma zamanı (t_{min}) değerleri de 50 rpm’de 2,38 sn, 60 rpm’de 2,20 sn ve 70 rpm’de 2,12 sn olarak ölçülmektedir.

- 80 °C sabit sıcaklıkta 50 rpm'de kalma zamanı dağılımı $E(t)$ piki maksimum değeri 0,0197, 50 sn'de, 60 rpm'de $E(t)$ değeri 0,0206, 40 sn'de ve 70 rpm'de $E(t)$ değeri ise 0,0211, 40 sn'de gözlemlenmiştir. Ortalama kalma zamanı (τ) 59,70 sn, 53,80 sn ve 47 sn olarak ölçülmektedir. Minimum kalma zamanı (t_{\min}) değerleri de 50 rpm'de 2,25 sn, 60 rpm'de 2,10 sn ve 70rpm'de 2,02 sn olarak ölçülmektedir.

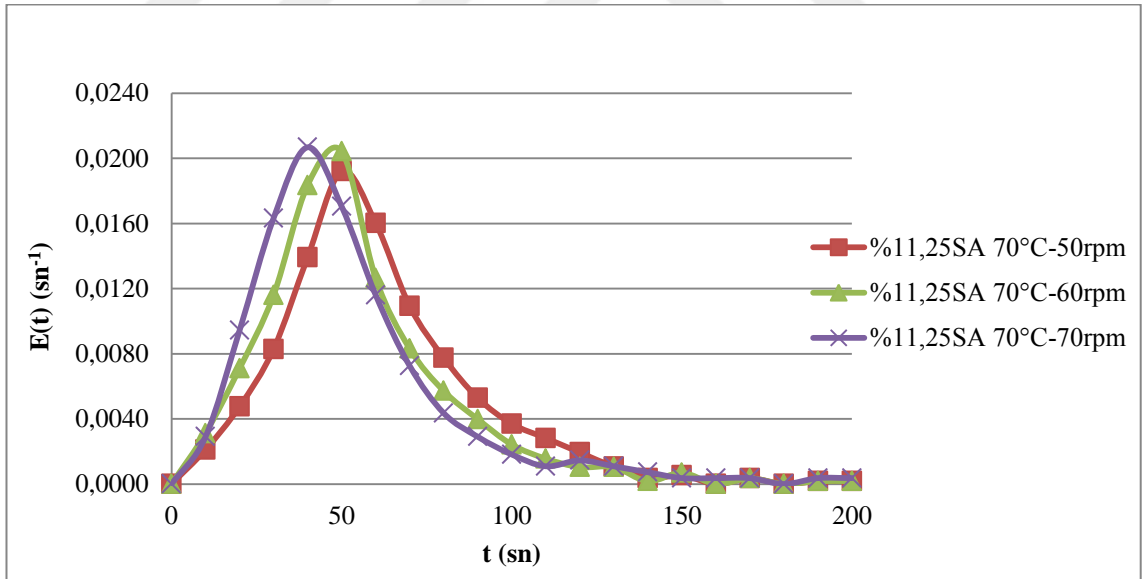
%7,50 Stearik asit/ EVA sabit vida dönme hızında;

- 50 rpm sabit vida dönme hızında 60 °C sıcaklıkta $E(t)$ piki maksimum değeri 0,0188, 70 sn'de, 70 °C'de $E(t)$ değeri 0,0186, 60 sn'de ve 80 °C'de $E(t)$ değeri ise 0,0197, 50 sn'de gözlemlenmiştir. Ortalama kalma zamanı (τ) 60 °C'de 68 sn, 70 °C'de 64 sn ve 80 °C'de 59,70 sn olarak ölçülmektedir. Minimum kalma zamanı (t_{\min}) değerleri de 60 °C'de 2,49 sn, 70 °C'de 2,38 sn ve 80 °C'de 2,25 sn olarak ölçülmektedir.
- 60 rpm sabit vida dönme hızında 60 °C sıcaklıkta $E(t)$ piki maksimum değeri 0,0193, 60 sn'de, 70 °C'de $E(t)$ değeri 0,0195, 50 sn'de ve 80 °C'de $E(t)$ değeri ise 0,0206, 40 sn'de gözlemlenmiştir. Ortalama kalma zamanı (τ) 60 °C'de 62,30 sn, 70 °C'de 59,10 sn ve 80 °C'de 53,80 sn olarak ölçülmektedir. Minimum kalma zamanı (t_{\min}) değerleri de 60 °C'de 2,42 sn, 70 °C'de 2,20 sn ve 80 °C'de 2,10 sn olarak ölçülmektedir.
- 70 rpm sabit vida dönme hızında 60 °C sıcaklıkta $E(t)$ piki maksimum değeri 0,0200, 50 sn'de, 70 °C'de $E(t)$ değeri 0,0200, 40 sn'de ve 80 °C'de $E(t)$ değeri ise 0,0211, 40 sn'de gözlemlenmiştir. Ortalama kalma zamanı (τ) 60 °C'de 58,10 sn, 70 °C'de 55,50 sn ve 80 °C'de 47 sn olarak ölçülmektedir. Minimum kalma zamanı (t_{\min}) değerleri de 60 °C'de 2,37 sn, 70 °C'de 2,12 sn ve 80 °C'de 2,02 sn olarak ölçülmektedir.

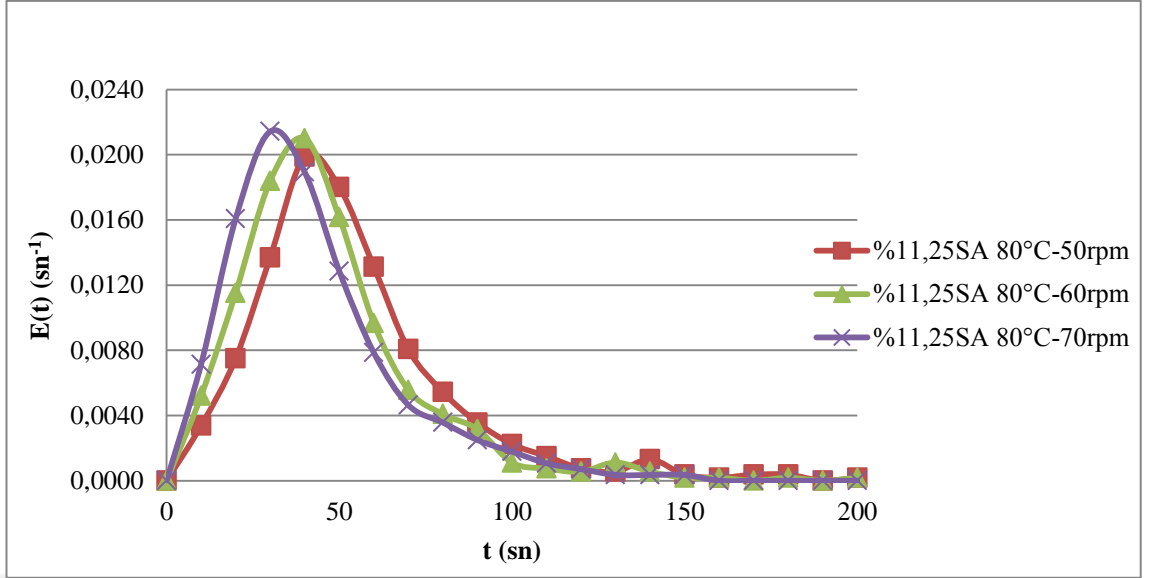
4.1.4. %11,25 Stearik Asit/EVA Üzerine Sıcaklık Ve Vida Hızı Etkisinin Kalma Zamanı Dağılım Grafiği



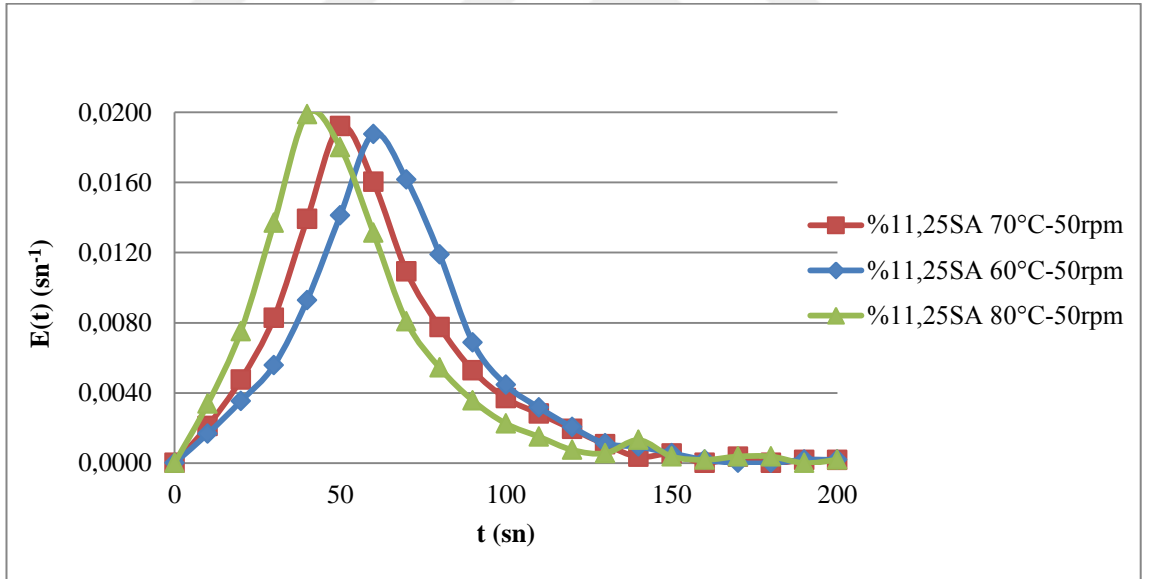
Şekil 4.22: %11,25 SA/EVA 60 °C’de 50-60-70 rpm çalışma koşullarında kalma zamanı dağılımı.



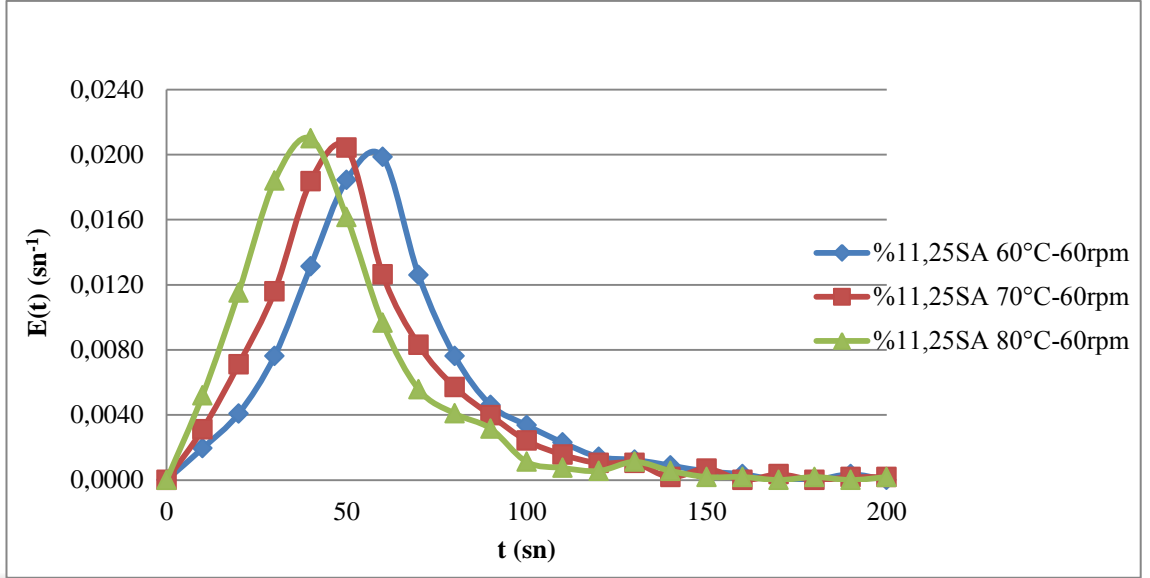
Şekil 4.23: %11,25 SA/EVA 70 °C’de 50-60-70 rpm çalışma koşullarında kalma zamanı dağılımı.



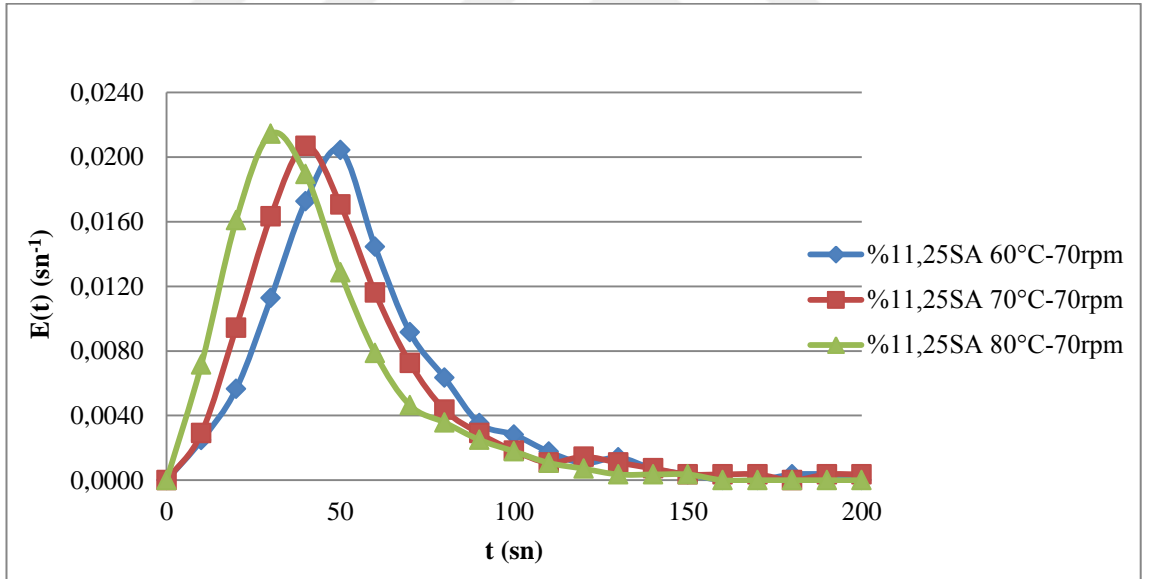
Şekil 4.24: %11,25 SA/EVA 80 °C’de 50-60-70 rpm çalışma koşullarında kalma zamanı dağılımı.



Şekil 4.25: %11,25 SA/EVA 50 rpm’de 60-70-80 °C çalışma koşullarında kalma zamanı dağılımı.



Şekil 4.26: %11,25 SA/EVA 60 rpm'de 60-70-80 °C çalışma koşullarında kalma zamanı dağılımı.

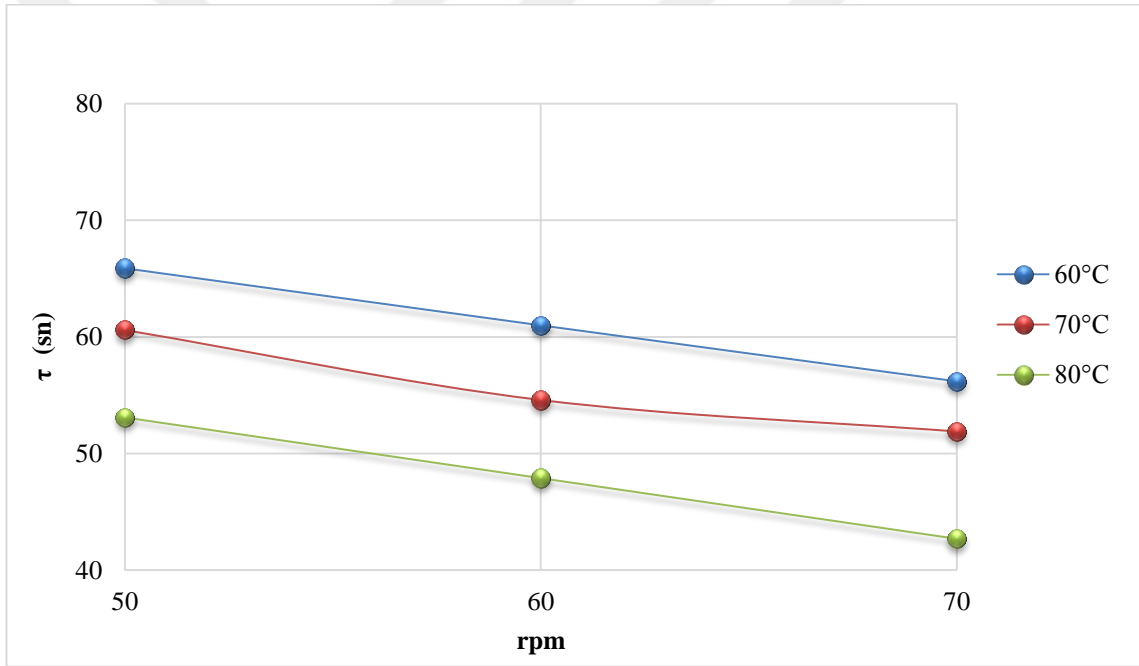


Şekil 4.27: %11,25 SA/EVA 70 rpm'de 60-70-80 °C çalışma koşullarında kalma zamanı dağılımı.

4.1.4.1. %11,25 Stearik Asit/EVA Üzerine Sıcaklık Ve Vida Hızı Etkisinin Ortalama Kalma Zamanı Değerleri

Tablo 4.4: %11,25 SA/EVA'nın ortalama kalma zamanı değerleri.

%11,25 SA/EVA			
τ (sn)	60 °C	70 °C	80 °C
50 rpm	65,9	60,6	53,1
60 rpm	61,0	54,6	47,9
70 rpm	56,2	51,9	42,7



Şekil 4.28: % 11,25 SA/EVA 50-60-70 °C ve 50-60-70 rpm çalışma koşullarında ortalama kalma zamanı.

% 11,25 Stearik asit/EVA karışımının 60-70-80 °C'de ve 50-60-70 rpm vida hızlarında ekstrüderde kalma zamanı dağılım grafikleri elde edilmiştir. Ortalama kalma zamanı (τ) ile minimum kalma zamanı (t_{\min}) değerleri ölçülmüştür.

%11,25 Stearik asit/EVA sabit sıcaklıkta;

- 60 °C sabit sıcaklıkta 50 rpm'de kalma zamanı dağılımı $E(t)$ piki maksimum değeri 0,0188, 60 sn'de, 60 rpm'de $E(t)$ değeri 0,0199, 60 sn'de ve 70 rpm'de $E(t)$ değeri ise 0,0204, 50 sn'de gözlemlenmiştir. Ortalama kalma zamanı (τ) 65,90 sn iken 60 ve 70 rpm vida dönme hızlarında sırasıyla 61 sn ve 56,20 sn olarak ölçülmektedir. Minimum kalma zamanı (t_{min}) değerleri de 50 rpm'de 2,44 sn, 60 rpm'de 2,40 sn ve 70 rpm'de 2,35 sn olarak ölçülmektedir.
- 70 °C sabit sıcaklıkta 50 rpm'de kalma zamanı dağılımı $E(t)$ piki maksimum değeri 0,0192, 50 sn'de, 60 rpm'de $E(t)$ değeri 0,0204, 50 sn'de ve 70 rpm'de $E(t)$ değeri ise 0,0207, 40 sn'de gözlemlenmiştir. Ortalama kalma zamanı (τ) 60,60 sn, iken 60 ve 70 rpm vida dönme hızlarında sırasıyla 54,60 sn ve 51,90 sn olarak ölçülmektedir. Minimum kalma zamanı (t_{min}) değerleri de 50 rpm'de 2,35 sn, 60 rpm'de 2,14 sn ve 70 rpm'de 2,08 sn olarak ölçülmektedir.
- 80 °C sabit sıcaklıkta 50 rpm'de kalma zamanı dağılımı $E(t)$ piki maksimum değeri 0,0199, 40 sn'de, 60 rpm'de $E(t)$ değeri 0,0210, 40 sn'de ve 70 rpm'de $E(t)$ değeri ise 0,0214, 30 sn'de gözlemlenmiştir. Ortalama kalma zamanı (τ) 53,10 sn, iken 60 ve 70 rpm vida dönme hızlarında sırasıyla 46,60 sn ve 42,70 sn olarak ölçülmektedir. Minimum kalma zamanı (t_{min}) değerleri de 50 rpm'de 2,15 sn, 60 rpm'de 2,04 sn ve 70 rpm'de 1,55 sn olarak ölçülmektedir.

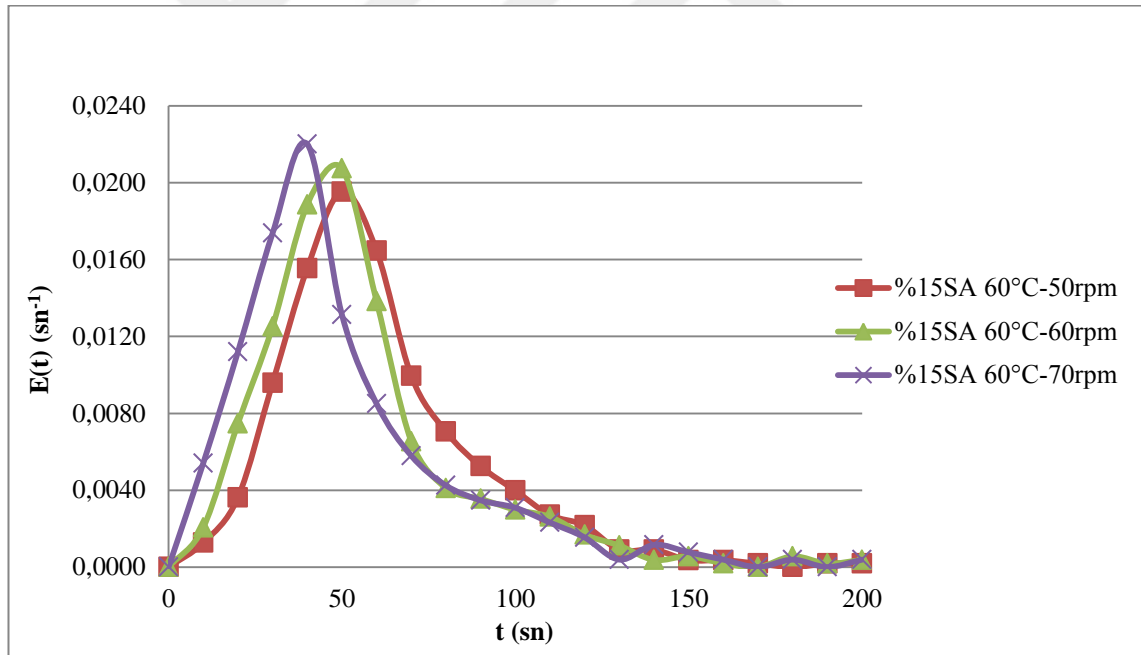
% 11,25 Stearik asit/ EVA sabit vida dönme hızında;

- 50 rpm sabit vida dönme hızında 60 °C sıcaklıkta $E(t)$ piki maksimum değeri 0,0188, 60 sn'de, 70 °C'de $E(t)$ değeri 0,0192, 50 sn'de ve 80 °C'de $E(t)$ değeri ise 0,0199, 40 sn'de gözlemlenmiştir. Ortalama kalma zamanı (τ) 60 °C'de 65,90 sn, 70 °C'de 60,60 sn ve 80 °C'de 53,10 sn olarak ölçülmektedir. Minimum kalma zamanı (t_{min}) değerleri de 60 °C'de 2,44 sn, 70 °C'de 2,35 sn ve 80 °C'de 2,15 sn olarak ölçülmektedir.
- 60 rpm sabit vida dönme hızında 60 °C sıcaklıkta $E(t)$ piki maksimum değeri 0,0199, 60 sn'de, 70 °C'de $E(t)$ değeri 0,0204, 50 sn'de ve 80 °C'de $E(t)$ değeri ise 0,0210, 40 sn'de gözlemlenmiştir. Ortalama kalma zamanı (τ) 60 °C'de 61

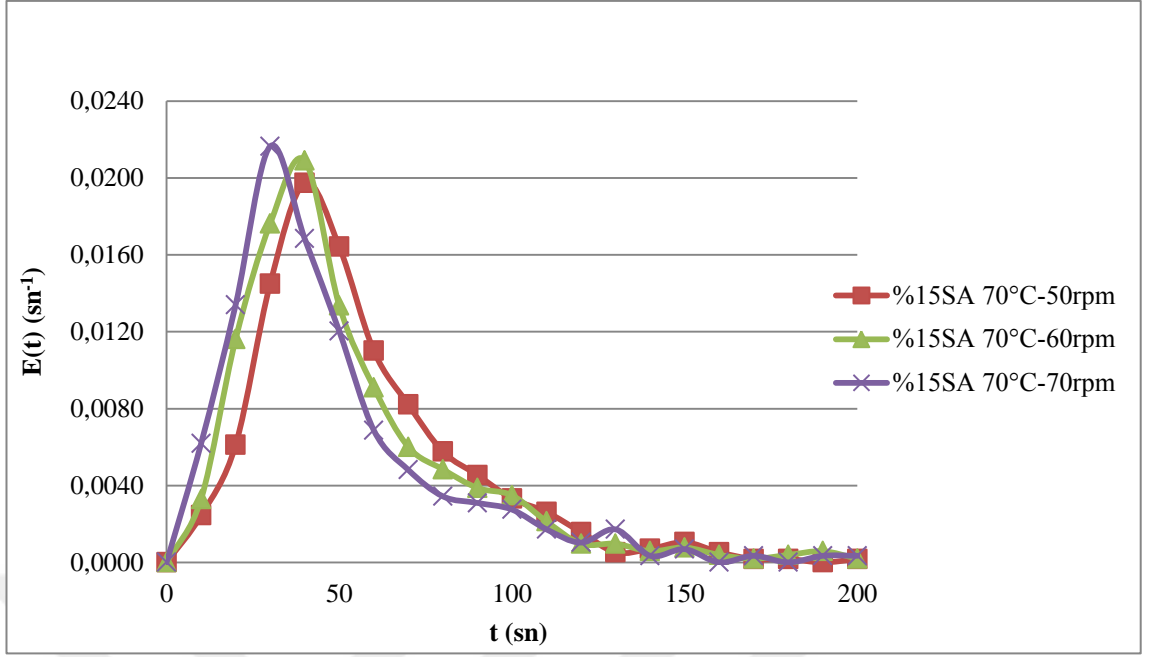
sn, 70 °C' de 54,60 sn ve 80 °C' de 46,60 sn olarak ölçülmektedir. Minimum kalma zamanı (t_{min}) değerleri de 60 °C'de 2,40 sn, 70 °C'de 2,14 sn ve 80 °C'de 2,04 sn olarak ölçülmektedir

- 70 rpm sabit vida dönme hızında 60 °C sıcaklıkta E(t) piki maksimum değeri 0,0204, 50 sn'de, 70 °C'de E(t) değeri 0,0207, 40 sn'de ve 80 °C'de E(t) değeri ise 0,0214, 30 sn'de gözlemlenmiştir. Ortalama kalma zamanı (τ) 60 °C'de 56,20 sn, 70 °C'de 51,90 sn ve 80 °C'de 42,70 sn olarak ölçülmektedir. Minimum kalma zamanı (t_{min}) değerleri de 60 °C'de 2,35 sn, 70 °C'de 2,08 sn ve 80 °C'de 1,55 sn olarak ölçülmektedir.

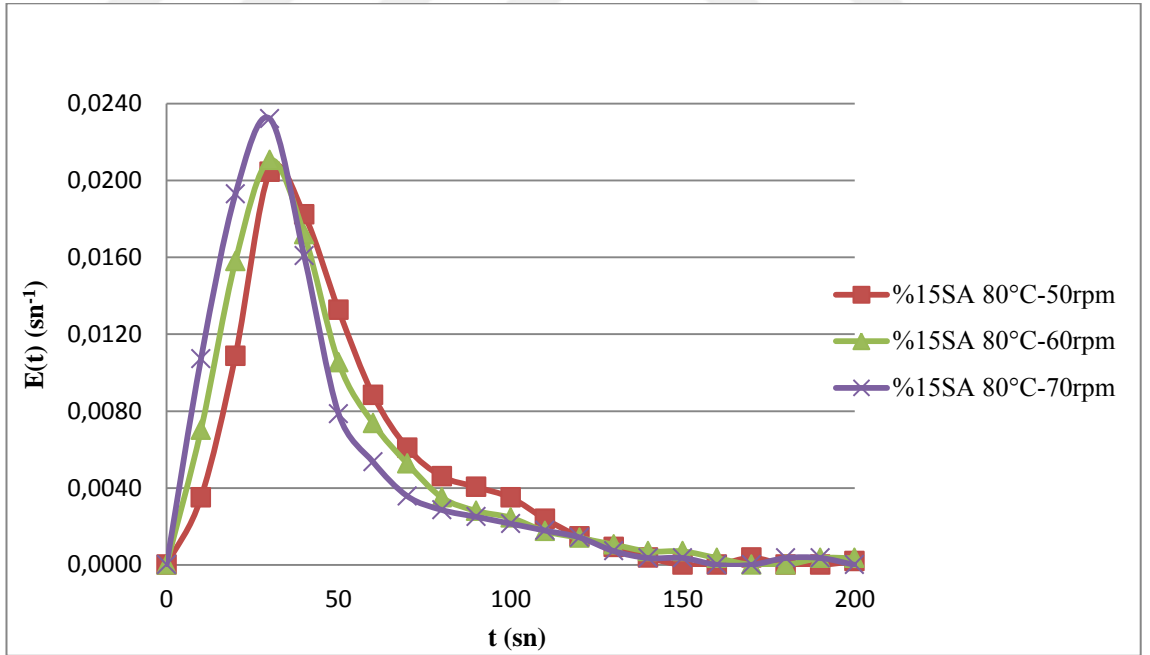
4.1.5. %15,00 Stearik Asit/EVA Üzerine Sıcaklık Ve Vida Hızı Etkisinin Kalma Zamanı Dağılım Grafiği



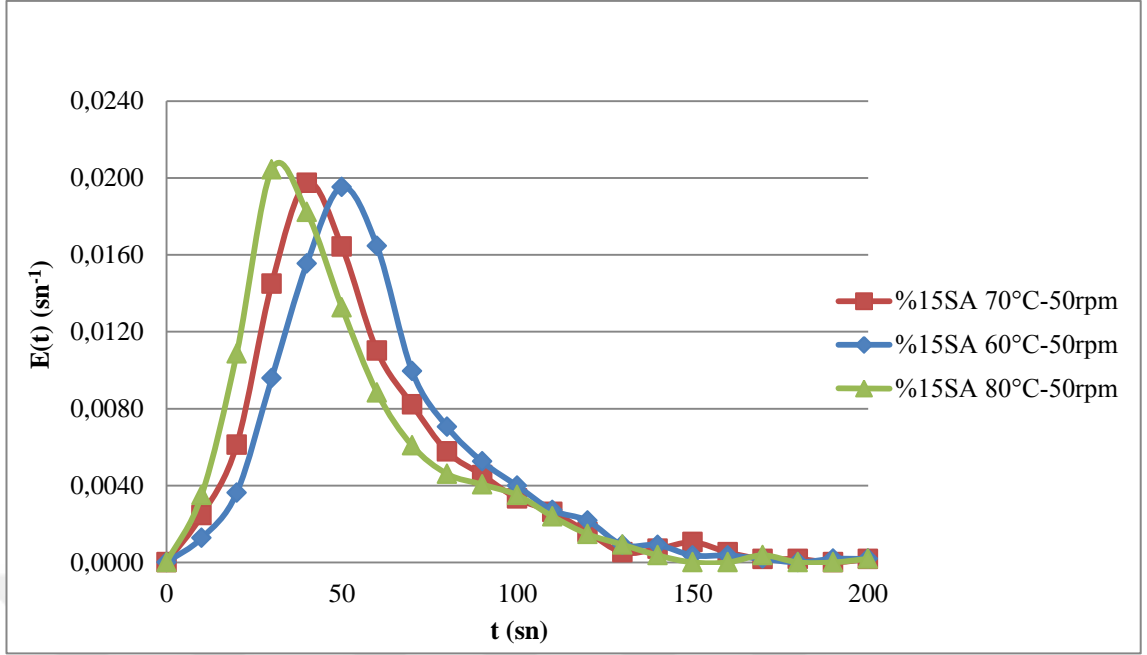
Şekil 4.29: % 15,00 SA/EVA 60 °C'de 50-60-70 rpm çalışma koşullarında kalma zamanı dağılımı.



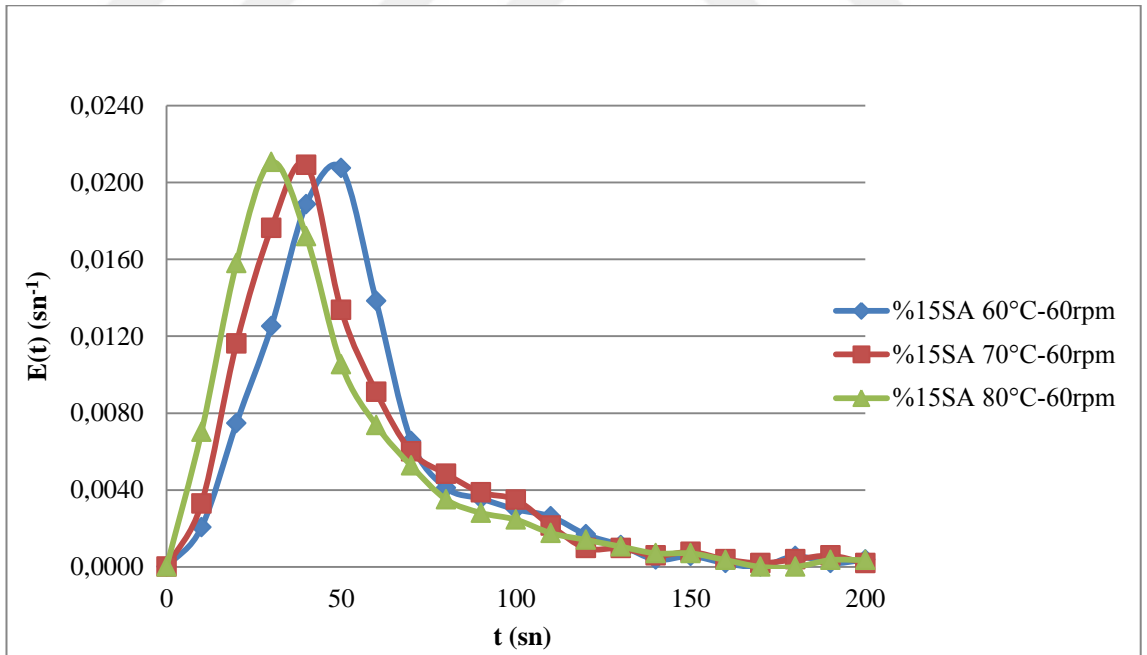
Şekil 4.30: % 15,00 SA/EVA 70 °C’de 50-60-70 rpm çalışma koşullarında kalma zamanı dağılımı.



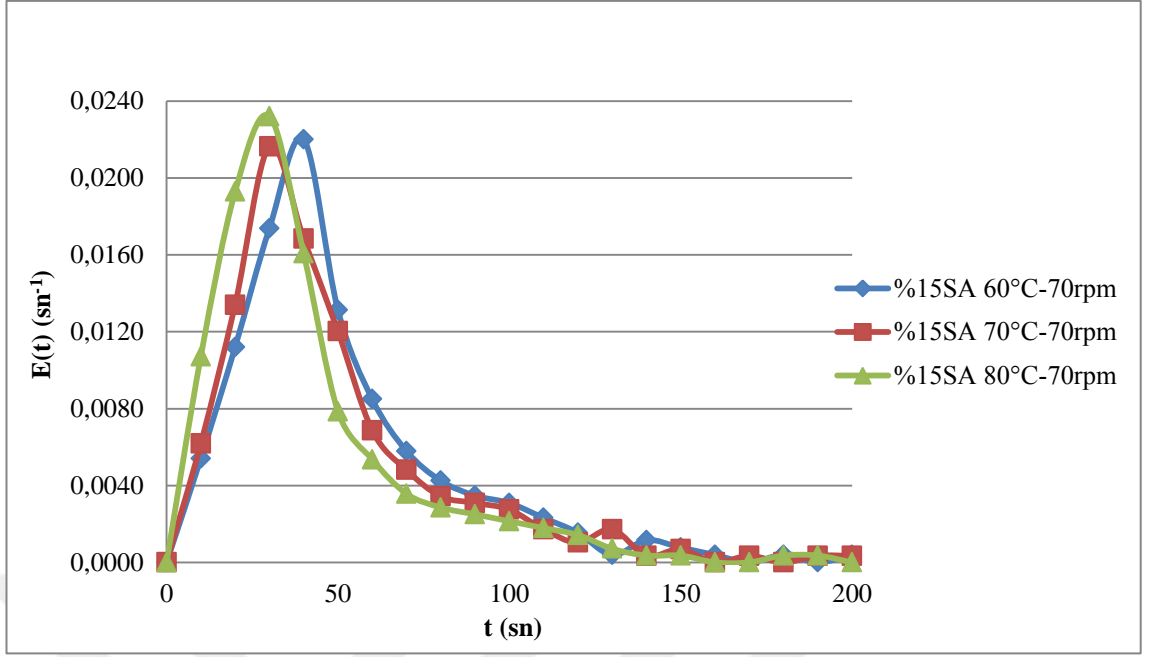
Şekil 4.31: % 15,00 SA/EVA 80 °C’de 50-60-70 rpm çalışma koşullarında kalma zamanı dağılımı.



Şekil 4.32: % 15,00 SA/EVA 50 rpm’de 60-70-80 °C çalışma koşullarında kalma zamanı dağılımı.



Şekil 4.33: % 15,00 SA/EVA 60 rpm’de 60-70-80 °C çalışma koşullarında kalma zamanı dağılımı.

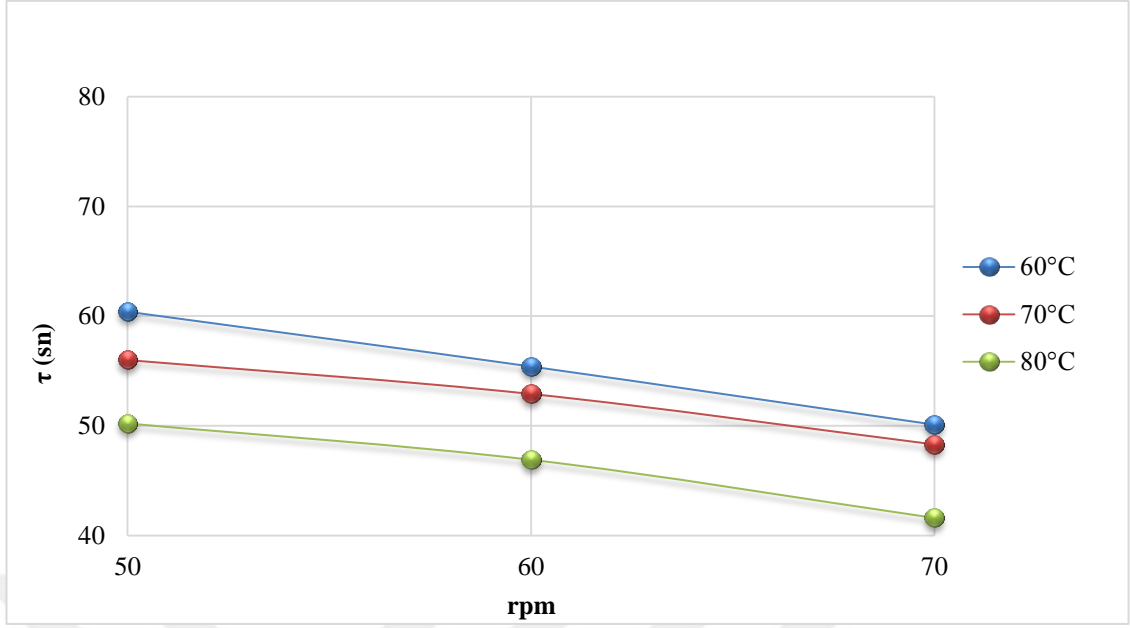


Şekil 4.34: % 15,00 SA/EVA 70 rpm’de 60-70-80 °C çalışma koşullarında kalma zamanı dağılımı.

4.1.5.1. %15,00 Stearik Asit/EVA Üzerine Sıcaklık Ve Vida Hızı Etkisinin Ortalama Kalma Zamanı Değerleri

Tablo 4.5: %15,00 SA/EVA’nın ortalama kalma zamanı dağılımı.

%15,00 SA/EVA			
τ (sn)	60 °C	70 °C	80 °C
50 rpm	60,4	56,0	50,2
60 rpm	55,4	52,9	46,6
70 rpm	50,1	48,3	41,6



Şekil 4.35: % 15,00 SA/EVA 50-60-70 °C ve 50-60-70 rpm çalışma koşullarında ortalama kalma zamanı.

% 15,00 Stearik asit/EVA karışımının 60-70-80 °C'de ve 50-60-70 rpm vida hızlarında ekstrüderde kalma zamanı dağılım grafikleri elde edilmiştir. Ortalama kalma zamanı (τ) ile minimum kalma zamanı (t_{min}) değerleri ölçülmüştür.

% 15,00 Steraik asit/EVA sabit sıcaklıkta;

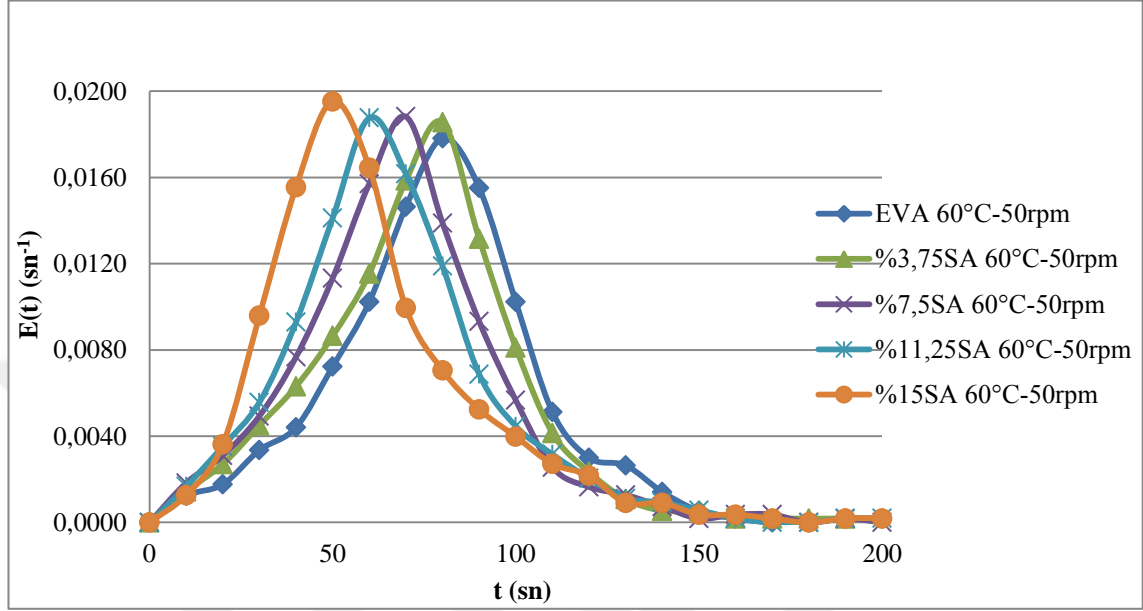
- 60 °C sabit sıcaklıkta 50 rpm'de kalma zamanı dağılımı $E(t)$ piki maksimum değeri 0,0195, 50 sn'de, 60 rpm'de $E(t)$ değeri 0,0207, 50 sn'de ve 70 rpm'de $E(t)$ değeri ise 0,0207, 30 sn'de gözlemlenmiştir. Ortalama kalma zamanı (τ) 60,40 sn iken 60 ve 70 rpm vida dönme hızlarında sırasıyla 55,40 sn ve 50,10 sn olarak ölçülmektedir. Minimum kalma zamanı (t_{min}) değerleri de 50 rpm'de 2,40 sn, 60 rpm'de 2,34 sn ve 70 rpm'de 2,28 sn olarak ölçülmektedir.
- 70 °C sabit sıcaklıkta 50 rpm'de kalma zamanı dağılımı $E(t)$ piki maksimum değeri 0,0197, 40 sn'de, 60 rpm'de $E(t)$ değeri 0,0209, 40 sn'de ve 70 rpm'de $E(t)$ değeri ise 0,0216, 30 sn'de gözlemlenmiştir. Ortalama kalma zamanı (τ) 56 sn iken 60 ve 70 rpm vida dönme hızlarında sırasıyla 52,90 sn ve 48,30 sn olarak ölçülmektedir. Minimum kalma zamanı (t_{min}) değerleri de 50 rpm'de 2,29 sn, 60 rpm'de 2,10 sn ve 70 rpm'de 2,05 sn olarak ölçülmektedir.

- 80 °C sabit sıcaklıkta 50 rpm'de kalma zamanı dağılımı $E(t)$ piki maksimum değeri 0,0204, 30 sn'de, 60 rpm'de $E(t)$ değeri 0,0211, 30 sn'de ve 70 rpm'de $E(t)$ değeri ise 0,0217, 30 sn'de gözlemlenmiştir. Ortalama kalma zamanı (τ) 50,20 sn iken 60 ve 70 rpm vida dönme hızlarında sırasıyla 46,60 sn ve 41,60 sn olarak ölçülmektedir. Minimum kalma zamanı (t_{\min}) değerleri de 50 rpm'de 2,07 sn, 60 rpm'de 1,55 sn ve 70 rpm'de 1,45 sn olarak ölçülmektedir.

% 15,00 Stearik asit/ EVA sabit vida dönme hızında;

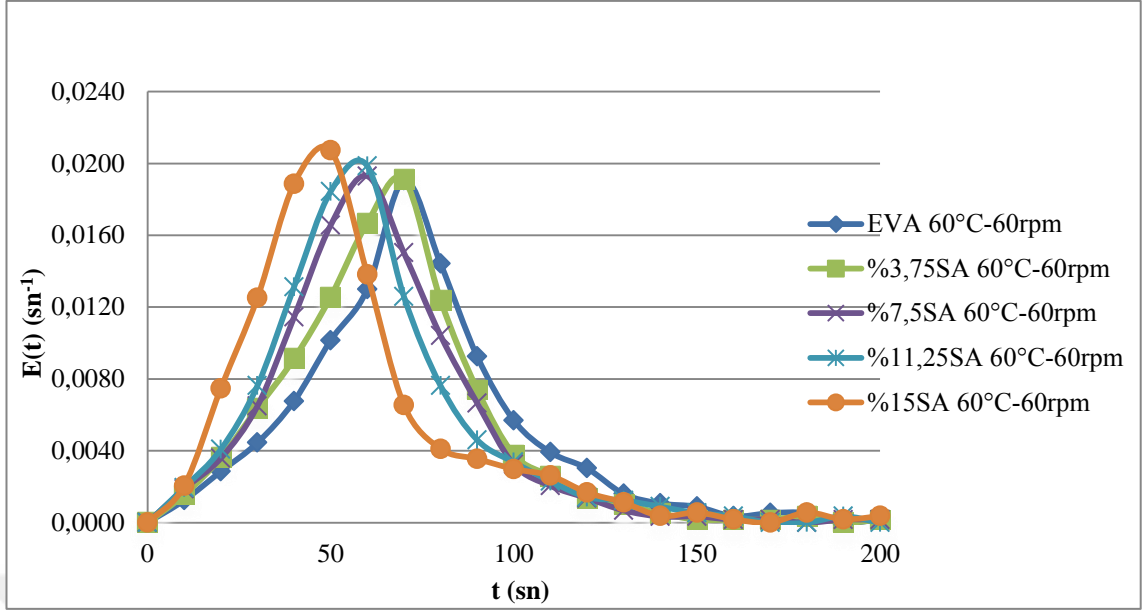
- 50 rpm sabit vida dönme hızında 60 °C sıcaklıkta $E(t)$ piki maksimum değeri 0,0195, 50s n'de, 70 °C'de $E(t)$ değeri 0,0197, 40 sn'de ve 80 °C'de $E(t)$ değeri ise 0,0204, 30 sn'de gözlemlenmiştir. Ortalama kalma zamanı (τ) 60 °C'de 60,40 sn, 70 °C'de 56 sn ve 80 °C'de 50,20 sn olarak ölçülmektedir. Minimum kalma zamanı (t_{\min}) değerleri de 60 °C' de 2,40 sn, 70 °C'de 2,29 sn ve 80 °C'de 2,07 sn olarak ölçülmektedir.
- 60 rpm sabit vida dönme hızında 60 °C sıcaklıkta $E(t)$ piki maksimum değeri 0,0207, 50 sn'de, 70 °C'de $E(t)$ değeri 0,0209, 40 sn'de ve 80 °C'de $E(t)$ değeri ise 0,0211, 30 sn'de gözlemlenmiştir. Ortalama kalma zamanı (τ) 60 °C'de 55,40 sn, 70 °C'de 52,90 sn ve 80 °C'de 46,60 sn olarak ölçülmektedir. Minimum kalma zamanı (t_{\min}) değerleri de 60 °C'de 2,34 sn, 70 °C'de 2,10 sn ve 80 °C'de 1,55 sn olarak ölçülmektedir.
- 70 rpm sabit vida dönme hızında 60 °C sıcaklıkta $E(t)$ piki maksimum değeri 0,0220, 40 sn'de, 70 °C'de $E(t)$ değeri 0,0216, 30 sn'de ve 80 °C'de $E(t)$ değeri ise 0,0232, 30 sn'de gözlemlenmiştir. Ortalama kalma zamanı (τ) 60 °C'de 50,10 sn, 70 °C'de 48,30 sn ve 80 °C'de 41,60 sn olarak ölçülmektedir. Minimum kalma zamanı (t_{\min}) değerleri de 60 °C'de 2,28 sn, 70 °C'de 2,05 sn ve 80 °C'de 1,45 sn olarak ölçülmektedir.

4.1.6. Saf EVA, %3,75–7,50–11,25–15,00 Stearik Asit/EVA Karışımları Üzerine Sıcaklık Ve Vida Hızı Etkisinin Kalma Zamanı Dağılım Grafiği



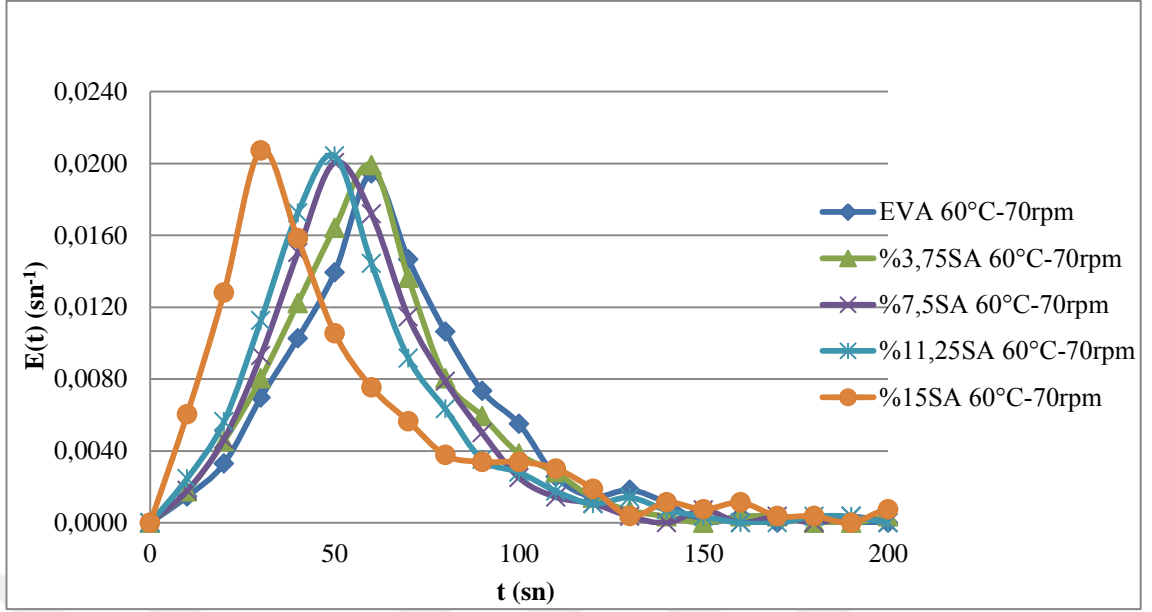
Şekil 4.36: Saf EVA ve %3,75-7,50-11,25-15,00 SA/EVA'nın 60 °C ve 50 rpm'de kalma zamanı dağılımı.

- 60 °C ve 50 rpm'de ortalama kalma zamanları (τ) ve Minimum kalma zamanları (t_{\min}); Saf EVA $\tau=78$ sn ve $t_{\min}=2,55$ sn, %3,75 SA/EVA $\tau=73,10$ sn ve $t_{\min}=2,52$ sn, %7,50 SA/EVA $\tau=68$ sn ve $t_{\min}=2,49$ sn, %11,25 SA/EVA $\tau=65,90$ sn ve $t_{\min}=2,44$ sn ve %15,00 SA/EVA $\tau=60,40$ sn ve $t_{\min}=2,40$ sn olarak ölçülmektedir.



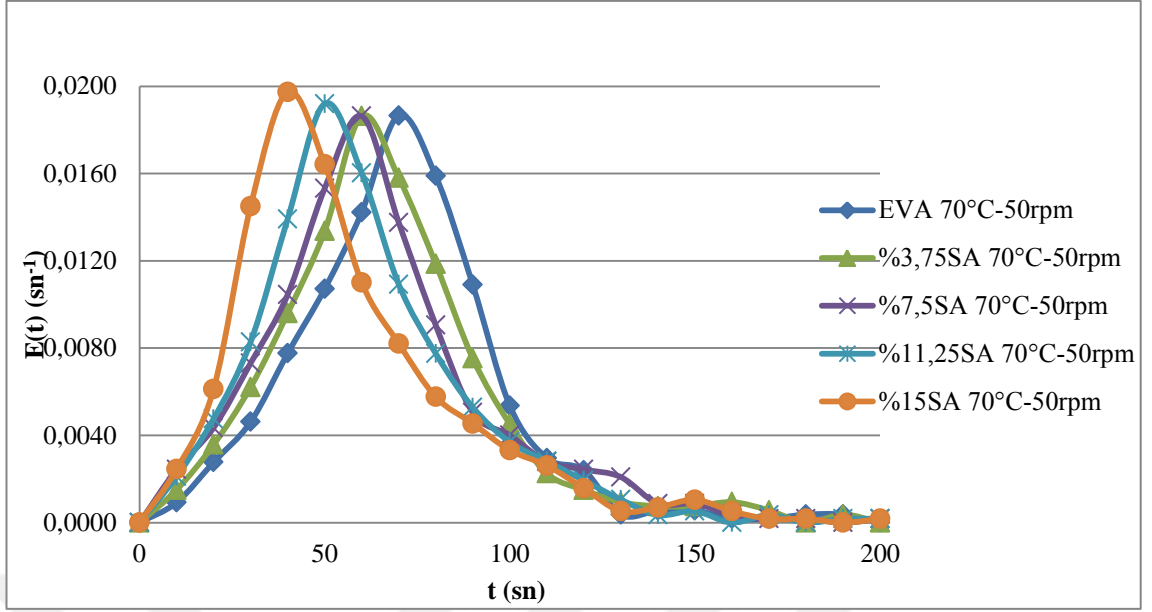
Şekil 4.37: Saf EVA ve %3,75-7,50-11,25-15,00 SA/EVA'nın 60 °C ve 60 rpm'de kalma zamanı dağılımı.

- 60 °C ve 60 rpm'de ortalama kalma zamanları (τ) ve Minimum kalma zamanları (t_{\min}); Saf EVA $\tau=72,50$ sn ve $t_{\min}=2,48$ sn, %3,75 SA/EVA $\tau=64,90$ sn ve $t_{\min}=2,45$ sn, %7,50 SA/EVA $\tau=62,30$ sn ve $t_{\min}=2,42$ sn, %11,25 SA/EVA $\tau=61$ sn ve $t_{\min}=2,40$ sn ve %15,00 SA/EVA $\tau=55,40$ sn ve $t_{\min}=2,34$ sn olarak ölçülmektedir.



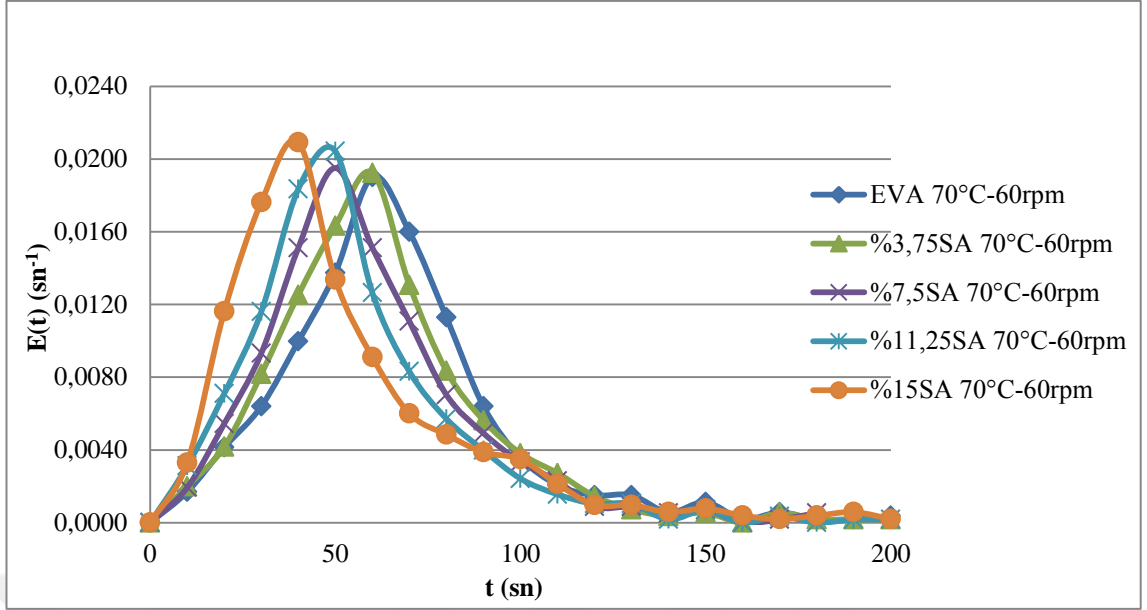
Şekil 4.38: Saf EVA ve %3,75-7,50-11,25-15,00 SA/EVA'nın 60 °C ve 70 rpm'de kalma zamanı dağılımı.

- 60 °C ve 70 rpm de ortalama kalma zamanları (τ) ve Minimum kalma zamanları (t_{\min}); Saf EVA $\tau=65$ sn ve $t_{\min}=2,44$ sn, %3,75 SA/EVA $\tau=61$ sn ve $t_{\min}=2,40$ sn, %7,50 SA/EVA $\tau=58,10$ sn ve $t_{\min}=2,37$ sn, %11,25 SA/EVA $\tau=56,20$ sn ve $t_{\min}=2,35$ sn ve %15,00 SA/EVA $\tau=50,10$ sn ve $t_{\min}=2,28$ sn olarak ölçülmektedir.



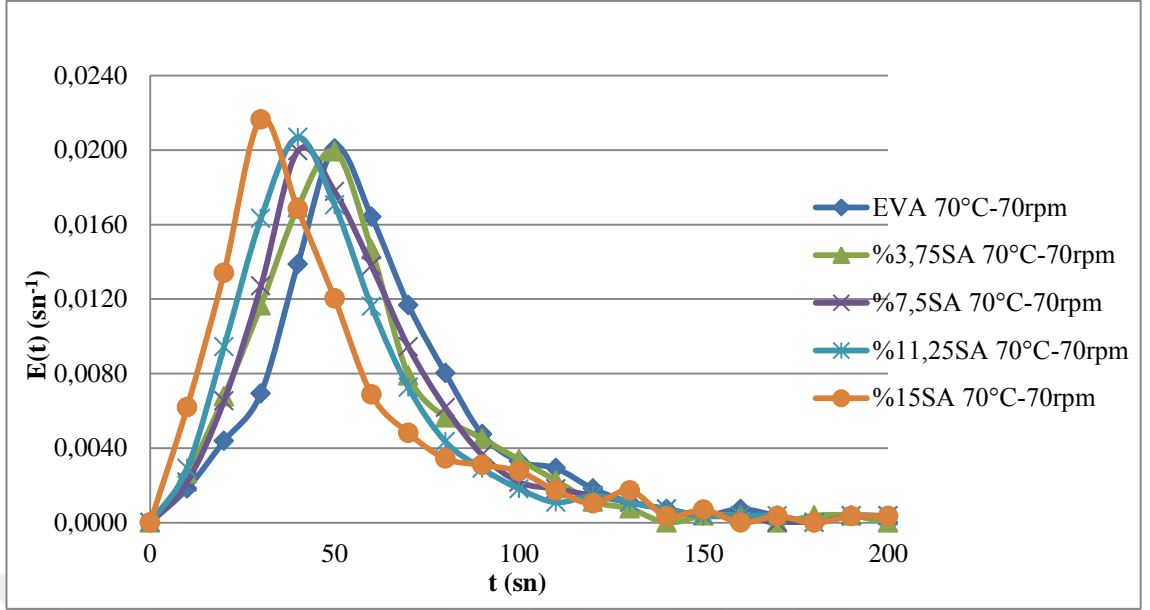
Şekil 4.39: Saf EVA ve %3,75-7,50-11,25-15,00 SA/EVA'nın 70 °C ve 50 rpm'de kalma zamanı dağılımı.

- 70 °C ve 50 rpm de ortalama kalma zamanları (τ) ve Minimum kalma zamanları (t_{\min}); Saf EVA $\tau=70,30$ sn ve $t_{\min}=2,50$ sn, %3,75 SA/EVA $\tau=66,80$ sn ve $t_{\min}=2,45$ sn, %7,50 SA/EVA $\tau=64$ sn ve $t_{\min}=2,38$ sn, %11,25 SA/EVA $\tau=60,60$ sn ve $t_{\min}=2,35$ sn ve %15,00 SA/EVA $\tau=56$ sn ve $t_{\min}=2,29$ sn olarak ölçülmektedir.



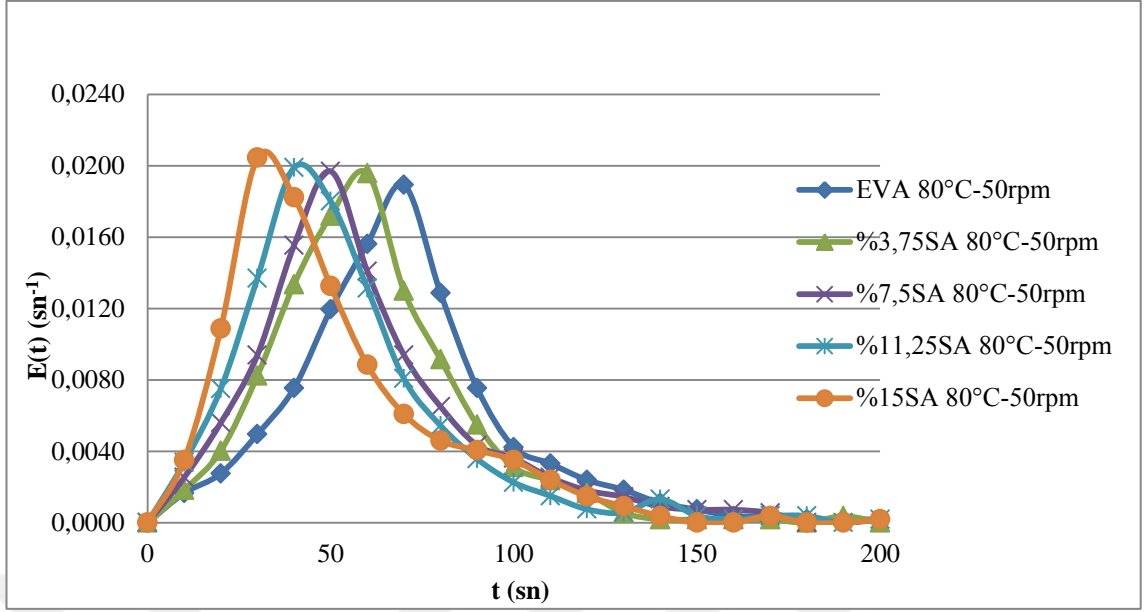
Şekil 4.40: Saf EVA ve %3,75-7,50-11,25-15,00 SA/EVA'nın 70 °C ve 60 rpm'de kalma zamanı dağılımı.

- 70 °C ve 60 rpm de ortalama kalma zamanları (τ) ve Minimum kalma zamanları (t_{\min}); Saf EVA $\tau=65,80$ sn ve $t_{\min}=2,30$ sn, %3,75 SA/EVA $\tau=61,10$ sn ve $t_{\min}=2,22$ sn, %7,50 SA/EVA $\tau=59,10$ sn ve $t_{\min}=2,20$ sn, %11,25 SA/EVA $\tau=54,60$ sn ve $t_{\min}=2,14$ sn ve %15,00 SA/EVA $\tau=52,90$ sn ve $t_{\min}=2,10$ sn olarak ölçülmektedir.



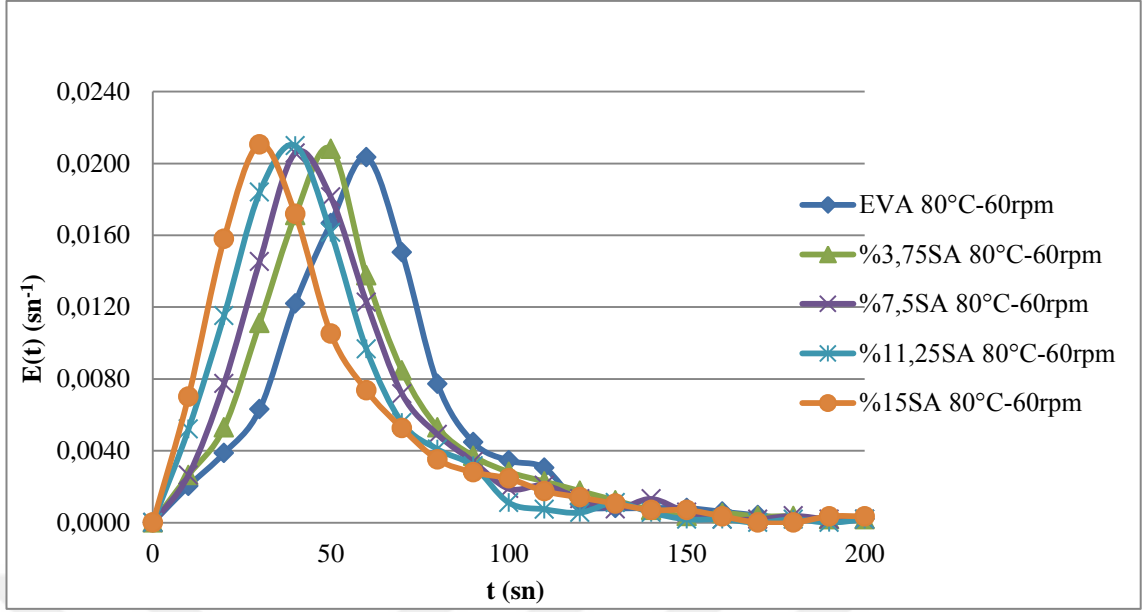
Şekil 4.41: Saf EVA ve %3,75-7,50-11,25-15,00 SA/EVA'nın 70 °C ve 70 rpm'de kalma zamanı dağılımı.

- 70 °C ve 70 rpm de ortalama kalma zamanları (τ) ve Minimum kalma zamanları (t_{min}); Saf EVA $\tau=61,90$ sn ve $t_{min}=2,23$ sn, %3,75 SA/EVA $\tau=55,70$ sn ve $t_{min}=2,18$ sn, %7,50 SA/EVA $\tau=55,50$ sn ve $t_{min}=2,12$ sn, %11,25 SA/EVA $\tau=51,90$ sn ve $t_{min}=2,08$ sn ve %15,00 SA/EVA $\tau=48,30$ sn ve $t_{min}=2,05$ sn olarak ölçülmektedir.



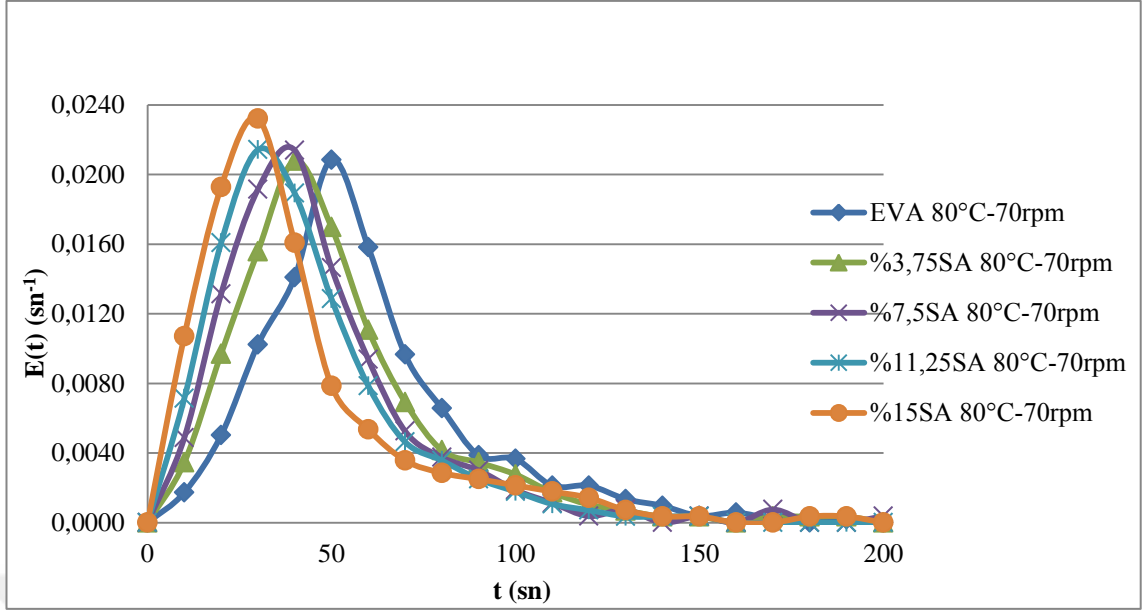
Şekil 4.42: Saf EVA ve %3,75-7,50-11,25-15,00 SA/EVA'nın 80 °C ve 50 rpm'de kalma zamanı dağılımı.

- 80 °C ve 50 rpm de ortalama kalma zamanları (τ) ve Minimum kalma zamanları (t_{\min}); Saf EVA $\tau=69,90$ sn ve $t_{\min}=2,39$ sn, %3,75 SA/EVA $\tau=60,40$ sn ve $t_{\min}=2,35$ sn, %7,50 SA/EVA $\tau=59,70$ sn ve $t_{\min}=2,25$ sn, %11,25 SA/EVA $\tau=53,10$ sn ve $t_{\min}=2,15$ sn ve %15,00 SA/EVA $\tau=50,20$ sn ve $t_{\min}=2,07$ sn olarak ölçülmektedir.



Şekil 4.43: Saf EVA ve %3,75-7,50-11,25-15,00 SA/EVA'nın 80 °C ve 60 rpm'de kalma zamanı dağılımı.

- 80 °C ve 60 rpm de ortalama kalma zamanları (τ) ve Minimum kalma zamanları (t_{\min}); Saf EVA $\tau=63,20$ sn ve $t_{\min}=2,25$ sn, %3,75 SA/EVA $\tau=57,10$ sn ve $t_{\min}=2,16$ sn, %7,50 SA/EVA $\tau=53,80$ sn ve $t_{\min}=2,10$ sn, %11,25 SA/EVA $\tau=46,60$ sn ve $t_{\min}=2,04$ sn ve %15,00 SA/EVA $\tau=46,90$ sn ve $t_{\min}=1,55$ sn olarak ölçülmektedir.



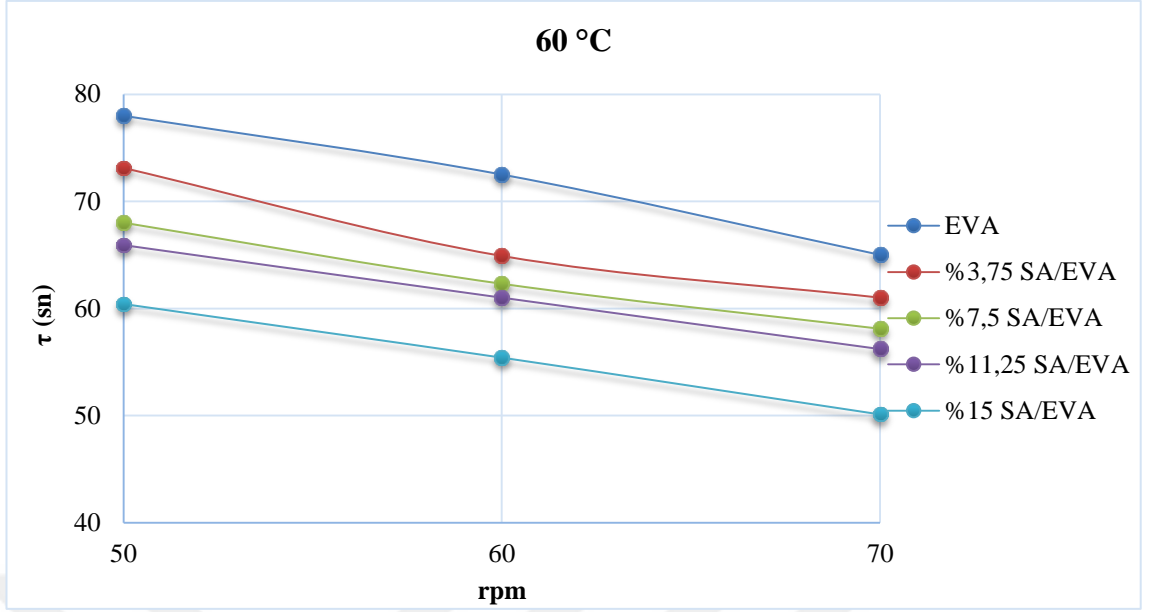
Şekil 4.44: Saf EVA ve %3,75-7,50-11,25-15,00 SA/EVA'nın 80 °C ve 70 rpm'de kalma zamanı dağılımı.

- 80 °C ve 70 rpm de ortalama kalma zamanları (τ) ve Minimum kalma zamanları (t_{\min}); Saf EVA $\tau=58,90$ sn ve $t_{\min}=2,12$ sn, %3,75 SA/EVA $\tau=51,60$ sn ve $t_{\min}=2,08$ sn, %7,50 SA/EVA $\tau=47$ sn ve $t_{\min}=2,02$ sn, %11,25 SA/EVA $\tau=42,70$ sn ve $t_{\min}=1,55$ sn ve %15,00 SA/EVA $\tau=41,60$ sn ve $t_{\min}=1,45$ sn olarak ölçülmektedir.

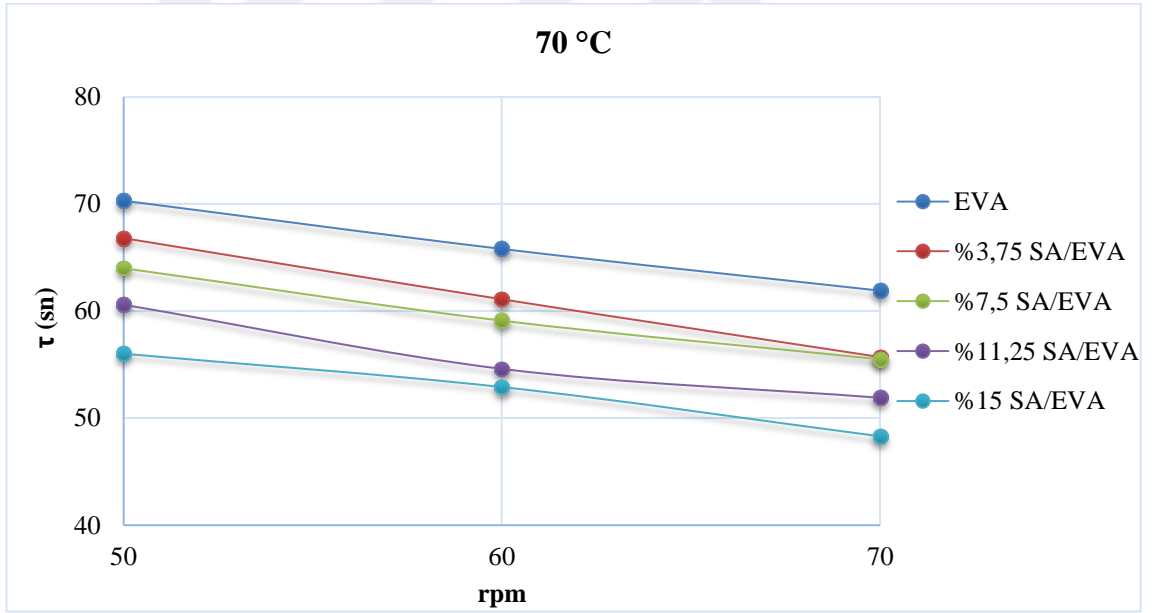
4.1.6.1. Saf EVA, %3,75–7,50–11,25–15,00 Stearik Asit/EVA Karışımları Üzerine Sıcaklık Ve Vida Hızı Etkisinin Ortalama Kalma Zamanı Değerleri

Tablo 4.6: Saf EVA ve %3,75-7,50-11,25-15,00 SA/EVA'nın ortalama kalma zamanı değerleri.

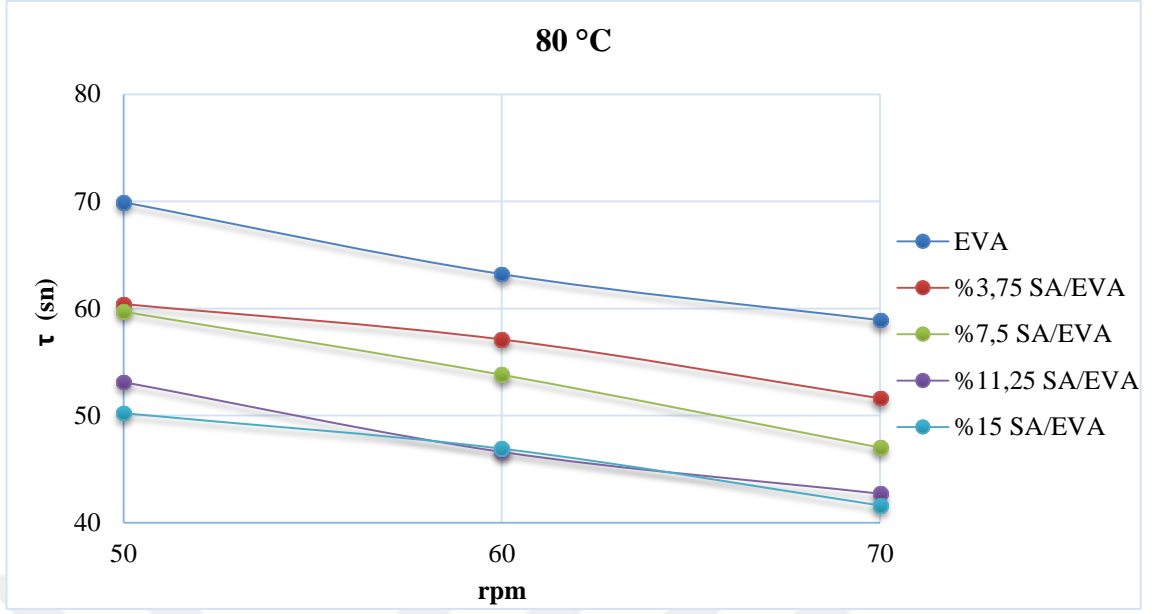
τ (sn)	60 °C			70 °C			80 °C		
	50 rpm	60 rpm	70 rpm	50 rpm	60 rpm	70 rpm	50 rpm	60 rpm	70 rpm
Saf EVA	78,0	72,5	65,0	70,3	65,8	61,9	69,9	63,2	58,9
%3,75 SA/EVA	73,1	64,9	61,0	66,8	61,1	55,7	60,4	57,1	51,6
%7,50 SA /EVA	68,0	62,3	58,1	64,0	59,1	55,5	59,7	53,8	47,0
%11,25SA/EVA	65,9	61,0	56,2	60,6	54,6	51,9	53,1	47,9	42,7
%15 SA/EVA	60,4	55,4	50,1	56,0	52,9	48,3	50,2	46,6	41,6



Şekil 4.45: Saf EVA ve %3,75-7,50-11,25-15,00 SA/EVA'nın 60 °C'de 50-60-70 rpm çalışma koşullarında ortalama kalma zamanı.



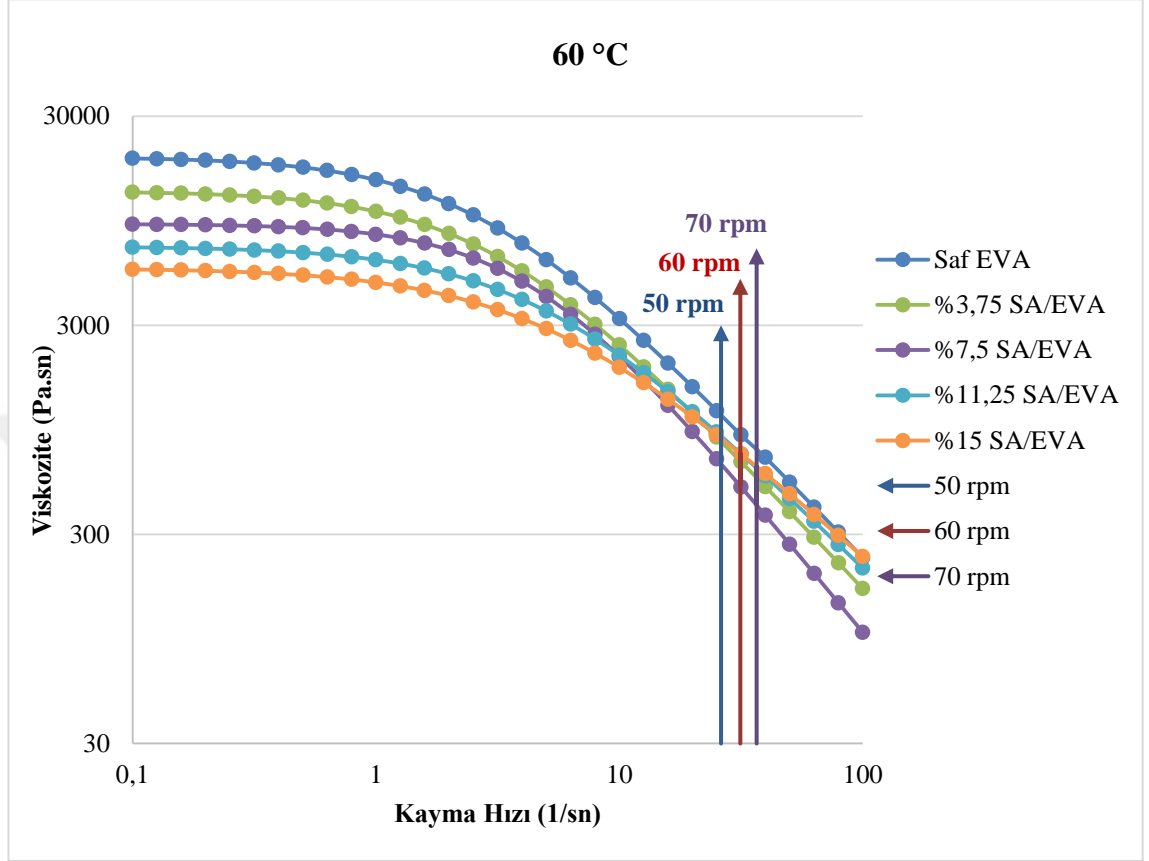
Şekil 4.46: Saf EVA ve %3,75-7,50-11,25-15,00 SA/EVA'nın 70 °C'de 50-60-70 rpm çalışma koşullarında ortalama kalma zamanı.



Şekil 4.47: Saf EVA ve %3,75-7,50-11,25-15,00 SA/EVA'nın 80 °C'de 50-60-70 rpm çalışma koşullarında ortalama kalma zamanı.

4.2. KARARLI HAL AKIŞI VİSKOZİTE ÖLÇÜMLERİ

4.2.1. 60-70-80 °C'de Viskozite Ölçümleri

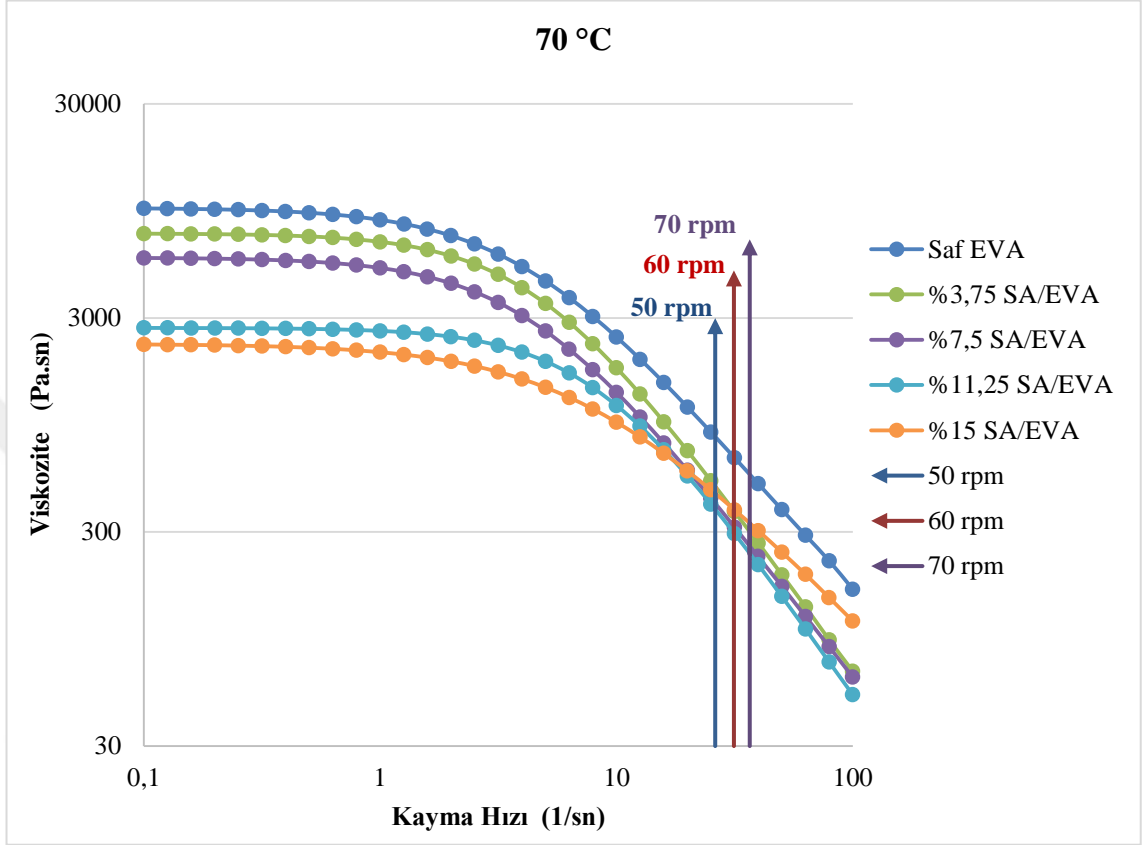


Şekil 4.48: Saf EVA ve %3,75-7,50-11,25-15,00 SA/EVA'nın 60 °C'de kararlı hal akış davranışı.

60 °C'de 50-60-70 rpm vida dönme hızlarında malzemelerin ekstrüder içerisindeki davranışlarının görünür viskozite olarak;

- 50 rpm'de saf EVA $\mu=1114,473$ Pa.sn, %3,75 SA/EVA $\mu=834,1091$ Pa.sn, %7,50 SA/EVA $\mu=652,055$ Pa.sn, %11,25 SA/EVA $\mu=885,759$ Pa.sn ve %15,00 SA/EVA $\mu=863,720$ Pa.sn olarak ölçülmektedir.
- 60 rpm'de saf EVA $\mu=924,323$ Pa.sn, %3,75SA/EVA $\mu=673,119$ Pa.sn, %7,50 SA/EVA $\mu=510,742$ Pa.sn, %11,25 SA/EVA $\mu=734,101$ Pa.sn ve %15,00 SA/EVA $\mu=731,169$ Pa.sn olarak ölçülmektedir.

- 70 rpm'de saf EVA $\mu=771,897$ Pa.sn, %3,75 SA/EVA $\mu=560,399$ Pa.sn, %7,50 SA/EVA $\mu=414,267$ Pa.sn, %11,25 SA/EVA $\mu=624,291$ Pa.sn ve %15,00 SA/EVA $\mu=632,981$ Pa.sn olarak ölçülmektedir.

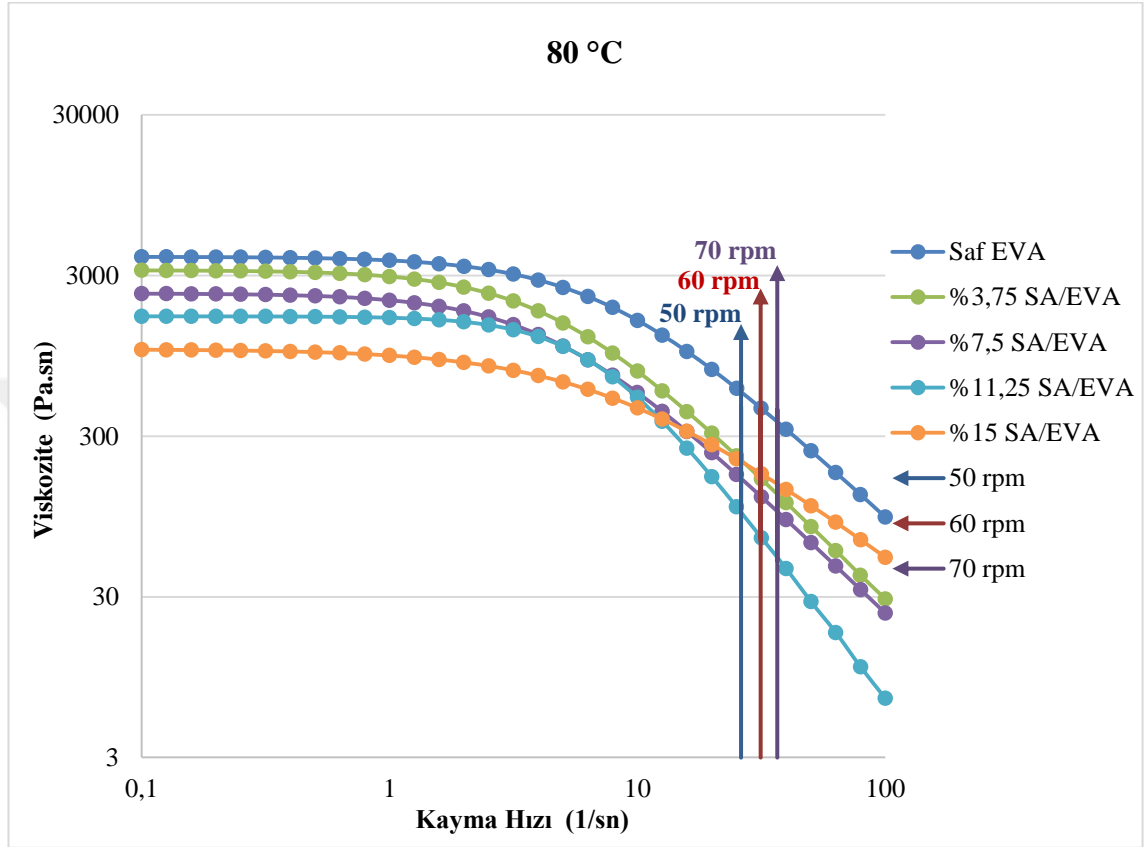


Şekil 4.49: Saf EVA ve %3,75-7,50-11,25-15,00 SA/EVA'nın 70 °C'de kararlı hal akış davranışı.

70 °C'de 50-60-70 rpm varda dönme hızlarında malzemelerin ekstrüder içerisindeki davranışlarının görünür viskozite olarak;

- 50 rpm'de saf EVA $\mu=836,327$ Pa.sn, %3,75 SA/EVA $\mu=490,356$ Pa.sn, %7,50 SA/EVA $\mu=408,422$ Pa.sn, %11,25 SA/EVA $\mu=383,082$ Pa.sn ve %15,00 SA/EVA $\mu=454,246$ Pa.sn olarak ölçülmektedir.
- 60 rpm'de saf EVA $\mu=672,016$ Pa.sn, %3,75 SA/EVA $\mu=376,835$ Pa.sn, %7,50 SA/EVA $\mu=319,239$ Pa.sn, %11,25 SA/EVA $\mu=297,112$ Pa.sn ve %15,00 SA/EVA $\mu=382,867$ Pa.sn olarak ölçülmektedir.

70 rpm'de saf EVA $\mu=557,791$ Pa.sn, %3,75 SA/EVA $\mu=300,724$ Pa.sn, %7,50 SA/EVA $\mu=258,469$ Pa.sn, %11,25 SA/EVA $\mu=238,099$ Pa.sn ve %15,00 SA/EVA $\mu=329,744$ Pa.sn olarak ölçülmektedir.



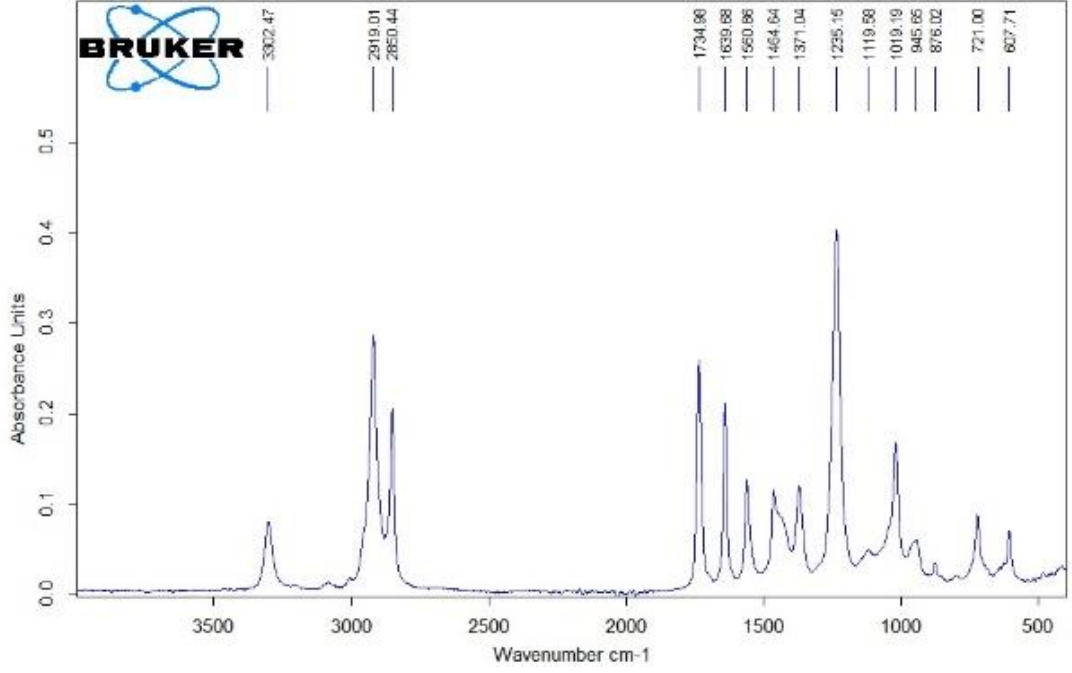
Şekil 4.50: Saf EVA ve %3,75-7,50-11,25-15,00 SA/EVA'nın 80 °C'de kararlı hal akış davranışı.

80 °C'de 50-60-70 rpm vıda dönme hızlarında malzemelerin ekstrüder içerisindeki davranışlarının görünür viskozite olarak;

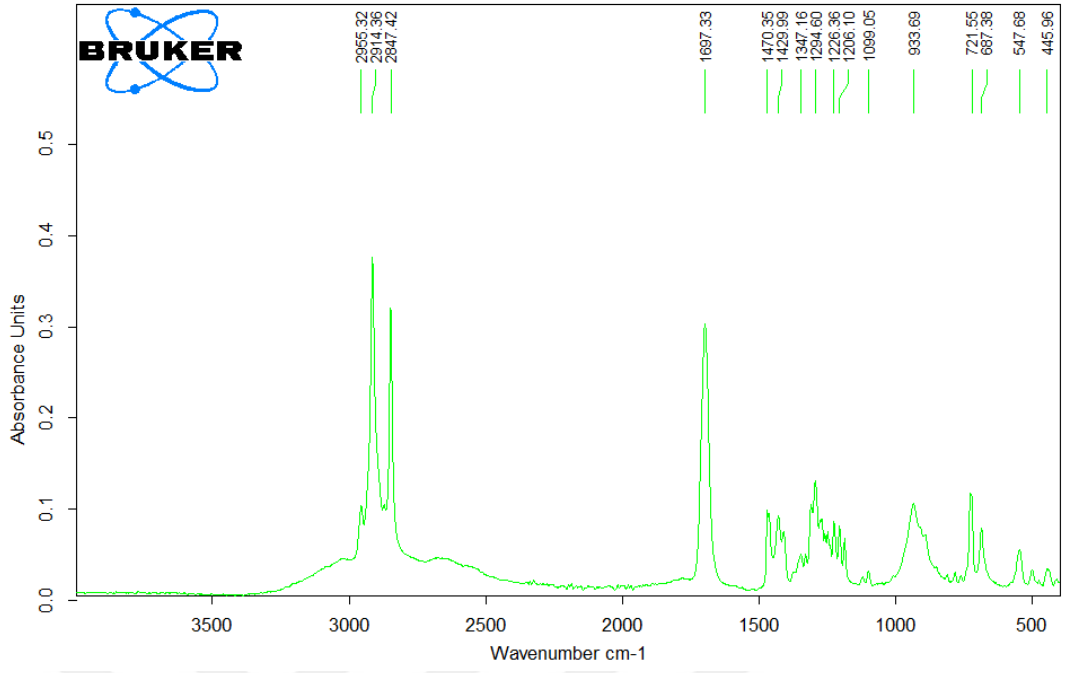
- 50 rpm'de saf EVA $\mu=565,925$ Pa.sn, %3,75 SA/EVA $\mu=213,095$ Pa.sn, %7,50 SA/EVA $\mu=163,845$ Pa.sn, %11,25 SA/EVA $\mu=101,247$ Pa.sn ve %15,00 SA/EVA $\mu=454,246$ Pa.sn olarak ölçülmektedir.
- 60 rpm'de saf EVA $\mu=450,016$ Pa.sn, %3,75 SA/EVA $\mu=163,770$ Pa.sn, %7,50 SA/EVA $\mu=127,045$ Pa.sn, %11,25 SA/EVA $\mu=71,27$ Pa.sn ve %15,00 SA/EVA $\mu=445,106$ Pa.sn olarak ölçülmektedir.

- 70 rpm'de saf EVA $\mu=369,237$ Pa.sn, %3,75 SA/EVA $\mu=130,700$ Pa.sn, %7,50 SA/EVA $\mu=102,15,001$ Pa.sn, %11,25 SA/EVA $\mu=52,728$ Pa.sn ve %15,00 SA/EVA $\mu=436,716$ Pa.sn olarak ölçülmektedir.

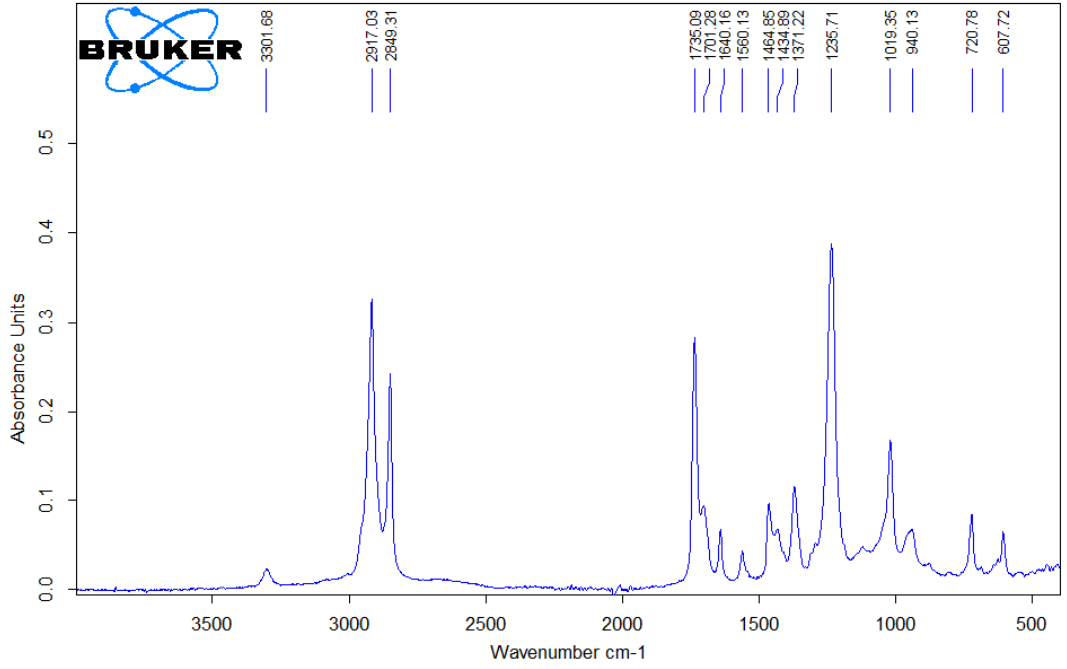
4.3. FT-IR ÖLÇÜMLERİ



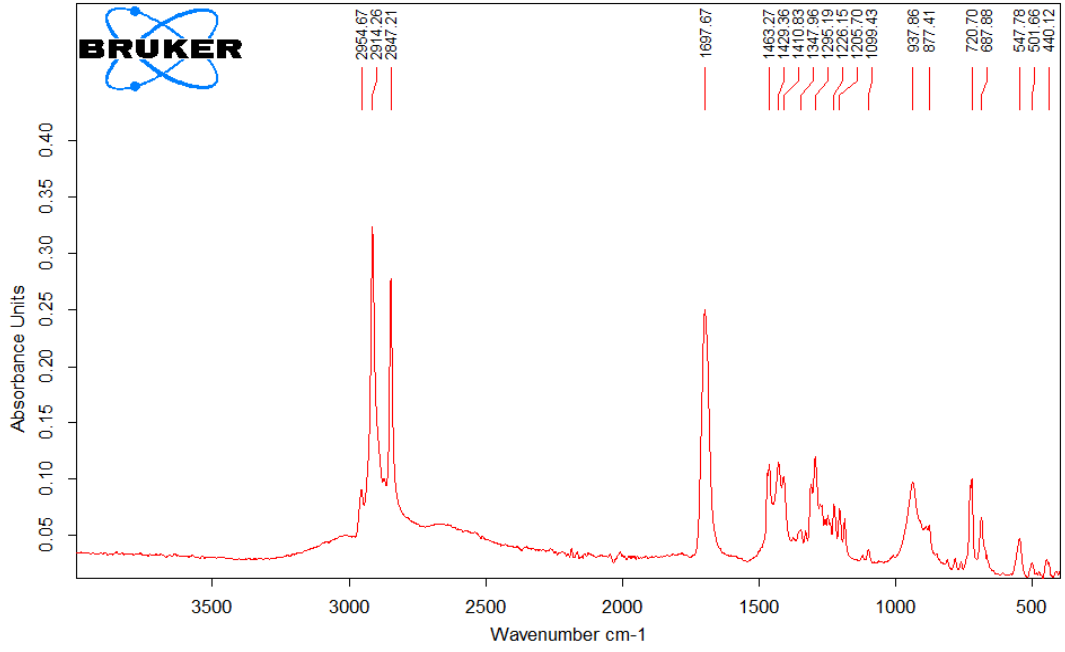
Şekil 4.51: Saf EVA FT-IR ölçümü.



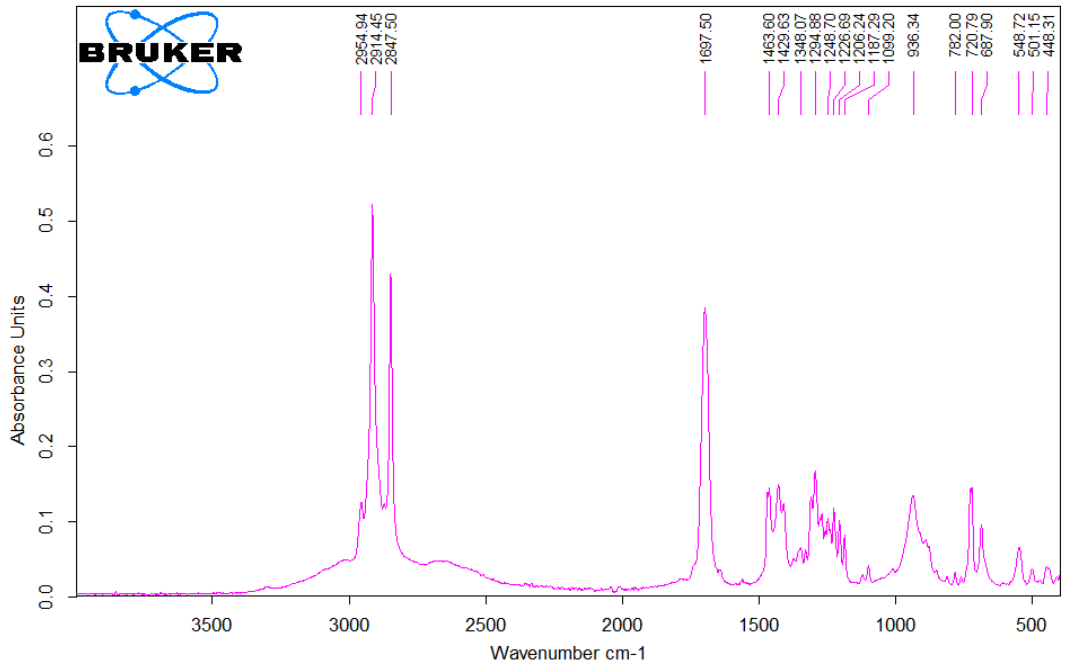
Şekil 4.52: Stearik asit FT-IR ölçümü.



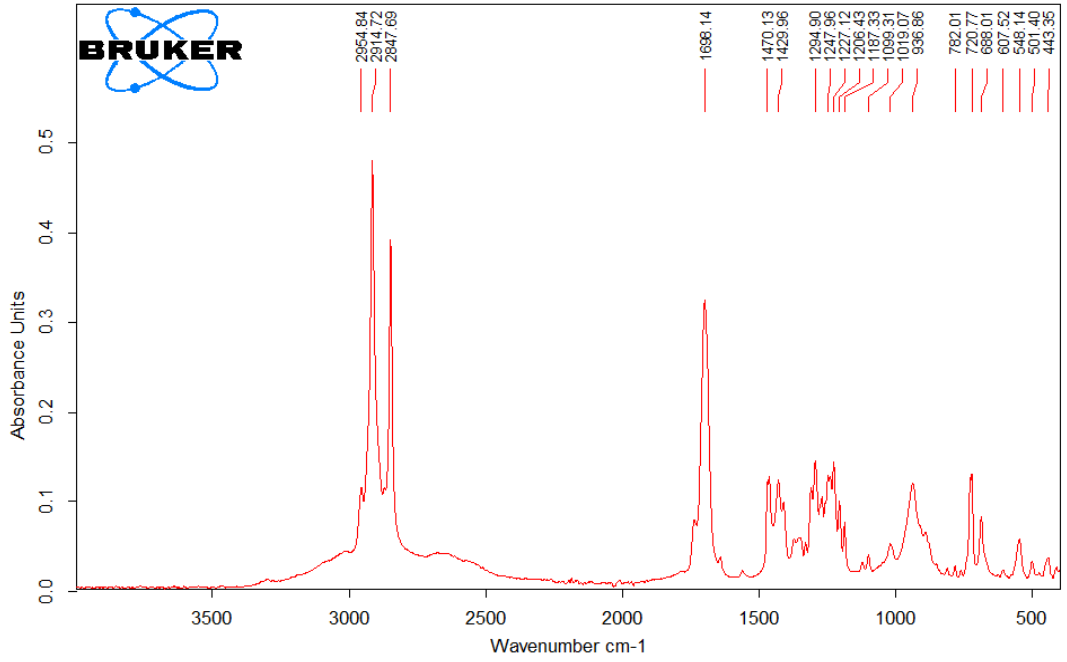
Şekil 4.53: %3,75 SA/EVA FT-IR ölçümü.



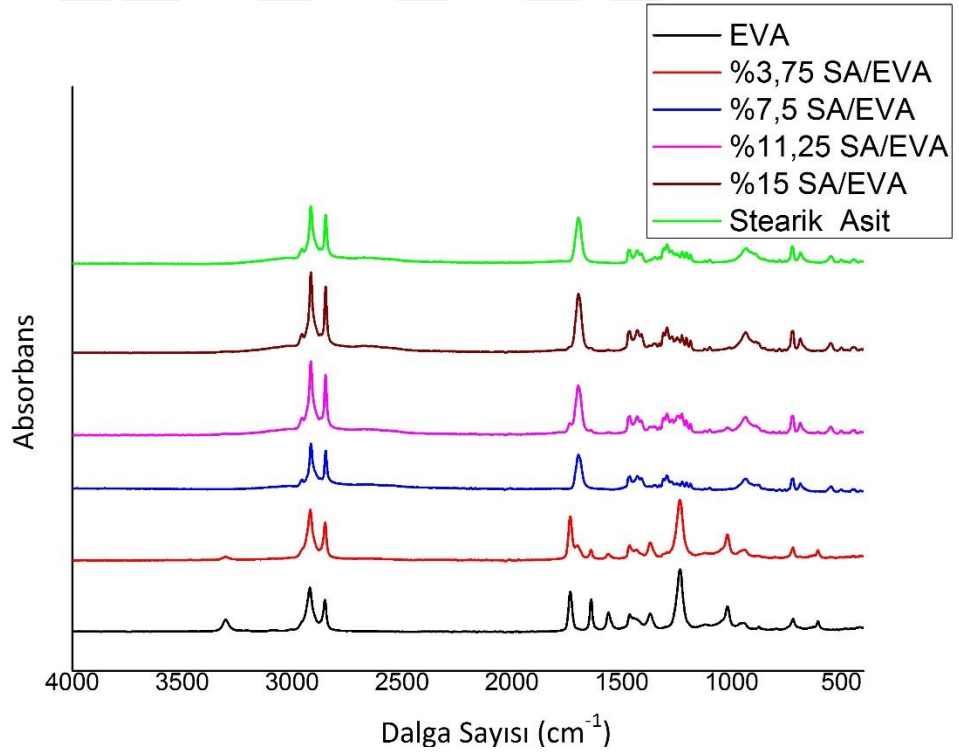
Şekil 4.54: %7,50 Sa/EVA FT-IR ölçümü.



Şekil 4.55: %11,25 SA/EVA FT-IR ölçümü.



Şekil 4.56: %15,00 SA/EVA FT-IR ölçümü.



Şekil 4.57: Saf EVA, %3,75-7,50-11,25-15,00 SA/EVA FT-IR ölçümleri.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Etilen vinil asetat kopolimerinin üzerine çözücü yardımıyla lübrیکant olarak farklı oranlarda stearik asit kaplanarak, tek vidalı ekstrüderdeki kalma zamanı dağılımı üzerine etkisi incelenmiştir. Tek vidalı ekstrüderde kalma zamanı dağılımının, sıcaklık, vida dönme hızı ve lübrیکant oranının artışıyla azaldığı gözlemlenmiştir.

Maksimum ortalama kalma zamanı değerleri 60 °C sıcaklıkta 50 rpm vida dönme hızında saf EVA'nın 78 sn iken %15,00'lik lübrیکant kaplanmasıyla 60,40 sn olarak gözlemlenmiştir. Vida dönme hızı 60 rpm ve 70 rpm değerlerine yükseltildiğinde saf EVA için ortalama kalma zamanında sırasıyla yaklaşık %7 ve %17 azalma gözlemlenmiştir. Saf EVA'ya göre %15,00'lik lübrیکant kaplanmasıyla yaklaşık 50 rpm'de %22, 60 rpm'de %23 ve 70 rpm'de ise %23 azalma gözlemlenmiştir.

70 °C sıcaklıkta 50 rpm vida dönme hızında saf EVA'nın ortalama kalma zamanı 70,30 sn iken %15,00'lik lübrیکant kaplanmasıyla 56 sn'ye düştüğü gözlemlenmiştir. Vida dönme hızı 60 rpm ve 70 rpm değerlerine yükseltildiğinde saf EVA için ortalama kalma zamanında sırasıyla yaklaşık %7 ve %12 azalma gözlemlenmiştir. Saf EVA'ya göre %15,00'lik lübrیکant kaplanmasıyla yaklaşık 50 rpm'de %20, 60 rpm'de %20 ve 70 rpm'de %22 azalma olduğu gözlemlenmiştir.

80 °C sıcaklıkta 50 rpm vida dönme hızında saf EVA'nın ortalama kalma zamanı 69,90 sn iken %15,00'lik lübrیکant kaplanmasıyla 50,20 sn'ye düştüğü gözlemlenmiştir. Vida dönme hızı 60 rpm ve 70 rpm değerlerine yükseltildiğinde saf EVA için ortalama kalma zamanında yaklaşık sırasıyla %10 ve %16 azalma gözlemlenmiştir. Saf EVA'ya göre %15,00'lik lübrیکant kaplanmasıyla yaklaşık 50 rpm'de %28, 60 rpm'de %26 ve 70 rpm'de %29 azalma gözlemlenmiştir.

Minimum kalma zamanı değerleri (t_{\min}) 60 °C sıcaklıkta 50 rpm vida dönme hızında saf EVA'nın 2,55 sn iken %15,00'lik lübrیکant kaplanmasıyla 2,40 sn değerine düştüğü gözlemlenmiştir. Vida dönme hızı 60 rpm ve 70 rpm değerlerine yükseltildiğinde saf

EVA için minimum kalma zamanında yaklaşık sırasıyla %3 ve %4 azalma gözlemlenmiştir. Saf EVA'ya göre %15,00'lik lubrikant kaplanmasıyla yaklaşık 50 rpm'de %6, 60 rpm'de %6 ve 70 rpm'de %7 azalma olduğu gözlemlenmiştir.

Minimum kalma zamanı değerleri (t_{min}) 70 °C sıcaklıkta ve 50 rpm vida dönme hızında saf EVA'nın 2,50 sn iken %15,00'lik lubrikant kaplanmasıyla 2,29 sn değerine düştüğü gözlemlenmiştir. Vida dönme hızı 60 rpm ve 70 rpm değerlerine yükseltildiğinde saf EVA için minimum kalma zamanında sırasıyla yaklaşık %8 ve %10 azalma gözlemlenmiştir. Saf EVA'ya göre %15,00'lik lubrikat kaplanmasıyla yaklaşık 50 rpm'de %8, 60 rpm'de %8 ve 70 rpm'de ise %8 azalma gözlemlenmiştir.

Minimum kalma zamanı değerleri (t_{min}) 80 °C sıcaklıkta ve 50 rpm vida dönme hızında saf EVA'nın 2,39 sn iken %15,00'lik lubrikant kaplanmasıyla 2,07 sn değerine düştüğü gözlemlenmiştir. Vida dönme hızı 60 rpm ve 70 rpm değerlerine yükseltildiğinde saf EVA için minimum kalma zamanında sırasıyla yaklaşık %6 ve %11 azalma gözlemlenmiştir. Saf EVA'ya göre %15,00'lik lubrikat kaplanmasıyla yaklaşık 50 rpm'de %13, 60 rpm'de %31 ve 70 rpm'de %32 azalma gözlemlenmiştir.

Tek vidalı ekstrüder içerisinde 60-70-80 °C sıcaklıklarda ve 50-60-70 rpm dönme hızlarında saf EVA ve %3,75-7,50-11,25-15,00 oranlarında lubrikant kaplanmış malzemelerin görünür viskozite davranışları incelenmiştir. 60 °C sıcaklıkta ve 50 rpm vida dönme hızında saf EVA'nın görünür viskozite değeri 1141,473 Pa.sn iken %11,25 ve %15,00'lik lubrikant kaplanmasıyla sırasıyla 885,759 ve 863,720 Pa.sn değerleri ölçülmüştür. 60 rpm vida dönme hızında saf EVA'nın görünür viskozite değeri 924,323 Pa.sn iken %11,25 ve %15,00'lik lubrikant kaplanmasıyla sırasıyla 734,101 ve 731,168 Pa.sn olarak ölçülmüştür. 70 rpm vida dönme hızında saf EVA'nın görünür viskozite değeri 771,896 Pa.sn iken %11,25 ve %15,00'lik lubrikant kaplanmasıyla sırasıyla 624,291 ve 632,981 Pa.sn olarak ölçülmüştür.

70 °C sıcaklıkta 50 rpm vida dönme hızında saf EVA'nın görünür viskozite değeri 836,327 Pa.sn iken %11,25 ve %15,00'lik lubrikant kaplanmasıyla sırasıyla 383,082 ve 454,245 Pa.sn olarak ölçülmüştür. 60 rpm vida dönme hızında saf EVA'nın görünür viskozite değeri 672,015 Pa.sn iken %11,25 ve %15,00'lik lubrikant kaplanmasıyla sırasıyla 297,112 ve 382,867 Pa.sn olarak ölçülmüştür. 70 rpm vida dönme hızında saf

EVA'nın görünür viskozite değeri 557,791 Pa.sn iken %11,25 ve %15,00'lik lübrikant kaplanmasıyla sırasıyla 238,099 ve 329,743 Pa.sn olarak ölçülmüştür.

80 °C sıcaklıkta 50 rpm vida dönme hızında saf EVA'nın görünür viskozite değeri 565,925 Pa.sn iken %11,25 ve %15,00'lik lübrikant kaplanmasıyla sırasıyla 101,246 ve 455,081 Pa.sn olarak ölçülmüştür. 60 rpm vida dönme hızında saf EVA'nın görünür viskozite değeri 450,365 Pa.sn iken %11,25 ve %15,00'lik lübrikant kaplanmasıyla sırasıyla 71,265 ve 445,106 Pa.sn olarak ölçülmüştür. 70 rpm vida dönme hızında saf EVA'nın görünür viskozite değeri 369,236 Pa.sn iken %11,25 ve %15,00'lik lübrikant kaplanmasıyla sırasıyla 52,727 ve 436,715 Pa.sn olarak ölçülmüştür.

%15,00 lübrikant kaplanmış EVA'nın görünür viskozitesi %3,75-7,50-11,25 oranlarında lübrikant kaplı EVA'nın değerlerinden yüksek olduğu tespit edilmiştir. Fakat ortalama kalma zamanı (τ) ve minimum kalma zamanı (t_{min}) değerlerinde beklenildiği gibi azalma gözlemlenmiştir. Lübrikant olarak kullanılan stearik asit iç kaydırıcı etkisiyle viskoziteyi düşürmekte, dış kaydırıcı etkisiyle sürtünmeyi azaltarak malzemenin tek vidalı ekstruderden kolay ve hızlı ekstrüde edilmesini sağlamıştır. Stearik asidin dış kaydırıcı etkisi baskın geldiğinden kalma zamanı değerlerinde azalma gözlemlenmiştir.

Farklı miktarlarda stearik asit kaplanan EVA, saf EVA ve stearik asit FT-IR ölçümlerine baktığımızda; 1235 cm^{-1} (-C-O-C-), 1734 cm^{-1} (C=O) vinil asetat grubuna aittir. C-H bağları 2700-3000 cm^{-1} (2919 cm^{-1} (CH₂), 2850 cm^{-1} (CH₃)) hem etilen hem de vinil asetat gruplarına aittir.

687 cm^{-1} (O-C=O), 933-1429 cm^{-1} (C-OH), 1099 cm^{-1} (C-C), 1697 cm^{-1} (C=O), 2847-2914 cm^{-1} (CH₂), 2955 cm^{-1} (CH₃) stearik asit grubuna aittir.

FT-IR pikleri incelendiğinde, stearik asit kaplama oranı arttıkça C=O piklerinin arttığı gözlemlenmiştir. 2500-3000 cm^{-1} dalga sayısındaki C-H (CH₂, CH₃) piklerinde stearik asit kaplama oranının artmasıyla birlikte saf EVA'ya göre artış olduğu gözlemlenmiştir. Buda yapıya katıldığıının bir göstergesi olarak ortaya çıkmıştır.

KAYNAKLAR

- [1]. *Production of plastics worldwide from 1950 to 2015 (in million metric tons)*, <https://www.statista.com/statistics/282732/global-production-of-plastics-since-1950>, Ziyaret tarihi: 10 Eylül 2016].
- [2]. Utracki, L.A., 1998, *Commercial Polymer Blends*, 1st ed, Springer Science and Busines Media, Canada, ISBN:978-0-412-81020-6.
- [3]. Sakai, T., 2013, Screw extrusion technology—past, present and future, *Polimery*, 58(11-12), 847-857.
- [4]. Chen, L., et al., 1993, Residence time distribution in screw extruders, *AIChE Journal*, 39(9), 1455-1464.
- [5]. Ilo, S. and E. Berghofer, 1999, Kinetics of colour changes during extrusion cooking of maize grits, *Journal of Food Engineering*, 39(1), 73-80.
- [6]. Yeh, A.-I. and Y.-M. Jaw, 1998, Modeling residence time distributions for single screw extrusion process, *Journal of Food Engineering*, 35(2), 211-232.
- [7]. Yeh, A.-I. and Y.-M. Jaw, 1999, Predicting residence time distributions in a single screw extruder from operating conditions, *Journal of Food Engineering*, 39(1), 81-89.
- [8]. Nwabueze, T.U. and M.O. Iwe, 2010, Residence time distribution (RTD) in a single screw extrusion of African breadfruit mixtures, *Food and Bioprocess Technology*, 3(1), 135-145.
- [9]. Bi, C. and B. Jiang, 2009, Study of residence time distribution in a reciprocating single-screw pin-barrel extruder, *Journal of Materials Processing Technology*, 209(8), 4147-415,003.
- [10]. Nikitine, C., et al., 2009, Residence time distribution of a pharmaceutical grade polymer melt in a single screw extrusion process, *Chemical Engineering Research and Design*, 87(6), 809-816.
- [11]. Waje, S., et al., 2007, Study of residence time distribution in a pilot-scale screw conveyor dryer, *Drying Technology*, 25(1), 249-259.
- [12]. Saçak, M., 2005, *Termoplastik Teknolojisi*, Polimer Teknolojisi, Bölüm 7, Gazi Kitabevi, Ankara, ISBN:975-8895-82-6, 180-215.

- [13]. <https://tr.wikipedia.org/wiki/Termoplastik>, [Ziyaret tarihi: 28 Ağustos 2016].
- [14]. <http://www.isovolta.de/englisch/Kunststoffe.htm>, [Ziyaret tarihi: 12 Eylül 2016].
- [15]. https://en.wikipedia.org/wiki/Ethylene-vinyl_acetate, [Ziyaret tarihi: 8 Eylül 2016].
- [16]. Chen, Y.M., et al., 2016, Fast quantifying collision strength index of ethylene-vinyl acetate copolymer coverings on the fields based on near infrared hyperspectral imaging techniques, *Scientific Reports*, 6, 20843.
- [17]. Whelan, A., 1994, *Polymer Technology Dictionary*, 1st ed, Chapman and Hall, UK, ISBN: 978-94-010-4564-3.
- [18]. Henderson, A.M., 1993, Ethylene-vinyl acetate (EVA) copolymers: a general review, *IEEE Electrical Insulation Magazine*, 1(9), 30-38.
- [19]. Alothman, O.Y., 2012, Processing and characterization of high density polyethylene/ethylene vinyl acetate blends with different VA contents, *Advances Materials Science and Engineering*.
- [20]. Altun, O., 2011, *Alev Sprey Yöntemiyle Etilen Vinil Asetat Kaplamaların Üretilmesi Ve Karakterizasyonu*, Yüksek Lisans, Sakarya Üniversitesi.
- [21]. Almeida, A., et al., 2011, Ethylene vinyl acetate as matrix for oral sustained release dosage forms produced via hot-melt extrusion, *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics*, 77(2), 297-305.
- [22]. García, A.N. and R. Font, 2004, Thermogravimetric kinetic model of the pyrolysis and combustion of an ethylene-vinyl acetate copolymer refuse, *Fuel*, 83(9), 1165-1173.
- [23]. Marais, S., et al., 2004, *Transport of water and gases through EVA/PVC blend films—permeation and DSC investigations*, *Polymer testing*, 23(4), 475-486.
- [24]. Colonna, S., et al., 2014, Aging of EVA/organically modified clay: Effect on dispersion, distribution and combustion behavior, *Polymer Degradation and Stability*, 107, 184-187.
- [25]. Mouritz, A.P. and A.G. Gibson, 2006, *Fire Properties of Polymer Composite Materials*, Springer, Netherlands, ISBN: 1-4020-5356-8.
- [26]. Zhang, X., et al., 2005, Investigation of interfacial modification for flame retardant ethylene vinyl acetate copolymer/alumina trihydrate nanocomposites, *Polymer Degradation and Stability*, 87(3), 411-418.
- [27]. Paggi, M. and A. Sapora, 2015, An accurate thermoviscoelastic rheological model for ethylene vinyl acetate based on fractional calculus, *International Journal of Photoenergy*.

- [28]. Murphy, J., *Additives for Plastics Handbook (2nd Edition)*, In: Murphy, J. (ed), Elsevier, USA, ISBN: 978-1-85617-370-4.
- [29]. Biron, M., *Thermoplastic Processing*, Thermoplastics and Thermoplastic Composites, In: Biron, M. (ed), Chapter 5, 2nd ed, Elsevier, USA, ISBN: 978-1-4557-7898-0, 715-768.
- [30]. Kutz, M., *Plastics Processing*, Applied Plastics Engineering Handbook - Processing and Materials, Chapter 12, In: Kutz, M. (ed), Elsevier, USA, ISBN: 978-1-4377-3514-7, 195-203.
- [31]. <http://alfa-img.com/show/plastic-extrusion-process.html>, [Ziyaret tarihi: 10 Ağustos 2016].
- [32]. 2006, *Şişirme Makinelerinde Üretim 1*, Plastik Teknolojisi, Milli Eğitim Bakanlığı: Ankara.
- [33]. <http://www.custompartnet.com/wu/blow-molding>, [Ziyaret tarihi: 20 Ağustos 2016].
- [34]. 2016, *Blow Moulding Methods*, <http://www.rutlandplastics.co.uk/plastics-moulding-methods/plastics-moulding-methods-blow-moulding/>, [Ziyaret tarihi: 20 Ağustos 2016].
- [35]. Kopeliovich, D., 2014, *Thermoforming*, <http://www.substech.com/dokuwiki/doku.php?id=thermoforming>, [Ziyaret tarihi: 28 Ağustos 2016].
- [36]. <http://www.custompartnet.com/wu/thermoforming>, [Ziyaret tarihi: 28 Ağustos].
- [37]. Throne, J.L., *Technology of Thermoforming*, In: Throne, J.L. (ed), Hanser Publishers, USA and Canada, ISBN: 978-3-446-40247-8, 1-28.
- [38]. Biron, M., *Detailed Accounts of Thermoplastic Resins*, Thermoplastics and Thermoplastic Composites, In: Biron, M. (ed), Chapter 4, 2nd ed, Elsevier, USA, ISBN: 978-1-4557-7898-0, 189-271.
- [39]. <http://dtresource.com/rotary-moulding.html>, [Ziyaret tarihi: 28 Ağustos 2016].
- [40]. Kutz, M., *Plastics Additives*, Applied Plastics Engineering Handbook - Processing and Materials, Chapter 23, In: Kutz, M. (ed), Elsevier, ISBN: 978-1-4377-3514-7, 419-428,
- [41]. Biron, M., *Basic Criteria for the Selection of Thermoplastics*, Thermoplastics and Thermoplastic Composites, Chapter 3, In: Biron, M. (ed), 2nd ed, Elsevier, ISBN: 978-1-4557-7898-0, 133-187.
- [42]. Saçak, M., 2005, *Polimerlerde Kullanılan Katkı Maddeleri*, Polimer Teknolojisi, Bölüm 15, Gazi Kitabevi, Ankara, ISBN: 975-8895-82-6, 379-402.

- [43]. Murphy, J., *Types of Additive and the Main Technical Trends*, Additives for Plastics Handbook, In: Murphy, J. (ed), Chapter 2, 2nd ed, Elsevier, ISBN: 978-1-85617-370-4, 13-18.
- [44]. Drobny, J.G., *Additives*, Handbook of Thermoplastic Elastomers, Chapter 3, William Andrew Publishing/Plastics Design Library, In: Drobny, J.G. (ed), ISBN: 978-0-8155-1549-4, 9-11.
- [45]. 2012, *Yapısal Temel Test Yöntemleri*, Plastik Teknolojisi, Milli Eğitim Bakanlığı: Ankara.
- [46]. Subramanian, M.N., 2013, *Plastics Additives and Testing*, Wiley.
- [47]. Murphy, J., *Modifying Processing Characteristics: Lubricants, Mould Release Agents, Anti-Slip and Anti-Blocking*, Additives for Plastics Handbook, In: Murphy, J. (ed), Chapter 17, 2nd ed, Elsevier, ISBN: 978-1-85617-370-4, 205-218.
- [48]. <http://chemister.ru/Database/properties-en.php?dbid=1&id=4852>, [Ziyaret tarihi: 25 Eylül 2016].
- [49]. Lam, L.T., et al., 1998, Oxide for valve-regulated lead–acid batteries, *Journal of Power Sources*, 73(1), 36-46.
- [50]. Lara-Hernández, B., et al., 2009, Effect of stearic acid on the properties of metronidazole/methocel K4M floating matrices, *Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences*, 45(3), 497-505.
- [51]. Djefel, D., et al., 2015, Preparation and characterization of stearic acid/olive pomace powder composite as form-stable phase change material, *International Journal of Hydrogen Energy*, 40(39), 13764-13770.
- [52]. Lodha, P. and A.N. Netravali, 2005, Thermal and mechanical properties of environment-friendly ‘green’ plastics from stearic acid modified-soy protein isolate, *Industrial Crops and Products*, 21(1), 49-64.
- [53]. Kim, H., et al., 2006, Effects of stearic acid coating on zeolite in LDPE, LLDPE, and HDPE composites, *Polymer*, 47(11), 3981-3992.
- [54]. GmbH, C. and E. Richter, 2000, Lubricants for film manufacture, *Plastics Additives and Compounding*, 2(11), 14-21.
- [55]. Tseng, W.J., et al., 1999, Influence of stearic acid on suspension structure and green microstructure of injection-molded zirconia ceramics, *Ceramics International*, 25(2), 191-195.
- [56]. Leu, S.-Y., et al., 2012, Optimized material composition to improve the physical and mechanical properties of extruded wood–plastic composites (WPCs), *Construction and Building Materials*, 29, 120-127.

- [57]. Giles, H.F., et al., 2005, *Extrusion Process*, Extrusion: The Definitive Processing Guide and Handbook, Chapter 1, In: Andrew, W. (ed), USA, ISBN: 0-8155-1473-5, 1-8.
- [58]. Giles, H.F., et al., 2005, *Single Screw Extruder: Equipment*, Extrusion: The Definitive Processing Guide and Handbook, In: Andrew W. (ed), Chapter 3, Plastic Design Library, USA, ISBN: 0-8155-1473-5, 13-34.
- [59]. Giles, H.F., et al., 2005, *Plastic Behaviour In The Extruder*, Extrusion: The Definitive Processing Guide and Handbook, In: Andrew W. (ed), Chapter 4, Plastic Design Library, USA, ISBN: 0-8155-1473-5, 35-52.
- [60]. Fogler, H.S., and Gurmen, M.N., 2008, *Distributions of Residence Times for Chemical Reactors*, Elements of Chemical Reaction Engineering, Chapter 13, University of Michigan, USA, 867-944.
- [61]. Levenspiel, O., 1999, *Chemical reaction engineering*, In: Santor, K., and Anderson, W. (ed), Wiley, USA, ISBN: 0-471-25424.
- [62]. Giles, H.F., et al., 2005, *Shear Rates, Pressure Drops and Other Extruder Calculations*, Extrusion: The Definitive Processing Guide and Handbook, In: Andrew W. (ed), Chapter 8, Plastic Design Library, USA, ISBN: 0-8155-1473-5, 79-81.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı	Emine Büşra EKER
Doğum Yeri	Tekirdağ
Doğum Tarihi	27.07.1988
Uyruğu	◆ T.C. □ Diğer:
Telefon	0544 899 9352
E-Posta Adresi	ebusraeker@gmail.com
Web Adresi	



Eğitim Bilgileri	
Lisans	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi
Fakülte	Mühendislik Fakültesi
Bölümü	Kimya Mühendisliği
Mezuniyet Yılı	2012

Yüksek Lisans	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi
Enstitü Adı	Mühendislik Fakültesi
Anabilim Dalı	Kimya Mühendisliği
Program	Proses ve Reaktör Programı
Mezuniyet Tarihi	2017