T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ-CERRAHPAŞA
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BAZI METAL VE AMETAL BİLEŞİKLERİ İÇEREN DOYMAMIŞ POLYESTERLERİN İNCELENMESİ

Şaban ATEŞ

DANIŞMAN
Doç. Dr. Musa ŞAHİN

Kimya Anabilim Dalı

Anorganik Kimya Programı

İSTANBUL-2019

Bu çalışma 27.06.2019 Tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Kimya Anabilim Dalı, Anorganik Kimya Programında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

TEZ JÜRİSİ

Doç. Dr. Musa ŞAHİN
İstanbul Üniversitesi
Fen Fakültesi

Prof. Dr. Ayşe ERÇAĞ
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Mühendislik Fakültesi

Doç. Dr. Fatih ÇAKAR
Yıldız Teknik Üniversitesi
Fen-Edebiyat Fakültesi

20.04.2016 tarihli Resmi Gazete'de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince; Bu Lisansüstü teze, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa'nın abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır.

ÖNSÖZ

Yüksek Lisans çalışmalarında önerileriyle destek olan ve yönlendiren danışman hocam sayın Doç. Dr. Musa Şahin'e teşekkür ederim.

Bu süreçte bana destek olan Eşim Mümine Ateş, Dr. Öğr. Üyesi Songül Eğlence ve meslektaşım Elmas Döner Şeyda'ya ayrıca teşekkür ederim.

Haziran 2019 Şaban Ateş

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ ..... **iv**
İÇİNDEKİLER ..... **v**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **viii**
TABLO LİSTESİ ..... **x**
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ ..... **xii**
ÖZET **xiv**
SUMMARY ..... **xvi**
1. GİRİŞ **1**
1.2.KAPSAM VE AMAÇ 2
2. GENEL KISIMLAR **3**
2.1. POLİMERLERİN TARİHÇESİ 3
2.2. KOMPOZİT MALZEMELER 4
2.2.1. Polimerik Kompozitler 5
2.3. DOYMAMIŞ POLYESTER 5
2.4. KATKI MALZEMELERİ 10
2.4.1. Hızlandırıcı ve Başlatıcılar 10
2.4.2. UV stabilizatörler 11
2.4.4. Alev Geciktiriciler 11
2.4.5. Bor Elementinin Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri 17
2.4.5. Bazı Önemli Bor Bileşiklerinin Kullanım Alanları 19
3. MALZEME VE YÖNTEM **21**
3.1. ÇALIŞMADA KULLANILAN KİMYASALLAR 21
3.1.1. Doymamış Polyester Reçine 21
3.1.2. Alüminyum Hidroksit (ATH) 22
3.1.3. Disodyum Oktaborat Tetrahidrat ($Na_2B_8O_{13}.4H_2O$) 23
3.1.4. Susuz Boraks ($Na_2B_40_{7)}$ 23
3.1.5. Boraks Pentahidrat ($Na_2B_4O_7.5H_2O$) 24
3.2. ÇALIŞMADA KULLANILAN YÖNTEM VE CİHAZLAR **25**
3.2.2. Darbe ve Mekanik Test Numunelerin Hazırlanması 26
3.2.3. Viskozite Ölçümü 29

3.2.4. Limit Oksijen İndex Değerinin Tayini 29
3.2.5. Çekme Dayanımlarının Ölçülmesi 31
3.2.6. Darbe Dayanımın Ölçülmesi 32
4. BULGULAR 33
4.1. KARIŞIMLARIN VİSKOZİTE ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ 33
4.1.1. Alüminyum Hidroksit (ATH) Katkılı Polyester Viskozite Verileri 33
4.1.4. Boraks Pentahidrat ($Na_2B_4O_7.5H_2O$) Katkılı Polyester Viskozite Verileri 35
4.2. MEKANİK TEST SONUÇLARI 36
4.2.2. Disodyum Oktaborat Tetrahidrat Katkılı Polyester Mekanik Test Sonuçları 38
4.2.4. Boraks Pentahidrat Katkılı Polyester Mekanik Test Sonuçları 40
4.3. LİMİT OKSİJEN İNDEX TEST SONUÇLARI. **....41**
4.2.5. Alüminyum Hidroksit (ATH) Katkılı Polyester % LOI sonuçları 41
4.2.6. Disodyum Oktaborat Tetrahidrat Katkılı Polyester %LOI Sonuçları 42
4.2.7. Susuz Boraks Katkılı Polyester % LOI Sonuçları 43
4.2.8. Boraks Pentahidrat Katkılı Polyester % LOI Sonuçları 43
4.3. DARBE DAYANIMI SONUÇLARI 44
4.3.1. Alüminyum Hidroksit (ATH) Katkılı Polyestere Ait Darbe Dayanımı Sonuçları 44
4.3.2. Disodyum Oktaborat Tetrahidrat Katkılı Poliester Ait Darbe Dayanımı Sonuçları 45
4.3.3. Susuz Boraks Katkılı Polyestere Ait Darbe Dayanımları Sonuçları 46
4.3.4. Boraks Pentahidrat Katkılı Polyestere Ait Darbe Dayanımları Sonuçları....46
5. TARTIŞMA VE SONUÇ 48
5.1. VİSKOZİTE SONUÇLARININ DEGERLENDİRİLMESİ 48
5.1.1. Alüminyum Hidroksit (ATH) Katkılı Polyester Viskozite Verileri 48
Şekil 4.1 incelendiğinde Polipol 360'ün viskozitesinin, ilave edilen dolgu % bağlı olarak parabolik artış gösterdiği görüldü. 48
5.1.3. Susuz Boraks $Na_2B_40_7$ Katkılı Polyester Viskozite Verileri 48
5.1.4. Boraks Pentahidrat ($Na_2B_4O_7.5H_2O$) Katkılı Poliester Viskozite Verileri....48
5.2. MEKANİK SONUÇLARIN DEGERLENDİRİLMESİ 49
5.2.2. Disodyum Oktaborat Tetrahidrat Katkılı Polyester Mekanik Test Sonuçları 49
5.2.4. Boraks Pentahidrat Katkılı Polyester Mekanik Test Sonuçları 50
5.3. LİMİT OKSİJEN İNDEX SONUÇLARININ DEGERLENDİRİLMESİ 51
5.3.1. Alüminyum Hidroksit (ATH) Katkılı Polyester % LOI sonuçları 51

5.3.2. Disodyum Oktaborat Tetrahidrat Katkılı Polyester %LOI Sonuçları 51
5.3.3. Susuz Boraks Katkılı Polyester % LOI Sonuçları 51
5.3.4. Boraks Pentahidrat Katkılı Polyester % LOI Sonuçları 51
5.4. DARBE DAYANIMLARININ DEGERLENDİRİLMESİ 52
5.4.1. Disodyum Oktaborat Tetrahidrat Katkılı Polyester Ait Darbe Dayanımı Sonuçları 52
5.4.2. Susuz Boraks Katkılı Polyestere Ait Darbe Dayanımları Sonuçları 52
5.4.1. Boraks Pentahidrat Katkılı Polyestere Ait Darbe Dayanımları Sonuçları.....52
5.5. GENEL DEGERLENDİRME 53
KAYNAKLAR 54
EKLER 56
ÖZGEÇMİŞ 57

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1: Kompoziti oluşturan ana etmenler....4

Şekil 2.2: Doymamış polyester reçinelerin alkol monomerlerinin moleküler yapıları....6

Şekil 2.3: Doymamış polyester reçinelerin bazı asit ve anhidrit monomerlerinin moleküler yapıları....7

Şekil 2.4: Doymamış polyester reçinesinin oluşum (kürlenme) reaksiyonu....8

Şekil 2.5: Doymamış polyester reçinesinin çapraz bağ reaksiyonu....9

Şekil 2.6 : Alev geciktirici katkı maddelerinin sınıflandırılması....12

Şekil 2.7: Kömürleşmeyen polimerlerin fiziksel yanma davranışları....15

Şekil 2.8: Kömürleşen polimerlerin fiziksel yanma davranışları....16

Şekil 2.9: Boraks kristali....17

Şekil 3.1: Alüminyum hidroksit yapısı....22

Şekil 3.2: Disodyum oktaborat tetrahidrat yapısı....23

Şekil 3.3: Susuz borak yapısı....24

Şekil 3.4: Disodyum tetraborat pentahidrat yapısı....25

Şekil 3.5: Poliester ve dolgu örneği....26

Şekil 3.6: Poliester ve dolguların karıştırılması....27

Şekil 3.7: Karışımlara kobalt ve peroksit ilavesi....27

Şekil 3.8: Karışımların kalıplar dökülmesi....28

Şekil 3.9: Test numunelerin kesilmesi....28

Şekil 3.10: Viskozite cihazına ait resim....29

Şekil 3.11: LOI cihazına ait resim....30

Şekil 3.12: Çekme ve eğilme cihazına ait resim....31

Şekil 3.13: Darbe cihazına ait resim....32

Şekil 4.1: ATH katkılı polyesterin viskozite değişim grafiği…….33

Şekil 4.2: Disodyum oktaborat tetrahidrat katkılı polyesterin viskozite değişim grafiği 34

Şekil 4.3: Susuz boraks katkılı polyesterin viskozite değişim grafiği 35

Şekil 4.4: Farklı oranlarda boraks pentahidrat ilave edilen polyesterin viskozite değişim grafiği.....36

Şekil 4.5: Alüminyum hidroksit (ATH) katkılı polyester çekme kuvvet-uzama grafiği 37

Şekil 4.6: Disodyum oktaborat tetrahidrat katkılı polyester çekme kuvvet-uzama grafiği

Şekil 4.7: Susuz boraks katkılı polyester çekme testi kuvvet-uzama grafiği.....39

Şekil 4.8: Boraks pentahidrat katkılı polyester çekme testi kuvvet-uzama grafiği.....40

Şekil 5.1: %50 dolgu içeren karışımlara ait grafik.....49

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 2.1: Doymamış polyesteri oluşturan monomerler 5

Tablo 2.2: Bor elementinin atomik özellikleri.....18

Tablo 2.3: Bor elementinin atomik özellikleri.....18

Tablo 2.4: Bor elementinin kimyasal özellikleri 19

Tablo 2.5: Bazı Önemli Konsantre ve Rafine Bor Bileşiklerinin Kullanım Alanları.....19

Tablo 2.5:(devam) Bazı Önemli Konsantre ve Rafine Bor Bileşiklerinin Kullanım Alanları .....

Tablo 3.1: Çalışmada kullanılan Polipol 360 doymamış poliesterin özellikleri.....21

Tablo 3.2: Alev Dayanımın Sınıflandırması.....30

Tablo 4.1: Alüminyum hidroksit dolgu/reçine oranları 33

Tablo 4.2: Disodyum oktaborat tetrahidrat dolgu/reçine oranları 34

Tablo 4.3: Susuz boraks dolgu/reçine oranları 35

Tablo 4.4: Boraks penta dolgu/reçine oranları 36

Tablo 4.5: ATH ait göre çekme dayanımı sonuçları 37

Tablo 4.6: ATH için **ç**ekme testi numune ölçüleri 38

Tablo 4.7: Disodyum oktaborat tetra hidrat 'a ait çekme dayanımı sonuçları.....38

Tablo 4.8: Disodyum oktaborat tetrahidrat **ç**ekme testi numune ölçüleri 39

Tablo 4.9: Susuz boraks'ın ISO 527 standardına göre çekme dayanımı sonuçları 39

Tablo 4.10: Susuz boraks'ın **ç**ekme testi numune ölçüleri 40

Tablo 4.11: Boraks penta'nın ISO 527 standardına göre boraks pentahidrat çekme dayanımı sonuçları 40

Tablo 4.12: Boraks pentahidrat **ç**ekme testi numune ölçüleri 41

Tablo 4.13: %25 ATH ilave ile hazırlanan test numunelerine ait LOI sonuçları 41

Tablo 4.14: %50 ATH ilave ile hazırlanan test numunelerine ait % LOI sonuçları.....42

Tablo 4.15: %25 Disodyum oktaborat tetra hidrat içeren poliestere ait LOI sonuçları.....42

Tablo 4.16: %50 Disodyum oktaborat ait % LOI sonuçları 42

Tablo 4.17: %25 susuz boraks içeren test numunelerine ait % LOI sonuçları 43

Tablo 4.18: %50 susuz boraks içeren test numunelerine ait % LOI sonuçları 43

Tablo 4.19: %25 Boraks pentahidrat içeren test numunelerine ait %LOİ sonuçları 43

Tablo 4.20: %50 Boraks pentahidrat içeren test numunelerine ait %LOİ sonuçları 44

Tablo 4.21: %50 içeren ATH ait IZOD darbe dayanımı sonuçları.....45

Tablo 4.22 : %50 Disodyum Oktaborat Pentahidrat ait IZOD darbe dayanımı sonuçları 45

Tablo 4.23: %50 Susuz Boraks ait IZOD darbe dayanımı sonuçları.....46

Tablo 4.24: %50 Boraks Pentahidrata ait IZOD darbe dayanımı sonuçları 47

Tablo 5.1: Mekanik Özelliklerin Karşılaştırılması……50

Tablo 5.2: % LOI karşılaştırmalı sonuçları 51

Tablo 5.3: Darbe Dayanımı karşılaştırmalı sonuçları.....53

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler **Açıklama**

Mpa **:** Mega paskal
E' **:** Depolama Modülü
E'' **:** Kayıp Modülü
Tan δ **:** Sönüm Oranı
ΔGm **:** Gibbs Serbest Enerjisi
ΔHm **:** Entalpi
ΔSm **:** Entropi
J **:** Joule

Kısaltmalar **Açıklama**

MEKP : Metil etil keton peroksit
BP : Benzoil peroksit
APP : Amonyumpolifosfat
cp **:** Centipoise
T_g **:** Camsı geçiş sıcaklığı
O-phtalik **:** Ortoftalik esaslı poliester
VE **:** Vinil Ester reçine
RPM : Dakika'daki devir saysısı
UPR **:** Doymamış polyester reçine
HDT **:** Yük altında eğilme sıcaklığı
DMA **:** Dinamik mekanik analiz
Co simge **:** Kobalt oktoat
ISO : Uluslararası standart organizasyonu

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BAZI METAL VE AMETAL BİLEŞİKLERİ İÇEREN DOYMAMIŞ POLYESTERLERİN İNCELENMESİ

Şaban ATEŞ

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Kimya Anabilim Dalı

Danışman : Doç. Dr. Musa ŞAHİN

Doymamış polyester reçineler; doymuş ve doymamış dikarboksilik asitlerden veya bunların ikili alkol barındıran anhidritlerinden oluşmuş polikondenzasyon ürünleridir. Reaksiyon başlatıcılar (örneğin, peroksitler) ve hızlandırıcılar kullanılarak serbest radikal polimerizasyonuyla kürlenirler. Polyester zincirinin çift bağları, kopolimerize edilebilir çözücü monomerinin çift bağıyla reaksiyona girer. En önemli dikarboksilik asitler; maleik anhidrit, fumarik asit ve tereftalik asittir. En sık kullanılan dioller, 1,2-propandiol, etilen glikol, dietilen glikol ve neopentil glikoldür.

Cam lifi ile güçlendirilmiş doymamış polyester reçinelerden yapılan ürünler; iyi mekanik özellikleri, düşük yoğunlukları, kimyasallara karşı direnci ve mükemmel yüzey kalitesi ile ayırt edilir. Son dönemde kompozit malzemelerin, mekanik, elektrik ve yangından korunma özelliklerinde farklı gereksinimler ortaya çıktı. Özellikle demiryolu araçları sektöründe, alev dayanım gereksinimleri gündemde olan konulardan bir tanesidir.

Alev geciktiriciler, malzemenin tutuşmaya daha dayanıklı olmaları için yanıcı maddelere eklenen kimyasallardır. Alev geciktirici malzeme veya bitişik bir malzeme tutuşmuşsa alev geciktirici yanmayı yavaşlatır ve yangının diğer maddelere yayılmasını önler. "Alev geciktirici" terimi kimyasal bir sınıfı değil, bir işlevi tanımlar. Bu amaç için kullanılan çok çeşitli kimyasallar vardır.

Yangına karşı emniyetli hale getirilecek olan malzemeler ve ürünlerin doğadaki kompozisyonları çok farklıdır. Örneğin, plastikler çeşitli mekanik ve kimyasal özelliklere sahiptir ve yanma davranışında farklılık gösterir. Özelliklerini korumak ve aleve dayanıklı hale gelmesi için uygun alev geciktiricilerle eşleştirilmeleri gerekir. Bu nedenle, plastik, köpük ve elyaf yalıtım malzemeleri, mobilyadaki köpükler, şilteler, ahşap ürünler, doğal ve insan yapımı tekstiller de dahil olmak üzere bir çok ürün için alev geciktiriciler gereklidir.

Haziran 2019, 74. sayfa.

Anahtar kelimeler: Bor bileşikleri, kompozit, doymamış polyester,

LOI, boraks penta, yanmaya karşı dirençli, susuz boraks, mineral dolgular, borik asit

SUMMARY

M.Sc. THESIS

INVESTIGATION OF UNSATURATED POLYESTERS CONTAINING SOME METAL AND AMETAL COMPOUNDS

Saban ATES

Istanbul University-Cerrahpasa

Institute of Graduate Studies

Department of Chemistry

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Musa Şahin

Unsaturated polyester resins are polycondensation products, formed from saturated and unsaturated dicarboxylic acids or their anhydrides containing double alcohol. They are cured by free radical polymerization using reaction initiators (eg, peroxides) and accelerators. The double bonds of the polyester chain react with the double bond of the copolymerizable solvent monomer. The most important dicarboxylic acids are; maleic anhydride, fumaric acid and terephthalic acid. The most commonly used diol is 1,2-propanediol, among others, ethylene glycol, diethylene glycol and neopentyl glycol.

Unsaturated polyester resins are generally used with industrial fibers. Products, made of glass fiber-reinforced unsaturated polyester resins are distinguished from other conventional materials by their good mechanical properties, low density, resistance to chemicals and excellent surface quality. With such features and favorable price advantage, it has been rapidly becoming preferred in railway vehicles, buildings and aviation applications. Depending on the application sector, different requirements for mechanical, electrical and fire protection

properties have emerged. Especially in the railway vehicles sector, fire protection requirements have been on the agenda recently.

Flame retardants are chemicals added to flammable materials such as polyester to be more resistant to ignition. It is designed to minimize the risk of fire in contact with a small heat source such as a cigarette, candle or electrical fault. If the flame retardant material or an adjacent material is ignited, the flame retardant slows the combustion and prevents the fire from spreading to other substances. Since the term ır flame retardant kim defines a function not a chemical class, there are a wide variety of chemicals used for this purpose. They are usually applied in combination.

The variety / combination of these products is necessary because the materials and products to be made safe from fire are very different in nature and composition. For example, plastics have a wide variety of mechanical and chemical properties and differ in combustion behavior. Therefore, they must be matched with suitable flame retardants to protect the key material functions. Therefore, flame retardants; A wide range of products, including plastic, foam and fiber insulation materials, foams, mattresses, wood products, natural and man-made textiles, are required to ensure fire safety. These materials are e.g. used in parts of electrical equipment, cars, airplanes and construction components

June 2019, 74. pages.

Keywords: boron compound, composites, flame retardent, unsaturated polyester, boric acid

1. GİRİŞ

1.1.KONUNUN TANITIMI

Kompozit malzemeler son yıllarda popüler bir konu olarak karşımıza çıkmaktadır. 2. dünya savaşı sırasında mevcut konveksiyonel malzemelerin tek başlarına teknoloji karşısında belli ihtiyaçlara cevap veremez hale gelmesiyle, popüler olmaya başlamıştır. Bu malzemeler üstün mekanik ve fiziksel özellikler elde etmek amacıyla, maktriks ve takviye malzemelerinin belli spesifik konfigürasyonda bir araya getirilmesiyle elde edilirler. Kompozit malzeme genelde bir matriks ve takviye malzemesinden oluşmaktadır. Kompozit malzemeler matriks malzemesine göre 3 kısıma ayrılır. Bunlar metal matriksler, seramik matriksler ve polimerik matrikslerdir. Polimerik matrikslerin diğer ikisine göre hafiflik, spesifik dayanıklılık, düşük ısıl ve elektrik iletkenliği, korozyon direnci ve üretim maliyetleri bakımından avantajları vardır. Polimerik matriks olarak dünyada en çok kullanılan matriks malzemesi doymamış polyester reçinelerdir. [1].

Doymamış polyesterler, dikarboksilik asitler ve alkollerin polikondenzasyon reaksiyonu sonucu oluşan makromoleküler yapılardır. Doymamış polyester reçineler çoğunlukla yapılarında bulunan doymuş asit gruplarına göre sınıflandırılırlar. Polyester polimeri, stiren monomeri içirişinde çözülerek ortalama viskozitesi 150 santipuaz (cp)'den 5000 cp kadar geniş bir viskozite aralığında kullanılırlar. [3-7].

Polimerik kompozit malzemeler otomotiv, inşaat ve savunma sanayinde yoğun şekilde kullanılmaktadır. Polimerik kompozitlerin yangında uğradığı zarar son yıllarda yoğun araştırma konusu olmuştur. Son yıllarda, polimerik kompozitlerin aleve karşı dayanımını, arttırma konusunda çalışmalar yapılmaktadır [8-10]. Bu çalışmalarda, doymamış polyester matriks içerisine halojen içeren bileşikler katılarak problem çözülmeye çalışılmıştır [9]. Ancak bileşiklerin toksik özelliklerinden dolayı, kullanımlarına kısıtlamalar getirilmeye başlanmıştır [12]. Bu kısıtlamaların neticesinde katkı maddeleri olarak yeni bileşikler kullanılması önem arz etmektedir.

1.2. KAPSAM VE AMAÇ

Çalışmamızdaki temel amaç, disodyum oktaborat tetrahidrat ($Na_2B_8O_{13}\cdot 4H_2O$), susuz boraks(**(**$Na_2B_40_7$), boraks pentahidrat(**(**$Na_2B_4O_7.5H_2O$) minerallerinin doymamış polyesterlerde dolgu olarak kullanıldığında, viskozite, mekanik özellikler, darbe dayanımı, alev dayanımı üzerine etkilerinin incelenmesi planlanmaktadır. Aynı zamanda endüstride alev geciktirici olarak kullanılan, alüminyum hidroksit($Al(OH)_3$ 'de viskozite, mekanik özellikler, darbe dayanımı ve alev dayanımı incelenerek sonuçlar karşılaştırılacaktır.

İlave olarak, dünyanın en büyük rezervlerine sahip olduğumuz bor bileşiklerinin, polimerik kompozitler içerisinde yeni kullanım alanları kazandırmak ve katma değeri yüksek ürünlerde kullanımını sağlamaktır.

2. GENEL KISIMLAR

2.1. POLİMERLERİN TARİHÇESİ

Polimer, çok sayıda küçük molekülün kovalent bağlarla birbirlerine bağlanarak oluşturduğu makro moleküldür. Monomer adı verilen küçük moleküller uygun koşullarda polimerizasyon tepkimesi sonucu birbirleriyle kimyasal bağ yaparlar ve polimer molekülleri oluştururlar.

Plastiklerin ilk ürünü 1868 de ABD'de John Wesley Hyatt tarafından, pamuk selülozunu nitrik asit ve kamfor ile etkileştirilerek hazırlanan yarı sentetik polimerdir. Amerikalı bilim adamı Leo Hendrick Baekeland, 1907 de tamamen sentetik ilk polimer olan fenol-formaldehit reçinelerinin üretmiştir. [1].

1924 de ise Hermann Staudinger'in Makromolekül Hipotezini ileri sürmesiyle, polimer teknolojisi önemli bir kilometre taşı almıştır. Bu teoriye göre, doğal kauçuk ve polistirenin, küçük birimleri bir arada bulunduran uzun zincirli moleküller olduğunu ileri sürülerek, polimer üretiminin deneme yanılma aşamasından kurtulmasına sebep olmuştur. Makromolekül Hipotezi sonraki yıllarda birçok polimerin üretimine ışık tutmuştur. Herman Stauding ilk defa polimerizasyon koşullarının polimer oluşumu üzerine etkisini tanımlamıştır. Stauding kimyanın bu alanında yaptığı çalışmalarla 1953 yılında Nobel ödülünü almıştır. Bu alanda ilk kez çalışan araştırmacılar doğal polimerleri taklit ederek işe başlamışlar ve 1930 yılında Wallace Carothers Nylonu sentezlemiştir. İkinci dünya savaşından bu yana birçok polimer laboratuarlar da üretilmiş ve ayrıca birçok polimer endüstriyel ölçekte üretilmeye başlamıştır. 1927 de selüloz asetat ve polivinil klorür, 1928 de polimetil metakrilat, 1929 da üre-formaldehit reçineleri üretilip litarütüre kazandırılmıştır. Özellikle II. Dünya savaşında stirenbütadien kopolimeri polimer teknolojisinin önemli ürünleri haline gelmiştir. 1931 de yine ilk sentetik kauçuk olan neopren üretimi başlamıştır. 1936 da poliakrilonitril, stiren-akrilonitril kopolimeri ve polivinil asetat, 1937 de poliüretan, 1938 de Teflon ticari ismi ile anılan politetrafloroetilen, 1939 da melamin- formaldehit (formika) reçineleri, 1940 da bütil kauçuğu ve silikonların hammaddesi olan silanlar, 1941 de polietilen, polietilen teraftalat, 1942 de doymamış poliesterler ve orlon ticari isimli poliakrilonitril fiber üretimi yapılmıştır. 1952 de Max planck Enstitüsü araştırmacılarından K.Ziegler bazı alüminyum alkali bileşiklerini katalizör olarak kullanarak etilenin düşük basınçta polimerizasyonunu gerçekleştirmiştir. Ziegler ve Giulio Natta sterospesifik polimerizasyonu diğer olefinlere de uygulamışlardır. 1954 de polikarbonat

ve 1956 da polifenil oksit üretmiştir. Son yıllarda yüksek ısıl ve mekanik dayanıklığa sahip poliimid, poliarilsülfonlar, poliarilamidler, polifenilsülfit, polibütil teraftalatpolietereketon, polifenil gibi bir takım önemli plastikler geliştirilmiştir. Son yıllarda yüksek ısıl ve mekanik dayanıklığa sahip poliimid, poliarilsülfonlar, poliarilamidler, polifenilsülfit, polibütil teraftalatpolietereketon, polifenil gibi önemli polimerler sentezlenmiştir. [1].

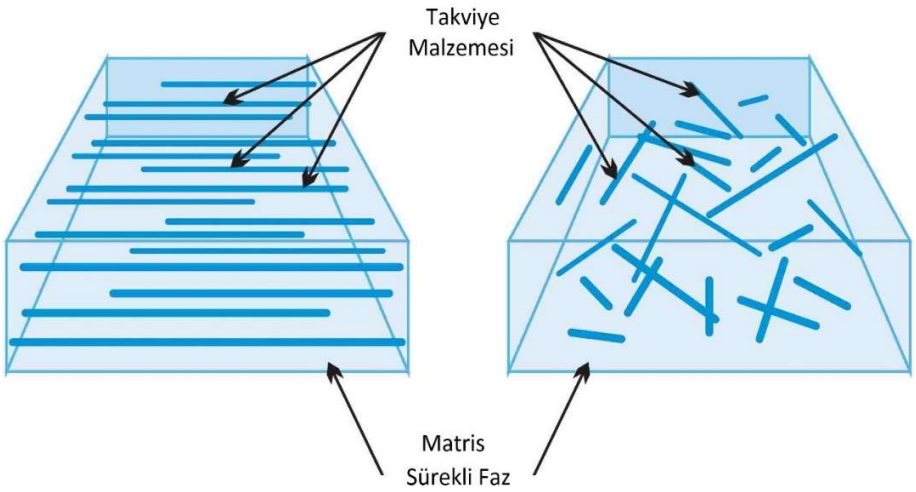
2.2.KOMPOZİT MALZEMELER

Kompozit kelime olarak, iki veya daha fazla parçadan oluşan bir malzeme anlamına gelmektedir. Kompozit malzemeler özet olarak 'makro ölçüde birbirinden farklı iki veya daha fazla bileşenin bir ara yüzey boyunca bir araya gelmesiyle oluşan malzemeler' şeklinde tanımlanabilir. Kompozit malzemeyi oluşturan bileşenler çoğunlukla özelliklerini korumaktadırlar. [2].

Kompozit malzemelerin ana bileşenleri

Şekil 2.1'de görüldüğü gibi matris ve takviye malzemeleridir. İhtiyaca ve talebe göre katkı maddeleri eklenerek istenen performans düzeyinde kompozit ürünler üretmek mümkündür. Mevcutta kullanılan üç farklı matris materyali bulunmaktadır. Bunlar;

- metal matrisler
- seramik matrisler
- polimerik matrislerdir.



Şekil 2.1: Kompoziti oluşturan ana etmenler

2.2.1. Polimerik Kompozitler

Matris malzemesi olarak, doymamış polyester, epoksi, poliüretan, fenol formaldehit gibi polimerik bağlayıcıların kullanıldığı kompozitlerdir. Polimerik kompozitlerin, kullanım alanları olağanüstü bir hızla büyümektedir. Bu malzemeler uçak, uzay, tekneler, gemiler, otomobiller, sivil altyapı, spor malzemeleri, tüketici ürünlerinde etkileyici ve çok çeşitli alanlarda kullanılmakta ve önümüzdeki yıllarda da büyümeye devam edecek gibi görülmektedir.

Polimerik matrislerin, metal ve seramik matrislere göre göre hafiflik, spesifik dayanıklılık, düşük ısıl ve elektrik iletkenliği, korozyon direnci ve üretim maliyetleri bakımından avantajları vardır. Polimerik matris olarak dünyada en çok kullanılan matris malzemesi doymamış polyester reçinelerdir.

2.3. DOYMAMIŞ POLYESTER

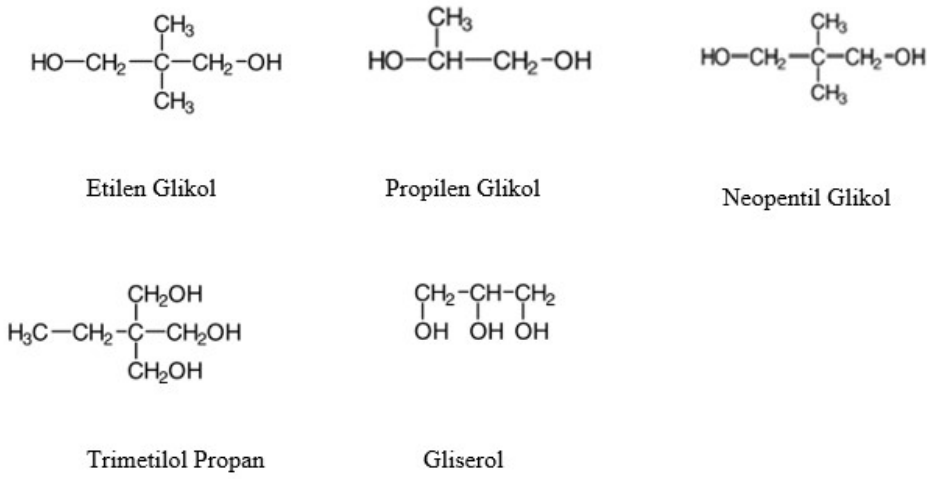
Doymamış polyester reçineler iki polimerden yani polimerize edilebilir çift bağ içeren kısa zincirli bir polyester ve bir vinil monomerinden meydana gelir [3]. Çapraz bağlanma reaksiyonu vinil monomeri ile polyesterde bulunan çift bağların kopolimerleşmesiyle oluşur. Vinil monomeri genellikle hem çözücü hem seyreltici olan hem de çapraz bağlanmayı sağlayan stiren monomerinden gelmektedir. Bu reaksiyon sonunda üç boyutlu bir bağ oluşur [4]. Doymamış polyester reçineler termoset adı verilen gruba dahildir ve ısıl işlemlerle tekrar geri dönüştürülemezler [5].

Doymamış polyester reçinelerin icadı Carleton Ellis tarafından yapılmış ilgili ilk patent de 1930'larda alınmıştır [6]. Doymamış polyester reçineyi oluşturan monomerler **Tablo 2.1**'de özellikleriyle beraber verilmiştir.

Tablo 2.1: Doymamış polyesteri oluşturan monomerler [7]

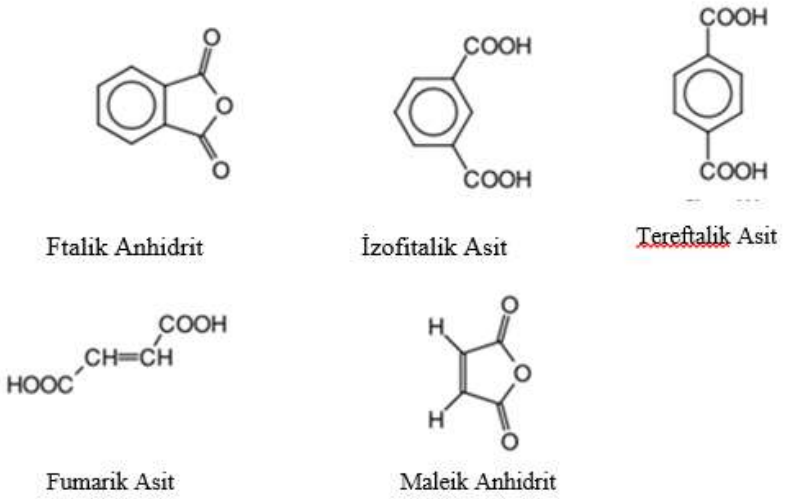
Doymuş Alkoller	Özellikler
1,2-Propilen glikol	En yaygın kullanılan glikol
Etilen glikol	Stiren ile daha az uyumlu (propilene göre)
Dietilen glikol	İyi çapraz bağlanma sağlar
Neopentil glikol	İyi hidroliz dayanımı sağlar
Gliserol	Yüksek çapraz bağ oluşturur

Tetrabromobisfenol A (TBBPA)	Alev dayanımı sağlar
Doymuş/Doymamış Asit ve Anhidritler	**Özellikler**
Ftalik anhidrit	En yaygın kullanılan doymuş anhidrit
İzoftalik asit	İyi hidroliz dayanımı sağlar
Terafitalik asit	İyi hidroliz dayanımı sağlar
Tetrabromofitalik anhidrit	Alev dayanımı sağlar
Maleik anhidrit	En yaygın kullanılan doymamış anhidrit
Fumarik asit	Stiren ile daha iyi kopolimer oluşturur (maleik anhidrite göre)



Şekil 2.2: Doymamış polyester reçinelerin alkol monomerlerinin moleküler yapıları

Doymamış polyesteri oluşturan bazı alkol monomerlerinin moleküler yapıları **Şekil 2.2**'de; diğer bir monomeri olan bazı asit ve anhidrit monomerlerinin moleküler yapıları ise **Şekil 2.3**'te verilmiştir [7].



Şekil 2.3: Doymamış polyester reçinelerin bazı asit ve anhidrit monomerlerinin moleküler yapıları

Doymamış polyester oluşumu bir diol ve bir anhidrit ya da asit birleşiminden meydana gelir. Belirli basınç ve sıcaklık altında su çıkışı kontrol edilerek kondenzasyon tepkimesi gerçekleşir. Reçine doğru asit değeri ile sentezlendikten sonra, bir inhibitör veya serbest radikal temizleyici, genellikle hidrokinon varlığında esasen stiren (ağırlıkça% 30) reaktif seyreltici ile doğrudan harmanlanır. İkincisi, reçineyi iyi bir raf ömrü için stabilize eder, ancak aynı zamanda, katalizörlerin ve / hızlandırıcıların eklenmesinden sonra jelleşme öncesi indüksiyon süresi veya "çalışma süresi" üzerinde kontrol sağlar. Bazı uygulamalarda, daha karmaşık bir inhibitör sistemi kullanılır.

Üretim sonrası, paketleme öncesi reçinenin içerisine bir hava inhibitörü olarak görev yapacak olan parafin mumu eklenir. Reçinenin sertleşmesinden sorumlu olan türlerle reaksiyona girmesini engellemek için parafin mumu reçine henüz kürleşmeden önce yüzeye hareket ederek oksijen ile teması keser ve ürün yapışkanlığını giderir. Diğer katkı maddeleri Bölüm 2.3.'te tartışılacaktır.

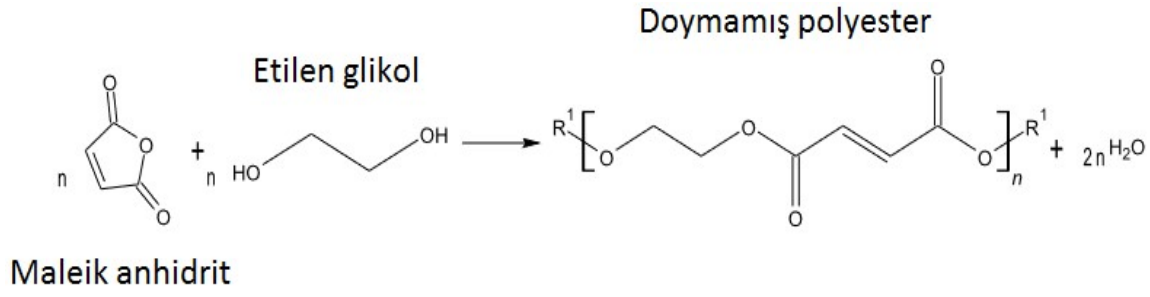
Tablo 2.1'de özellikleri belirtildiği gibi, glikol, doymamış / doymuş asitlerin formüle edilmesinde çok çeşitli seçenekler vardır. Sonuncusu (Fumarik asit) daha reaktiftir ve sertleşmiş reçinenin nihai çapraz bağ yoğunluğunu belirler. Maleik anhidrid, su miktarından kaynaklanan (fumarik asit için 1 mol ila 2 mol) ortaya çıkan düşük maliyetlerden, glikolun doğası ile belirlenen izomerizasyon derecesinden dolayı tercih edilen doymamış asitlerdir. Bununla

birlikte, fumarik asit bazlı reçineler, sertleşme sırasında üstün reaktivite ve sertleşme sonrası termomekanik özellikler sağlayabildiklerinden üretilmektedir. Fumarat ve maleik reçineleri yüksek çapraz bağlanma yoğunluklarına sahiptir ve bu nedenle iyi sıcaklık ve çevre direnci sergilerler ancak kırılgandırlar. Darbe dayanımı ve kırılma tokluğunu arttırmak için çapraz bağ yoğunluğu, "mevcut" zincir glikolleri kullanılarak ve 2: 1 ila 1: 2 arasında değişebilen doymuş asit oranının optimize edilmesiyle gerçekleştirilir.

En yaygın doymuş asitler ortoftalik (anhidrit olarak) ve izoftalik asittir. Maleik anhidritte olduğu gibi, ortoftalik anhidrit tercih edilir, çünkü arzu edilen polyester için azaltılmış mol su yoğunlaşma suyunu geliştirmek için daha az enerji gerekir. Ftalik asitin diğer izomeri, tereftalik asit, sadece yüksek sentez sıcaklığı nedeniyle özel uygulamalarda kullanılır. Ayrıca tereftalatlar, izoftalatlara benzer özelliklere sahiptir. Öte yandan, izoftalatlar, özellikle su, kimyasal ve hava gibi ortamlarda ortoftalatlara göre üstün özelliklere sahiptir. Bu, büyük ölçüde, monoin fitalat zincir uçlarının hidrolizi ve / veya termal kaybı ile serviste reçinelerde bulunabilen veya oluşabilen kalıntı fitalik anhidritin bir sonucudur.

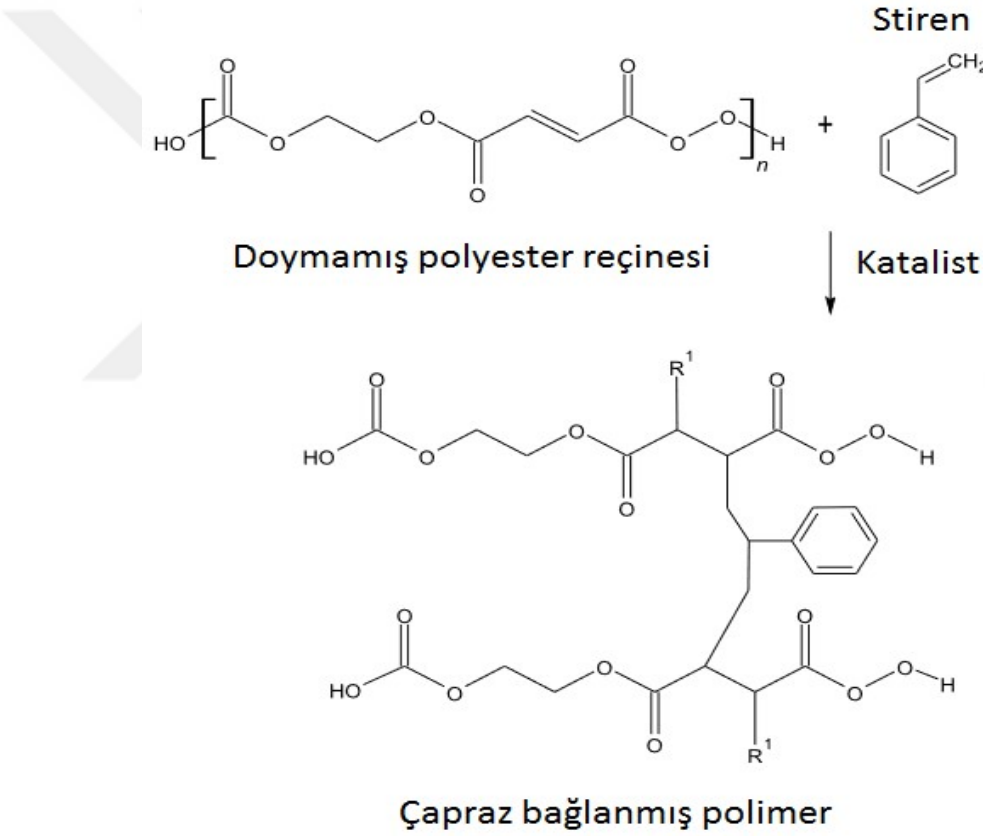
Glikoller doymamış polyester zincirinin esnekliğine katkıda bulunurlar. Kürlenmiş reçine özelliklerini optimize etmek için gilikol karışımları kullanılır. Elde edilen iyi özelliklerden dolayı propilen glikol en yaygın kullanılanıdır. Etilen glikol doymamış polyester zincirine sertlik kazandırır, ancak yüksek konsantrasyonlar reaktif stiren seyrelticisinde çözünürlüğün azalmasına yol açabilir. Dietilen glikol eter gruplarını doymamış polyester zincirine sokar ve dolayısıyla sertleşmiş reçineye esneklik sağlar. Etoksilatlı bisfenol A, epoksi reçinelerine benzer şekilde daha yüksek sıcaklık direnci, dayanıklılık ve kimyasal direnç sağlamak için kullanılabilir [8].

Yaygın kullanılan monomerler ile gerçekleşen doymamış polyester reaksiyonu **Şekil 2.4**'te gösterilmiştir.



Şekil 2.4: Doymamış polyester reçinesinin oluşum (kürlenme) reaksiyonu

Şekil 2.5 ise doymamış polyester reçinesinin vinil ihtiva eden stiren monomeri ile yapmış olduğu çapraz bağ reaksiyonu verilmiştir. Ekzotermik olan bu reaksiyonun başlayabilmesi için de yine bir aktivatör ve aktivasyon enerjisine ihtiyaç duyulur. Bu reçineler için kürlenme sistemleri genellikle bir "katalizör" ve bir "hızlandırıcı" içerir. Hızlandırıcının yokluğunda, "katalize edilmiş" reçine termal olarak sertleştirilebilir, bu sistem sıcak kürlenme olarak adlandırılır. Katalizörler genellikle peroksitlerdir. Katalizörler olarak kullanılan en yaygın bileşen soğuk kürlenme için metil kürü keton peroksit (MEKP) iken; sıcak kürlenme için benzoil peroksit (BP) 'tir. MEKP, ftalat ester çözeltisindeki konsantrasyonunu değiştirerek elde edilen farklı reaktivitelerde mevcuttur. Kuru koşullarda depolama, aktivite kaybını azaltır.



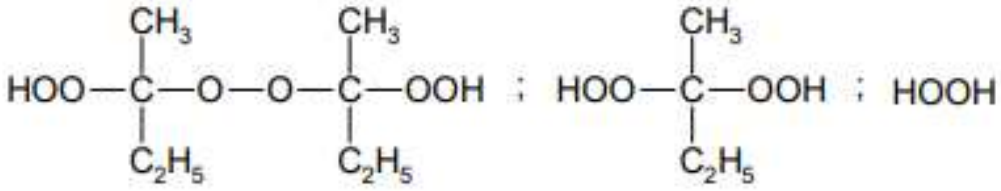
Şekil 2.5: Doymamış polyester reçinesinin çapraz bağ reaksiyonu (kürlenme reaskiyonu)

2.4. KATKI MALZEMELERİ

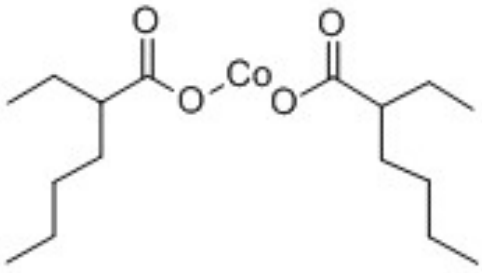
Doymamış polyester reçine sistemlerinde katı halde üretilen polyesterlere seyreltici olarak eklenen stiren, aynı zamanda kürlenme reaksiyonunda çapraz bağı oluşturacak vinil bağlarını da içerir [9]. Bunun yerine, bazı vinil akrilikler, vinil tolüen yada metil metakrilat da dönem dönem kullanılmıştır.

2.4.1. Hızlandırıcı ve Başlatıcılar

Kürlenme reaksiyonunda başlatıcı ve hızlandırıcı olarak en yaygın kullanılan kobalt oktoat ve metil etil keton peroksitler ana bileşen olarak sınıflandırılabilir. Benzoil peroksit , tersiyer butil perbenzoat, metil izobütil keton peroksit gibi sıcakla aktif hala geçen tipleri de mevcuttur.



Şekil 2. 6: Metil-etil keton yapısı



Şekil 2. 7: Kobalt oktaat yapısı

Kürlenme reaksiyonunun ertelenmesi gerektiği durumlarda ise hidrokinonlu inhibitörler en yaygın olarak kullanılabilir.

2.4.2. UV stabilizatörler

Ürünlerin uzun dönem görsel bakımdan stabilitelerini sağlayacak katkılardan biri de UV stabilizatörleridir. Yapılarındaki fenil grupları ile UV ışınlarının kompozit üzerindeki etkilerini azaltır.

Polimerik kompozitlerde, ürünlerin uzun soluklu kullanılması ve görsel bakıma ihtiyaç duymamasının sebeplerinden biri de, ihtiva ettiği pigmentlerin homojen olarak ürün içerisinde bulunmasıdır. Pigment pastalar da katkı statüsünde değerlendirilmektedir.

2.4.3. Dolgular

Ürün maliyetlerini düşürmek sebebiyle kalsit, dolomit gibi dolgular kullanılmaktadır. Bu dolgu malzemeleri de oransal olarak üretim prosesine ve üretilecek olan ürüne göre kullanılıp kullanılmayacağı değişmekte olan bir diğer katkı maddeleridir.

Dolgu maddeleri sadece maliyeti düşürmek için değil bazı uygulamalarda alev dayanımı artırmak, aşınma direnci kazandırmak için de kullanılmaktadır. En çok kullanılan dolgu maddeleri, kalsiyum karbonat, talk, barittir.

2.4.4. Alev Geciktiriciler

Yangın, hayatımız boyunca kullandığımız ya da karşılaşacağımız bütün ürünlerde olduğu gibi petrokimya ve kimya endüstrileri için ciddi ve sürekli bir tehdittir. Tehlikenin önlenmesi ve de azaltılması için hem aktif hem de pasif koruma sistemi gereklidir. Aktif alan koruması, alanın azaltılması için bariz bir seçimdir; ancak, yerelleştirilmiş koruma için pasif bir koruma gereklidir. Alev geciktiricilerin kullanılması, hem personel güvenliği hem de proses güvenliği için kullanılabilecek koruma alanında pasif önleme stratejisine girer. Mevcut kağıt için, pasif bir koruma aracı olarak geciktirici katkı maddelerine odaklanılmıştır. Birçok değişik türevde alev geciktiriciler tarihsel olarak kullanılmıştır. Farklı alev geciktirici tiplerine kısa bir genel bakış bu bölümde sunulmuştur. En popüler alev geciktirici sınıfları arasında, fosfor bazlı, silikon bazlı, boratlar, mineral tüpler gibi halojenli ve halojen olmayanlar pasif koruma aracı olarak kullanılmıştır. Nanomalzemeler ise son dönemlerde çok işlevli olması nedeniyle, alev geciktirme alanındaki uygulamalarda yerini almaktadır [10].



Şekil 2.8 : Alev geciktirici katkı maddelerinin sınıflandırılması

Şekil 2.8'da görüldüğü üzere ticari olarak kullanılan alev geciktirici katkı maddelerinin çoğu, yoğunlaştırılmış veya gaz fazındaki bir veya daha fazla mekanizma aracılığıyla bir polimer için bir koruma sağlarlar.

Halojen bazlı alev geciktiriciler, en çeşitli katkı maddeleri türlerinden biridir. Serbest radikalleri temizleyerek gaz fazında işlev görürler ve böylece ısı yayılma oranını düşürürler [11, 12].

Isı salınımının azaltılması, artan kömür oluşumuyla arttırılabilir ve çoğu zaman fosfor bazlı alev geciktiriciler veya antimon oksitler, halojen bazlı alev geciktiricilerle sinerjik olarak alev geciktirici performansını arttırmak için kullanılır [13]. Halojen bazlı alev geciktiricilerin örnekleri arasında antimon trioksit içeren dekabromodifenil oksit, dekabromodifenil eter, antimon oksit ile organomontmorillonit verilebilir [14].

Klorendik asit ve dibromoneopentil glikol gibi halojen içeren bileşikler polimerik kompozitlere alev geciktirme gibi spesifik özellikler sağlamak için kullanılır. Klorendik, yüksek klor içeriğinden dolayı doymamış polyester reçineye kendiliğinde sönme özeliği katar. Klorendik, heksaklorosiklopentadienin DielseAlder'in maleik anhidrit ile reaksiyon ürünüdür. Alev geciktirici reçineler için dikkatli bir moleküler tasarım gereklidir. Reçine saydamlığı gerekli

olmadığında, geciktiricilik, antimon oksit ve / veya alümina trihidrat gibi inorganik dolgular kullanarak sağlanabilir veya geliştirilebilir.

Bu tip alev geciktiricilerin etkinliği, genellikle kullanılan halojen tipi tarafından belirlenir. Flor içeren alev geciktiriciler sabittir ve halojen radikalleri yaymazlar. İyotlu organik maddeler, ticari polimerik ürünlerde kullanılmasını önleyen düşük termal stabiliteye sahiptir. Karbon ve klor ile bağlanma için düşük bağ enerji gereksinimine sahip olduklarından, brom ve klor kolayca serbest bırakılabilir. Sonuç olarak, eğer serbest bırakılırsa yanma prosedürüne katılırlar. Çevresel ve toksikolojik kaygılar nedeniyle, halojen alev geciktiricilerin kullanımları sınırlandırılmıştır.

Halojen olmayan alev geciktiriciler arasında fosfor bazlı alev geciktiriciler popülerdir ve çoğunlukla termoplastikler ve termosetler ile kullanılır. Bu tip alev geciktirici katkılar, elementel kırmızı fosfor, inorganik fosfatlar, fosfinatlar, fosfonatlar, fosfin oksitler ve kloro-organofosfatlar gibi çeşitli ürünleri içerir. Bu alev geciktiriciler, sentez prosedürü sırasında polimere dahil edilirler ve yoğunlaştırılmış ve / veya gaz fazında aktif olabilirler [11, 14]. Azot bazlı alev geciktiriciler arasında melamin,% 67 azot içeren termal olarak kararlı bir üründür. Isıl kararlılığı yüksektir. Genellikle köpüklü kaplamalarda poliüretan köpük kumunda kullanılır.

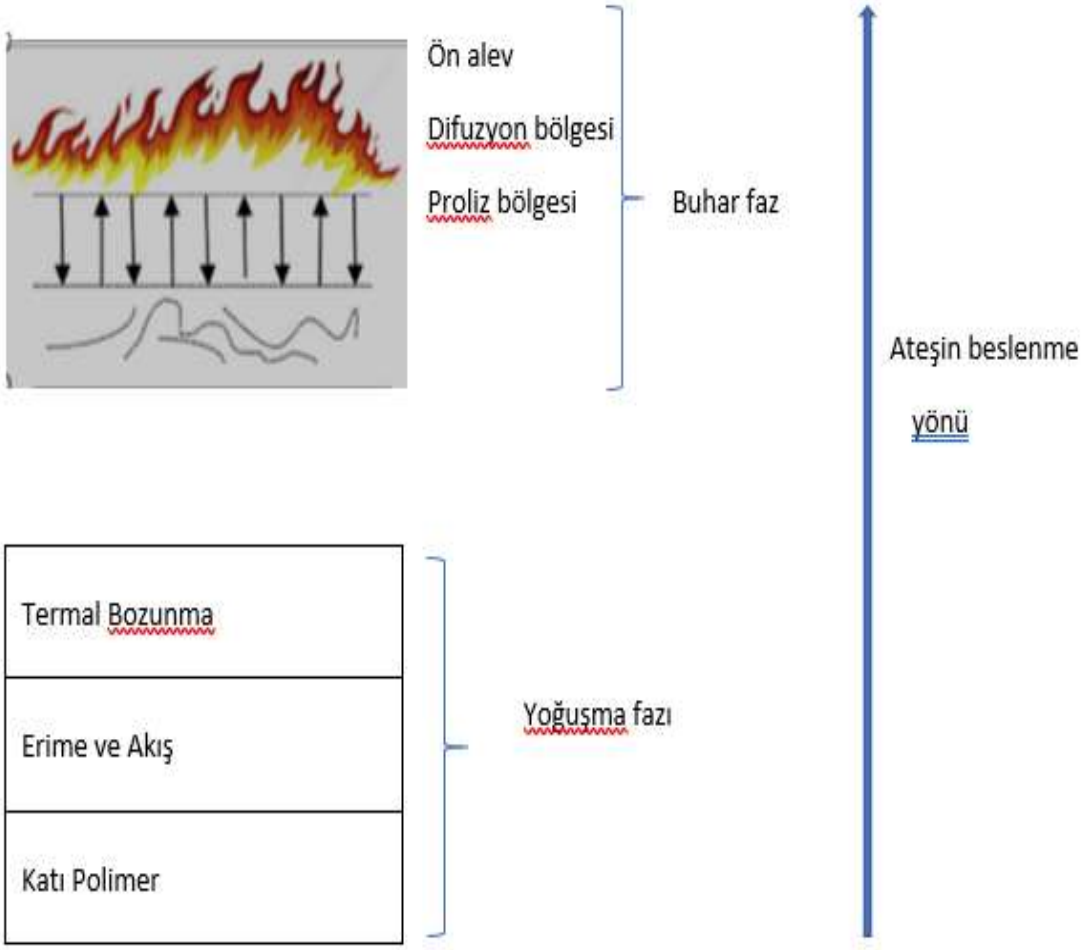
Silika, silikonlar, organosilanlar, silikatlar ve silsesquioxanes gibi az miktarda silikon bazlı bileşik ilavesinin, polimerik malzemelerin kalıcılığını arttırdığı bilinmektedir [15]. Silika nanoparçacıkları daha iyi polimer-iyon etkileşimi sağlayan pürüzsüz, gözeneksiz yüzeye sahip geniş bir yüzey alanına sahiptir [16]. Silikatlar, polimerler içerisinde birbirleriyle birleştirilmiş yapıyı dağıtma ve oluşturma kabiliyetine sahip özellikle popüler bir alev geciktirici dolgu maddesidir. Bu dolgular katalitik bir işlemle kömür yapıları oluşturur ve kömürü güçlendirir ve böylece alev geciktirici olarak kullanılır [17].

Boratlar alev geciktirici özellik gösteren bir başka inorganik katkı maddesi türüdür. Borik asit, boraks (sodyum borat) gibi suda çözünür boratlar, tekstillerde, kağıt levhalarda, tahtalarda vb. alev geciktiriciler olarak çok yaygın şekilde kullanılmaktadır. Çinko borazanlar termal olarak kararlıdır. Çinko boratlar arasında, en sık kullanılanlardan biri $2Zn0.\ 3B_2O_3.\ 3.5H_2O$'dur [9, 15].

Yalıtım görevini üstlenerek alev geciktiriciliği sağlayan sistem, yanan malzemenin şişerek kömür oluşturmasıyla sağlanır ve farklı bir alev geciktirici sınıfıdır. Bu bariyer, polimer ve ısı kaynağı arasındaki ısı transferini azaltır. Şişen bir sistem genellikle üç bileşenden oluşur, yani: eski bir kömürleştirici madde veya karbonlaştırıcı bir madde, bir asit kaynağı ve bir şişirici madde. Asit (örneğin, amonyum polifosfat, APP) karbonatlama maddesini (örneğin poliol) kömür haline getirmek için dehidrasyon reaksiyonunu katalizler. Şişirme ajanı (örneğin, melamin, üre, guanidin) karbon kömürünü bozan ve salgılayan gazları ayrıştırır [12]. Petrokimya endüstrilerinde epoksi kaplama dış uygulamalarda yaygın olarak kullanılırken, vinil bazlı veya su bazlı şişen kaplama iç kısımlara uygulanır. Üretim kalınlığının gerekliliği, petrokimya endüstrisinde uygulamaya göre değişmektedir.

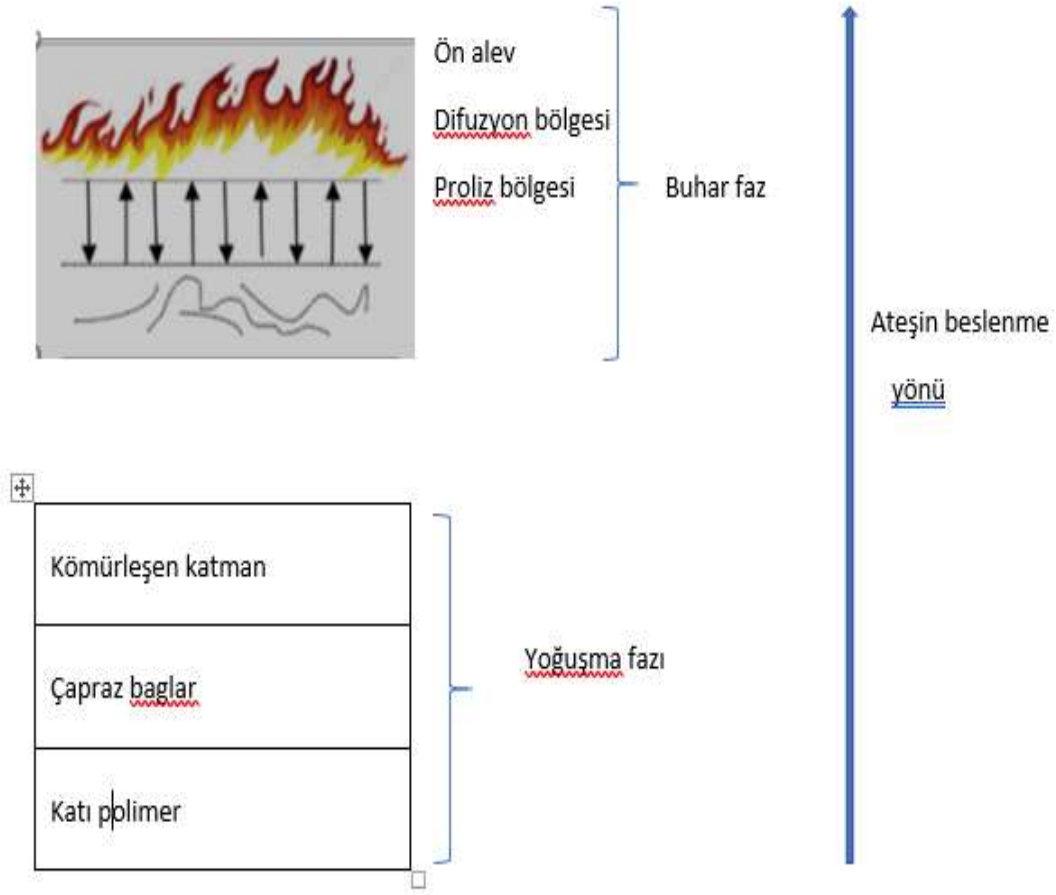
Nanometrik parçacıklar nispeten yeni alev geciktirici sınıfıdır. Nano doldurucuların kullanılmasından önce, mikro ölçekli katkı maddeleri polimerik matrislere gömüldü. Isıl kararlılıktaki gelişmeler açıkken, bu mikro-kompozitler önemli sonuçlar elde etmek için yüksek dolum yükleri gerektiriyordu. Ayrıca, ortaya çıkan yüksek yüklü mikro-kompozitler, çarpıcı biçimde değiştirilmiş mekanik özelliklere sahip orijinal polimerden önemli ölçüde daha yoğundur. Mikro ölçekli katkı maddeleri yerine nano doldurucular kullanıldığında, yüzey-hacim oranı çarpıcı şekilde artar, polimer ve nano doldurucu arasındaki etkileşimler daha da arttırılırken, daha küçük bir doldurucu yüklemesi gerekir [18]. Nanofilin polimere dağılması, polimere maruz kalan nanofilin yüzey alanını ve dolayısıyla nanofille polimer arasındaki etkileşimin miktarını büyük ölçüde etkiler. Nanopartiküllerdeki yüksek en boy oranından kaynaklanan yüksek sızıntı eşikleri, dayanıklılık, kuvvet, modülü gibi mükemmel reolojik ve elektromanyetik özellikler sağlar [17, 19]. Nanokompozitlerin ayrıca gelişmiş termal stabilite, optik ve manyetik özellikler, kimyasal direnç ve su, gaz ve hidrokarbonlara karşı geçirgenliği azalttığı bildirilmiştir [18, 20]. Özellikle, nanoparçacıklar, gelişmiş kömür oluşumu, düşük ısı salım hızı, ateşleme süresinin artması ve bir alev sırasında yanıcı uçucu madde emisyonlarının azaltılması yoluyla geliştirilmiş alev geciktirme özelliği göstermiştir [17]. Nanokompozitler, polimer hareketliliği ve nano-iyonların serbest radikal tutulması ve bunun geciktirici performansının azalması nedeniyle saf polimerden daha yüksek termal stabilite sergiler ve nanometrik parçacıkların geometrilerine ve kimyasal yapılarına bağlı olarak değişir [21]. Nanopartiküllerdeki daha büyük yüzey alanı-hacim oranı, nispeten daha düşük bir yükün bile, nanokompozitlerdeki polimer ve nanopartikül arasında daha fazla etkileşim oluşturmasını sağlar [22]. Bu, nanoparçacık, polimerlerin orijinal özelliklerinin aşırı yüklenmeden

etkilenmemesini sağlamanın yanı sıra maliyet açısından daha iyi bir alternatif haline getirir. Geniş ara yüzey alanı ayrıca polimer hareketliliği, viskozite ve cam geçiş sıcaklığını da iyileştirir.



Şekil 2.9: Kömürleşmeyen polimerlerin fiziksel yanma davranışları

Şekil 2.8 ‘da bahsedilen iki ayrı alt grup için kömürleşen ve kömürleşmeyen polimerler için fiziksel yanma davranışları sırasıyla **Şekil 2.9** ve **Şekil 2.10**’de verilmiştir.



Şekil 2.10: Kömürleşen polimerlerin fiziksel yanma davranışları

Tang Hoa ve arkadaşları alev geciktirici olarak magnezyum hidroksit kullanıp bu kimyasalın miktarının arttıkça alev geciktirme performansının iyileştiğini gözlemlemişlerdir [23].

Park ve arkadaşları ise; alev geciktirici olarak amonyum hidrojen fosfat(ADP) kullanmış, alev geciktirici olarak kullanılacak katkı maddesinin ıslanılabilirliğinin yanı sıra ara yüzey yapışmasının da önemini fark etmiştir [24].

2.4.5. Bor Elementinin Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Bor, periyodik tabloda B harfi ile gösterilen, atom numarası 5, atom ağırlığı 10,81 olan metalle ametal arası yarı iletken özelliğe sahip bir elementtir. Bor tabiatta hiçbir zaman serbest halde bulunmaz. Doğada yaklaşık 230 çeşit bor minerali olduğu bilinmektedir. Periyodik cetvelin 3A grubunun ilk ve en hafif üyesidir. Temel hal elektron konfigürasyonu $1s^2 2s^2 2p^1$ 'dir [18–19]. Borun saf elementi ilk kez 1808 yılında Fransız kimyager J.L. Gay-Lussac ve Baron L.J. Thenard ile İngiliz kimyager H. Davy tarafından bor oksidin potasyum ile ısıtılmasıyla elde edilmiştir. Daha saf bor, ancak bromit veya klorit formlarının tantalyum flamenti vasıtasıyla hidrojen ile reaksiyona sokulmasıyla elde edilmektedir. Bor ismi borun tuzu olan boraks dan türetilmiştir.



Şekil 2.11: Boraks kristali

Çeşitli metal veya ametal elementlerle yaptığı bileşiklerin gösterdiği farklı özellikler, endüstride birçok bor bileşiğinin kullanılmasına olanak sağlamaktadır. Bor, bileşiklerinde metal dışı bileşikler gibi davranır, ancak, farklı olarak saf bor, karbon gibi elektrik iletkenidir. Kristalize bor; görünüm ve optik özellikleri açısından elmasa benzer ve neredeyse elmas kadar serttir. Kütle numaraları 10 ve 11 olmak üzere iki kararlı izotopu vardır, bunlar; 10B (% 18,8) ve 11B (%81,2) izotoplarıdır. Bor elementinin atomik özellikleri

Tablo 2.2'de verilmektedir.

Tablo 2.2: Bor elementinin atomik özellikleri

Atom çapı	117 Aº
Atomik hacmi	4,6 cm^3/mol
Kristal yapısı	Rhombohedral
Elektron konfigirasyonu	$1s^2\ 2s^2\ p^1$
İyonik çapı	0,23 Aº
Elektron sayısı (yüksüz)	5
Notron sayısı	6
Proton sayısı	5
Valans elektronları	$2s^2p^1$

Kristal bor, önemli ölçüde hafiftir, serttir, çizilmeye karşı dayanıklıdır ve ısıya karşı kararlıdır. Bor kırmızı ötesi ışığın bazı dalga boylarına karşı saydamdır ve oda sıcaklığında zayıf elektrik iletkenliğine sahiptir. Yüksek sıcaklıkta iyi bir iletkendir. Kristal bor kimyasal olarak inerttir. Bor hidroklorik ve hidroflorik asitlerle kaynatıldığında bozulmaz. Sadece çok ince öğütülmüş bor, konsantre nitrat asidi ile yavaş oksitlenir.

Tablo 2.3: Bor elementinin atomik özellikleri

Atomik kütlesi	10,811
Kaynama noktası	4002 ºC
Termal genleşme katsayısı	
Yoğunluk	2,34 gr/cm^3
Görünüş	Sarı-Kahverengi ametal kristal
Elastik Modulu	320 Gpa
Atomizasyon Entalpisi	573 ,2 kj/mole (25 ºC)
Molar Hacim	4,68 cm^3/mole
Spesifik ısı	1,02 J/gK
Buhar basıncı	0,348 Pa (2300 ºC)

Bor mineralleri ve bileşikleri çeşitli endüstri dallarında çok farklı malzeme ve ürünlerin üretiminde kullanılmaktadır. Uzay ve hava araçları, nükleer uygulamalar, askeri araçlar, yakıtlar, elektronik ve iletişim sektörü, tarım, cam sanayi, kimya ve deterjan sektörü, seramik

ve polimerik malzemeler, nano teknolojiler, otomotiv ve enerji sektörü, metalurji ve inşaat gibi 500'e yakın alanda kullanılmaktadır. Ancak tüketilen bor ürünlerinin %80'e yakını cam, seramik-frit, tarım ve deterjan sektörlerinde yoğunlaşmıştır. [25].

Tablo 2.4: Bor elementinin kimyasal özellikleri

Elektro kimyasal eşdeger	0,1344 g/amp-hr
Elektronegativite	2,04
Fuzyon ısısı	50,2 kj/mol
İyonizasyon potansiyeli	
Birinci	8,298 kJ/mol
İkinci	35,154 kJ/mol
Üçüncü	37,93 kJ/mol
Valans elektron potansiyeli (-eV)	190

2.4.5. Bazı Önemli Bor Bileşiklerinin Kullanım Alanları

Dünya bor rezervinin %73 Türkiyede bulunmaktadır. Türkiye açısından en bol bor rezervi, Tinkal ve kolemanittir. Eskişehir, Kütahya, Bursa gibi bölgelerde zengin bor yatakları bulunmaktadır.

Tablo 2.5' te bazı önemli bor bileşiklerinin endüstriyel kullanım alanları verilmiştir

Tablo 2.5: Bazı Önemli Konsantre ve Rafine Bor Bileşiklerinin Kullanım Alanları

Ürün	Kullanım alanları
Kalsiyum Bor Cevheri (Kolemanit)	Tekstil kalite cam elyafı, bor alaşımları, metalürjik cüruf yapıştırıcı, nükleer depolama
Sodyum Bor Cevherleri (üleksit ve Probertit)	Yalıtım cam elyafı, borosilikat camlar, gübre
Tinkal	Farfine borların üretimi, sodyum perborat,susuz boraks , disodyum okta borat ,penta borat,metaborat
Borik asit	Antiseptikler, bor-alaşımları, nükleer uygulamalar, naylon, yangın geciktiriciler,
Susuz boraks	Gübreler, cam elyaflar, metalürjik cüruf yapıştırıcı,
Sodyum perborat	Deterjan ve beyazlatıcılar, tekstil dezenfektan ve bazı diş macunları,
Sodyum pentaborat	Yangın geciktiriciler, gübreler,
Rafine boraks dekahidrat	yapıştırıcılar

Rafine boraks pentahidrat	Çimento, ilaç ,korozyon önleyicisi, deri ,tekstil
Disodyum oktaborat tetrahidrat	Yangın söndürücüler, gübreler, tarım ilaçları

3. MALZEME VE YÖNTEM

3.1. ÇALIŞMADA KULLANILAN KİMYASALLAR

Bu bölümde çalışmamızda kullanılan cihazlar ve kullanılan malzemelerden bahsedildi. Çalışma kapsamında, doymamış polyester reçine (Polipol 360 ortoftalik esaslı), alüminyum hidroksit, disodyum oktaborat tetrahidrat, boraks pentahidrat, susuz boraks bileşikleri kullanıldı.

3.1.1. Doymamış Polyester Reçine

Çalışmamızda doymamış polyester reçine olarak Polipol 360 kullanıldı. Bu reçine, ortoftalik esaslı, orta viskozitede, orta reaktivite de genel amaçlı bir polyesterdir. Tablo 3.1'de çalışmada kullanılan Polipol 360 doymamış polyesterin bazı özellikleri, bu özelliklerinin nicel olarak tespiti için uygulanan metotlar ve bu metotlardan elde edilen değerler verildi.

Tablo 3.1: Polipol 360 doymamış polyesterin özellikleri

Özellikler	Metot	Değer
Viskozite	23ºC Brookfield DVIII	500-600 CP
Jel süresi	+ '23 ºC 1ml Kobalt,, 1ml Metil etil keton peroksit	12-14 dakika
Pik süresi		20-25 dakika
Pik Sıcaklığı		160-170 ºC
Katı miktarı		%60-64
Çekme Dayanımı	ISO 527-2	60 Mpa
Elastiklik modülü	ISO 527-2	2600
Kopmadaki uzama	ISO 527-2	%4,5
Eğilme Dayanımı	ISO-178	128 Mpa
Darbe Dayanımı	ISO-180	16 kJ/mm^2
HDT sıcaklığı	ISO 75	68 ºC

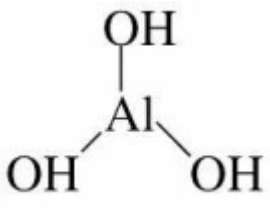
3.1.2. Alüminyum Hidroksit (ATH)

Alümine trihidrat olarak da bilinen alüminyum trihidroksit (ATH), polimerlerde ve polimer kompozitlerde sıkça kullanılan etkili (aktif) bir alev geciktirici dolgu maddesidir. ATH, yanma sürecinin hem yoğun fazında hem de gaz fazında etkindir, ve büyük miktarlarda kullanıldığında alevli yanmayı ve (-bazı durumlarda-) dumanı önlemede fevkalade etkilidir. Dolgu maddesi ayrışırken, ATH'nin temel yoğun faz mekanizması ısı absorpsiyonudur. ATH, 220 - 400 ºC aralığında aşağıda verilen endotermik reaksiyona göre ayrışır:

$2Al(OH)_3 \rightarrow Al_2O_3 + 3H_2O$

Bu, her 1 gram ATH ile 1 kJ ısıyı absorbe eden yüksek ölçüde endotermik bir reaksiyondur. Reaksiyonun esas endotermik zirvesi yaklaşık 300ºC'de olmaktadır, bu da reaksiyonun, kompozitlerde kullanılan birçok polimerin ayrışmayacağı bir sıcaklıkta fazla ısıyı absorbe ettiği anlamına gelmektedir. Reaksiyonun diğer bir önemli açısı da alüminyuma bağlı hidroksil gruplarından su buharı oluşumudur. Bu su, polimer matristen çıkan yanıcı gazların konsantrasyonunu seyrelterek salınmaktadır. Parçalanma reaksiyonunun ek bir faydası da, diğer bazı alev geciktirici bileşiklerin (başta organo halojenin) aksine toksik veya korozif (aşındırıcı) gazlar oluşturmamasıdır. Molekül ağırlığı 78 g/mol, kapalı formülü $Al(OH)_3$ olan alüminyum hidroksit bileşiğinin açık yapısı **Şekil 3.1**'de verildi.

Formülü: $Al(OH)_3$ Molekül ağırlığı: 78 g/mol



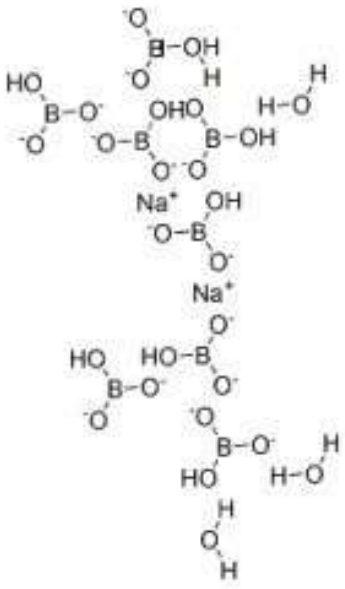
Şekil 3.1: Alüminyum hidroksit yapısı

3.1.3. Disodyum Oktaborat Tetrahidrat ($Na_2B_8O_{13}.4H_2O$)

Disodyum oktaborat tetrahidrat, ($Na_2B_8O_{13}.4H_2O$) uygulama alanlarına göre farklı ticari isimlerle pazarlanmaktadır. Bir alkali tuzu olan disodyum oktaborat tetrahidrat, tarım, gübre ve böcek ilaçları gibi sektörlerde kullanılmaktadır. Molekül ağırlığı 412,527 g/mol, kapalı formülü $Na_2B_8O_{13}.4H_2O$ olan disodyum oktaborat tetrahidrat bileşiğinin açık yapısı Şekil 3.2'de verildi.

Formülü: $Na_2B_8O_{13}.4H_2O$

Kütle Ağırlığı: 412,527 g/mol



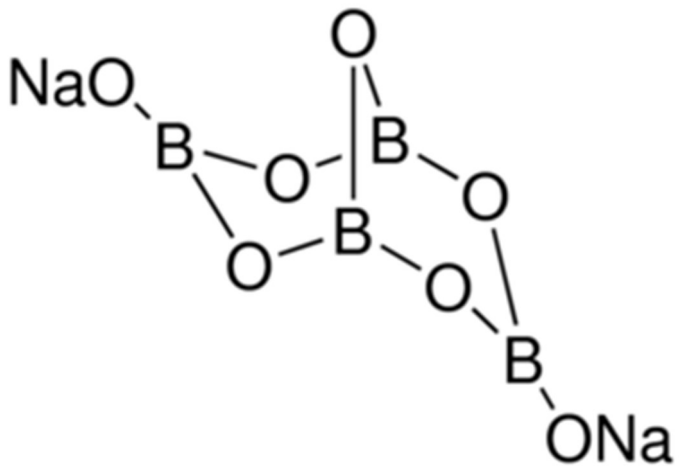
Şekil 3.2: Disodyum oktaborat tetrahidrat yapısı

3.1.4. Susuz Boraks ($Na_2B_40_7$)

Disodyum tetraborat, molekül ağırlığı 201,27g. özgül ağırlığı 2,3 g/cm^3 olup, renksiz ve çok sert bir kristaldir. Çeşitli kristal yapıları arasından a- kristalin yapısı boraks hidratlarının dehidratasyonu ile elde edilir. 600-700°C'de kararlı durumdadır. Camsı susuz boraks kristal sulu bileşiklere nazaran suda daha yavaş çözünür. Kristalin susuz boraks nemli havadan H_2O absorbe eder, 700°C'de susuz hale gelir ve 742,5°C 'de ergir. Susuz sodyum tetraborat, boraksın kademeli olarak ısıtılıp kristal suyunun uçurulması ile elde edilir. Boraks

öğütüldükten sonra iki kademede 370°C'e kadar ısıtılır. Bu kavurma işlemi döner fırınlarda yapılır.

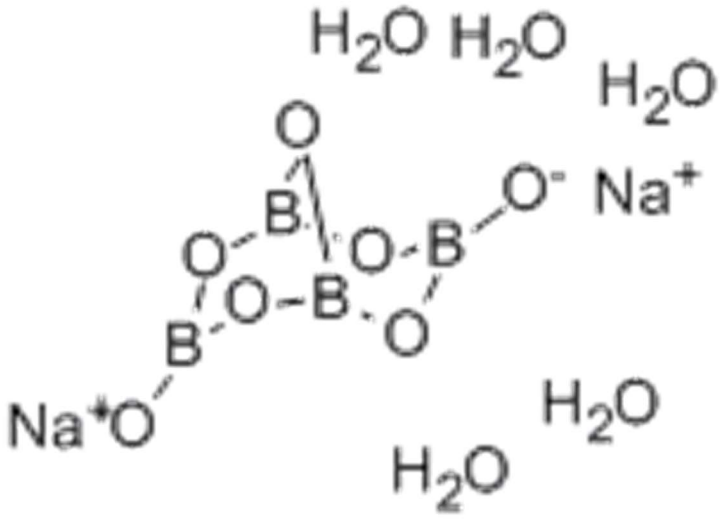
Birinci kademede boraks 4-5 molekül, ikinci kademede 2-3 molekül kristal suyunu kaybeder. Kavrulduktan sonra daha 2-4 molekül kristal suyu içeren boraks üstten brülörlerle ısıtılan özel potalarda ergitilir. **Şekil 3.3'de** susuz boraks bileşiğinin yapısı verildi.



Şekil 3.3: Susuz boraks yapısı

3.1.5. Boraks Pentahidrat ($Na_2B_4O_7.5H_2O$)

Disodyum tetraborat pentahidratın bileşiğinin molekül ağırlığı 291,35 g7mol özgül ağırlığı 1,88 g/cm^3'dir. Mineral adı tinkalkonit olan bu bileşik, doğada, boraksın atmosferde dehidratasyonundan oluşan birikintiler halinde bulunur. Çeşitli yöntemlerle, boraks üretiminin kristalleşme safhasında, ortamın şartları değiştirilerek sodyum tetraborat pentahidrat elde edilir. Sodyum tetraboratın, dekahidrat veya pentahidrat şeklinde kristalleşmesi öncelikle ortamın sıcaklığına bağlıdır. Doymuş boraks çözeltisi 60- 65 ^{0}C'nin üstünde tutularak karıştırılırsa, hekzagonal, muhtemelen rombohedral yapılı pentahidrat kristalleri elde edilir. Kristaller aynı sıcaklıkta dekantasyon veya santrifüj yoluyla ayrılır ve kurutulur. Ana çözelti ise tekrar devreye sokulur. Pentahidrat genellikle buharlaştırma yöntemi ile boraks üretiminde bir yan ürün olarak da elde edilir. **Şekil 3.4'te** disodyum tetraborat pentahidrat bileşiğinin yapısı verildi.



Şekil 3.4: Disodyum tetraborat pentahidrat yapısı

3.2. ÇALIŞMADA KULLANILAN YÖNTEM VE CİHAZLAR

3.2.1. Viskozite Numunelerinin Hazırlanması

Çalışmanın bu bölümünde dolgu malzemelerinin (ATH, disodyum oktaborat tetahidrat, susuz boraks, disodyum tetraborat pentahidrat) Polipol 360 polyesterinin viskozitesi üzerine etkisini incelemek için farklı oranlarda poliester/dolgu içeren karışımlar hazırlandı.

% 10-50 oranlarında örnek numuneleri hazırlamak için Tablo 3.2'de verilen Polipol 360 ve dolgu miktarları tartıldı. Dolgu malzemeleri karşılık gelen miktardaki polyester içerisine ilave edilerek 10 dakika boyunca karıştırıcıda karıştırıldı.

Tablo 3. 2: Viskozite ölçümleri için polyester/dolgu karışım oranları

Örnek	Polipol 360 (g)	Dolgu (g)
%10	450	50
%20	400	100
%30	350	150
%40	300	200
%50	250	250

3.2.2. Darbe ve Mekanik Test Numunelerin Hazırlanması

Çalışma kapsamında, mekanik özellikleri incelemek için 4 farklı dolgu malzemesinden (ATH, susuz boraks, boraks penta hidrat ve disoydum oktaborat pentahidrat) 250'şer gram tartıldı ve 250 gram polyester içeren dört ayrı karıştırma kabına ilave edildi. Homojen polyester/dolgu karışımları elde edilene kadar 300-400 RPM hızda uygun bir karıştırıcı ile karıştırıldı.

2.4.5. Limit Oksijen İndex (LOI) Numunelerinin Hazırlanması

LOI testi için %25 dolgu içeren ve % 50 dolgu içeren test plakaları hazırlandı. Dolgular polyesterin içerisinde %25 ve %50 olacak şekilde ilave edilerek polyester ve dolgu şekil 3.6 da gösterildiği şekilde homojen bir karışım oluşturan kadar 300-400 RPM hız ile IKA marka karıştırıcıyla karıştırıldı. %1 ml kobalt oktaat ve %1 ml metil etil keton peroksit ilave edildi. Karışımlar peroksit ilavesinden sonra şekil 3. 8 gösterildiği gibi, cam kalıpların arasına döküldü.Karışımların tamamen katılaşması ve içerisindeki çapraz bağ reaksiyonun tamamlanması için 80 ºC' lik bir fırında 3 saat bekletildi.



Şekil 3.5: Polyester ve dolgu örneği



Şekil 3.6: Polyester ve dolguların karıştırılması

Doymamış polyesterler, ortam koşullarında sıvı formdadır. Polyester/dolgu karışımlarına, karışımların katı forma dönüşmesi için; kobalt oktaat çözeltisinden %1 ml, metil etil keton peroksit'ten % 1 ml ilave edildi.



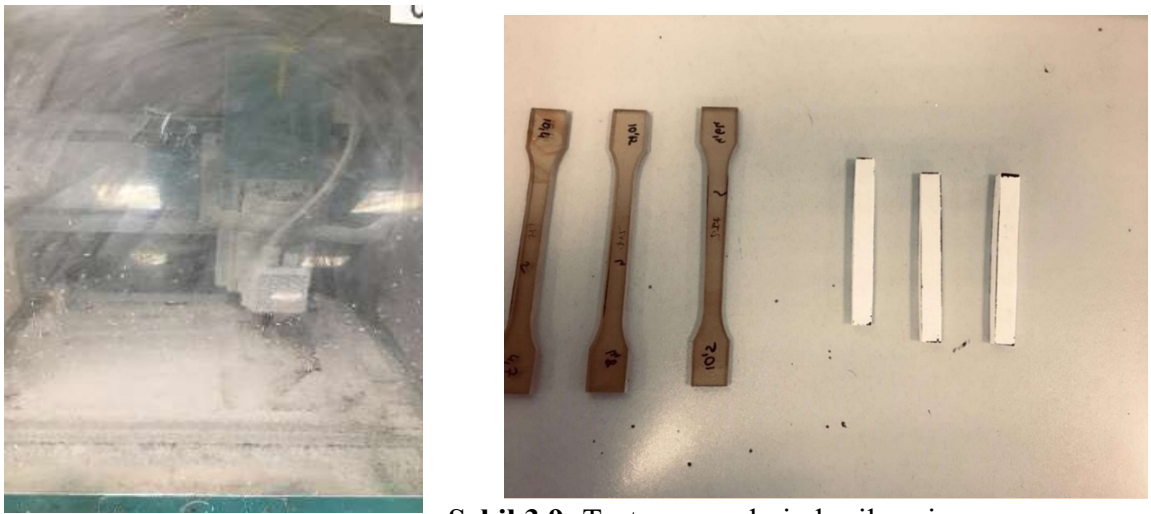
Şekil 3.7: Karışımlara kobalt ve peroksit ilavesi

İki cam arasına dört mm kalınlıkta silikon fitil konularak şekil. 3.8 de gösterildiği gibi kalıplar hazırlandı. Cam kalıpların içerisine, kobalt oktaat ve metil etil keton peroksit ilave edilmiş, dolgu/polyester karışımı döküldü. Karışımların katılaşması beklendi. Karışım içerisinde bütün kimyasal reaksiyonun tamamlanması için, cam kalıp, içerisindeki polyester/dolgu karışım ile birlikte 80 ºC'de sıcaklıkta ki fırına konuldu. 3 saat süre ile 80 ºC bekletildi.



Şekil 3.8: Karışımların kalıplar dökülmesi

Cam kalıplardan sökülen dolgu/polyester karışımı plakalar, ISO 527, ISO 180, ve ISO 178 standartlarına belirtilen numune ölçülerinde kesilerek test numuneleri hazırlandı.



Şekil 3.9: Test numunelerin kesilmesi

3.2.3. Viskozite Ölçümü

3.2.1 de hazırlanan dolgu/polyester karışımlarının viskozitesi, brookfield viskozimetre ile ölçüldü. Brookfield viskozimetre'sinde bir yay ile aletin motoruna bağlanan, farklı hızda dönüş yapabilen miller bulunmaktadır. Millerin geometrik şekilleri birbirinden farklıdır. Ölçülecek örneğin tipine göre mil seçilir. Milin örnek içinde dönmesiyle oluşan viskoz sürüklenme, kayma geriliminin fonksiyonu olarak aletin göstergesinden okunur. Milin dönüş hızı (d/d, rpm) genel olarak gerçek kayma hızı yerine, göstergede okunan değer ise gerçek kayma gerilimi yerine kullanılır. Kullanılan milin boyutuna ve hızına bağlı olarak geliştirilen bir faktör yardımıyla okunan değerler viskoziteye çevrilir. Kinematik Viskozite: Sıvının Dinamik viskozitesinin aynı sıcaklıktaki yoğunluğuna bölünmesi ile elde edilir. Çalışmada viskozite ölçümleri, 23 ºC sıcaklıkla, 4 numaralı mil ve 50 devir/ dakika ile yapıldı.



Şekil 3.10: Viskozite cihazına ait resim

3.2.4. Limit Oksijen İndex Değerinin Tayini

Limit Oksijen indeksi genellikle organik polimer ve kompozit malzemelerin alev dayanımının ölçülmesinde kullanılır. % LOI (limit oksijen index) minimum yüzde oksijen olarak tanımlanır. Limit oksijen indeksi ölçüm cihazının fanusuna yerleştirilen test malzemeleri, oksijen yüzdesi değiştirilebilen suni bir atmosferde 30 sn boyunca aleve

maruz bırakılır. 30 sn sonunda alev çekilerek 180 sn içerisinde malzemenin kendi kendine alevi söndürüp söndüremediği kontrol edilir. Verilen süre içinde malzeme kendini söndürürse oksijen yüzdesi artırılarak deney tekrarlanır. Malzemenin kendini 180 sn içinde söndüremediği oksijen yüzdesi değeri tespit edilerek o malzemenin LOI değeri kaydedilir. Bu değer, genellikle kompozit malzemelerin yangın performansını karakterize etmek için kullanılır.



Şekil 3.11: LOI cihazı

Tablo 3.3: LOI'ye göre alev geciktiricilerin sınıflandırması (Schmidt, 1999).

LOI Değeri	**Malzemenin Alev Özelliği**
< %24	Yanabilir, alev alabilir
% 24-28	Sınırlı alev geciktirici
% 29-34	Alev geciktirici
> %34	Ekstra alev geciktirici

3.2.5. Çekme Dayanımlarının Ölçülmesi

Çekme deneyi standartlara göre hazırlanmış deney numunesinin tek eksende, belirli bir hızla ve sabit sıcaklıkta koparılıncaya kadar çekilmesidir. Deney sırasında, standart numuneye devamlı olarak artan bir çekme kuvveti uygulandığında, aynı esnada da numunenin uzaması kaydedilir.



Şekil 3.12: Çekme ve eğilme cihazı

Kuvvet ve şekil değiştirme arasındaki bağıntıların incelenmesi bakımından en basit deney çekme deneyidir. Çekme deneyi; malzemelerin statik yük altındaki elastik ve plastik davranışlarının (mekanik özelliklerinin) belirlenmesi, mekanik davranışlarına göre sınıflandırılması ve malzeme seçimi amacıyla yapılır. Bu deneyde standart çekme numunelerinin mukavemet değerleri ölçülür. Elde edilen değerler karşılaştırılarak, malzemelerin mekanik özellikleri değerlendirilir. kompozit malzemelerin çoğunda bazı mekanik özellikleri ölçebilmek için standartlarda belirlenmiş kurallar içinde çekme deneyleri yapılır.

Bu çalışmada ISO 527 çekme testi standardına göre hazırlanan test numuneleri, 1 mm/dakika hızla çekildi. Çekme deneyi, shimazdu marka test cihazı ile yapıldı.

3.2.6. Darbe Dayanımın Ölçülmesi

İzod darbe yanımı testi; dikey ve konsol halinde bir kavrama çenesine tutturulan numunenin yüzeyine, kavrama çenesinden belirli yükseklikte, bir sarkacın ucundaki çekiçle darbe yapılması ve çentik tabanında meydana gelen çok eksenli gerilimler ile numunenin kırılması için sarf edilen enerjiyi tayin işlemidir. Bu çalışmada ISO 180 standardına göre darbe testleri yapıldı.



Şekil 3.13: Darbe cihazı.

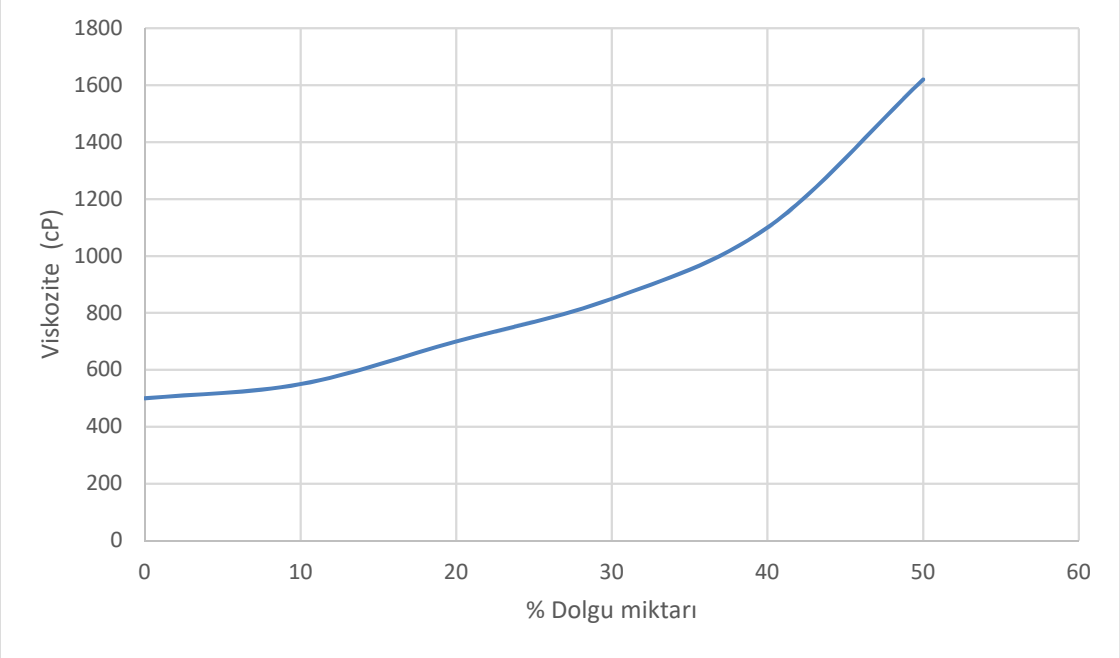
4. BULGULAR

Çalışmamızda elde edilen veriler bu bölümde tablo ve grafikler halinde sunuldu.

4.1. KARIŞIMLARIN VİSKOZİTE ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

4.1.1. Alüminyum Hidroksit (ATH) Katkılı Polyester Viskozite Verileri

Polipol 360 polyester reçine ve dolgu malzemesi alüminyum hidroksit (ATH) kullanılarak %10, %20, %30, %40 ve %50 lik ath içeren karışımlar Bölüm 3.2.1 de anlatılan yöntemle hazırlandı. Elde edilen ath/polyester karışımlarının viskozite değerleri brookfield viskozimetre ile ölçüldü. 23 ºC, 4 uç 50 RPM'de yapılan ölçümlerin sonuçları **Tablo 4.1**'de, viskozite değişimi ise **şekil 4.1'de** verildi.



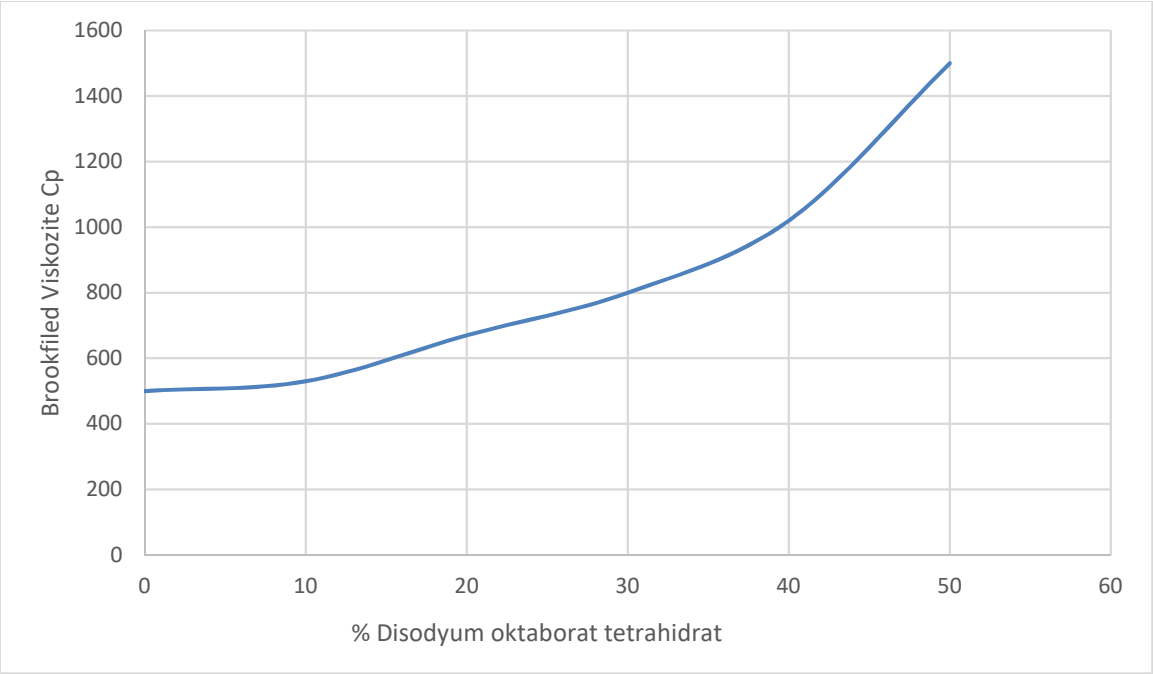
Şekil 4.1: ATH katkılı polyesterin viskozite değişim grafiği

Tablo 4.1: Alüminyum hidroksit dolgu/reçine oranları

Örnek	Polipol 360 (g)	ATH (g)	Viskozite (cP)
%0	500	-	500
%10	450	50	550
%20	400	100	700
%30	350	150	850
%40	300	200	1100
%50	250	250	1620

4.1.2. Disodyum Oktaborat Tetrahidrat ($Na_2B_8O_{13}\cdot 4H_2O$) Katkılı Polyester Viskozite Verileri

Polipol 360 polyester reçine ve dolgu malzemesi disodyum oktaborat tetrahidrat ($Na_2B_8O_{13}\cdot 4H_2O$) kullanılarak %10, %20, %30, %40 ve %50 lik $Na_2B_8O_{13}\cdot 4H_2O$ içeren karışımlar Bölüm 3.2.1 de anlatılan yöntemle hazırlandı. Elde edilen disodyum oktaborat tetrahidrat/polyester karışımlarının viskozite değerleri brookfield viskozimetre ile ölçüldü. 23 ºC, 4 uç 50 RPM'de yapılan ölçümlerin sonuçları Tablo 4.2'de, viskozite değişimi ise şekil 4.1'de verildi.



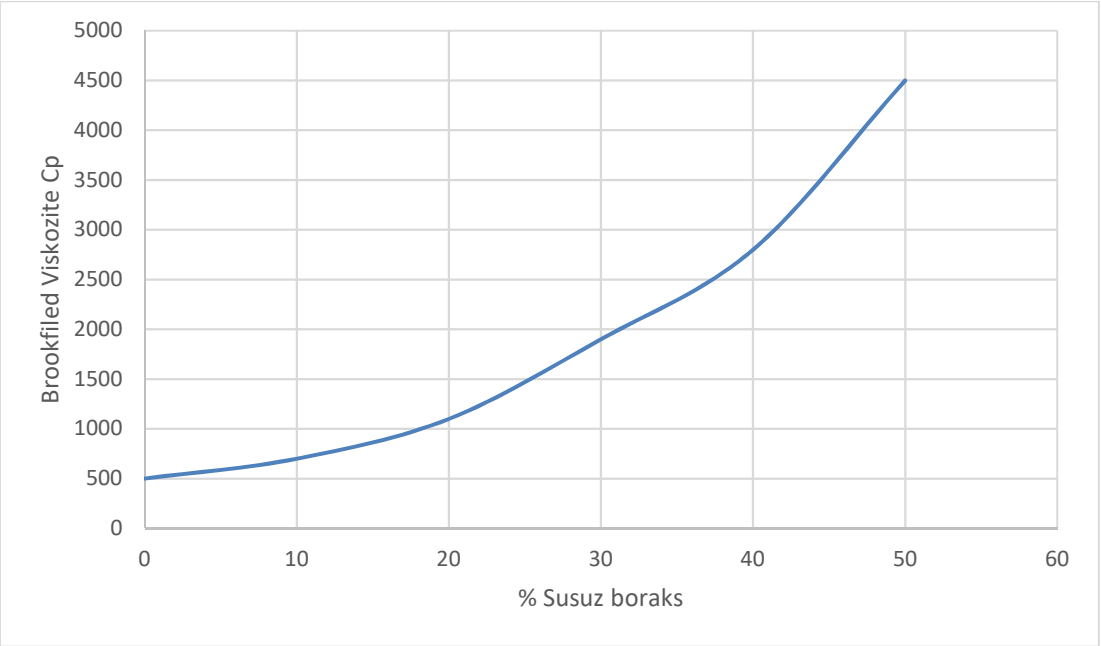
Şekil 4.2: Disodyum oktaborat tetrahidrat katkılı polyesterin viskozite değişim grafiği

Tablo 4.2: Disodyum oktaborat tetrahidrat dolgu/reçine oranları

Örnek	Polipol 360 (g)	ATH (g)	Viskozite (cP)
%0	500	-	500
10%	450	50	530
20%	400	100	670
30%	350	150	800
40 %	300	200	1020
%50	250	250	1500

4.1.3. Susuz Boraks ($Na_2B_4O_7$) Katkılı Polyester Viskozite Verileri

Polipol 360 polyester reçine ve dolgu malzemesi susuz boraks kullanılarak %10, %20, %30, %40 ve %50 lik karışımlar Bölüm 3.2.1 de anlatılan yöntemle hazırlandı. Elde edilen susuz boraks/polyester karışımlarının viskozite değerleri brookfield viskozimetre ile ölçüldü.23 ºC, 4 uç 50 RPM'de yapılan ölçümlerin sonuçları Tablo 4.3'de, viskozite değişimi ise şekil 4.3'de verildi.



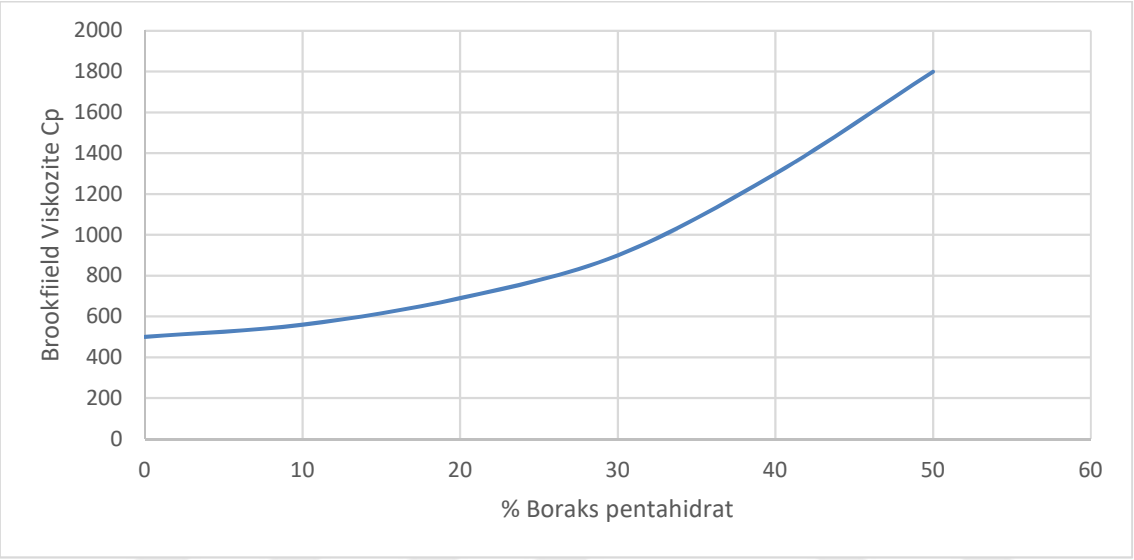
Şekil 4.3: Susuz boraks katkılı polyesterin viskozite değişim grafiği

Tablo 4.3: Susuz boraks dolgu/reçine oranları

Örnek	Polipol 360 (g)	ATH (g)	Viskozite (cP)
%0	500	-	500
10%	450	50	700
20%	400	100	1100
30%	350	150	1900
40 %	300	200	2800
%50	250	250	4500

4.1.4. Boraks Pentahidrat ($Na_2B_4O_7.5H_2O$) Katkılı Polyester Viskozite Verileri

Polipol 360 polyester reçine ve dolgu malzemesi boraks pentahidrat kullanılarak %10, %20, %30, %40 ve %50 lik karışımlar, bölüm 3.2.1 de anlatılan yöntemle hazırlandı. Elde edilen Boraks Pentahidrat/polyester karışımlarının viskozite değerleri brookfield viskozimetre ile ölçüldü. 23 ºC, 4 uç 50 RPM'de yapılan ölçümlerin sonuçları **Tablo 4.4'de**, viskozite değişimi ise **şekil 4.4'de** verildi.



Şekil 4.4: Farklı oranlarda boraks pentahidrat ilave edilen polyesterin viskozite değişim grafiği

Tablo 4.4: Boraks penta dolgu/reçine oranları

Örnek	Polipol 360 (g)	ATH (g)	Viskozite (cP)
%0	500	-	500
10%	450	50	560
20%	400	100	690
30%	350	150	900
40 %	300	200	1300
%50	250	250	1800

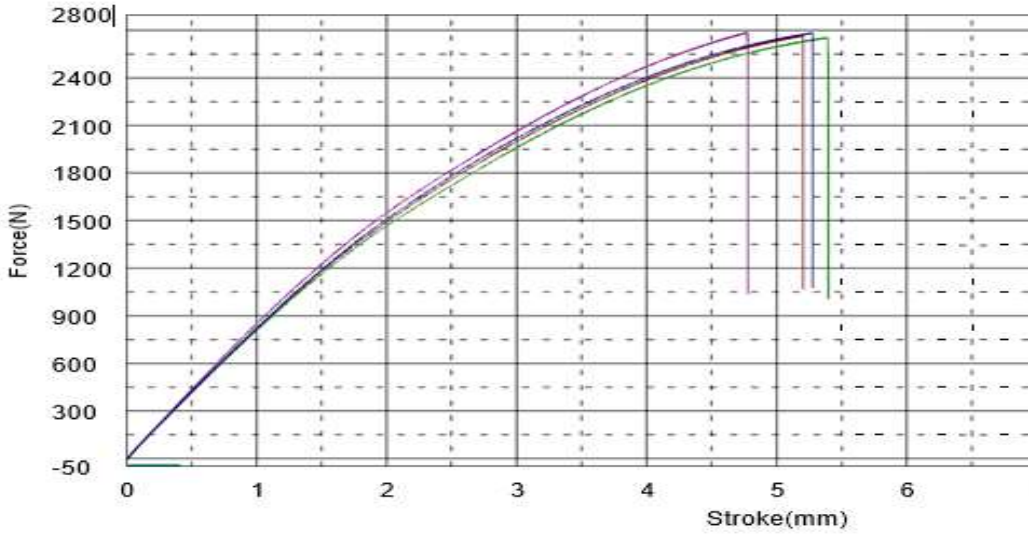
4.2.MEKANİK TEST SONUÇLARI

ISO 527 standardına göre hazırlanan test numunelerin çekme testleri yapıldı. Çekme testlerinde bölüm 3.2.2 de belirtiği gibi, %50 oranında dolgu/polyester karışımları kullanıldı. ATH,

disodyum oktaborat tetrahidrat, susuz boraks ve boraks pentahidrat'a ait çekme dayanım sonuçları bölüm 4.2.1 , 4.2.2 , 4.2.3 ve 4.2.4 verildi.

4.2.1. Alüminyum Hidroksit (ATH) Katkılı Polyester Mekanik Test Sonuçları

Polipol 360 polyester reçine ve ATH ile %50 dolgu/polyester oranında hazırlanan numunelere ISO 527-standartdına göre çekme testi yapıldı. Bulunan sonuçlar **Tablo 4.5.** verildi.



Şekil 4.5: Alüminyum hidroksit (ATH) katkılı polyester çekme kuvvet-uzama grafiği

Tablo 4.5: Alüminyum hidroksit (ATH) katkılı polyester çekme dayanımı sonuçları

Deney Or.	Çekme Dayanimi . MPa	Elastik Modülü MPa	Çekme Uzamasi %	Kopma Kuvveti N
1 - 1	43,2	3320	2,54	2665,14
1 - 2	42,50	3280	2,94	2665,16
1 - 3	38,01	3230	2,32	2589,06
1 – 4	39,87	3315	2,45	2516,41
1 - 5	42,63	3400	3,27	2683,75
Ortalama	45,1	3309	2,704	2613,5

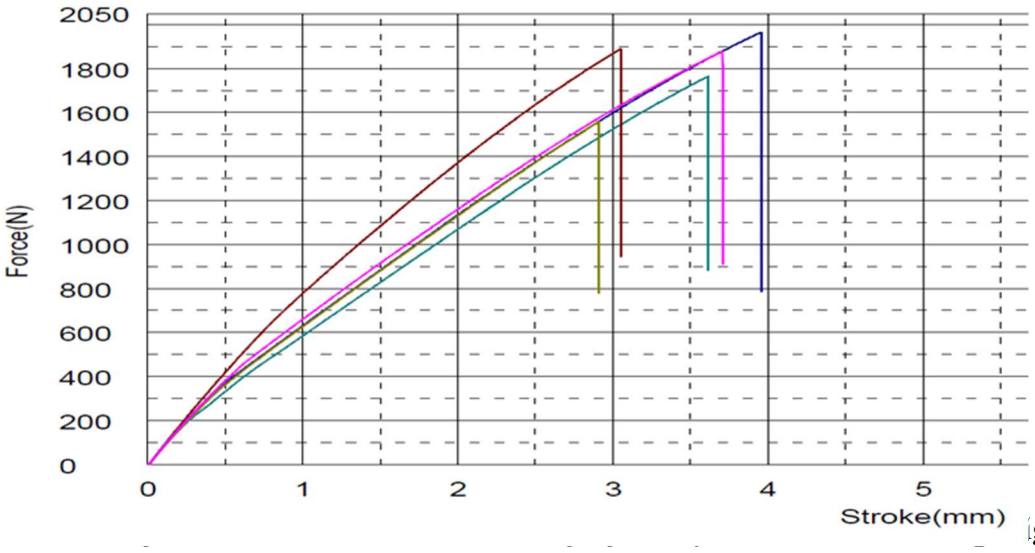
Deney numunelerine ait ölçüler **Tablo 4.6** 'da verildi.

Tablo 4.6: Alüminyum hidroksit (ATH) katkılı polyester için çekme testi numune ölçüleri

Birim	Kalınlık(mm)	Genişlik (mm)	Çene aralığı (mm)
1 - 1	4,3500	10,5000	115,0000
1 - 2	4,1000	10,4000	115,0000
1 - 3	4,2500	10,5000	115,0000
1 - 4	4,1000	10,2500	115,0000
1 - 5	4,1000	10,4500	115,0000

4.2.2. Disodyum Oktaborat Tetrahidrat Katkılı Polyester Mekanik Test Sonuçları

Polipol 360 polyester reçine ve disodyum oktaborat tetrahidrat ile %50 dolgu/polyester oranında hazırlanan numunelere ISO 527-standartdına göre çekme testi yapıldı. Bulunan sonu



Şek ğı

Tablo 4.7: Disodyum Oktaborat Tetrahidrat katkılı polyester çekme dayanımı sonuçları

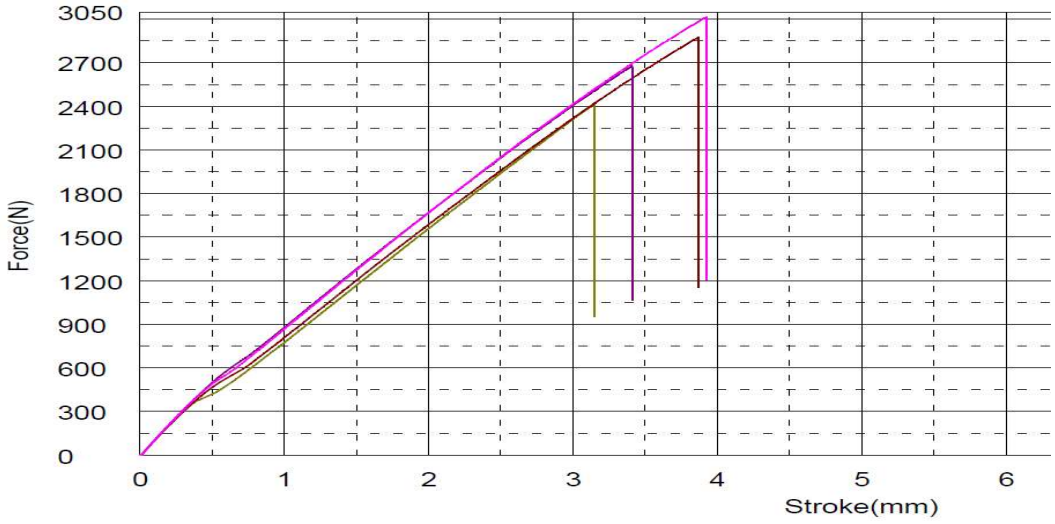
Deney Or.	Çekme Dayanimi . MPa	Elastik Modülü MPa	Çekme Uzamasi %	Kopma Kuvveti N
1 - 1	44,67	3608,10	3,15	2040,4
1 - 2	45,19	3700,34	2,67	1918,16
1 - 3	41,01	3590,87	2,94	1821,64
1 – 4	46,54	3480,34	2,87	1913,65
1 - 5	40,12	3600,80	2,70	2014.36
Ortalama	43,3	3595,75	2,86	2613,59

Tablo 4.8: Disodyum oktaborat tetrahidrat katkılı polyester çekme testi numune ölçüleri

Birim	Kalınlık(mm)	Genişlik (mm)	Çene aralığı (mm)
1 - 1	4,2500	10,3000	115,0000
1 - 2	4,01000	10,4000	115,0000
1 - 3	4,3500	10,1000	115,0000
1 - 4	4,000	10,4500	115,0000
1 - 5	4,1000	10,3500	115,0000

4.2.3. Susuz Boraks katkılı polyester Mekanik Test Sonuçları

Polipol 360 polyester reçine ve susuz boraks ile %50 dolgu/polyester oranında hazırlanan numunelere ISO 527-standartdına göre çekme testi yapıldı. Bulunan sonuçlar **Tablo 4.8.** verildi.



Şekil 4.7: Susuz boraks katkılı polyester çekme testi kuvvet-uzama grafiği

Tablo 4.9: Susuz boraks katkılı polyester çekme dayanımı sonuçları

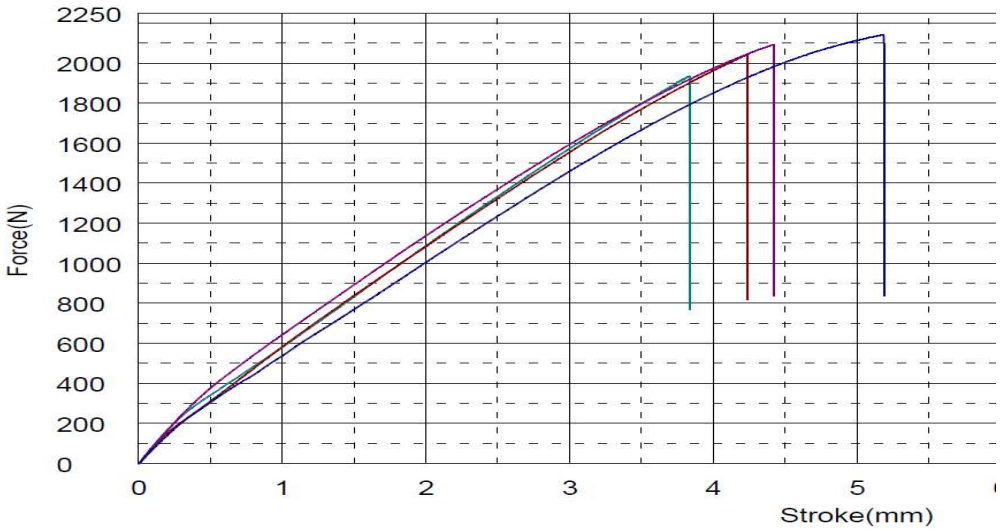
Deney Or.	Çekme Dayanimi . MPa	Elastik Modülü MPa	Çekme Uzamasi %	Kopma Kuvveti N
1 - 1	38,2	3700,43	2,34	2990,14
1 - 2	37,50	3780,40	2,45	2800,50
1 - 3	38,01	3600,12	3,27	2600,24
1 – 4	35,42	3769,34	2,87	2516,69
1 - 5	33,55	3450,40	2,44	2680,12
Ortalama	36,34	3659,4	2,67	2717,2

Tablo 4.10: Susuz boraks katkılı polyester **ç**ekme testi numune ölçüleri

Birim	Kalınlık(mm)	Genişlik (mm)	Çene aralığı (mm)
1 - 1	4,100	10,3000	115,0000
1 - 2	4,1000	10,4000	115,0000
1 - 3	4,200	10,5000	115,0000
1 - 4	4,1000	10,200	115,0000
1 - 5	4, 1000	10,500	115,0000

4.2.4. Boraks Pentahidrat Katkılı Polyester Mekanik Test Sonuçları

Polipol 360 polyester reçine ve boraks pentahidrat ile %50 dolgu/polyester oranında hazırlanan numunelere ISO 527-standartdına göre çekme testi yapıldı. Bulunan sonuçlar Tabloda 4.9 verildi.



Şekil 4.8: Boraks pentahidrat katkılı polyester çekme testi kuvvet-uzama grafiği

Tablo 4.11: Boraks pentahidrat katkılı polyester çekme dayanımı sonuçları

Deney Or.	Çekme Dayanimi . MPa	Elastik Modülü MPa	Çekme Uzamasi %	Kopma Kuvveti N
1 - 1	43,2	3300,60	2,3248	2665,14
1 - 2	42,50	3293,74	2,52348	2665,16
1 - 3	48,01	3257.00	2,15478	2589,06
1 – 4	45,87	3302.36	2,69304	2516,41
1 - 5	42,63	3280.43	2,58783	2683,75
Ortalama	44,44	3286,4	2,48978	2613,59

Tablo 4.12: Boraks pentahidrat katkılı polyester **ç**ekme testi numune ölçüleri

Birim	Kalınlık(mm)	Genişlik (mm)	Çene aralığı (mm)
1 - 1	4,3500	10,5000	115,0000
1 - 2	4,1000	10,4000	115,0000
1 - 3	4,2500	10,5000	115,0000
1 - 4	4,1000	10,2500	115,0000
1 - 5	4,1000	10,4500	115,0000

4.3. LİMİT OKSİJEN İNDEX TEST SONUÇLARI.

Limit oksijen İndeksi, (LOI), oksijen-azot atmosferi içerisinde bir alevi başlatmak ve arttırmak için gerekli olan minimum oksijen konsantrasyonunun ölçüsüdür. Bir başka deyişle, LOI değeri, bir malzemenin yanması için gerekli minimum oksijen miktarıdır. LOI testi, malzemelerin yanmasını devam ettireceği atmosferde minimum oksijen miktarını belirler.

%25 ve % 50'lik dolgu/polyester karışımlarının Limit oksijen indeks değerleri, ISO 5489 standardına göre ölçüldü, elde edilen sonuçlar bu bölümde verildi.

4.2.5. Alüminyum Hidroksit (ATH) Katkılı Polyester % LOI sonuçları

25 ve %50'lik olarak hazırlanan ATH / polipol 360 polyester test numunelerine, limit oksijen indeks testi yapılarak, alev ilerletmeme derecesi ölçüldü. Elde edilen sonuçlar **Tablo 4.13** te ve **Tablo 4.14'te** verildi.

Tablo 4.13: %25'lik ATH/reçine numunelerine ait % LOI sonuçları

	Aleve maruz bırakma (saniye)	%LOI degeri	Yanma süresi (saniye)
1 – 1	30	27	260
1 - 2	30	25	130
1 - 3	30	26	250

Tablo 4.14: %50'lik ATH/reçine numunelerine ait % LOI sonuçları

	Aleve maruz bırakma (saniye)	%LOI degeri	Yanma süresi (saniye)
1 – 1	30	27	60
1 - 2	30	28	90
1 - 3	30	29	150
1-4	30	30	330

4.2.6. Disodyum Oktaborat Tetrahidrat Katkılı Polyester %LOI Sonuçları

%25 ve %50'lik olarak hazırlanan disodyum oktaborat tetrahidrat / polipol 360 polyester test numunelerine, limit oksijen indeks testi yapılarak, alev ilerletmeme derecesi ölçüldü. Elde edilen sonuçlar **Tablo 4.15** te ve **Tablo 4.16'te** verildi.

Tablo 4.15: %25'lik Disodyum oktaborat tetrahidrat /reçine numunelerine ait % LOI sonuçları

	Aleve maruz bırakma (saniye)	%LOI degeri	Yanma süresi (saniye)
1 - 1	30	27	60
1 - 2	30	28	120
1 - 3	30	29	210

Tablo 4.16: %50'lik Disodyum oktaborat tetrahidrat /reçine numunelerine ait % LOI sonuçları

	Aleve maruz bırakma (saniye)	% LOI degeri	Yanma süresi (saniye)
1 - 1	30	25	80
1 - 2	30	30	1400
1 - 3	30	32	300

4.2.7. Susuz Boraks Katkılı Polyester % LOI Sonuçları

%25 ve %50'lik olarak hazırlanan susuz boraks / polipol 360 polyester test numunelerine, limit oksijen indeks testi yapılarak, alev ilerletmeme derecesi ölçüldü. Elde edilen sonuçlar **Tablo** 4.17 te ve **Tablo** 4.18'te verildi.

Tablo 4.17: %25'lik susuz boraks /reçine numunelerine ait % LOI sonuçları

	Aleve maruz bırakma (saniye)	%LOI degeri	Yanma süresi (saniye)
1 - 1	30	22	1200
1 - 2	30	22	160
1 - 3	30	23	240

Tablo 4.18: %50 susuz boraks /reçine numunelerine ait % LOI sonuçları

	Aleve maruz bırakma (saniye)	%LOI degeri	Yanma süresi (saniye)
1 - 1	30	23	70
1 - 2	30	24	150
1 - 3	30	25	300

4.2.8. Boraks Pentahidrat Katkılı Polyester % LOI Sonuçları

%25 ve %50'lik olarak hazırlanan boraks pentahidrat / polipol 360 polyester test numunelerine, limit oksijen indeks testi yapılarak, alev ilerletmeme derecesi ölçüldü. Elde edilen sonuçlar **Tablo** 4.19 te ve **Tablo** 4.20'te verildi.

Tablo 4.19: %25 boraks pentahidrat/reçine numunelerine ait % LOI sonuçları

	Aleve maruz bırakma	% LOI değeri	Yanma süresi
1 - 1	30	28	20 sn
1 - 2	30	30	150 sn
1 - 3	30	31	230 sn

Tablo 4.20: %50 boraks pentahidrat/reçine numunelerine ait % LOI sonuçları

	Aleve maruz bırakma	% LOI degeri	Yanma süresi
1 - 1	30	33	150 sn
1 - 2	30	33	120 sn
1 - 3	30	34	210

4.3. DARBE DAYANIMI SONUÇLARI

4.3.1. Alüminyum Hidroksit (ATH) Katkılı Polyestere Ait Darbe Dayanımı Sonuçları

%50 ATH ve polipol 360 ile bölüm 3.2.2 bahsedildiği şekilde hazırlanan test numunelerine ISO 180 -standardına göre IZOD darbe testi yapılmıştır. Bulunan sonuçlar aşağıdaki tablo.4.21 ,**Tablo.4.22**, **Tablo 4.23** ve **Tablo 4.24** ‘de verildi.

Darbe enerjisi: (J) 2

Darbe Hızı: (m/s) 3.46

Tablo 4.21: Alüminyum hidroksit (ATH) katkılı polyester IZOD darbe dayanımı sonuçları

	Absorb . Enerji	%	Dayanım (kJ/m^2)
	(J)	%	(KJ/m^2)
1 - 1	0,439	21,9	8,45
1 - 2	0,587	29,3	11,44
1 - 3	0,537	26,8	9,85
1 – 4	0,496	24,8	9,25
1 - 5	0,578	28,9	11.140
Ortalama	0,528	26,3	10.3

4.3.2. Disodyum Oktaborat Tetrahidrat Katkılı Poliester Ait Darbe Dayanımı Sonuçları

%50 Disodyum Oktaborat tetrahidrat ve polipol 360 ile bölüm 3.2.1 bahsedildiği şekilde hazırlanan test numunelerine ISO 180 -standardına göre IZOD darbe testi yapıldı. Bulunan sonuçlar Tablo 4.2.2 'de verildi.

Darbe enerjisi: (J) 2

Darbe Hızı: (m/s) 3.46

Tablo 4.22: Disodyum oktaborat pentahidrat katkılı polyester IZOD darbe dayanımı sonuçları

	Absorb . Enerji	%	Dayanım (kJ/m^2)
	(J)	%	(kJ/m^2)
1 - 1	0,556	27,8	9,987
1 - 2	0,406	20,3	8,028
1 - 3	0,609	30,4	10,953
1 – 4	0,435	21,7	8,58
1 - 5	0,537	26,8	10,192
Ortalama	0,509	25,4	9,54

4.3.3. Susuz Boraks Katkılı Polyestere Ait Darbe Dayanımları Sonuçları

%50 Susuz boraks ve polipol 360 ile bölüm 3.2.1 bahsedildiği şekilde hazırlanan test numunelerine ISO 180 -standardına göre IZOD darbe testi yapıldı. Bulunan sonuçlar Tablo 4.23 'de verildi.

Darbe enerjisi: (J) 2

Darbe Hızı: (m/s) 3.46

Tablo 4.23: Susuz Boraks katkılı polyester IZOD darbe dayanımı sonuçları

	Absorb . Enerji	%	Dayanım (kJ/m^2)
	(J)	%	(kJ/m^2)
1 - 1	0,537	26,8	10,192
1 - 2	0,475	23,7	8,871
1 - 3	0,460	23	8,05
1 – 4	0,577	28,8	10,493
1 - 5	0,498	24,9	9,27
Ortalama	0,509	25,4	9,37

4.3.4. Boraks Pentahidrat Katkılı Polyestere Ait Darbe Dayanımları Sonuçları

%50 Boraks pentahidrat ve polipol 360 ile bölüm 3.2.1 bahsedildiği şekilde hazırlanan test numunelerine ISO 180 -standardına göre IZOD darbe testi yapıldı. Bulunan sonuçlar aşağıdaki tabloda verildi.

Darbe enerjisi: (J) 2

Darbe Hızı: (m/s) 3.46

Tablo 4.24: Boraks Pentahidrat katkılı polyester IZOD darbe dayanımı sonuçları

	Absorb . Enerji	%	Dayanım (kJ/m^2)
	(J)	%	(kJ/m^2)
1 - 1	0,441	22,0	8,25
1 - 2	0,453	22,6	8,22
1 - 3	0,423	21,1	7,681
1 – 4	0,415	20,07	7,629
1 - 5	0,542	27,1	9,436
Ortalama	0,455	22,7	8,272

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

5.1.VİSKOZİTE SONUÇLARININ DEGERLENDİRİLMESİ

5.1.1. Alüminyum Hidroksit (ATH) Katkılı Polyester Viskozite Verileri

Şekil 4.1 incelendiğinde Polipol 360'ün viskozitesinin, ilave edilen dolgu % bağlı olarak parabolik artış gösterdiği görüldü.

5.1.2. Disodyum Oktaborat Tetrahidrat ($Na_2B_8O_{13}\cdot 4H_2O$) Katkılı Polyester Viskozite Verileri

Şekil 4.2. incelendiğinde Polipol 360'ün viskozitesinin, ilave edilen dolgu % bağlı olarak parabolik artış gösterdiği görüldü.

5.1.3. Susuz Boraks $Na_2B_40_7$ Katkılı Polyester Viskozite Verileri

Şekil 4.3. göre Polipol 360'ün viskozitesinin, ilave edilen dolgu % bağlı olarak parabolik artış gösterdiği görüldü.

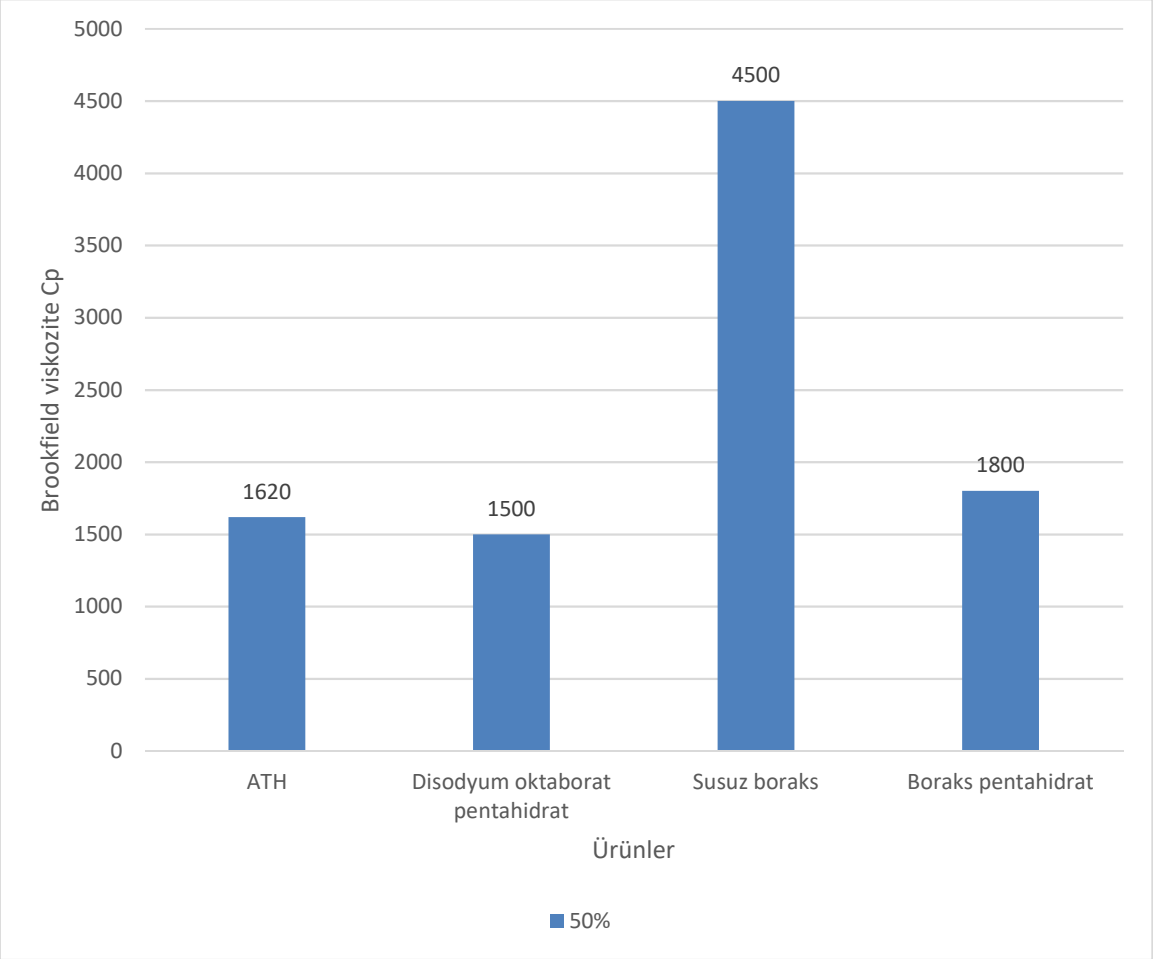
5.1.4. Boraks Pentahidrat ($Na_2B_4O_7.5H_2O$) Katkılı Poliester Viskozite Verileri

Şekil 4.4 göre Polipol 360'ün viskozitesinin, ilave edilen dolgu % bağlı olarak parabolik artış gösterdiği görüldü.

%50 Dolgu/polyester karışımlarının viskozite sonuçları, tablo 5.1 de verildi. Sonuçlar incelendiğinde ATH: 1620 cp, disodyum oktaborat tetrahidrat 1500 cp, susuz boraks 4500 cp ve boraks pentahidrat 1800 cp, ölçüldü.

Değerlere bakıldığında; ATH, disodyum oktaborat, pentahidrat, boraks pentahidrat benzer reolojik davranış gösterdi. Susuz boraks, viksoziteyi en fazla artıran dolgu oldu. Susuz boraks'ın %50 lik oranında, karışım hazırlanırken, yüksek viskoziteden dolayı, yoğun köpük oluşumu gözlendi.

Yüksek viskozite; homojen parça dağılımı, elyaf ıslatmama, kalıpta ürünün yayılmaması , hava boşluğu kalması gibi ilave teknik sorunlara neden olacaktır.



Şekil 5.1: %50 dolgu içeren karışımlara ait grafik

5.2. MEKANİK SONUÇLARIN DEGERLENDİRİLMESİ

5.2.1. Alüminyum Hidroksit (ATH) Katkılı Polyester Mekanik Test Sonuçları

Tablo 4.5 göre sonuçlar incelendiğinde, polipol 360 içerisine %50 oranında alüminyum hidroksit ilave edilmesinin, çekme dayanımını ve kopmadaki uzama değerini düşürürken elastiklik modül değerini arttırdığı görüldü.

5.2.2. Disodyum Oktaborat Tetrahidrat Katkılı Polyester Mekanik Test Sonuçları

Tablo 4.6 göre, Polipol 360 polyesterine, %50 oranında katılmış disodyum oktaborat tetrahidrat ilave edildiğinde çekme dayanımının ve kopmadaki uzama değerini azaldığı görüldü. Bununla birlikte elastiklik modül değerini arttırdı.

5.2.3. Susuz Boraks katkılı polyester Mekanik Test Sonuçları

Tablo 4.9 göre , Polipol 360 poliesterine, %50 oranında susuz boraks ilave edildiğinde çekme dayanımının ve kopmadaki uzama değerinin azaldığı görüldü. Susuz borak ilavesi, karışımın modül değerini arttırdığı görüldü.

5.2.4. Boraks Pentahidrat Katkılı Polyester Mekanik Test Sonuçları

Tablo 4.11. göre, Polipol 360 polyesterine ‘e %50 oranında boraks pentahidrat ilave edildiğinde çekme dayanımının ve kopmadaki uzama değerini azalmıştır. Ancak karışımın elastiklik modül değerinin arttığı görülmüştür.

Tablo 4.5, Tablo 4.6 , Tablo 4.7 , Tablo 4.8 ve Tablo 4.9‘daki çekme dayanımı sonuçları incelendiğinde, Polipol 360 polyesterine ilave edilen ATH, disodyum oktaborat tetrahidrat, susuz boraks, disodyum tetraborat, pentahidrat dolgularının çekme dayanımı değerini ve kopmadaki uzama düşürdüğü görüldü. Çekme dayanımı 60 Mpa’dan susuz boraks , 36,34 Mpa’ya ATH, 45,1 Mpa, disodyum oktaborat tetrahidrat 43,3 Mpa’ya, boraks pentahidrat ‘ 44,44 Mpa’ya düşürdü.

Bununla birlikte elastiklik modülü, ATH; 2600 Mpa’dan, 3309 Mpa’ya, disodyum oktaborat tetrahidrat ; 3595 Mpa’ya, susuz boraks 3659 Mpa’ya, boraks pentahidrat 3286 Mpa’ya yükseldi.Polimerik kompozitlerde, polyesterler cam elyaflar ile birlikte kullanılmaktadır. Azalan çekme dayanım değerleri elyaf kombinasyonları optimize edilerek tekrar yükseltilebilecektir.

Tablo 5.1: Mekanik Özelliklerin Karşılaştırılması

Ürünler	Çekme Dayanımı(MPa)	Elastiklik Modülü(MPa)	Kopmadaki Uzama(%)
Polipol 360	60	2600	4,5
ATH	45,1	3309	2,7
Disodyum oktaborat tetrahidrat	43,3	3595	2,86
Susuz boraks	36,34	3659	2,67
Boraks pentahidrat	44,44	3286	2,48

5.3. LİMİT OKSİJEN İNDEX SONUÇLARININ DEGERLENDİRİLMESİ

5.3.1. Alüminyum Hidroksit (ATH) Katkılı Polyester % LOI sonuçları

Genel olarak, LOI değeri % 25'ten büyük malzemeler, yanmaları için %25 O_2 gereken malzemeler, havada kendi kendini söndüren malzemelerdir. Yanmaya karşı dirençlidirler. Düşük LOI değerli malzemeler ise kolayca tutuşup, yanarlar.

Tablo 4.13 ve Tablo 4.14 bakıldığında %25 ATH katkılı örneğin %LOI değeri 26, %50 ATH katkılı polyesterin %LOI değeri ise 30 olarak ölçüldü.

5.3.2. Disodyum Oktaborat Tetrahidrat Katkılı Polyester %LOI Sonuçları

Tablo 4.15 ve Tablo 4.16' deki sonuçlar incelendiğinde %25 katkılı örneğin %LOI değeri 29 ve %50 katkılı polyesterin %LOI değeri ise 32 olarak ölçüldü.

5.3.3. Susuz Boraks Katkılı Polyesterin %LOI Sonuçları

Tablo 4.16 ve Tablo 4.17' deki sonuçlar incelendiğinde %25 katkılı örneğin %LOI değeri 23 ve %50 katkılı polyesterin %LOI değeri ise 25 olarak ölçüldü.

5.3.4. Boraks Pentahidrat Katkılı Poliesterin %LOI Sonuçları

Tablo 4.18 ve Tablo 4.19' deki sonuçlar incelendiğinde %25 katkılı örneğin %LOI değeri 31 ve %50 katkılı polyesterin %LOI değeri ise 34 olarak ölçüldü.

Standart Polyesterler %21 oksijen bulunan ortamda yanmaktadırlar. Yapılan çalışmada görüldüğü üzere, ATH , disodyum oktaborat, susuz boraks , boraks pentahidrat, polyesterin alev karşı dayanımı artırmaktadır. %34 LOI değeriyle en yüksek sonucu boraks pentahidrat sağladı.

Tablo 5.2: % LOI karşılaştırmalı sonuçları

Ürünler	%25 Dolgu	%50 Dolgu
Polipol 360	21	21
ATH	26	29
Disodyum oktaborat tetrahidrat	29	32
Susuz boraks	23	25
Boraks pentahidrat	31	34

5.4.DARBE DAYANIMLARININ DEGERLENDİRİLMESİ

5.4.1. Alüminyum Hidroksit (ATH) Katkılı Polyestere Ait Darbe Dayanımı Sonuçlar

Tablo 4.21'deki sonuçlar incelendiğinde %50 ATH ilavesi Polipol 360 darbe dayanımını değerini 16 ' kJ/m^2 den 10,2 kJ/m^2 düşürdü **.**

5.4.2. Disodyum Oktaborat Tetrahidrat Katkılı Polyester Ait Darbe Dayanımı Sonuçları

Tablo 4.22.'de bulunan sonuçlar incelendiğinde %50 disodyum oktaborat pentahidrat ilavesi Polipol 360 darbe dayanımını düşürdü.

5.4.3. Susuz Boraks Katkılı Polyestere Ait Darbe Dayanımları Sonuçları

Tablo 4.23' deki sonuçlar göre, Polipol 360 polyesterine, %50 oranında susuz boraks ilavesi, Polipol 360'in darbe dayanımını değerini 16 ' kJ/m2 den 9,37 kj /m2 düşürdü.

5.4.4. Boraks Pentahidrat Katkılı Polyestere Ait Darbe Dayanımları Sonuçları

Tablo 4.24. 'deki sonuçlar göre, Polipol 360 polyesterine, %50 oranında boraks pentahidrat ilavesi, Polipol 360'in darbe dayanımını değerini 16 ' kJ/m2 den 8,272 kJ /m2 düşürdü. Polipol 360 ' in İZOD darbe dayanımı değeri 16 kJ/m2 ilave edilen dolgularda darbe dayanımı ATH, 10,3 kJ/m2, disodyum oktaborat tetrahidrat 9,54 kJ/m2, susuz boraks 9,37 kJ /m^2 ve Boraks pentahidrat 8,72 kJ /m^2 düşürdü. Darbe dayanımı degerini en fazla düşüren dolgu, boraks pentahidrattır.

Tablo 5.3: Darbe Dayanımı karşılaştırmalı sonuçları

	Absorb . Enerji	%	Dayanım (KJ/m^2)
	(J)	%	(KJ/m^2)
Polipol 360	0,74	37	16
ATH	0,528	26,3	10,3
Disodyum oktaborat tetrahidrat	0,509	25,4	9,54
Susuz boraks	0,509	25,4	9,37
Boraks pentahidrat	0,45	22,7	8,72

5.5.GENEL DEGERLENDİRME

Yapmış olduğum çalışmalar bütün olarak değerlendirildiğinde alev geciktirici olarak kullanılan boraks pentahidrat ve disodyum oktaborat tetrahidrat katkıları, kompozit ürüne alev dayanımı bakımından iyi bir performans sağladı. Alev dayanımında gözlenen iyileşmenin yanında da ürün prosesinde önemli etken olan viskozite gibi fiziksel özellikler de artış göstermesine rağmen olumsuz etki göstermedi. Aynı zamanda ürün kalitesi açısından önemli olan darbe dayanımı gibi mekanik performansın da alev dayanımı performansı artarken geleneksel kullanılan ATH katkısı kadar performans gösterdiği gözlemlendi. Son dönemde kompozit endüstrisinde hızla artan alev ilerletmeyen ürün ihtiyacında; örneğin tren parçaları, inşaat yapı elemanları, otomotiv gibi uygulamalarda ATH alternatif olarak kullanılabilir.

KAYNAKLAR

[1] Y. Sahin,Kompozit Malzemelere Giriş,(2015)

[2] Rosato, D. V. (1997). Designing with reinforced composites: Hanser Gardner Publications.

[3] W.F. Gum, W. Riese (Eds.), Reaction Polymers. Polyurethans, Epoxies, Unsaturated Polyesters, Phenolics, Special Monomers and Additives Chemistry, Technology Applications, Markets, Hanser Publishers, München, 1992.

[4] H. Krämer, Polyester resin, unsaturated, in: B. Elvers, S. Hawkins, G. Schulz (Eds.), Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, vol. A21, Verlag Chemie, Weinheim, 1992, p. 217.

[5] M. Malik, V. Choudhary, I.K. Varma, Current status of unsaturated polyester resins, J. Macromol. Sci. Rev. Macromol. Chem. Phys. C 40 (2–3), 2000, p. 139–165.

[6] H.B.Dykstra,Polymerization of esters of ethylene dicarboxylic acids, US Patent 1945307, assigned to Du Pont, Jan. 30, 1934.

[7] J.K.Fink,Unsaturated Polyester Resins, Reactive Polymers: Fundamentals and Applications (Third edition), 2018, p. 1-69.

[8] F.R Jones, Unsaturated Polyester Resin, Brydson's Plastics Materials (Eighth edition), 2017, p. 743-772.

[9] R.B. Prime, "An Introduction to Thermosets," Therm Anal Polymer Fundamental Applications, 2009, p. 1–8.

[10] L.Ahmed, B.Zhang, L.C.Hatanaka, M.S.Mannan, Application of polymer nanocomposites in the flame retardancy study, 2018, p. 381-391.

[11] A.B.Morgan, C.A.Wilkie, Flame Retardant Polymer Nanocomposites, 2007.

[12] A.B.Morgan, J.W.Gilman, An overview of flame retardancy of polymeric materials: application, technology, and future directions. Fire Mater., 2013, p. 259–279.

[13] L.C.Hatanaka, L.Ahmed, S.Sachdeva, Q.Wang, Z.Cheng, S.M.Mannan, Thermal degradation and flammability of nanocomposites composed of silica crosslinked to poly(methyl methacrylate). Plast. Rubber Compos 45 (9), 2016, p. 375–381.

[14] A.B.Morgan, Flame retarded polymer layered silicate nanocomposites; a review of commercial and open literature systems. Polym. Adv. Technol. 17 (4), 2006, p. 206–217.

[15] F.B.Laoutid, M.Alexandre, J.M.Lopez-Cuesta, P.Dubois, New prospects in flame retardant polymer materials from Fundamentals to nanocomposites. Mater.Sci. Eng. 63 (3), 2009, p. 100–125.

[16] O.Bera, B.Pilić, J.Pavličević, M.Jovičić, B.Holló, K.M.Szécsényi, M.Špirkova, Preparation and thermal properties of polystyrene/silica nanocomposites. Thermochim. Acta 515, 2011, p. 1–5.

[17] J.M.Lopez-Cuesta, Flame-retardant polymer nanocomposites. In: Gao, F. (Ed.), Advances in Polymer Nanocomposites: Type and Application. Woodhead Publishing in Material, Cambridge, UK, 2012, p. 540–564.

[18] K.Chrissafis, D.Bikiaris, Can nanoparticles really enhance thermal stability of polymers-Part I: an overview on thermal decomposition of addition polymers. Thermochim. Acta 523, 2011, p. 1–24.

[19] E.Kontou, G.Anthoulis, The effect of silica nanoparticles on the thermomechanical properties of polystyrene. J. Appl. Polym. Sci. 105, 2007, p. 1723–1731.

[20] H.S.Vaziri, I.A.Omaraei, M.Adyan, M.Mortezaei, N.Yousef, Thermophysical and rheological behavior of polystyrene/silica nanocomposites: investigation of nanoparticle content. Mater. Des. 32 (8–9), 2011, p. 4537–4542.

[21] L.C.Hatanaka, Q.Wang, Z.Cheng, S.M.Mannan, Effect of trimethylolpropane triacrylate cross-linkages on the thermal stability and char yield of poly (methyl methacrylate) nanocomposites. Fire Saf. J. 87, 2017, p. 65–70.

[22] E.Kontou, G.Anthoulis, The effect of silica nanoparticles on the thermomechanical properties of polystyrene. J. Appl. Polym. Sci. 105, 2017, p. 1723–1731.

[23] H.Tang, X.Zhou, X.Liu, Effect of Magnesium Hydroxide on the Flame Retardant Properties of Unsaturated Polyester Resin, Procedia Engineering 52, 2013, p. 336 – 341

[24] J.Kim, D.Kwon, P.Shin, Y.Baek, H.Park, K.L.DeVries, J.Park, The evaluation of the interfacial and flame retardant properties of glass fiber/unsaturated polyester composites with ammonium dihydrogen phosphate, 2019, p. 221-230.

[25] Poslu, K. “Bor minerallerine genel bir bakış” Bor mineralleri zenginleştirme bildirileri 1994

EKLER

5.6.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı	Şaban Ateş
Doğum Yeri	Tokat Reşadiye
Doğum Tarihi	12.12.1979
Uyruğu	☑ T.C. ❒ Diğer:
Telefon	05336442386
E-Posta Adresi	sabanates@hotmail.com
Web Adresi	



Eğitim Bilgileri	
Lisans	
Üniversite	Uludağ Üniversitesi
Fakülte	Fen-Edebiyat
Bölümü	Kimya 21.07.2001
Mezuniyet Yılı	Tarih girmek için tıklayın veya dokunun.

Yüksek Lisans	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Enstitü Adı	Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Anabilim Dalı	Kimya Anabilim Dalı
Programı	Anorganik Kimya

Makale ve Bildiriler
2nd European young Chemists' Meeting (2nd EYCheM), 2019, Bremen “Investigation of the effects of flame retardant properties of boron compounds on unsaturated polyester”