

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

**ÇOK KATLI POLİAMİD KOMPOZİT BORUNUN EXTRÜZYON
İLE ÜRETİMİNDE ALEV UYGULAMASININ MEKANİK
ÖZELLİKLERE ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Umut KURNAZ

**Enstitü Anabilim Dalı : METALURJİ VE MALZEME
MÜHENDİSLİĞİ**
Tez Danışmanı : Dr. Öğr. Üyesi Serdar ASLAN

Mayıs 2019

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ÇOK KATLI POLİAMİD KOMPOZİT BORUNUN EXTRÜZYON
İLE ÜRETİMİNDE ALEV UYGULAMASININ MEKANİK
ÖZELLİKLERE ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Umut KURNAZ

Enstitü Anabilim Dalı

: METALURJİ VE MALZEME
MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez 30.05.2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği / oyçokluğu ile kabul edilmiştir.



Dr. Öğr. Üyesi
Serdar ASLAN
Jüri Başkanı



Prof. Dr.
Ahmet ALP
Üye



Dr. Öğr. Üyesi
Mustafa AKÇİL
Üye

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.


Umut KURNAZ
30.05.2019

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca değerli bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, her konuda bilgi ve desteğini almaktan çekinmediğim, araştırmanın planlanmasından yazılmasına kadar tüm aşamalarında yardımlarını esirgemeyen değerli danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Serdar ASLAN'a teşekkürlerimi sunarım.

Tez hazırlama sürecinde öncelikle desteğini esirgemeyen Kimya Mühendisi Günel ÇEKER'e ve çalışma arkadaşlarımla birlikte yöneticilerime teşekkürlerimi sunarım.

Hayatım boyunca yanımda olan, hiçbir zaman maddi ve manevi yardımını esirgemeyen, üzerimde bu günlere gelmemde büyük emekleri olan sevgili anneme, babama ve abime en içten duygularım ile şükranlarımı sunarım.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER.....	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	v
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	vi
TABLolar LİSTESİ.....	ix
ÖZET.....	x
SUMMARY.....	xi
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2.	
POLİMER MALZEMELER.....	3
2.1. Polimer Moleküler Yapısı.....	5
2.1.1. Doğrusal polimerler.....	5
2.1.2. Dallanmış polimerler.....	6
2.1.3. Çapraz bağlı ve ağ polimerler	6
2.2. Polimerlerin Sentezi	7
2.2.1. Yoğunlaşma polimerizasyonu	7
2.2.2. Ekleme polimerizasyonu	8
2.2.2.1. Kütle polimerizasyonu	8
2.2.2.2. Çözelti polimerizasyonu	8
2.2.2.3. Süspansiyon polimerizasyonu.....	9
2.2.2.4. Emülsiyon polimerizasyonu	9
2.2.2.5. Homojen polimerizasyonu	10
2.2.2.6. Heterojen polimerizasyonu	10

2.3. Polimerlerin Moleküler Kuvveti	10
2.3.1. Elastomerler	10
2.3.2. Fiberler	12
2.3.3. Plastikler.....	12
2.3.3.1. Termoplastikler	13
2.3.3.2. Termosetler	14
2.4. Polimer Çeşitleri.....	15
2.4.1. Polietilen (PE)	15
2.4.2. Polipropilen (PP).....	15
2.4.3. Polivinilklorür (PVC).....	16
2.4.4. Polietilentereftalat(PET).....	16
2.4.5. Akrilonitril bütadien stiren (ABS)	17
2.4.6. Politetrafloroetilen (PTFE).....	17
2.4.7. Poliamid (PA)	18
2.5. Polimer Kullanım Alanları	19
2.6. Polimer Özellikleri	21
2.6.1. Fiziksel özellikleri	21
2.6.2. Mekanik özellikleri	21

BÖLÜM 3.

KOMPOZİT MALZEMELER.....	25
3.1. Polimer Matrisli Kompozitler	27
3.1.1. Polimer matrisler	27
3.1.1.1. Termoset.....	27
3.1.1.2. Termoplastik	28
3.2. Polimer Matrisli Kompozitlerin Kullanım Alanları	29

BÖLÜM 4.

DENEYSEL ÇALIŞMALAR	32
4.1. Numune Üretimi.....	32
4.2. Çekme Deneyi	36
4.3. Darbe Deneyi.....	39

4.4. Sıcak Hava Yaşlandırması	41
4.5. Soğuk Hava Top Düşme Deneyi	42
4.6. Malzeme Çözünmesine Karşı Direnç Testi	43
4.7. Taramalı Elektron Mikroskobu Çalışmaları (SEM)	46
BÖLÜM 5.	
DENEYSEL SONUÇLAR.....	47
5.1. Çekme Deneyi Sonuçları.....	47
5.2. Darbe Deneyi Sonuçları	56
5.3. Soğuk Hava Top Düşme Testi Sonuçları.....	62
5.4. Malzeme Çözünmesine Karşı Direnç Testi Sonuçları.....	63
5.5. SEM Mikroyapı Görüntüleri	65
BÖLÜM 6.	
GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER	67
6.1. Genel Sonuçlar	67
6.2. Öneriler.....	68
KAYNAKLAR.....	69
ÖZGEÇMİŞ.....	73

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

ABS	: Akrlonitril bütadien stiren
DIN	: Alman endüstri normları
ETFE	: Etilentetrafloroetilen
J	: Joule
MPa	: Megapaskal
µm	: Mikrometre
PA	: Poliamid
PE	: Polietilen
PES	: Polietersulfon
PET	: Polietilentereftalat
PP	: Polipropilen
PTFE	: Politetrafloroetilen
PVC	: Polivinilklorür
SAE	: Otomotiv mühendisleri topluluğu
SEM	: Taramalı elektron mikroskobu

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Bazı yaygın polimerler.....	4
Şekil 2.2. Doğrusal polimerler görünüşü	6
Şekil 2.3. Dallanmış polimerler görünüşü.....	6
Şekil 2.4. Çapraz bağlı polimerler görünüşü.....	7
Şekil 2.5. Elastomer malzeme örnekleri	12
Şekil 2.6. Polimer malzemeler için tipik gerilme-uzama grafikleri	22
Şekil 3.1. Otomotiv endüstrisinde kullanılan kompozit malzeme örnekleri.....	30
Şekil 4.1. Maillefer marka ekstrüzyon makinesi.....	32
Şekil 4.2. Alev ünitesi	33
Şekil 4.3. 2 katlı PA boruya ait optik mikroskop görüntüsü.....	34
Şekil 4.4. 5 katlı PA boruya ait optik mikroskop görüntüsü.....	34
Şekil 4.5. Jomesa marka optik mikroskop görüntüsü	34
Şekil 4.6. 2 katlı PA borunun optik mikroskop altındaki et kalınlık dağılımı	35
Şekil 4.7. 5 katlı PA borunun optik mikroskop altındaki et kalınlık dağılımı	35
Şekil 4.8. Çekme deneyinde kullanılan örnek bir numune görüntüsü	37
Şekil 4.9. Zwick Roell Z010 çekme test cihazı.....	38
Şekil 4.10. Çekme deneyine tabi tutulmuş olan örnek bir numune	38
Şekil 4.11. Darbe deneyinde kullanılan numune	39
Şekil 4.12. Zwick Roell HIT25P darbe test cihazı.....	40
Şekil 4.13. Darbe deneyine tabi tutulmuş olan örnek bir numune	40
Şekil 4.14. Thermo Scientific Heratherm OMH 60 etüv cihazı.....	41
Şekil 4.15. Top düşme test düzeneği.....	42
Şekil 4.16. Soğuk hava top düşme deneyi yapılmış olan örnek bir numune görüntüsü.....	43
Şekil 4.17. Malzeme çözünmesine karşı direnç testi için hazırlanan örnek bir numune görüntüsü.....	43

Şekil 4.18. Test sıvısının filtreden geçirme işleminin yapıldığı düzeneğin görüntüsü.....	44
Şekil 4.19. Hassas terazi genel görünümü	45
Şekil 4.20. SEM cihazı genel görünümü.....	46
Şekil 5.1. 2 katlı malzemedan üretilmiş olan numunelere ait çekme deneyi sonuçları	48
Şekil 5.2. 5 katlı malzemedan üretilmiş olan numunelere ait çekme deneyi sonuçları	48
Şekil 5.3. 2 katlı malzemedan üretilmiş 100°C altında 280 saat yaşlandırma sonrasındaki numunelere ait çekme deneyi sonuçları.....	50
Şekil 5.4. 5 katlı malzemedan üretilmiş 100°C altında 280 saat yaşlandırma sonrasındaki numunelere ait çekme deneyi sonuçları	50
Şekil 5.5. 2 katlı malzemedan üretilmiş 150°C altında 280 saat yaşlandırma sonrasındaki numunelere ait çekme deneyi sonuçları.....	52
Şekil 5.6. 5 katlı malzemedan üretilmiş 150°C altında 280 saat yaşlandırma sonrasındaki numunelere ait çekme deneyi sonuçları.....	52
Şekil 5.7. 2 katlı PA borunun %uzama değerinin yaşlandırma sıcaklığına göre değişimi	53
Şekil 5.8. 5 katlı PA borunun %uzama değerinin yaşlandırma sıcaklığına göre değişimi	54
Şekil 5.9. 2 katlı PA borunun akma mukavemetinin yaşlandırma sıcaklığına göre değişimi	55
Şekil 5.10. 5 katlı PA borunun akma mukavemetinin yaşlandırma sıcaklığına göre değişimi	55
Şekil 5.11. 2 katlı PA boru numunesinin darbe deneyi sonuçları	56
Şekil 5.12. 5 katlı PA boru numunesinin darbe deneyi sonuçları	57
Şekil 5.13. 2 katlı PA boru 100°C 280 saat yaşlandırma sonrasındaki numunelerin darbe deneyi sonuçları.....	58
Şekil 5.14. 5 katlı PA boru 100°C 280 saat yaşlandırma sonrasındaki numunelerin darbe deneyi sonuçları.....	58
Şekil 5.15. 2 katlı PA boru 150°C 280 saat yaşlandırma sonrasındaki numunelerin darbe deneyi sonuçları.....	59

Şekil 5.16. 5 katlı PA boru 150 ⁰ C 280 saat yaşlandırma sonrasındaki numunelerin darbe deneyi sonuçları.....	60
Şekil 5.17. 2 katlı PA boruya ait darbe direncinin yaşlandırma sıcaklığına göre değişimi.....	61
Şekil 5.18. 5 katlı PA boruya ait darbe direncinin yaşlandırma sıcaklığına göre değişimi.....	61
Şekil 5.19. 2 katlı alev sıcaklığı uygulanmamış PA boruya ait SEM görüntüleri (a) 50x, (b) 300x	65
Şekil 5.20. 2 katlı 60 ⁰ C alev sıcaklığı uygulanmış PA boruya ait SEM görüntüleri (a) 50x, (b) 300x	65
Şekil 5.21. 5 katlı alev sıcaklığı uygulanmamış PA boruya ait SEM görüntüleri (a) 50x, (b) 300x	66
Şekil 5.22. 5 katlı 60 ⁰ C alev sıcaklığı uygulanmış PA boruya ait SEM görüntüleri (a) 50x, (b) 300x	66

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 2.1. Araçlarda kullanılan plastik parçaların üretiminde kullanılan plastik hammaddelerin bazı çeşitleri.....	20
Tablo 2.2. Bazı polimerlerin mekanik özellikleri	23
Tablo 3.1. Bazı polimer matrislerin termal kararlılığı	28
Tablo 4.1. Kullanılan numune kısaltmaları.....	36
Tablo 5.1. Numunelere ait çekme deney sonuçları	47
Tablo 5.2. 100°C altında 280 saat yaşlandırma sonrası numunelerin çekme deneyi sonuçları	49
Tablo 5.3. 150°C altında 280 saat yaşlandırma sonrası numunelerin çekme deneyi sonuçları	51
Tablo 5.4. Soğuk hava top düşme test sonuçları	62
Tablo 5.5. Test edilen numunelerin çözünmeyen bileşen miktar sonuçları	63
Tablo 5.6. Test edilen numunelerin çözünen bileşen miktar sonuçları.....	64

ÖZET

Anahtar kelimeler: Poliamid boru, polimer kompozit, mekanik özellikler.

Bu çalışmada, poliamid borularının ekstrüzyonu sırasında uygulanan alev uygulamasının malzemenin özelliklerine etkisi ele alınmıştır. Çalışma sırasında 2 katlı ve 5 katlı poliamid borular kullanılmıştır. Bu borulara ekstrüzyon sırasında alev sıcaklığı uygulanmadan ve 50°C, 60°C, 80°C sıcaklıklarda alev sıcaklığı uygulanarak PA boruların mekanik özelliklerine etkisi incelenmiştir.

PA borulara alev sıcaklığı uygulaması sonrasında çekme deneyleri, darbe deneyleri, soğuk hava top düşme testi ve malzeme çözünmesine karşı direnç testi yapılmıştır. Alev sıcaklığı uygulaması sonrası, 2 katlı ve 5 katlı PA borulara ait %uzama değerleri incelenmiştir. 2 katlı PA borularda 60°C'ye kadar uygulanan alev sıcaklığı ile %uzamada da artış olduğu gözlemlenmiştir. 5 katlı PA borularda da 80°C kadar alev sıcaklığının artışı ile birlikte %uzama değerinde artış olduğu gözlemlenmiştir. %uzama değeri olarak en iyi sonucun 5 katlı PA borularda 80°C alev sıcaklığı uygulanmış olan numunede elde edildiği gözlemlenmiştir. Ayrıca soğuk hava top düşme testi sonuçları ve çözünen-çözünmeyen malzeme miktarları incelendiğinde ise 2 katlı ve 5 katlı PA borulara ait bütün numunelerden uygun sonuçlar elde edilmiştir.

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF FLAME APPLICATION ON MECHANICAL PROPERTIES OF MULTILAYER POLYAMIDE COMPOSITE PIPE IN EXTRUSION PRODUCTION

SUMMARY

Keywords: Polyamide pipe, polymer composite, mechanical properties.

In this study, the effect of flame application during extrusion of polyamide pipes on the material properties is discussed. 2 layer and 5 layer polyamide pipes were used during the study. During extrusion, the flame temperature at 50°C, 60°C, 80°C and without flame temperature were applied to the pipes and then, the effect of these applications were investigated on pipe mechanical properties.

After the flame temperature application of PA pipes, tensile tests, impact tests, cold air ball drop test and resistance to material dissolution tests were performed. After the application of the flame temperature, the %elongation values of 2 layer PA and 5 layer PA pipes were examined. Until flame temperature reaches to 60°C, %elongation values also increase for 2 layer PA pipes. In 5 layer PA pipes, an increase in the %elongation value was observed with the increase of flame temperature up to 80°C. It was observed that the highest %elongation results was obtained in the 5 layer PA pipes with a flame temperature of 80°C. In addition, when cold air ball drop test results and the amount of soluble-insoluble material was examined, all samples of 2 layer and 5 layer PA pipes were showed the appropriate results.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Günümüzde malzemelerin geleneksel özelliklerinin yanında, birden fazla malzeme ile birleştirilerek daha iyi performans elde edilmesi amaçlanmaktadır. Polimerlerin kullanılacak olduğu alanlara göre özellikleri değiştirilebilmektedir. Polimer alaşım ve karışımlarının performanslarını arttırmadaki en önemli unsurlardan birisi doğru malzeme seçimidir. Bunun dışında uygun karıştırma ve uyumluluk maddesi seçimi ile karışımın morfolojisinin kontrol edilerek performansının artırılması mümkün olmaktadır. PA borular otomotiv endüstrisinde çok fazla tercih edilen malzemelerden biridir. Günümüzde otomotiv endüstrisinde malzemelerin daha fazla hafifletilmesi ve daha iyi performans elde edilmesi önemli amaçlardan biridir.

PA boruların kullanımı sırasında tek malzemeden üretilen boruların yanında geleneksel malzemelerden daha iyi performans elde etmek amacıyla PA boruların farklı malzemeler ile birleşmesiyle daha iyi performans elde edilmesi istenebilir. PA borularda bu performansın sağlanması amacıyla kompozit boru üretimi gerçekleştirilebilir. Bu kompozit boruların üretilebilmesi için birden fazla yöntem kullanılabilir, bu çalışmada kompozit boruların üretimi için çok katlı PA boru ekstrüzyon makinesi kullanılmıştır.

Bu çalışmada iki ve beş katlı PA boruların ekstrüzyonu sırasında farklı sıcaklıklarda uygulanan alev uygulamasının malzemenin özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Ekstrüze edilmiş olan borular uzama ve darbe deneylerine tabi tutulmuştur. Bunun yanında numuneler soğuk ve sıcak hava yaşlandırmasına tabi tutularakta mekanik özellikleri incelenmiştir.

Çalışmanın ilk bölümünde, çalışmanın amacı ve konusuna yer verilmiştir.

Çalışmanın ikinci ve üçüncü bölümünü literatür araştırmalarına ait bilgilerden oluşmaktadır. Bu bölümde plastik malzemeler, plastik matrisli kompozit malzemeler ve çalışılan konu ile alakalı geçmişte yapılmış olan çalışmalara yer verilmiştir.

Çalışmanın dördüncü bölümünde, kullanılacak olan borulara ait özelliklerinden bahsedilmiştir. Çalışma sürecinde kullanılan test cihazları ve ekipmanlar ile ilgili olarak bilgiler verilmiştir.

Çalışmanın beşinci bölümünde, yapılan testlere ait bilgiler, ölçüm sonuçları, mikro yapısı gibi çalışmalar yapılmıştır ve çalışmalara ait gerekli açıklamalar yapılmıştır.

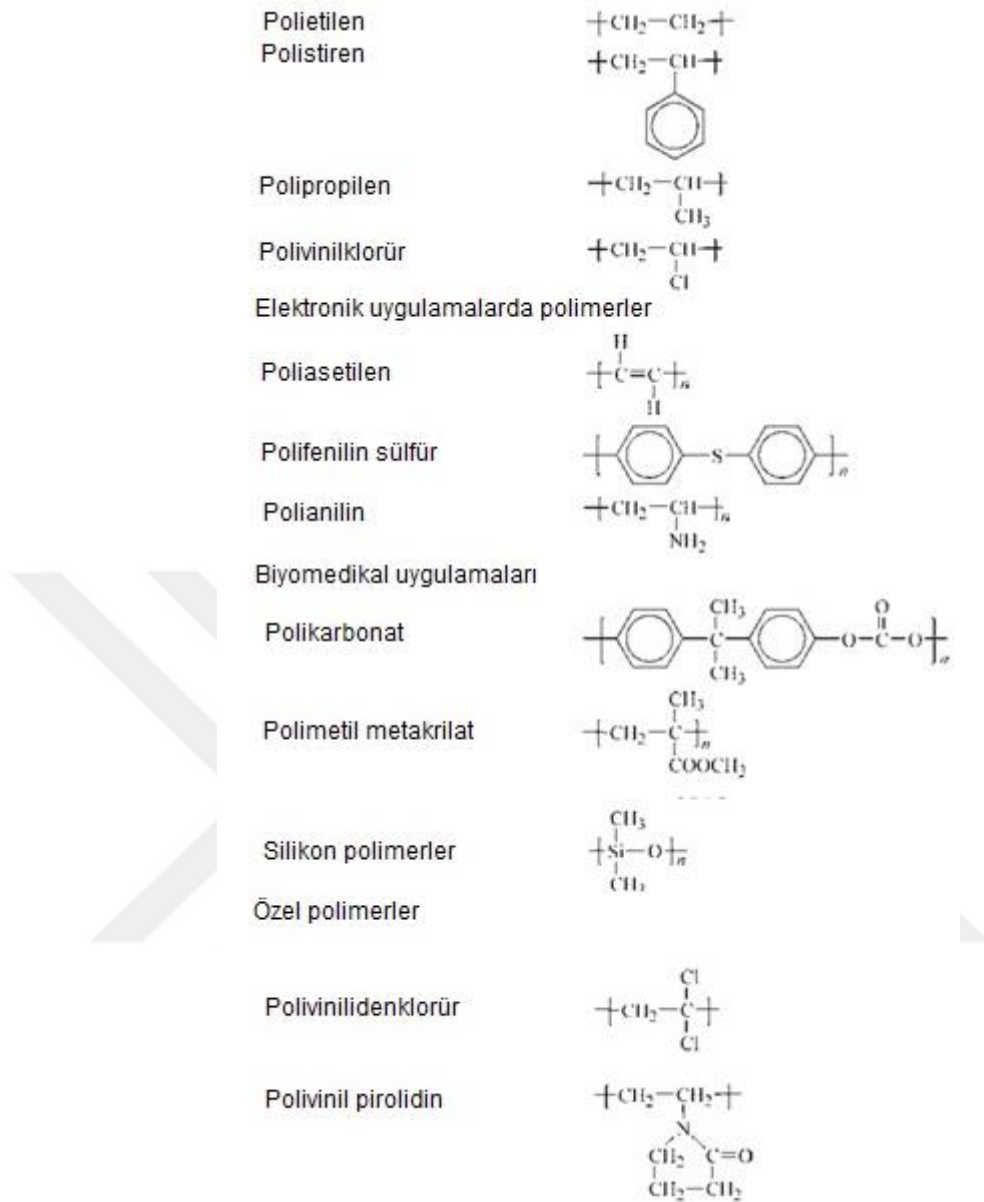
Çalışmanın son bölümünde, çalışma sonucunda elde edilen sonuçlar belirtilerek, çalışmanın ilerleyen süreçte devamı olabilecek araştırmalara ışık tutmasına yönelik önerilerde bulunulmuştur.

BÖLÜM 2. POLİMER MALZEMELER

Polimerler, modern toplumumuzda çok yönlü uygulamalara sahip ve yüksek moleküler ağırlığa sahip malzemelerdir. Genellikle kovalent bağlarla birbirine bağlanmış, birkaç yapısal birimden oluşurlar [1].

Polimerler, monomer adı verilen küçük moleküllü bileşiklerin kimyasal reaksiyonu sonucu elde edilir. Polimerlerin oluşturulması için, monomerlerin tepkisi reaktif fonksiyonel gruplara veya reaksiyonu tekrar birimleri arasında gerekli etkileşimi sağlayan çift (veya üçlü) bağlara sahiptir. Polimerik malzemeler genellikle yüksek mukavemete ve camsı geçiş sıcaklığına sahiptir, kauçuk elastikiyeti sergiler, eriyik ve çözelti olarak yüksek viskoziteye sahiptir [1].

Aslında polimerlerin bu eşsiz özelliklerinin çoğunun kullanımı insanoğlu için son derece yararlıdır. Gıda ambalajlarında, kıyafetlerde, ev eşyalarında, tıbbi cihazlar, bilgi teknolojisi ve benzeri alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadırlar. İpek, yün ve pamuk gibi doğal lifler de polimerdir ve binlerce yıldır kullanılmaktadır. Günümüzde, bunlar takviye edilmiş ve bazı durumlarda naylon ve akrilikler gibi sentetik liflerle değiştirilmiştir. Aslında, diğer modifiye edilmiş formlarda ticari plastikler ve filmler olarak yıllarca hizmet veren doğal olarak oluşan bir polimerin selülozunun bir modifikasyonudur. Poliolefinler, poliesterler, akrilikler, naylonlar ve epoksi reçineler gibi sentetik polimerler (bazı yaygın olanlar Şekil 2.1.'de listelenmiştir) plastikler, filmler, yapıştırıcılar ve koruyucu kaplamalar gibi geniş uygulama alanları bulunmaktadır. Polimerler çalışmaya değer malzemelerdir, çünkü davranışları metallerden ve diğer düşük moleküler ağırlıklı malzemelerden farklıdır. Sonuç olarak, kimyagerlerin ve mühendislerin büyük çoğunluğu, polimerleri içeren çalışmalarda yer almaktadır [1].



Şekil 2.1. Bazı yaygın polimerler [1]

Biyomalzemeler, insan vücudunda kullanılan malzemeler olarak tanımlanır; yapay organlar, kemik ve diş dolgusu, bağlar, kalp pilleri veya kontakt lensler örnek verilebilir. İnsan vücudu biyolojik dokulardan (kan, hücre, proteinler vb.) oluşur ve kanla veya dokularla "uyumsuz" olan malzemeleri reddetme kabiliyetine sahiptir. Bu tür uygulamalar için, hayvanlardan veya bitkilerden elde edilen doğal polimerik malzemeler en büyük adaydır ve bunların bazıları selülozikler, kitin (veya kitosan) ve kollajendir. Sentetik materyaller arasında poliüretan, poliakrilamid, poliester ve polietilen oksitler yaygın olarak kullanılırlar, çünkü bunlar vücut içinde etkisizdir.

Bazen, mekanik mukavemet, yapışma ve/veya bozulma gereklilikleri nedeniyle, uyumlu olmayan polimerik malzemeler bile kullanılmaya başlanmıştır, ancak kullanılmadan önce biyolojik moleküller (heparin, biyolojik reseptörler, enzimler vb.) tarafından yüzeylerinin modifiye edilmesi gerekir [1].

2.1. Polimer Moleküler Yapısı

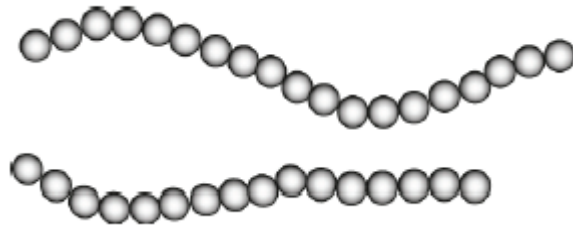
Polimerlerin yapısını, atomlar ve aralarındaki bağların konumunu gösteren polimerik zincirlerin düzenini tanımlamaktadır. Polimerik zincirler, genellikle fonksiyonel gruplar olan çok fazla ‘tekrar birimleri’nden oluşur. Her çeşit polimerin elde edildiği monomer veya monomerlere bağlı özel tekrar birimleri bulunmaktadır ve polimerler bu tekrar birimlerine göre isimlendirilmektedir (n, tekrar birimlerinin sayısını gösterir) [2].

Polimer malzemenin fiziksel özellikleri sadece moleküler ağırlığa ve şekline değil, aynı zamanda moleküler yapıya da bağlıdır [3]. Polimerizasyonda kullanılan monomerlere ve reaksiyon koşullarına göre polimer zincirleri farklı şekiller alırlar;

1. Doğrusal polimerler,
2. Dallanmış polimerler,
3. Çapraz bağlı ve ağ polimerler [2].

2.1.1. Doğrusal polimerler

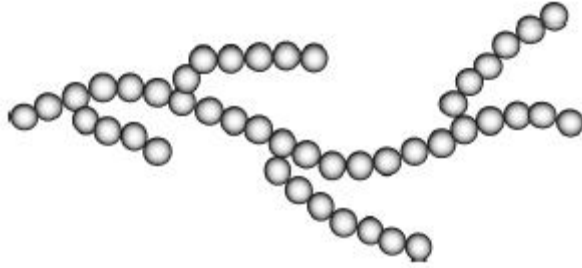
Doğrusal polimerlerin davranışı büyük ölçüde sıcaklığa ve gerilim durumuna bağlıdır [4]. Bu polimerler uzun ve düz zincirlerden oluşur [5]. Zincirler kendi arasında Van der Waals bağları ile birbirlerine bağlanmış durumdadırlar [3]. Doğrusal polimerlere örnek olarak; yüksek yoğunluklu polietilen, polivinil klorür vb. verilebilir [5].



Şekil 2.2. Doğrusal polimerler görünüşü [6]

2.1.2. Dallanmış polimerler

Tamamen iki işlevli monomerlerin yoğunlaşma polimerizasyonu ile elde edilen polimerlerdir ve doğrusal olmalıdırlar. İlave polimerizasyonlarda üretilen zincirler, eksenleri boyunca rastgele bağlanmış bir dizi kısa veya uzun dallara sahip olabilir. Özellikle radikal polimerizasyonda dallanma olasıdır ve kolayca kontrol edilemez. Dallanma, bir polimerin erimiş halde ve çözelti içindeki özelliklerini etkiler [4]. Zincir paketlenme verimliliği, doğrusal polimerler ile karşılaştırıldığında azalır ve doğrusal polimerlere göre daha düşük yoğunluğa sahiptirler [3]. Örnek olarak düşük yoğunluklu polietilen gösterilebilir [5].

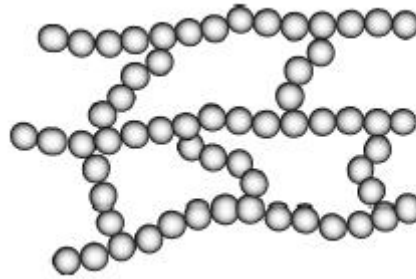


Şekil 2.3. Dallanmış polimerler görünüşü [6]

2.1.3. Çapraz bağlı ve ağ polimerler

Bunlar genellikle iki ve üç fonksiyonlu monomerlerden oluşur ve farklı türde doğrusal polimer zincirleri arasında kuvvetli kovalent bağlar içerir. Birçok kauçuk bu yapıya sahiptir [5].

Polimerizasyon reaksiyonu sırasında veya kauçukun vulkanizasyonu gibi yüksek moleküler ağırlıktaki polimerlerin çapraz bağlanmasıyla üçlü veya daha fazla fonksiyonel monomerlerin mevcut olması halinde, ağ polimerleri oluşur. Formaldehit reçinesi yaygın olarak kullanılan bir tür ağ polimeridir. Diğer ağ polimerlerine, doymamış polyester reçineler, epoksi reçineler, poliüretan köpükler örnek olarak verilebilir [4].



Şekil 2.4. Çapraz bağlı polimerler görünüşü [6]

2.2. Polimerlerin Sentezi

Çok sayıdaki aynı veya değişik tür monomerlerin bir kimyasal tepkimeyle birbirleriyle birleşerek daha uzun zincirler oluşturması “polimerizasyon” olarak adlandırılır. Polimerizasyon tepkimeleri bağ oluşum mekanizmasına göre yoğunlaşma polimerizasyonu ve ekleme polimerizasyonu olarak ikiye ayrılmaktadır [7].

2.2.1. Yoğunlaşma polimerizasyonu

Bu yöntemler genellikle, düşük molekül ağırlıklı fonksiyonel grup reaksiyonları için kullanılır. Burada reaksiyonların stoikiometrik oranları istenen nihai ürünler için sabitlenir. İşlem sırasında, çözücü ilavesi çok önemli olmayabilir. Bu reaktifler genellikle kontrollü sıcaklık ve katalizör ilavesi ile bir parti reaktöründe karıştırılır. Vakum işlemi veya azeotropik damıtma, daha yüksek bir polimerizasyon derecesi elde etmek için su gibi yoğunlaşma ürünlerinin ayrılması için kullanılabilir [8].

2.2.2. Ekleme polimerizasyonu

Ekleme polimerizasyonun temel özelliği, monomerlerin, polimerik ürünün başlangıç monomerlerinin tüm atomlarını içereceği şekilde birbirine eklenmesidir. İlave polimerizasyon için adımlar şunlardır:

1. Başlangıç, genellikle serbest radikallerin kullanımı yoluyla olur.
2. Yayılma, radikaller daha büyük radikalleri oluşturmak için birleşirler.
3. Sonlandırma, artık bir eşleşmemiş elektronun bulunmadığı bir molekül oluştuğunda ortaya çıkar [9].

2.2.2.1. Kütle polimerizasyonu

Bu polimerizasyon modu, en saf polimer biçimini elde etmek için kullanılabilir ve birim hacim başına en yüksek polimer verimi bu yöntem kullanılarak elde edilebilir. Bu yöntem sadece monomer molekülünü, bir başlatıcıyı ve bir zincir transfer aracı (gerekirse) içerir. Büyük ölçekli bir parti formunda, işlem büyük ısı transfer alanı ile yavaşça veya sürekli modda çalıştırılacaktır. Çeşitli şekillerde nesnelerin dökümü, yığın kütle polimerizasyonu kullanılarak gerçekleştirilebilir. Sürekli yığın polimerizasyon prosesleri kullanılarak, polistiren ve diğer termoplastik bileşikler kalıplanabilir [8].

2.2.2.2. Çözelti polimerizasyonu

Bu işlemde reaksiyon kabındaki reaksiyona giren bileşenlere etkisi olmayan bir çözücü eklenir. Eklenen bu çözücü ısı kapasitesini artırır, böylece viskoziteyi azaltır ve ısı transferini kolaylaştırır. Çözücünün bir kısmı, reaksiyon kabından gelen ısıyı uzaklaştırılması için geri akıtılabilir. Ancak, reaktör boşluğunun çoğu solvent tarafından alınır. Bu şekilde, kütle polimerizasyonuna kıyasla, çözelti polimerizasyonu, bileşiklerin hem reaksiyon hızını hem de molekül ağırlığını azaltır. Ek parti ve sürekli işlemler, nihai polimer ürününü ayırmak ve kullanılan çözücüyü geri kazanmak ve saklamak için kullanılır [8].

2.2.2.3. Süspansiyon polimerizasyonu

Süspansiyon polimerizasyonunda dağıtıcı ortam genellikle sudur. Başlatıcı; monomer damlacıklarında çözünür. Ortam sürekli olarak karıştırılarak süspansiyonun sürekliliği sağlanır. Süspansiyon polimerizasyonunun olumlu yönleri ele alındığında:

1. Düşük ortam viskozitesi ve iyi karıştırmaya bağlı olan sıcaklık kontrolü çok iyi olmaktadır.
2. Süspansiyon polimerizasyonundaki reaksiyon hızı kütle polimerizasyonuna göre daha hızlıdır.
3. Yüksek ısı kapasitesine sahip olan su, polimer damlalarında oluşan reaksiyon ısını kolaylıkla alır.
4. Kullanılan suyun ucuz olması önemli bir avantajdır.
5. Süspansiyon polimerizasyonunda emülsiyon polimerizasyonuna göre; ürünün tanecik boyutu daha kolay ayarlanabilir. Katkı maddelerinin neden olduğu kirliliğin az olması nedeniyle daha basit ayırma ve saflaştırma işlemleri uygulanabilir.

Süspansiyon polimerizasyonunun kütle polimerizasyonuna göre ise olumsuz yönleri bulunmaktadır. Süspansiyon polimerizasyonunda devamlı olarak karıştırma işlemi yapılması, süzme, yıkama ve kurutma gibi işlem adımları bu polimerizasyonun olumsuz yönleri olarak ele alınabilir [7].

2.2.2.4. Emülsiyon polimerizasyonu

Bu en yaygın kullanılan polimerizasyon yöntemidir. Bu süreç, ısı kontrolünün ve düşük polimerizasyon derecesinin üstesinden gelir. Organik reaksiyon kütlesi, sürekli bir sulu fazda sabunla emülsifiye edilir. Dağılmış parçacıklar, süspansiyon polimerizasyonuna ($\leq 0,1 \mu\text{m}$) göre daha küçüktür. Ek olarak, sabunun stabilize edici etkisinden dolayı, elde edilen emülsiyon stabildir ve çalkalama gerekli olmayabilir. Bazı yöntemlerde, suda çözünür bir başlatıcı kullanılabilir. Emülsiyon polimerleşmesinin ana ürünü lateks boyalardır ve popüler lateks boyaların temelini

oluşturur. Lateksi iyonik tuzlar ve asitlerle pıhtılaştırarak, katı kauçuk da elde edilebilir [8].

2.2.2.5. Homojen polimerizasyonu

Homojen yığınsal polimerizasyon durumunda, besleme bir gaz tarafından sağlanırken, monomer sıvı veya katı haldedir. Hiçbir başlatıcı veya katkı maddesi kullanılmamaktadır. Homojen çözelti polimerizasyonu için, monomer tamamen bir çözücü içinde çözülür [8].

2.2.2.6. Heterojen polimerizasyonu

Heterojen emülsiyon polimerizasyonunda, monomer molekülleri, sulu ortam içinde tanecik formunda emülsiyonlaştırılır. Heterojen süspansiyon polimerizasyonu için, monomer, n sulu veya başka tipte ortamlarda büyük damlacıklar halinde süspanse edilir [8].

2.3. Polimerlerin Moleküler Kuvveti

Polimerlerin moleküler kuvvetleri ele alındığında 3 farklı başlık altında toplanırlar. Bunlar;

1. Elastomerler
2. Fiberler
3. Plastikler

2.3.1. Elastomerler

Elastomerler (kauçuklar) çok elastik olan özel polimerlerdir. Bunlar, oda sıcaklığının çok altında bir camsı geçiş sıcaklığı ile hafif çapraz bağlı ve amorflardır. Makroskopik boyutta çok büyük bir molekül olarak düşünülebilirler. Polimer zincirleri arasındaki moleküller arası kuvvetler oldukça zayıftır. Çapraz bağlar tersinir olmayan akışı

tamamen bastırır, ancak zincirler camsı geçişinin üzerindeki sıcaklıklarda çok esnektir ve küçük bir kuvvet büyük bir deformasyona yol açar. Böylece elastomerler düşük bir young modülüne sahiptir ve diğer polimerler ile karşılaştırıldığında kopma sırasında çok yüksek uzamaya sahiptirler. Elastomer terimi, kauçuk terimi ile sık sık kullanılır, ancak vulkanize edilmiş kauçuklar ele alınırken daha fazla tercih edilir [10].

Elastomerler dien, dien olmayan ve termoplastik elastomerler olmak üzere 3 gruba ayrılabilir. Dien elastomerleri, iki ardışık çift bağ içeren monomerlerden polimerize edilir. Tipik örnekler poliizopren, polibütadien ve polikloroprendir. Nondien elastomerler, bütül kauçuk (poliizobutilen), polisiloksanlar (silikon kauçuk), poliüretan (spandeks) ve floro-elastomerleri içerir. Dien olmayan elastomerlerin yapısında çift bağları yoktur ve bu nedenle çapraz bağlanma, üç işlevli monomerlerin (yoğunlaşma polimerleri) ilavesi veya divinil monomerlerin (serbest radikal polimerizasyonu) ilavesi veya butadien gibi küçük miktarlarda dien ile kopolimerizasyon gibi vulkanizasyondan başka yöntemler gerektirir. Eriyik durumundan, cam geçiş sıcaklığının altındaki bir sıcaklığa soğutulduğunda, sert bloklar fazı, elastomerik bloklar için fiziksel çapraz bağlar olarak hareket eden katı alanlar oluşturmak üzere ayrılır [10].

Elastomerik parçalarının üretimine; enjeksiyon kalıplama, transfer kalıplama veya basınçlı kalıplama yöntemlerinden olmak üzere 3 ana yöntem ile ulaşılabilir. Kalıplama işleminin seçimi sırasında, parçaların şekli ve boyutu, istenilen toleransın yanı sıra üretilecek miktar, elastomer türü ve hammadde maliyetini içeren çeşitli faktörlere bağlıdır. Bu kriterler göz önünde bulundurularak seçim yapılır [10].

Hemen hemen her malzemede olduğu gibi, uygulama için doğru elastomerik ürünün seçilmesi, mekanik ve fiziksel olarak istenilen gereksinimlere, maruz kalacağı kimyasal maddelere, çalışma sıcaklığına, çalışması istenilen süreye (çalışma ömrüne), parçaların üretilebilirliği, hammadde ve üretim maliyeti gibi birçok faktöre dikkat edilmesi gerekir [10].



Şekil 2.5. Elastomer malzeme örnekleri [11]

2.3.2. Fiberler

Fiberler, esas olarak ikincil kuvvetlerden kaynaklanan yüksek oranda kristalin bölgeleri ile karakterize edilen uzun zincirli polimerlerdir. Fiberler, plastik ve elastomerlerden çok daha düşük bir esnekliğe sahiptirler. Aynı zamanda 137 ile 1035 MPa arasında değişen yüksek mukavemete sahiptirler. Fiberler, hafiftir ve nem emme özelliklerine sahiptirler [12].

2.3.3. Plastikler

Plastikler şekillendirilebilir organik reçinelerdir. Bunlar doğal veya sentetiktir ve şekillendirmek için form verme yöntemi veya kalıplanarak işlenir. Plastikler birçok farklı sebepten dolayı önemli mühendislik malzemeleridir. Bazıları diğer malzemelerin erişemeyeceği şekilde çok çeşitli özelliklere sahiptir ve çoğu durumda maliyet açısından nispeten düşük olanaklar sağlamaktadır. Plastiklerin özellikleri kısaca ele almak gerekirse; hafif, geniş renk yelpazesi, düşük termal ve elektriksel iletkenlik, daha az kırılğan, iyi tokluk, asitlere karşı iyi direnç, yüksek dielektrik dayanımı (elektrik yalıtımında kullanım) vb. gibi özellikleri dikkat çekmektedir.

Plastikler, termoplastik polimerler ve termoset polimerler olarak mekanik ve termal davranışlarına bağlı olarak iki gruba ayrılır [13].

2.3.3.1. Termoplastikler

Termoplastikler; ısıtıldıklarında yumuşayan, soğutulduklarında tekrar sertleşen plastik grubudur [14]. Genellikle basitçe plastik olarak adlandırılır. Örneğin, bir polietilen sürühi çok fazla güç uygulanmadan kolaylıkla deforme olabilir. Polietilenler gibi polimerler, nasıl işlendiğine bağlı olarak fiber ya da termoplastik oluşturabilirler. Termoplastik bir örnek, zayıf ikincil bağlarla bir arada olan, rastgele yönelmiş zincirlere sahiptir. Küçük bir miktar kuvvet zincirlerin etrafından kaymasını sağlayarak, şeklinin değişmesine neden olabilir [15].

Bir plastik soğutulursa, sertleşir ve sonunda kırılğan hale gelir. Bir plastiğin kırılğan hale geldiği sıcaklık, camsı geçiş sıcaklığıdır. Düşük sıcaklıklarda, polimer zincirleri birbirlerini geçmeyeceklerdir, çünkü ikincil bağları aşmak için yeterli enerjiye sahip değildirler [15].

Plastikleştiriciler adı verilen küçük moleküller genellikle termoplastiklere karıştırılır. Uzun polimer zincirleri arasında oluşabilecek ikincil bağların sayısını azaltır, bu da plastiklerin şekil değiştirmesini kolaylaştırır. Plastikleştiriciler için camsı geçiş sıcaklığı daha düşüktür. Plastikleştiriciler zamanla buharlaşabilir (yüksek sıcaklıklarda daha hızlı olan bir işlem), bir numunenin kırılğanlığını artırır [15].

Termoplastiklerin avantajları;

1. Sınırsız raf ömrü (depolama) sırasında reaksiyona girmez
2. Kullanımı kolay (yapışkanlık yok)
3. Daha kısa imalat süresi
4. Geri dönüştürülebilir ve eriyik haline gelirler
5. Kaynak ile tamir edilmesi kolaydır [16].

Termoplastiklerin dezavantajları;

1. Kötü sürünme direnci
2. Kötü erime akış özellikleri [16]

2.3.3.2. Termosetler

Erime sıcaklığının üzerine ısıtıldıktan sonra soğutulduğunda kalıcı olarak sert hale gelen malzemeler termosetler olarak adlandırılır. Plastiklerin katılaşma süreci kürleme olarak bilinir. Sıvı halden katı duruma dönüşüm, geri dönüşü olmayan bir işlemdir, termosetlerin daha fazla ısınması sadece kimyasal ayrışmayla sonuçlanır. Bu, termosetlerin geri dönüştürülemeyeceği anlamına gelir. Kürleşme sırasında, küçük moleküller, birbirine bağlı karmaşık ağ yapıları oluşturmak için kimyasal olarak birbirine bağlanır. Bu çapraz bağlantı, bireysel zincirlerin kaymasını önler. Bu nedenle, mekanik özellikler (mukavemeti, basınç dayanımı ve sertliği) termoplastiklere kıyasla sıcaklığa bağlı değildir. Bu nedenle, termosetler genellikle termoplastiklerden daha kuvvetlidir [17].

Termosetler, yüksek sıcaklık uygulamaları için yaygın olarak kullanılmaktadır. Kullanılan ürünlere örnek olarak; elektrik ekipmanları, motorlu fırça tutucuları, baskılı devre kartları, devre kesiciler, kapsülleme, mutfak eşyaları ve düğmeler verilebilir [17].

Termosetlerin avantajları;

1. Düşük reçine viskozitesi
2. Polimerize edildikten sonra mükemmel termal stabilite
3. Kimyasal dayanıklı
4. Sürünme dirençli [16]

Termosetlerin dezavantajları;

1. Gevrek (düşük gerilimli)
2. Kalıpta uzun üretim süresi
3. Kürlemeden önce oda sıcaklığında sınırlı depolama ömrü
4. Standart tekniklerle geri dönüştürülemez [16]

2.4. Polimer Çeşitleri

Günlük yaşamamızda en fazla kullanılan maddelerin üretimine yönelik bazı önemli polimer hammaddeleri bulunmaktadır. Kullanılan bu polimerler endüstriyel kullanımda da son derece önem arz etmektedir [18].

2.4.1. Polietilen (PE)

Polietilen, yarı şeffaf bir termoplastik maddedir. Etilenin yüksek sıcaklık ve yüksek basınç altında etkisiyle polimerizasyonu sonucu elde edilir. Polietilenin mekanik özellikleri molekül ağırlığına, kristal yapıya ve polimer zincirinin uzunluğuna göre değişkenlik gösterir. Kısa zincirli olanları daha kırılğan yapıya sahipken, uzun zincirli olanları ise daha sert yapıya sahiptir. Polietilen, fiziksel ve kimyasal tepkilere karşı dayanıklı bir malzemedir. Bu özelliğine bağlı olarak oyuncaklarda, kaplamalarda, bazı mutfak eşyalarında ve boru sistemlerinde kullanılmaktadır [18].

2.4.2. Polipropilen (PP)

Polipropilen, yüksek saflıktaki propilen gazının basınç altında, Ziegler-Natta katalizörleri yardımıyla polimerleşmesiyle elde edilir. Bu polimer termoplastiklerin en hafiflerinden biridir, kristal yapılı, 0,902 ile 0,904 g/cm³ yoğunluğa sahiptir. Polipropilen 160°C ile 168°C arasında erime sıcaklığına sahiptir. Polipropilen, polar olmaması nedeniyle yüksek dielektrik katsayısına ve ısı izolasyon özelliğine sahiptir. Fakat polipropilenin, yüksek fiyatlı belirli özel tip plastikler gibi tüm kimyasallara karşı dirençli olması beklenemez. Bunun yanında uygulamalarda derişik sülfirik asit,

potasyum bikarbonat kerosene, nitrik asit ve karbon tetraklorür dışındaki diğer tüm kimyasallara karşı oldukça dayanıklıdır [19].

Polipropilenin altı ay süre ile nemli bir ortamda depolanması sonrasında, ağırlığını % 0,1'e yakın bir oranda artırır. Organik bileşiklerin polipropileni etkileme oranları çok daha düşüktür. Absorblama olayı, çözücünün polarlık özelliği ile ters orantılı ve sıcaklıkla ise doğru orantılı olarak değişmektedir [19].

Polipropilen, termoplastik malzemelere uygulanan bütün yöntemlerle işlenebilir. Enjeksiyonla kalıplama tekniğinde, çok küçük ayrıntıları olan küçük kalıplar kullanılarak yüzeyi oldukça düzgün, boyut kararlılığı iyi olan parçalar üretilebilir. Polipropilenden üretilen bir menteşe, 3 milyon kez bükülebilme özelliğine sahiptir. Polipropilen malzemeler ekstrüzyon veya kalıplama gibi yöntemlerle üretilebilirler [19].

2.4.3. Polivinilklorür (PVC)

Günlük hayatımızda çok fazla karşılaştığımız ve en fazla kullandığımız malzemelerden biridir. PVC, pencere yapımı, kimlik kaplama materyalinden, atık gider borusu yapımına kadar çok fazla alanda kullanılan ve üretilen bir polimer malzemedir. PVC polimeri, endüstrinin ilk yıllarında asetilen ve hidroklorür maddelerinden elde edilirken, günümüzde etilenin klor gazı ile oksidatif yükseltgenmesinden elde edilen vinil klorür monomerinin asidik veya radikalik başlatıcılarla polimerleştirilmesinden elde edilir. PVC ahşap malzemelerin sarılmasında, arkeolojik malzemelerin saklanması kadar birçok alanda ambalaj malzemesi olarak kullanılır. Bunun yanında ışık altında çok çabuk bozulabilir [20].

2.4.4. Polietilentereftalat(PET)

Polietilen tereftalat (PET), termoplastikler arasında oryente edilmiş kristal yapıda zayıf asitlere, bazlara ve birçok çözücüye karşı dayanımı olduğu kadar, sağlamlık, sertlik, parlaklık ve yüksek darbe dayanımı gibi özellikleri ile diğer polimerlere göre

üstün özelliklere sahiptir. PET'in gaz geçirgenliği diğer plastiklerin çoğundan daha düşüktür. Tipik PET reçinesinin erime noktası 250°C ile 260°C arasındadır. Oryente edilmiş veya edilmemiş PET filmlerinin ambalajlama uygulamalarına, damıtma keseleri, kaynatma torbaları, et ve peynir ambalajlamaları verilebilir [19].

2.4.5. Akrilonitril bütadien stiren (ABS)

ABS reçineleri, butadiene, akrilonitril ve stirenden yapılan kopolimerlerdir. Akrilonitril, kimyasal olarak sağlamlık; stiren, sertlik ve parlaklığın yanı sıra kolay işlenebilirlik sağlamaktadır. Butadien ise oda sıcaklığında ve soğuk hava şartlarında darbe dayanımı ve dayanıklılık sağlayıcı özellikleri ile öne çıkmaktadır. ABS'nin birçok çeşitleri geliştirilmiştir. Bunlar arasında kaplama az parlak veya mat ekstrüde edilmiş bitmiş levhalar; alevlenmeye karşı dayanıklı, yüksek sıcaklığa karşı dayanıklı, alaşımlama, yapısal köpük ve şeffaf uygulamalara imkan veren ve bu özellikleri sağlayan reçineler yer almaktadır. Şeffaf ABS, oyuncaklarda, buzdolabı içindeki bölümlerde kullanılır [19].

2.4.6. Politetrafloroetilen (PTFE)

Ticari adı teflon olan ve kısaca PTFE olarak adlandırılan politetrafloroeten polimeri tetrafloroeten monomerinden oluşur. Teflon, molekül yapısının sağlamlığına bağlı olarak kimyasal ve fiziksel etkenlere karşı dayanıklıdır [19]. Teflon dikkat çekici bir maddedir. Herhangi bir polimerin kimyasal saldırısına karşı en iyi dirence sahiptir ve özelliklerinde herhangi bir değişiklik olmaksızın -73°C ile 260°C arasında herhangi bir sıcaklıkta kullanılabilir [21]. Sürtünme katsayısının çok düşük, ısıya karşı dayanıklılığının yüksek olması sebebiyle bazı makine parçalarının ve ekipmanlarının kaplanması, ayrıca hiçbir maddeye yapışmama özelliğinden dolayı tencere ve tava gibi mutfak eşyalarının kaplanması yaygın olarak kullanılmaktadır [19].

2.4.7. Poliamid (PA)

Poliamid malzemeler naylon olarakta adlandırılır. Naylon, termoplastik poliamid reçine ailesini temsil eder. Poliamid genel olarak ekstrüzyon ve enjeksiyon kalıplama yöntemleri ile işlenir. Bazıları çözelti veya sıvılaştırılmış şekilde daldırma yöntemiyle kaplama amacıyla kullanılır [19].

Poliamidlerin en önemli ortak özellikleri şunlardır:

1. Sertlik,
2. Aşınmalara karşı iyi dayanım,
3. Düşük gaz geçirgenliği,
4. Kuvvetli asit ve oksitleyici maddelerin dışındaki kimyasallara karşı iyi dayanıklılık [19].

Modifiye edilmemiş bir reçine olarak her naylon türünün kendini belli eden çok fazla özelliği vardır. Bunlar, naylon çeşitlerinin kullanım alanlarının seçimine esas teşkil ederler. Tüm naylonlar cam tanesi, cam elyafı ve mineral parçalar ile güçlendirilebilirler [19].

Genel olarak tercih edilen üretim yöntemi, ekstrüzyon ve enjeksiyonla kalıplama yöntemleridir. Profil, levha ve film imalinde ekstrüzyon yöntemi kullanılır [19].

Uygulamada naylon kullanımı, sağlamlık, sertlik, kimyasal maddelere dayanım ve elektriği izole eden özellikleri nedeniyle yaygındır. Naylon bileşenlerinin en yaygın kullanıldığı sektör otomotiv sektörüdür. Desteksiz boru takımı, tel izolasyonu ve iç döşeme için monofilament iplik ekstrüzyon uygulamaları kullanılmaktadır. Enjeksiyon kalıplama yöntemiyle elektrik bağlaçları, dişli, kam, buhar gaz birleştiren depoları üretilir. Elektrik endüstrisinin gelişmesiyle birlikte naylon kullanımında artış gözlenmiştir. Naylonun diğer kullanıldığı alanlar diş ve saç fırçaları, fermuar, spor malzemesi gibi yerlerdir [19].

2.5. Polimer Kullanım Alanları

Gündelik yaşantımızda neredeyse her yerde polimerden yapılmış en az bir malzeme görülebilir. Polimerler ya da daha yaygın olarak bilinen ismiyle plastikler, her alanda kullanılabilen çok yönlü malzemelerdir [22].

Polimerler yaşantımızı kolaylaştıran, temiz tutan, güvenli olmasını sağlayan ve eğlenceli hale getiren ürünlerin temelini oluşturarak her zaman karşımıza çıkabilmektedir. Polimer uygun maliyetli bir malzemedir. Birçok tasarım engelini de aşabildiği için teknolojik yeniliklerde de çok fazla tercih edilen bir malzemedir. Çevremize baktığımızda bilgisayardan, cep telefonuna; en basit ulaşım aracı arabalardan, yüksek teknoloji uçak ve teknelere; CD'lerden, üzerimizdeki kıyafetlere, alışveriş poşetlerinden, hastane ekipmanlarına kadar her alanda plastikler ile karşılaşabiliriz [22].

Polimerik malzemelerin bu kadar geniş ve fazla alanlarda kullanılmasının sebepleri çok yönlü kullanıma yatkın, dayanıklı, güvenli, hafif ve düşük maliyetli olmalarıdır. Plastik malzemeler her türlü şekilde kolaylıkla üretilebilmelerinden dolayı, plastiklerin tasarımında sınır bulunmamaktadır ve bundan dolayı binlerce farklı uygulamada kullanılabılırler. İstenilen mekanik uygulamalara göre, sert veya esnek yapılabildikleri gibi, gözenekli ve katı yapıda kolayca üretilebilirler [22].

Plastik malzemeler, otomotiv sektöründe oldukça sık kullanılmaktadır. Bunun sebeplerinden birisi metal malzeme yerine plastik malzeme kullanarak daha ucuz ve hafif otomotivler üretilmek istenmesidir. Daha hafif araçların üretilmesi sağlanarak yakıt tasarrufu sağlanması ve böylelikle çevreye daha duyarlı olunması amaçlanmaktadır [23].

Plastikler %10 ila %12 arasında araçlarımızda ki yerini alırken, bu oranı yüzdece ifade etmek gerekirse %48 iç kısım, %27 dış ve %14 kaporta altında kullanılmaktadır. PP, poliüretan ve PA yüksek penetrasyon özellikleriyle sektörde kullanılan hafif ve dayanıklı plastiklerin başında gelmektedir [24].

Herhangi bir aracın yolcu bölümü incelendiğinde plastiklerin yoğun olarak kullanıldığı görülebilir. Burası plastiklerin daha geleneksel olarak kullanıldığı yerlerdendir. Ancak kontrol panellerinin, iç süslemelerin ve döşemelerin dışında, tampon sistemlerinde, plastikler ışıklandırmalarda, çamurluklarda, yakıt depolama sistemlerinde, dış karoser panellerinde ve giderek artan bir şekilde, motor bölmesinde veya kaputun altındaki diğer parçalarda da kullanılmaktadır [25].

Tablo 2.1. Araçlarda kullanılan plastik parçaların üretiminde kullanılan plastik hammaddelerin bazı çeşitleri [25]

Parçalar	Kullanılan Ana Plastik Maddeleri
İç ortamdaki süslemelerde	PP, ABS, PET, PVC
Kontrol panellerinde	PP, ABS, PA, PE
Ön ve arka koltuklarda	PUR, PP, PVC, ABS, PA
Ön ve arka tamponlarda	PP, ABS, PC
Kaput altında yer alan parçalarda	PA, PP
İç döşemelerde	PVC, PUR, PP, PE
Yakıt depolama sistemlerinde	PE, PA, PP
Elektrikli modüllerde	PP, PE, PA, PVC
Karoser sistemlerinde	PP, Diğer Müh. Plastikleri
Aydınlatma sistemlerinde	PP, PC, ABS
Dış ortamdaki süslemelerde	ABS, PA, PP
Depolarda	PP, PE, PA

2.6. Polimer Özellikleri

2.6.1. Fiziksel özellikleri

İkincil bağ kuvvetleri moleküllerin katı veya sıvı fazlar şeklinde bir arada tutulmasını sağlar. Uçuculuk, sürtünme özellikleri, yüzey gerilimi, viskozite, karıştırma ve çözünme gibi bir çoğu fiziksel özellikler moleküller arası kuvvetlere bağlıdır. Kuvvetli polar grupları olan bir molekülün komşuları üzerindeki çekim kuvveti yüksektir [26].

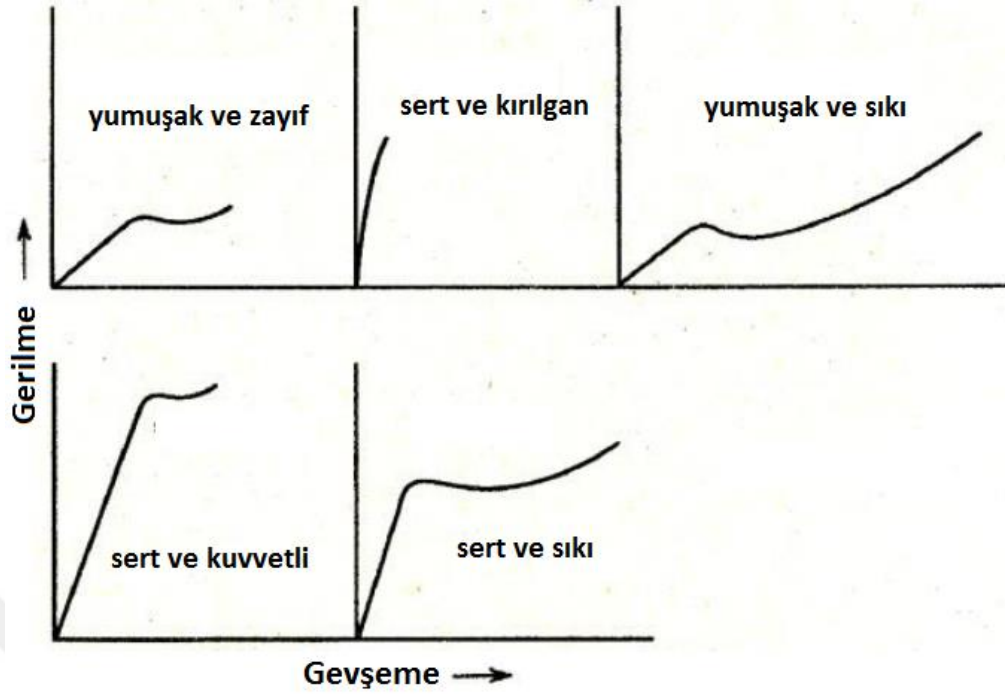
Bu durum erime ve kaynama noktalarının da yükselmesine sebep olur. Moleküller arası kuvvetler küçük, bağ enerjileri düşükse ve moleküllerde esnek zincirler bulunuyorsa, polimer elastomer özelliği gösterir. Elastomerler, oda sıcaklığında kuvvet uygulandığında uzama gösteren ve uygulanan kuvvet kalktığında eski haline dönebilen malzemeler olarak tanımlanabilir. Örnek olarak paket lastiği verilebilir [26].

Moleküller arası kuvvetler büyük ve bağ enerjileri yüksek olması ile birlikte, kalabalık yan gruplar varsa, sert zincirler bulunduğu halde tipik plastik özelliği görülmektedir. Bağ enerjisinin çok yüksek olması, gerilmeye karşı direnç göstermesine, çok kuvvetli olmasına ve özellikle fiberlerin iyi mekanik özellikler göstermesine imkan sağlar [26].

2.6.2. Mekanik özellikleri

Mekanik özellikler, yumuşaklaşmış–sarmal polimer zincirlerinin deformasyon kuvvetlerine karşı davranışlarının incelenmesidir. Polimerik bir malzemeden istenen en önemli özelliklerinden birisi kullanım alanına göre sağlamlığının yanında mekanik özelliklerini koruyabilmesi gelmektedir. Mekanik özellikler; akma, kopma, uzama gibi deformasyonları kapsamaktadır. Bu özellikler zamana ve sıcaklığa göre değişkenlik göstermektedir [27].

Polimerik bir malzemenin en önemli mekanik özellikleri onun “çekme – uzama” eğrisi ile elde edilir. Bu işlem, malzemenin sabit hızla çekilmesi sırasında açığa çıkan kuvvetin sürekli olarak ölçülmesi ile gerçekleştirilir [27].



Şekil 2.6. Polimer malzemeler için tipik gerilme-uzama grafikleri [27]

Polimerler birçok farklı makinede yük altında ve dişli, şaft vb. gibi birden fazla hareketli parçanın titreşiminin etkisinde kalırlar. Bu etkinin birikimi polimer malzemenin deformasyonuna ve ardından kopmasına neden olur [27].

Günümüzde daha kritik uygulamalarda plastiklerin kullanımının artmasıyla, polimer malzemelerde geleneksel uygulanan testlerin yanında, kullanım koşullarını simüle edecek şekilde testlere de tabi tutulması gerektiği görülmektedir [28].

Birçok uygulama için, kullanılan malzeme seçimi, sertlik, tokluk, işlenebilirlik ve fiyat dengesine bağlıdır. Belirli bir uygulama için, bu özellikler arasındaki bir uzlaşma genellikle gerekli olacaktır. Örneğin, belirli bir polimerin belirli bir sınıf içinde, darbe mukavemeti azaldıkça sertliğin arttığı genellikle doğrudur. Fakat, işleme gereksinimleri, kullanılabilen polimerin molekül ağırlığı üzerine bir üst veya bir alt sınır koyabilir ve bu da mekanik özellikleri oldukça belirgin bir şekilde etkileyecektir [28].

Ayrıca, bir plastiğin sertliğine veya tokluğuna herhangi bir değer girilemez çünkü:

1. Sertlik zaman, stres ve sıcaklık ile değişecektir.
2. Tokluk, bileşenlerin tasarımı ve boyutundan etkilenir. Ayrıca kalıp, işleme koşulları ve kullanım sıcaklığına göre değişecektir.
3. Sertlik ve tokluk termal gibi çevresel etkilere etkilenir [28].

Bununla birlikte, bir polimerin parametresindeki spesifik bir değişiklik işlenebilirliği ve fiziksel özellikleri etkileyebilir. Bu da polimerin kullanımı sırasında etki yaratabilir. Bu nedenle, plastik malzemelerin davranışını etkili bir şekilde anlamak ve malzeme seçimi sırasında güvenilir bir rehber vermek için kapsamlı deneysel veriler gereklidir [28].

Plastiklerin bu testler temelinde seçilip, laboratuvar performansı ve saha performans değerleri arasındaki korelasyonun oluşturulması gerekir. Bundan dolayı günümüzde yaygın olarak kullanılan polimerlerin malzeme seçimi sırasında dikkat edilmesi gerekir [28].

Tablo 2.2. Bazı polimerlerin mekanik özellikleri [28]

Polimer	Kopma mukavemeti (MPa)	Elastisite modülü (GPa)	Kopma uzaması (%)	Akma sınırındaki gerilim (%)	Çentikli izod darbe dayanımı (kJ/m)
LDPE	10	0,25	400	19	1,064
HDPE	32	1,25	150	15	0,15
PE	18	0,5	350	N/Y	1,064
PP	26	2	80	N/Y	0,05
PS	42	2,1	2,5	1,8	0,1
N/A = Malzeme kırılğan ve akma noktası göstermezse N/Y = Malzeme sünek ve akma noktası göstermezse					

Tablo 2.3. (Devamı)

Polimer	Kopma mukavemeti (MPa)	Elastisite modülü (GPa)	Kopma uzaması (%)	Akma sınırındaki gerilim (%)	Çentikli izod darbe dayanımı (kJ/m)
PET	55	2,3	300	3,5	0,02
PC	50	2,1	200	3,5	0,05
PA 6	40	1	60	4,5	0,25
PA 12	50	1,4	200	6	0,06
PA 66	59	1,2	60	4,5	0,11
PA 612	51	1,4	300	7	0,04
ABS	34	2,1	6	2	0,18
PTFE	25	0,7	400	70	0,16
PVC	58	3,1	30	5	0,06
Silikonlar	28	3,5	2	N/A	0,02
N/A = Malzeme kırılğan ve akma noktası göstermezse N/Y = Malzeme sünek ve akma noktası göstermezse					

BÖLÜM 3. KOMPOZİT MALZEMELER

Kompozit malzemeler; iki ya da daha fazla sayıdaki, aynı veya farklı gruptaki malzemelerin en iyi özelliklerini, yeni ve tek bir malzemedeki toplamak amacıyla makro düzeyde birleştirilmesiyle oluşturulan malzemeler olarak isimlendirilirler. Otomobil lastikleri ve karbon elyafı plastikler bunlara örnek olarak gösterilebilir. Bir kompozit malzeme, genelde düşük modül ve dayanıma sahip reçine veya matris ana fazı ile bunun içinde dağılmış ve ana matrise göre daha az oranda kullanımı olan takviye elemanlarından oluşmaktadır. Ancak, molekül ve atomik düzeyde birleştirilen alaşımlar veya malzemeler mikroskopik olarak homojen olduklarından kompozit malzeme olarak sınıflandırılmaz. Buna bir örnek vermek gerekirse; çelikteki krom ve vanadium bir alaşım oluşturur, fakat bu bir kompozit değildir. Çünkü bu yapı mikroskopik olarak homojendir. Fakat karbür uçlu takımlar, yumuşak kobalt metal matris içine sert karbürlerin yerleştirilmesi parçacıklı bir kompoziti oluşturur. Bir kompozit malzeme içerisinde, çekirdek olarak adlandırılan takviye elemanı ve bunun etrafında bulunan matris malzemesi bulunmaktadır. Takviye elemanı olarak farklı morfolojiye sahip kısa ve uzun elyaflar, kırılmış, kılcal kristaller veya parçacıklı seramikler kullanılabilir. Bunların temel fonksiyonu, gelen yükü taşımak ve matrisin rijitliğini ve dayanımını artırmaktır. Matrisin fonksiyonu ise takviye elemanına yük ve gerilim transferi sağlayabilmek için matris ve takviye elemanını bir arada tutmanın yanında, çoğu takviye elemanı çok kırılgan ve gevrek yapıya sahip olduğundan dolayı takviye elemanlarının yüzeylerini dış etkenlere ve çevre koşullarına karşı korumaktır. Ayrıca plastiklik ve süneklik üstünlüğüyle takviye elemanlarında kırılgan çatlakların ilerlemesini önler. Plastik deformasyonlar ve çatlaklar varsa takviye elemanlarına paralel olarak yönlerini değiştirir [29].

Kompozit malzemelerde; genellikle tek başlarına elde edilemeyen, bileşenlerinin en iyi özelliklerinin bir malzemedeki toplanması önemli bir üstünlük ortaya çıkarır.

Kompozit malzeme üretilmesi sayesinde aşağıdaki bazı özellikler elde edilebilmektedir. Bunlar genel olarak şöyle sıralanabilir:

1. Yüksek rijitlik,
2. Yüksek dayanım,
3. Mükemmel aşınma direnci,
4. Yüksek yorulma dayanımı,
5. Yüksek sıcaklık kapasitesi,
6. İyi termal ve ısı iletkenliği,
7. İyi korozyon direnci,
8. Düşük ağırlık,
9. Estetik görünümü.

Uygun matris ve takviye elemanı seçilmesi, sistemin fiziksel ve mekanik özelliklerinde etkisi yüksektir. Çünkü kompozitin içinde matris ile takviye elemanı arasındaki ara yüzey bağının güçlü olması gerekmektedir. Ara yüzey bağının güçlü olması ise bileşenlerin uyumuna ve matrisin ıslatabilirlik özelliğine bağlıdır. Takviye elemanlarının matris içerisinde homojen dağılımının da matrisin ve takviye elemanının uygun seçimine bağlıdır. Kompozitler karma malzeme olduklarından bu koşulları sağlamak ve elde etmek için en iyi matris ve takviye elemanının seçimi sağlanmalıdır [29].

Plastik malzemeler incelendiğinde, yoğunluğu düşük ve karmaşık şekilli parçaların üretimi kolay olup, birbirleriyle ve diğer malzemelerle rahatlık ile birleştirilebilir. Ayrıca plastik malzemelerin talaş kaldırma işlemleri kolaydır. Fakat bilindiği gibi termal dayanımları düşük ve genellikle çevresel etkilere karşı kullanımı tehlike arz etmekte ve düşük mekanik özelliklere sahiptirler [30].

Kompozit malzemeler matris malzemesi türüne göre sınıflandırıldığında;

1. Polimer matrisli kompozitler,
2. Seramik matrisli kompozitler,

3. Metal matrisli kompozitler,
4. Karbon/Karbon kompozitler olmak üzere 4 gruba ayrılmaktadırlar [31].

3.1. Polimer Matrisli Kompozitler

Polimer matrisli kompozitler yüksek mukavemet, sertlik, boyut ve termal kararlılık, aşınmaya karşı dayanıklılık gibi özellikleriyle birçok avantaj sağlamaktadırlar. Ayrıca kompozit malzemeler sertlik ve dayanıklılık yönünden metallerle kıyaslandığında çok daha hafiftirler. Bilindiği üzere matris malzemeler olarak polimer matrisler, metalik matrisler ve kullanım alanları çok az olsa da yüksek sıcaklık matrisleri seramik türevi malzemeler de matris olarak kullanılmaktadır. Diğer matrislerin de günümüzde kullanılıyor olmasına rağmen kompozit malzemelerin büyük çoğunluğu polimer esaslı matrislerle üretilmektedir. Polimer kompozitler genel itibarıyla amorf yapıdadırlar [32].

Plastiklerin büyük bir çoğunluğu ve hemen hemen takviyesiz plastiklerin tamamı termoplastiktir. Matris olarak kullanılmakta olan polimerik malzemeler, düşük maliyetli ve kolay çalışma sağlayan malzemelerdir. Diğer malzeme sınıflarıyla karşılaştırıldığında en önemli dezavantajları düşük sıcaklıklarda kullanılabilmesi ve düşük elastik modülüne sahip olmasıdır. Polimer matrisler iki ana gruba ayrılabilir;

1. Termoset,
2. Termoplastik [33].

3.1.1. Polimer matrisler

3.1.1.1. Termoset

Kompozit malzemelerde matris malzemesi olarak en çok tercih edilen malzemelerin başında termosetler gelmektedir. Termosetler, yüksek sıcaklıklara maruz kalsalar dahi yumuşamazlar. Termoset reçineler kimyasal etkiler altında çözülmez ve farklı hava şartları altında bile uzun ömürlü olabilmektedirler. Bu özellikleri büyük ölçüde

karşılayan polimer esaslı matrislere örnek vermek gerekirse; epoksi reçineler. Daha fazla çapraz bağlanma sağlanması halinde bunlar daha yüksek elastisite modülüne sahip olurlar ve daha sert bir hale gelebilirler [32]. Termoset esaslı reçineler uygun malzemelerle takviye edildiklerinde ağırlıklarına oranla teknolojinin geliştirdiği en dayanıklı malzemeler arasında yer almaktadırlar [33].

3.1.1.2. Termoplastik

Çok fazla türü olmasına rağmen, matris olarak kullanılmakta olan termoplastik sayısı sınırlıdır. Termosetlere göre matris olarak kullanımları daha az sayıda olmakla birlikte üstün kırılma tokluğu, geri dönüşüm özelliği, uzun raf ömrüne sahip olması ve sertleşme prosesi için organik çözücülere ihtiyaç duyulmamasından dolayı güvenli çalışma ortamı sağlaması gibi üstünlükleri bulunmaktadır. Bunun yanında şekil verilen termoplastik parça işlem sonrası ısıtılarak yeniden şekillendirilebilir. Bununla birlikte maliyet açısından ele alındığında termoplastiklerin termosetlere göre hammaddeleri daha pahalıdır [32].

Tablo 3.1. Bazı polimer matrislerin termal kararlılığı [34]

Polimer Tipi	Sembol	Kullanım Sıcaklığı (°C)
Termosetler:		
Polyester	PE	50
Epoksi	Ep	150
Fenollü	Ph	200
Termoplastikler:		
Poliamid(Naylon)	PA	125
Polifenilin sülfür	PPS	260
Polikarbonat	PC	125
Polieter sulfon	PES	180

3.2. Polimer Matrisli Kompozitlerin Kullanım Alanları

Polimer matrisli kompozitler; uzun süreli kullanımlara uygun, korozyona dirençli, karmaşık geometrik yapılarda biçimlendirilebilen, işlenmeleri daha kolay, hafif, birim kütle başına yük taşıma özellikleri yüksek malzemelerdir. Havacılık, savunma sanayisi, uzay uygulamaları, otomobil sanayisi, spor malzemeleri, deniz araçları gibi sektörlerde kullanılır [35].

Poliamidler sert ve dayanıklı malzemelerdir. Kompozit malzemelerin üretiminde kullanılan PA6 ve PA66 bu poliamidlerin en önemli örneklerindendir. Otomotiv endüstrisindeki üretilen otomobillerde yaklaşık %10 ile %12 arasında kısmi polimer matrisli kompozit malzeme kullanılarak üretilirken, son yıllarda bu rakamlar %50 gibi oranlara ulaşmıştır. Gelişmiş ülkelerin birçoğunda otomotiv sektöründe kompozit kullanımına yönelik yatırım ve yaptırımlar bulunmaktadır. Bununla birlikte diğer gelişmekte olan ekonomiye sahip ülkelerinde otomotiv sektörlerinde kompozit kullanımına eğiliminin artması beklenmektedir [36].

Otomotiv sektöründeki bazı uygulama alanları:

1. Cam silecekleri,
2. Filtre kutusu; Mercedes
3. Pedallar,
4. Dikiz aynası,
5. Far gövdeleri; BMW
6. Hava giriş manifoldu; Ford, BMW, Mercedes
7. Gösterge paneli,
8. Yan gövde iskeleti; Ford
9. Otomobil kaportası; Corvette

Polimer matrisli kompozit malzemelerin sağladığı üstün özellikleri neticesinde yakıt sistemi parçaları, araç sunroofları, koltuk parçaları, rüzgarlıklar, kaput altı parçalarda vb. yerlerde metal malzeme çeşitlerine rakip olarak kullanılabilmektedir [36].

Araçların gövde kısımlarında termoset malzeme kullanımı sık görülen bir durumdur. Termoplastik malzeme kullanımı otomotiv ürünleri için giderek talep gören çeşitler arasına girmektedir. Volkswagen Golf, Volkswagen Polo, Audi A4 marka otomobillerde ön tarafları cam elyaf takviyeli termoplastik malzemeden üretilmektedir. Volkswagen ve diğer araç üreticileri yeni çıkardıkları araçlarında polimer matrisli kompozit malzeme gereksinimlerinden oldukça faydalanmaktadır [36].



Şekil 3.1. Otomotiv endüstrisinde kullanılan kompozit malzeme örnekleri [37]

Wei, Akhlaghi, Kallio, Bruder ve arkadaşları çok katlı PA boruların iç yüzeyinin dizel-biodizel yakıt ve sıcak hava ile yaşlandırması üzerine çalışma gerçekleştirmiştir. Bu çalışmada dış çapı 8 mm ve et kalınlığı 1 mm ölçülerine sahip 5 katlı PA boru kullanılmıştır. Yaşlandırma yapılmamış, 500 saat, 1000 saat ve 2230 saat yaşlandırma uygulanmış olan dört farklı türde boru üzerinden incelemeler yapılmıştır. PA borunun uzaması, oksidasyon ve plastikleştiricinin kaybına bağlı olarak artan yaşlanma süresiyle ters orantılı olarak azalmıştır. Uzun yaşlanma süresinde düşük uzama

yaşanması, PA6 iç tabakasında, yüksek derecede okside olmuş bölgenin kırılğan davranış sergilemesinden kaynaklanabileceği yorumlanmıştır [38].

Wei, Kallio, Bruder, Bellander ve arkadaşları çok katlı PA boruların dizel-biodizel karışımına sahip yakıtlar karşısında uzun süreli yaşlandırma etkisi üzerine çalışma gerçekleştirmiştir. Bu çalışmada dış çapı 8 mm ve et kalınlığı 1 mm olan 2 katlı PA borular kullanılmıştır. Yaşlandırma yapılmamış, 500 saat, 1000 saat ve 2230 saat yaşlandırma uygulanmış olan dört farklı türde boru üzerinden incelemeler yapılmıştır. Bu çalışmada, PA12 bazlı iki katlı bir yakıt borusunun alt katının uzun süreli ve yüksek sıcaklıklı izotermal koşullar altında incelendiğinde, ETFE tabakası sadece küçük bir yakıt alımı göstermiştir. (ağırlıkça $<1\%$) Uzun yaşlandırma testinde (bir aracın simüle edilmiş ömrü) 2230 saat sonra özelliklerinde bir değişim gözlenmemiştir. Öte yandan, dışarıdaki havaya maruz kalan dış PA12 tabakası, yaşlanma sırasında plastikleştirici, oksidasyon ve yüksek sıcaklıkta tavlama ile değişikliklere uğramıştır. Sonuç olarak, PA12 camsı geçiş sıcaklığı artmıştır, küçük bir tavlama ile birlikte oluşan kristalleşme boruların sertleşmesinde artışa neden olmuştur. Bununla birlikte, borular yaşlanma sırasında asla kırılğan hale gelmemiş ve diğer çalışmalardaki iç kattaki PA'ya göre daha uzun süreli bir performansa sahip olmuştur. Bu çalışma, iç yapıdaki ETFE'nin biyodizel dahil agresif yakıtların neden olduğu bozulmalara karşı mükemmel direnç gösterdiği görülmüştür [39].

BÖLÜM 4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

4.1. Numune Üretimi

PA boruların üretimi ekstrüzyon yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. 2 katlı ve 5 katlı PA boruların üretiminde Maillefer marka ekstrüzyon makinesi kullanılmıştır. 2 katlı PA boru üretimi sırasında borunun alt katının ekstrüzyon sıcaklığı $300\pm 30^{\circ}\text{C}$ iken, borunun üst katının ekstrüzyon üretim sıcaklığı ise $200\pm 20^{\circ}\text{C}$ olacak şekilde uygulanmıştır. 5 katlı PA boru üretimi sırasında ise bütün katlardaki malzemeler için $200\pm 40^{\circ}\text{C}$ ekstrüzyon üretim sıcaklığı uygulanmıştır. PA boruların üretiminde kullanılan Maillefer marka ekstrüzyon makinesi Şekil 4.1.'de gösterilmiştir.



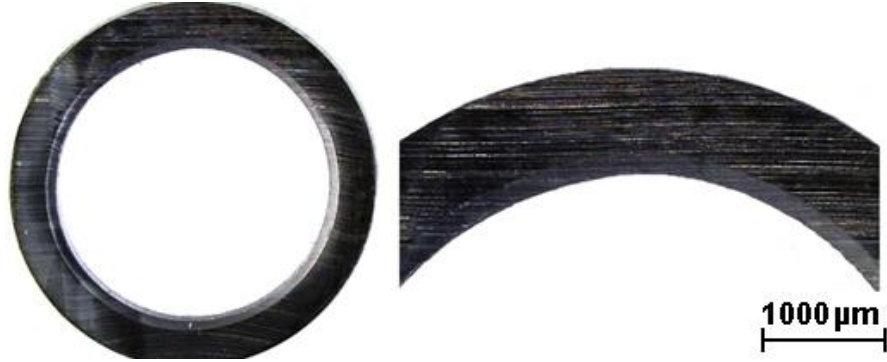
Şekil 4.1. Maillefer marka ekstrüzyon makinesi

2 katlı ve 5 katlı PA boruların ekstrüzyon işlemi sırasında makineye entegre hat sonunda yer alan alev ünitesinde 50°C, 60°C, 80°C sıcaklıklarda alev uygulaması yapılmıştır. 2 katlı ve 5 katlı malzemelerden, alev uygulanmayan ve 3 adet alev uygulaması yapılmış numuneler ile birlikte toplamda 4 farklı numune elde edilmiştir. Ekstrüzyon hattının sonunda yer alan alev ünitesi Şekil 4.2.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Alev ünitesi

Bu çalışmada, 2 katlı ve 5 katlı çok katlı poliamid borulara uygulanan alev ünitesinin etkisi incelenmiştir. Ektrüze edilerek üretilmiş olan dış çapı 8 mm ve et kalınlığı 1 mm olan 2 katlı ve 5 katlı PA boruların katları optik mikroskop altında incelenmiştir. 2 katlı ve 5 katlı PA boruya ait optik mikroskop görüntüleri Şekil 4.3. ve Şekil 4.4.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.3. 2 katlı PA boruya ait optik mikroskop görüntüsü



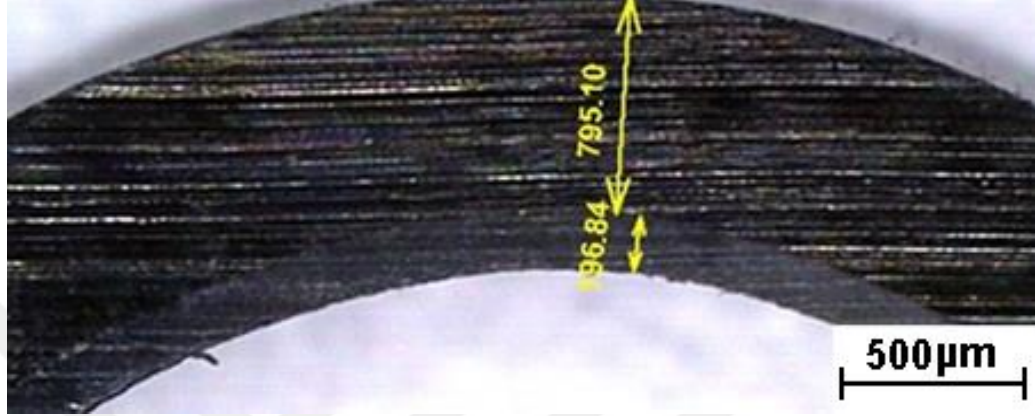
Şekil 4.4. 5 katlı PA boruya ait optik mikroskop görüntüsü

2 katlı ve 5 katlı PA borulara ait elde edilen optik mikroskop görüntüleri Jomesa marka optik mikroskobunda gerçekleştirilmiştir. Bu mikroskop Şekil 4.5.'de gösterilmiştir.



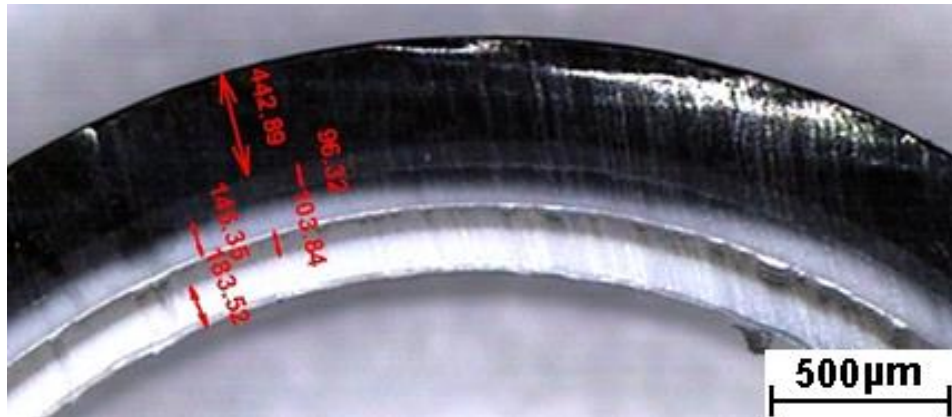
Şekil 4.5. Jomesa marka optik mikroskop görüntüsü

2 katlı PA borularda alt katta PA9T malzemesi $0,2\pm0,02$ mm ve üst katta PA12 malzemesi $0,8\pm0,05$ mm olacak şekilde üretimi gerçekleştirilmiştir. 2 katlı PA borunun üretimi sonrasında optik mikroskop altında malzeme katlarına ait ölçüler Şekil 4.6.'da gösterilmiştir.



Şekil 4.6. 2 katlı PA borunun optik mikroskop altındaki et kalınlık dağılımı

5 katlı PA boruların içten dışa doğru kullanılan malzemeler ve et kalınlıkları; PA612 malzemesi $0,2\pm0,03$ mm, PA6 yapıştırıcı ara kat $0,2\pm0,03$ mm, EVOH malzemesi $0,15\pm0,03$ mm, PA612 yapıştırıcı ara kat $0,2\pm0,03$ mm ve üst katta PA12 malzemesi $0,45\pm0,05$ mm olacak şekilde üretimi gerçekleştirilmiştir. Üretilen 5 katlı PA borunun üretimi sırasında kullanılan malzemelerin optik mikroskop altındaki et kalınlığı dağılımı Şekil 4.7.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.7. 5 katlı PA borunun optik mikroskop altındaki et kalınlık dağılımı

Çalışmada kullanılmak üzere hazırlanan borulara uygulanan alev ünitesi sıcaklık değerleri, uygulanan yaşlandırma sıcaklıkları ve numuneler için oluşturulan kısaltmalar Tablo 4.1.'de verilmiştir.

Tablo 4.1. Kullanılan numune kısaltmaları

Numune Kısaltması	Malzeme Bilgisi	Uygulanan Alev Ünitesi Sıcaklığı (°C)	Yaşlandırma Sıcaklıkları (°C)
2K0	2 katlı	Alev sıcaklığı uygulanmamıştır.	100 - 150
2K50	2 katlı	50	100 - 150
2K60	2 katlı	60	100 - 150
2K80	2 katlı	80	100 - 150
5K0	5 katlı	Alev sıcaklığı uygulanmamıştır.	100 - 150
5K50	5 katlı	50	100 - 150
5K60	5 katlı	60	100 - 150
5K80	5 katlı	80	100 - 150

4.2. Çekme Deneyi

Çekme cihazı genel kapsamda karşılıklı olarak aşağı ve yukarı doğru hareket edebilen, numunelerin bağlandığı 2 adet çene ve bu çenelere kuvvet veren ünite sisteminden oluşmaktadır. Altta yer alan çene genellikle sabit konumda olur ve üstte yer alan çene yukarı doğru sabit hızda hareket ettirilerek numunelere değişken miktarlarda çekme kuvveti uygulanır ve kuvvet uygulanması sonucunda ortaya çıkan uzama miktarını

kayıt altına alır. Çekme deneyinde kullanılan numune boyutları gerekli standartlara uygun olarak dairesel veya dikdörtgen kesitli olabilir.

Numuneler, müşteri özel isteğine göre istenilen standarta göre hazırlanır. Bu standart içerisinde borulardan istenilen akma mukavemeti ve %uzama değeri gibi bilgiler yer almaktadır. Hazırlanan numunelere uygulanacak çekme deneyi DIN EN ISO 527-2 kodlu standartına göre hazırlanmıştır. Bu standart içerisinde çekme deneyinde kullanılacak test aparat bilgileri, numune boyutları gibi istenilen bilgilere yer verilmektedir. Çekme deneyi için 8 mm çapa, 1 mm et kalınlığına ve 150 mm boyuna sahip numuneler hazırlanmıştır. Çekme deneyi için hazırlanan numune Şekil 4.8.'de gösterilmiştir.



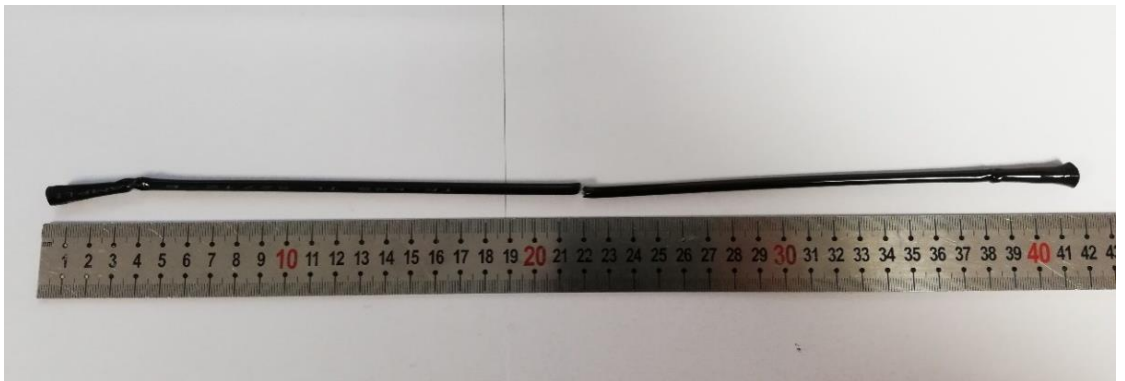
Şekil 4.8. Çekme deneyinde kullanılan örnek bir numune görüntüsü

2 katlı ve 5 katlı PA borulardan alev uygulanmamış ve 50°C, 60°C, 80°C sıcaklıklarda alev uygulaması yapılmış olan numunelerin her birinin çekme deneyleri oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Yaşlandırma sonrası çekme deneyine tabi tutulan numunelerde soğumaları beklendikten sonra yine oda sıcaklığında çekme deneyine tabi tutulmuştur. Çekme deneyleri Zwick Roell Z010 model 10 kN çekme cihazı ile 100 mm/dk hızda gerçekleştirilmiştir. Çekme deneylerinin yapıldığı Zwick Roell Z010 cihazı Şekil 4.9.'da verilmiştir.



Şekil 4.9. Zwick Roell Z010 çekme test cihazı

2 katlı ve 5 katlı PA borulardan hazırlanan çekme deneyi numunelerinin, çekme deneyine tabi tutulduktan sonrasındaki numunenin durumu Şekil 4.10.'da gösterilmiştir.

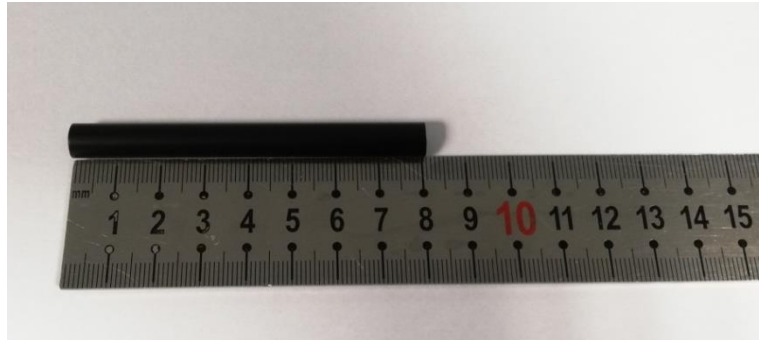


Şekil 4.10. Çekme deneyine tabi tutulmuş olan örnek bir numune

4.3. Darbe Deneyi

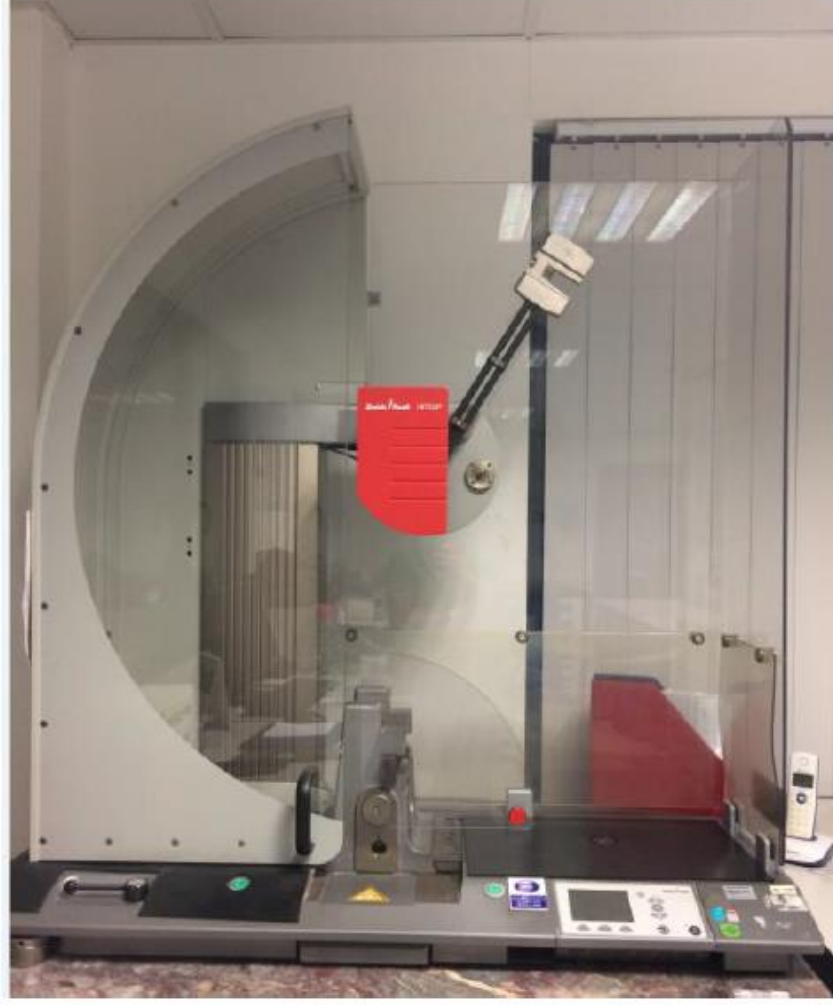
Darbe deneyi gevrek kırılmaya neden olabilecek şartlar altında çalışan malzemelerin mekanik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla kullanılır. Darbe deneyinin genel amacı, metalik malzemelerin dinamik zorlamalar altında kırılması için gerekli enerji miktarını ve sünek-gevrek geçiş sıcaklığını tespit etmektir. Genelde malzemelerin mekanik özellikleri hakkında bilgi edinebilmek amacıyla çekme deneyi sonuçları kullanılır. Çekme deneyi sonucunda sünek davranış gösteren malzeme, darbe deneyi sonuçları incelendiğinde ise gevrek davranış gösterebilir. Bu durum malzemenin kafes yapısına göre değişkenlik göstermektedir. Özellikle oda sıcaklığının altındaki sıcaklıklarda bu durum ile daha fazla karşılaşılmaktadır. Darbe deneyinden elde edilen sonuçlar, çekme deneyi sonuçları gibi mühendislik hesaplarında kullanılamazlar [40].

Darbe deneyi DIN EN ISO 179-1 standartına göre yapılmıştır ve darbe deneyine tabi tutulan numuneler müşteri özel isteği doğrultusunda uygun standarta göre hazırlanmıştır. Darbe deneyinde kullanılmak üzere 8 mm çapa, 1 mm et kalınlığına ve 80 mm boyuna sahip numuneler hazırlanmıştır. Hazırlanan numunelere ait görüntü Şekil 4.11.'de verilmiştir.



Şekil 4.11. Darbe deneyinde kullanılan numune

Darbe deneyi oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Darbe deneyi 7,5 J çene ağırlığına sahip Zwick Roell HIT25P model darbe cihazında yapılmıştır. Darbe deneylerinin yapıldığı Zwick Roell HIT25P cihazı Şekil 4.12.'de verilmiştir.



Şekil 4.12. Zwick Roell HIT25P darbe test cihazı

2 katlı ve 5 katlı PA borulardan hazırlanan darbe deneyi numunelerinin, darbe deneyine tabi tutulan örnek bir numunenin testten sonraki durumu Şekil 4.13.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.13. Darbe deneyine tabi tutulmuş olan örnek bir numune

4.4. Sıcak Hava Yaşlandırması

Çekme deneyi ve darbe deneyi için hazırlanan numunelerin yaşlandırma işlemleri etüv cihazında gerçekleştirilmiştir. Etüvler, farklı sıcaklıklara ayarlanabilmektedir ve genellikle bu cihazlar malzemelerin yaşlandırılması, malzemelerin ısıtılması ve pişirilmesi vb. işlemlerin yapılması için kullanılmaktadırlar. Etüvler farklı ebatlarda ve kapasitelere sahip olabilmektedirler. Ayrıca bu cihazlar yapılarına göre farklı sıcaklık dayanımlarına sahip olabilirler.

2 katlı ve 5 katlı PA borulara ait darbe deneyi ve çekme deneyi numuneleri 100°C ve 150°C sıcaklıklarda 280 saat boyunca yaşlandırma işlemine tabi tutulmuştur. Yaşlandırma işlemi için DIN 53497 standartı referans alınmıştır. Yaşlandırma işleminde Thermo Scientific Heratherm OMH 60 marka etüv cihazı kullanılmıştır. Bu etüv cihazı Şekil 4.14.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.14. Thermo Scientific Heratherm OMH 60 etüv cihazı

4.5. Soğuk Hava Top Düşme Deneyi

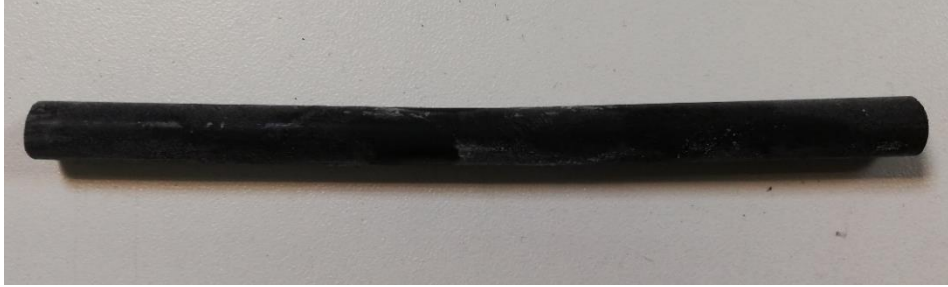
2 katlı ve 5 katlı numelerin müşteri özel isteğine göre uygun standarta göre numunelerin soğuk hava altında top düşme deneyi gerçekleştirilmiştir. Bu deneyde kullanılacak olan numuneler 100 mm boyunda hazırlandıktan sonra -40°C altında 22 saat boyunca soğuk havaya tabi tutulmuştur. Top düşme deneyinin yapıldığı test ünitesi Şekil 4.15.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.15. Top düşme test düzeneği

Top düşme test düzeneği de numunelerle birlikte soğuk havaya tabi tutulmuştur. 22 saat boyunca soğuk havaya maruz bırakılan numuneler hazırlanan test düzeneğinde top düşme deneyine tabi tutulmuştur. Bu deney sırasında düzeneğin üst kısmına 50 mm çapında, 880 gr ağırlığa sahip metal bilye yerleştirilir ve 650 mm yükseklikten serbest düşme yapılarak numunelerin üzerine düşmesi sağlanmıştır. Bu serbest düşme sonrası hazırlanan numunelerin durumu incelenmektedir. Bu deney sonrası numunelerde gözle görülür şekilde bir çatlama veya kırılma yaşanmaması

istenmektedir. Soğuk hava top düşme testi yapılmış olan örnek bir numune Şekil 4.16.'da gösterilmiştir.



Şekil 4.16. Soğuk hava top düşme deneyi yapılmış olan örnek bir numune görüntüsü

4.6. Malzeme Çözünmesine Karşı Direnç Testi

Malzeme çözünmesine karşı direnç testi SAE J2260 standartına göre gerçekleştirilmiştir. PA borulardan 2 metre uzunluğunda numuneler hazırlanarak DIN 51604-2 standartına göre PA boru içerisi FAM B test sıvısıyla doldurulmuştur. FAM B test sıvısı DIN 51604-2 standartına göre hazırlanmıştır. FAM B test sıvısı; %84,5 FAM A, %15 metanol ve %0,5 su karışımından oluşturulmuştur. Test sıvısı ile doldurulan PA borunun iki ucu metal aparatlar yardımıyla kapatılmıştır. Hazırlanan numune Şekil 4.17.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.17. Malzeme çözünmesine karşı direnç testi için hazırlanan örnek bir numune görüntüsü

Hazırlanan numune 60°C'de 96 saat boyunca yaşlandırılmaya tabi tutulmuştur. Yaşlandırma sonrası numune soğumaya bırakıldıktan sonra numune içerisinde yer alan

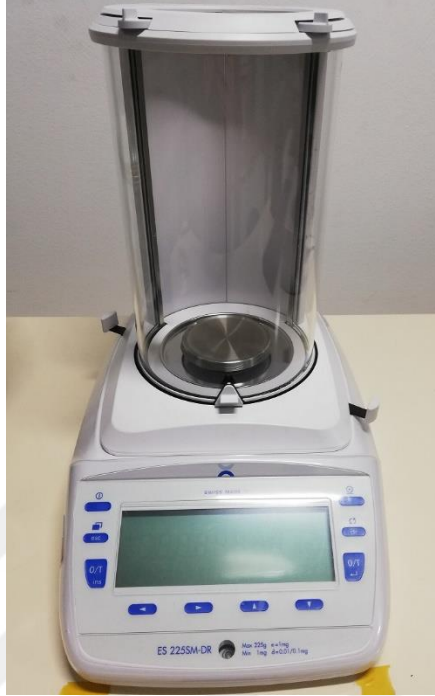
test sıvısı bir cam şişeye alınmıştır ve durulama işlemi için en az 20 ml temiz test sıvısı PA boru içerisine dökülmüştür ve durulama işlemi sonrasında test sıvısı tekrardan aynı cam şişe içerisine boşaltılmıştır. Cam şişenin ağzı kapatılarak 24 saat boyunca oda sıcaklığında beklemesi sağlanmıştır. Bu bekleme sonrası cam şişe içerisinde yer alan test sıvısı önceden tartılmış olan 0,45 μm mesh ölçüsüne sahip, PES malzemesinden üretilen filtreden geçirilmiştir. Test sıvısının filtreden geçirildiği düzenek Şekil 4.18.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.18. Test sıvısının filtreden geçirme işleminin yapıldığı düzeneğin görüntüsü

Düzenekte görüldüğü gibi test sıvısının boşaltılması sırasında vakum uygulanmıştır. Cam şişenin içerisinde yer alan test sıvısının tamamı filtreden geçirildikten sonra cam şişe içerisine en az 20 ml test sıvısı dökülerek, cam şişenin içerisi durulanmıştır ve tekrardan filtreden geçirilmiştir. Filtreleme işlemi öncesi test sıvısının doldurulduğu cam şişenin ve filtrenin ağırlığı alınmıştır. Filtreleme işlemi sonrası filtre bir petri kabının içerisine alınarak 40°C'de 24 saat boyunca kurutulmuştur ve sonrasında tekrar

tartılmıştır. Bu ağırlık ölçümleri sırasında Precisa ES 225SM-DR marka hassas terazi kullanılmıştır. Bu hassas terazi Şekil 4.19.'da gösterilmiştir.



Şekil 4.19. Hassas terazi genel görünümü

Filtreleme sonrasında test sıvısının doldurulmuş olduğu cam şişenin ağzı açık bırakılarak çeker ocak içerisinde oda sıcaklığında test sıvısının tamamen cam şişe içerisinden buharlaşması beklenmiştir. Buharlaşma sonrası cam şişenin tekrar ağırlığı alınmıştır.

Çözünmeyen bileşenlerin miktarı filtrenin test öncesi ve sonrasındaki ağırlıkları arasında farkı PA borunun iç yüzey alanına bölünmesi sonucu, birim yüzey alanına düşen madde miktarı aşağıdaki eşitlik kullanarak (Denklem 4.1) hesaplanmıştır.

$$\text{Çözünmeyen bileşen miktarı} = \frac{\text{filtrenin ağırlık farkı(g)}}{\text{borunun iç yüzey alanı(m}^2\text{)}} \quad (4.1)$$

Aynı şekilde çözünen bileşenlerin miktarı ise cam şişenin boş ağırlığı ile test sıvısının buharlaştırılması sonrası cam şişenin tartılması ile oluşan ağırlık farkının PA borunun

iç yüzey alanına bölünmesi sonucu, birim yüzey alanına düşen miktar aşağıdaki eşitlik kullanarak (Denklem 4.2) hesaplanmıştır.

$$\text{Çözünen bileşen miktarı} = \frac{\text{cam şişenin ağırlık farkı(g)}}{\text{borunun iç yüzey alanı(m}^2\text{)}} \quad (4.2)$$

Yapılan test sonucunda çözünmeyen bileşenlerin miktarı 0,5 g/m², çözünen bileşenlerin miktarı ise 6 g/m² değerinden az olması istenilmektedir.

4.7. Taramalı Elektron Mikroskobu Çalışmaları (SEM)

Mikroskobik araştırmalar için hazırlanan numunelere taramalı elektron mikroskobu (SEM) incelemesi yapılmış olup mikroyapı görüntüleri incelenmiştir. Numunelerin SEM görüntüleri Sakarya Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü laboratuvarında, Jeol JSM – 6060LV marka cihazla yapılmıştır. SEM görüntülerinin alındığı bu cihaz Şekil 4.20.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.20. SEM cihazı genel görünümü

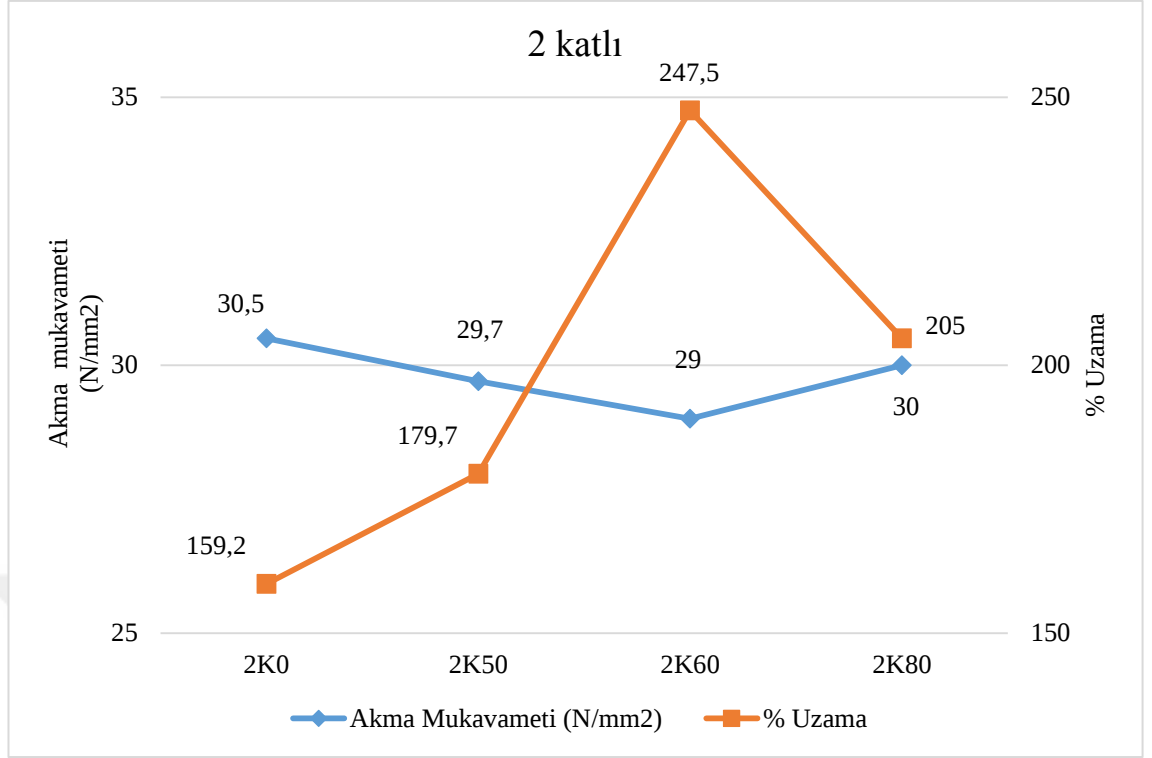
BÖLÜM 5. DENEYSEL SONUÇLAR

5.1. Çekme Deneyi Sonuçları

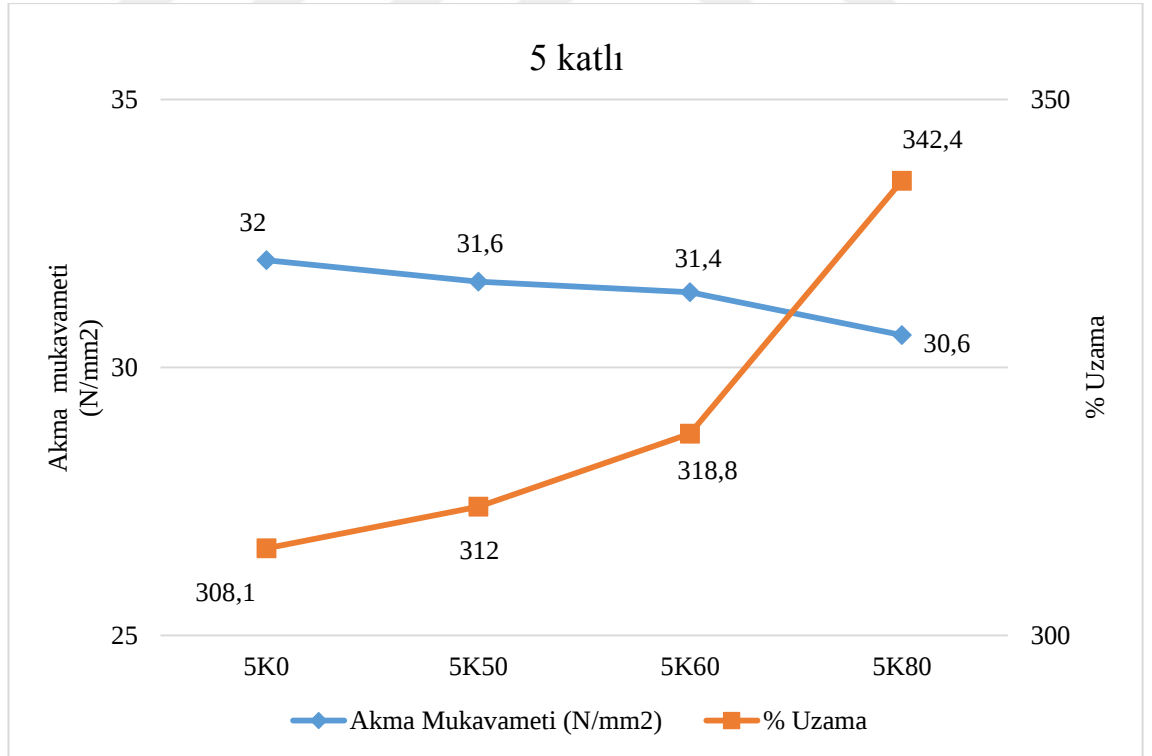
Çekme deneyi öncesinde 2 katlı ve 5 katlı PA boruların alev uygulaması yapılmış ve yapılmamış olan bütün malzemelerinden hazırlanan numunelere standarta uygun şekilde çekme deneyine tabi tutulmuştur. Çekme deneyleri sonucunda alev uygulamasının etkisi gözlemlenmeye çalışılmıştır. Tablo 5.1.'de 2 katlı ve 5 katlı numunelerin çekme deneyi sonucunda elde edilen akma mukavemeti ve %uzama değerleri verilmiştir. Şekil 5.1. ve Şekil 5.2.'de ise çekme testine tabi tutulmuş olan numunelerin akma mukavemeti ve %uzama sonuçları gösterilmiştir.

Tablo 5.1. Numunelere ait çekme deney sonuçları

Numuneler	Akma Mukavemeti (N/mm ²)	% Uzama
2K0	30,5	159,2
2K50	29,7	179,7
2K60	29	247,5
2K80	30	205
5K0	32	308,1
5K50	31,6	312
5K60	31,4	318,8
5K80	30,6	342,4



Şekil 5.1. 2 katlı malzemeden üretilmiş olan numunelere ait çekme deneyi sonuçları



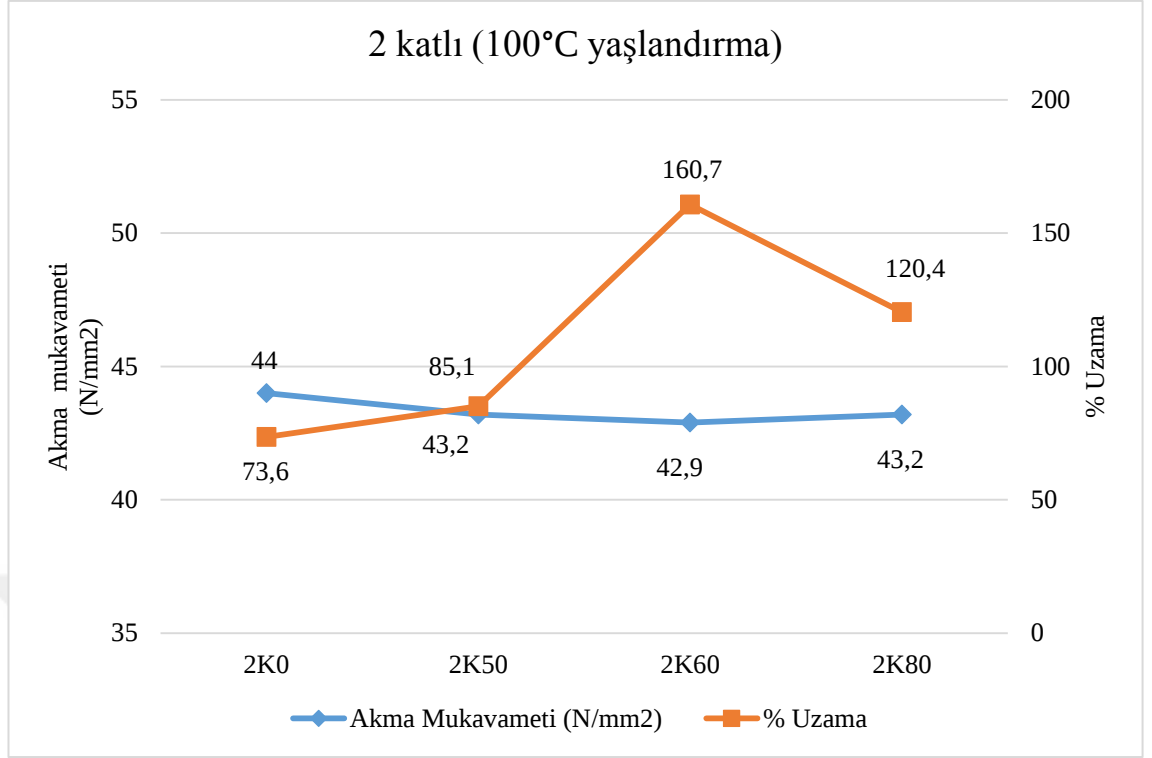
Şekil 5.2. 5 katlı malzemeden üretilmiş olan numunelere ait çekme deneyi sonuçları

2 katlı PA boruya ait %uzama ve akma mukavemeti incelendiğinde aralarında ters orantı olduğu görülmektedir. 2 katlı PA borularda 60°C sıcaklığa kadar alev sıcaklığı uygulanmış olan numunelerde %uzamada artış gözlemlenirken, 60°C alev sıcaklığından sonra ise %uzamada düşüş gözlemlenirken akma mukavemetinde artış olduğu gözlemlenmiştir. 5 katlı PA boruya ait çekme deneyi sonuçları incelendiğinde alev sıcaklığı arttıkça %uzamanın arttığı ve akma mukavemetinin de alev sıcaklığının artışı ile azaldığı gözlemlenmiştir.

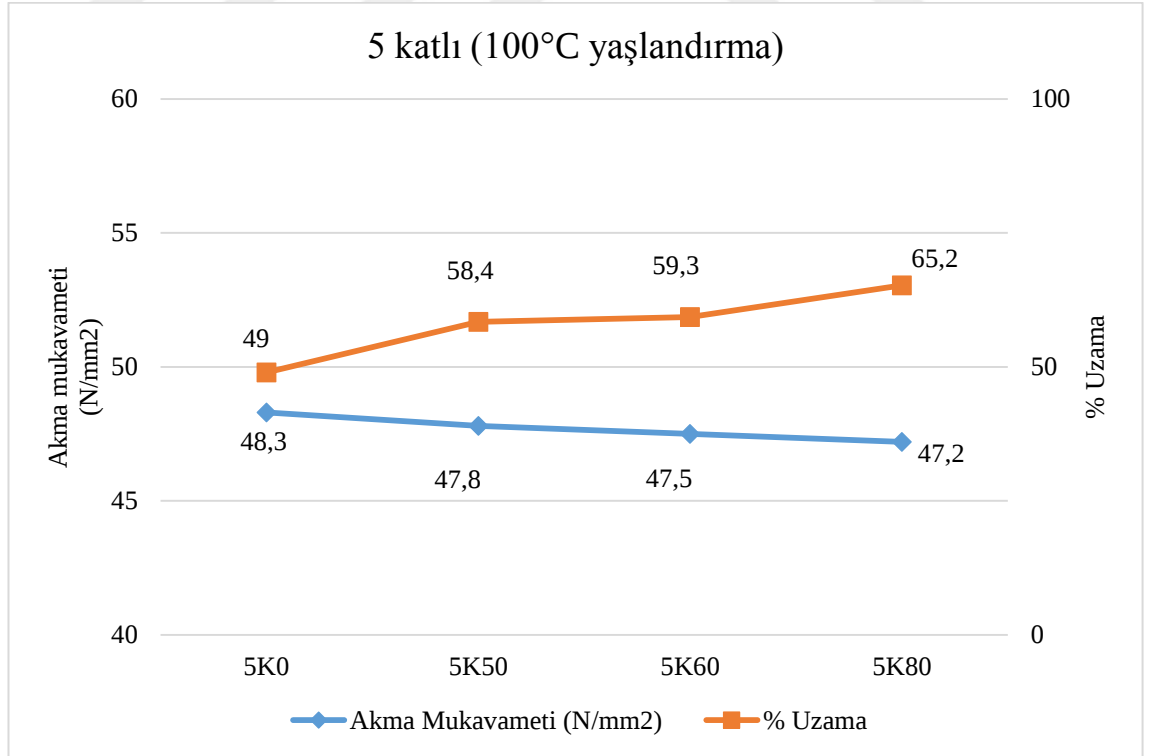
2 katlı ve 5 katlı PA boruların 100°C altında 280 saat yaşlandırma sonrası yapılan çekme deneyi sonuçları Tablo 5.2.'de gösterilmiştir. Ayrıca yaşlandırma sonrasına ait akma mukavemeti ve %uzama değerlerine sahip grafikler Şekil 5.3. ve Şekil 5.4.'de verilmiştir.

Tablo 5.2. 100°C altında 280 saat yaşlandırma sonrası numunelerin çekme deneyi sonuçları

Numuneler	Akma Mukavemeti (N/mm ²)	% Uzama
2K0	44	73,6
2K50	43,2	85,1
2K60	42,9	160,7
2K80	43,2	120,4
5K0	48,3	49
5K50	47,8	58,4
5K60	47,5	59,3
5K80	47,2	65,2



Şekil 5.3. 2 katlı malzemeden üretilmiş 100°C altında 280 saat yaşlandırma sonrasındaki numunelere ait çekme deneyi sonuçları



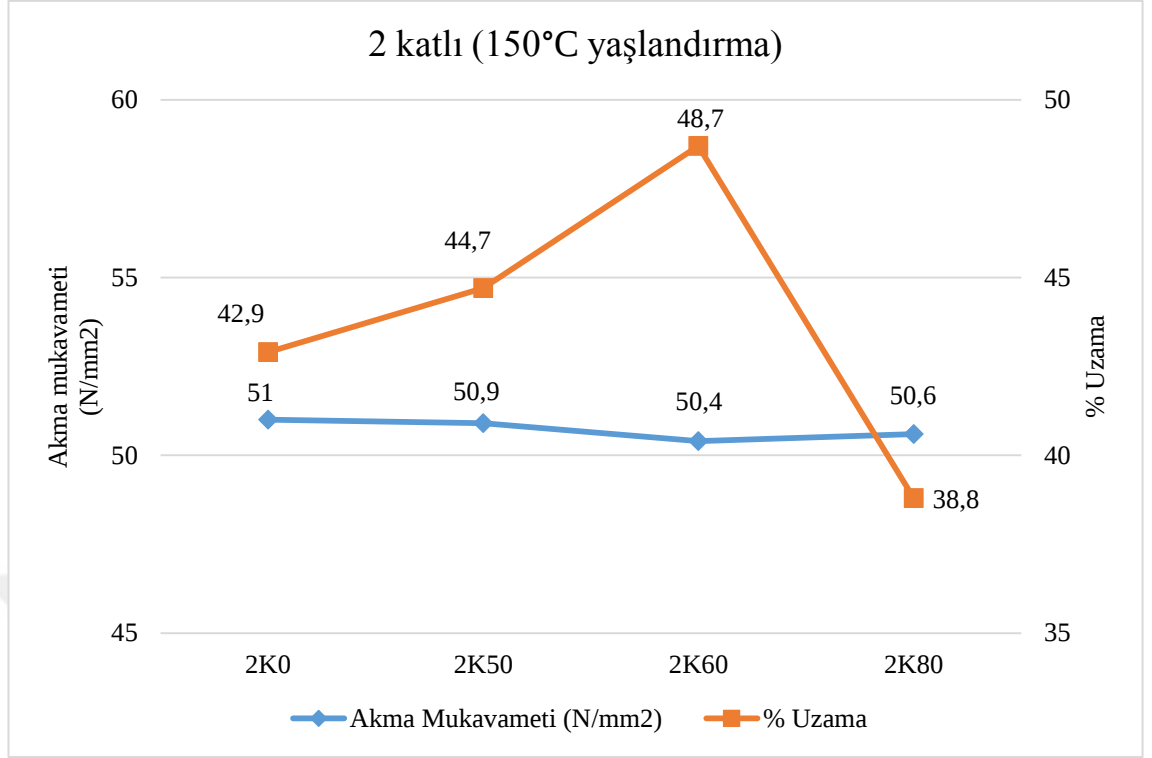
Şekil 5.4. 5 katlı malzemeden üretilmiş 100°C altında 280 saat yaşlandırma sonrasındaki numunelere ait çekme deneyi sonuçları

100°C yaşlandırma sonrası 2 katlı PA boruya ait %uzama ve akma mukavemeti incelendiğinde yaşlandırma yapılmamış numunelere göre %uzama değerinde azalma ve akma mukavemetinde ise ters orantılı olarak artış olduğu gözlemlenmiştir. 2 katlı PA boruda yaşlandırma yapılmamış numunede olduğu gibi 60°C alev sıcaklığından sonra %uzama değerinde azalma ile birlikte akma mukavemetinde artış olduğu gözlemlenmiştir. 5 katlı PA borunun 100°C’de yaşlandırma yapılması sonrası %uzama değerinin alev sıcaklığının artması ile artış gösterdiği ve akma mukavemetinin de ters orantılı olarak alev sıcaklığının artması ile azaldığı gözlemlenmiştir.

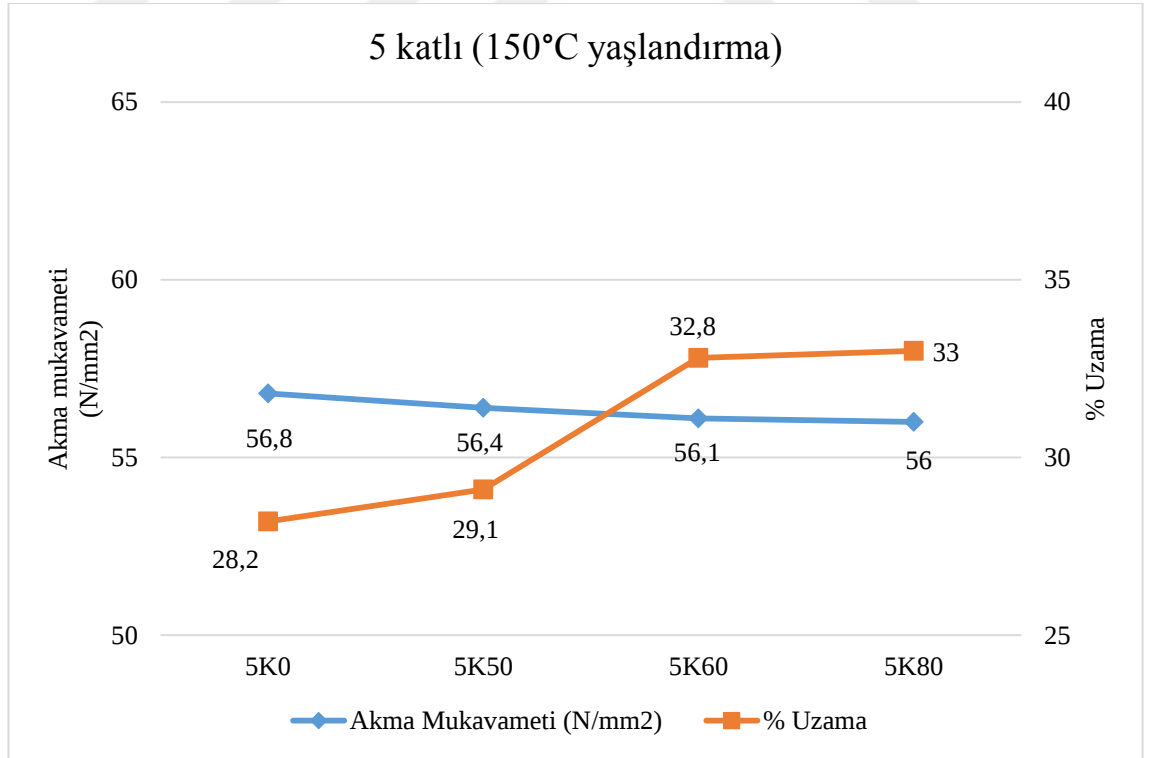
2 katlı ve 5 katlı PA boruların 150°C altında 280 saat yaşlandırma sonrası yapılan çekme deneyi sonuçları Tablo 5.3.’de gösterilmiştir. Ayrıca yaşlandırma sonrasına ait akma mukavemeti ve %uzama değerlerine sahip grafiklerde Şekil 5.5. ve Şekil 5.6.’da verilmiştir.

Tablo 5.3. 150°C altında 280 saat yaşlandırma sonrası numunelerin çekme deneyi sonuçları

Numuneler	Akma Mukavemeti (N/mm ²)	% Uzama
2K0	51	42,9
2K50	50,9	44,7
2K60	50,4	48,7
2K80	50,6	38,8
5K0	56,8	28,2
5K50	56,4	29,1
5K60	56,1	32,8
5K80	56	33

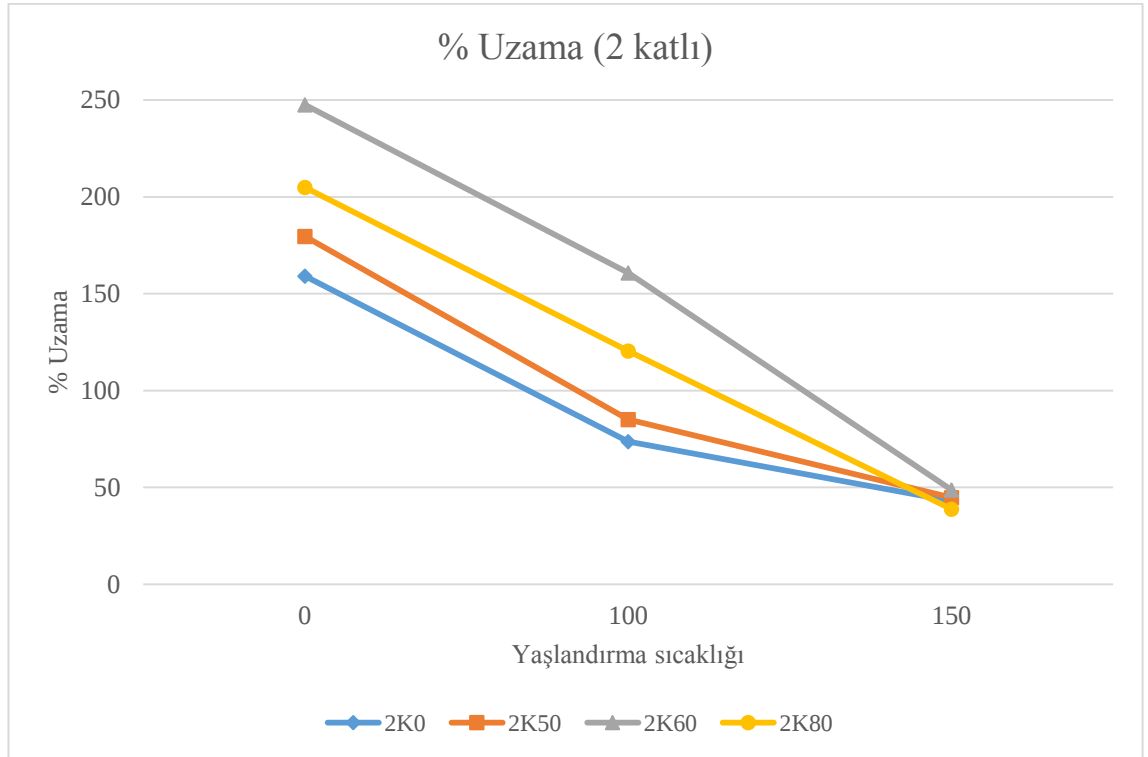


Şekil 5.5. 2 katlı malzemeden üretilmiş 150°C altında 280 saat yaşlandırma sonrasındaki numunelere ait çekme deneyi sonuçları

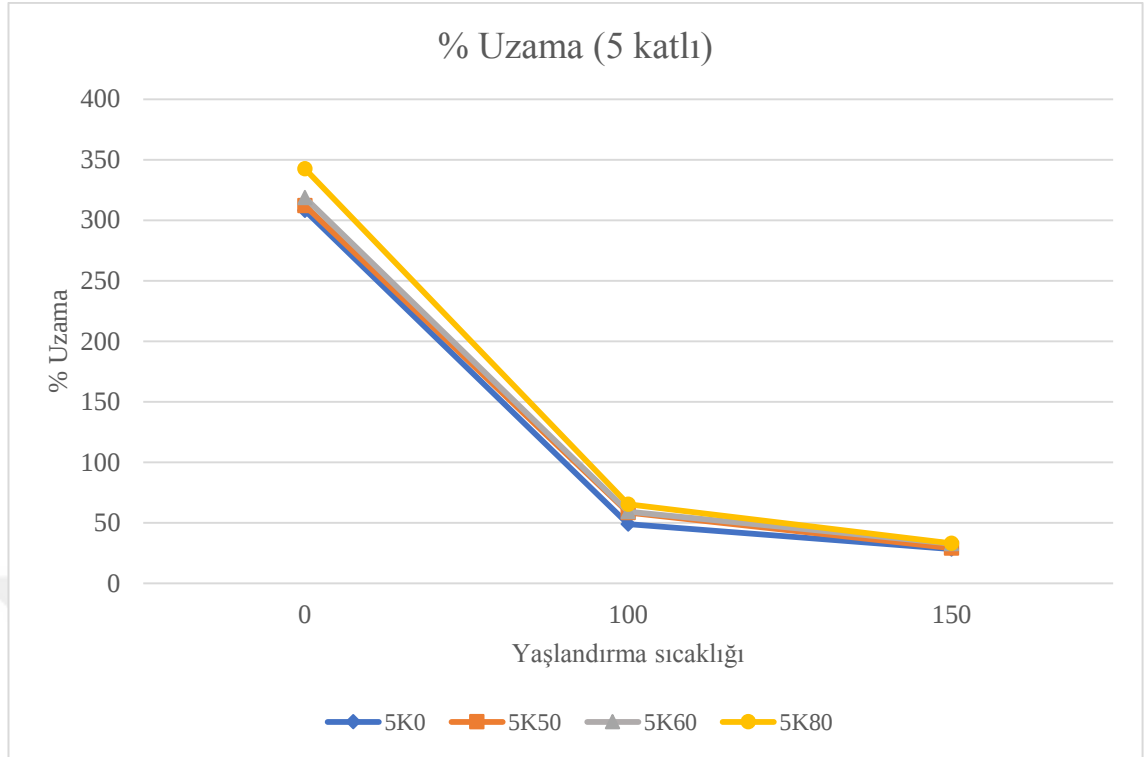


Şekil 5.6. 5 katlı malzemeden üretilmiş 150°C altında 280 saat yaşlandırma sonrasındaki numunelere ait çekme deneyi sonuçları

150°C yaşlandırma sonrası 2 katlı PA boruya ait %uzama ve akma mukavemeti incelendiğinde malzemelerin daha gevrek yapıya gelmesinden dolayı %uzama değerlerinin çok fazla düştüğü ve bununla birlikte de akma mukavemeti değerlerinin de yükseldiği görülmektedir. Deney sonuçları ele alındığında % uzama değerlerinin 150°C yaşlandırma ile birlikte en düşük değerlere ulaştığı gözlemlenmiştir. Bununla birlikte akma mukavemeti değerleri incelendiğinde ise 150°C yaşlandırma ile birlikte en yüksek değerlere ulaştığı gözlemlenmiştir. Diğer çekme deneylerinde olduğu gibi 2 katlı PA boruda alev sıcaklığı 60°C'den sonra %uzama değerinde bir azalma olduğu görülmüştür. Fakat 2 katlı PA boruda yaşlandırma yapılmamış ve 100°C'de yaşlandırma uygulanmış numunelerde olduğu gibi 60°C'den sonra akma mukavemetinde artış olduğu gözlemlenmiştir. 5 katlı PA borunun 150°C yaşlandırma sonrası %uzama ve akma mukavemeti grafikleri ele alındığında malzemenin gevrek yapıda olmasından dolayı ve 5 katlı PA boruyu oluşturan malzemelerin özelliklerini kaybetmesi ile birlikte çok düşük %uzama değerleri elde edildiği ve %uzama ile ters orantılı olarak artış gösteren akma mukavemetinde ise en yüksek değerler elde edildiği gözlemlenmiştir.

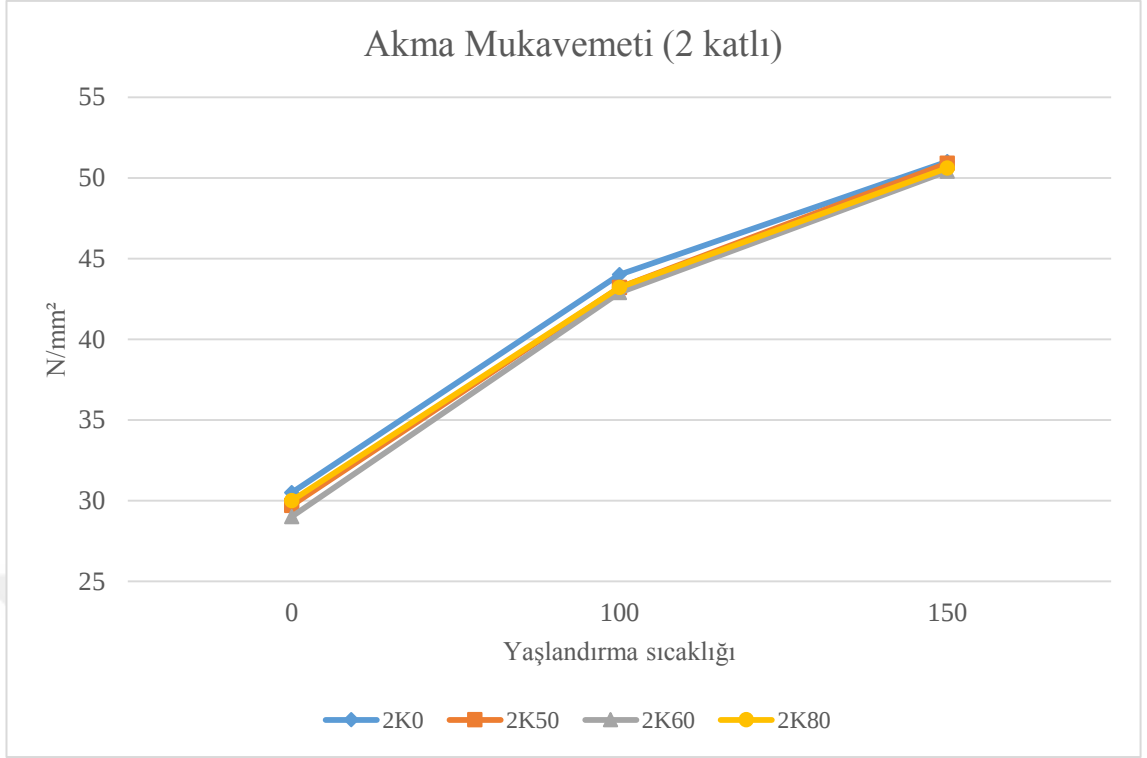


Şekil 5.7. 2 katlı PA borunun %uzama değerinin yaşlandırma sıcaklığına göre değişimi

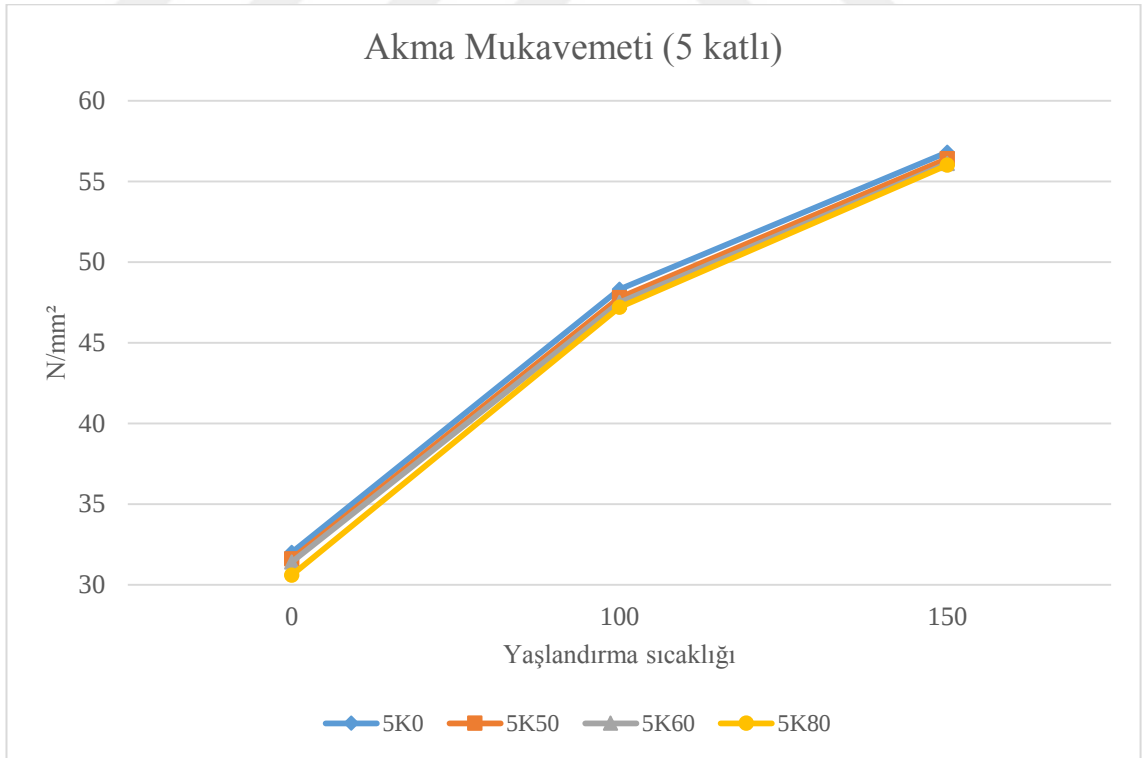


Şekil 5.8. 5 katlı PA borunun %uzama değerinin yaşlandırma sıcaklığına göre değişimi

2 katlı ve 5 katlı PA boruların %uzama üzerine yaşlandırma sıcaklığının etkisi incelendiğinde, yaşlandırma sıcaklığının artmasıyla birlikte %uzama değerinde hem 2 katlı hem de 5 katlı PA borularda azalma olduğu gözlemlenmiştir. 100°C yaşlandırma sıcaklığındaki %uzama değerleri ele alındığında 2 katlı ve 5 katlı PA boru numunelerinin tamamında yaşlandırma uygulanmamış olan numunelere göre yüksek oranda düşüş olduğu gözlemlenmiştir. 150°C yaşlandırma sıcaklığı sonrasında ise %uzama değerleri incelendiğinde malzemelerin özelliklerini kaybetmeye başlamasından dolayı %uzama değerlerinin hem 2 katlı hem de 5 katlı PA boru numunelerinde çok düşük değerlere sahip olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 5.9. 2 katlı PA borunun akma mukavemetinin yaşlandırma sıcaklığına göre değişimi

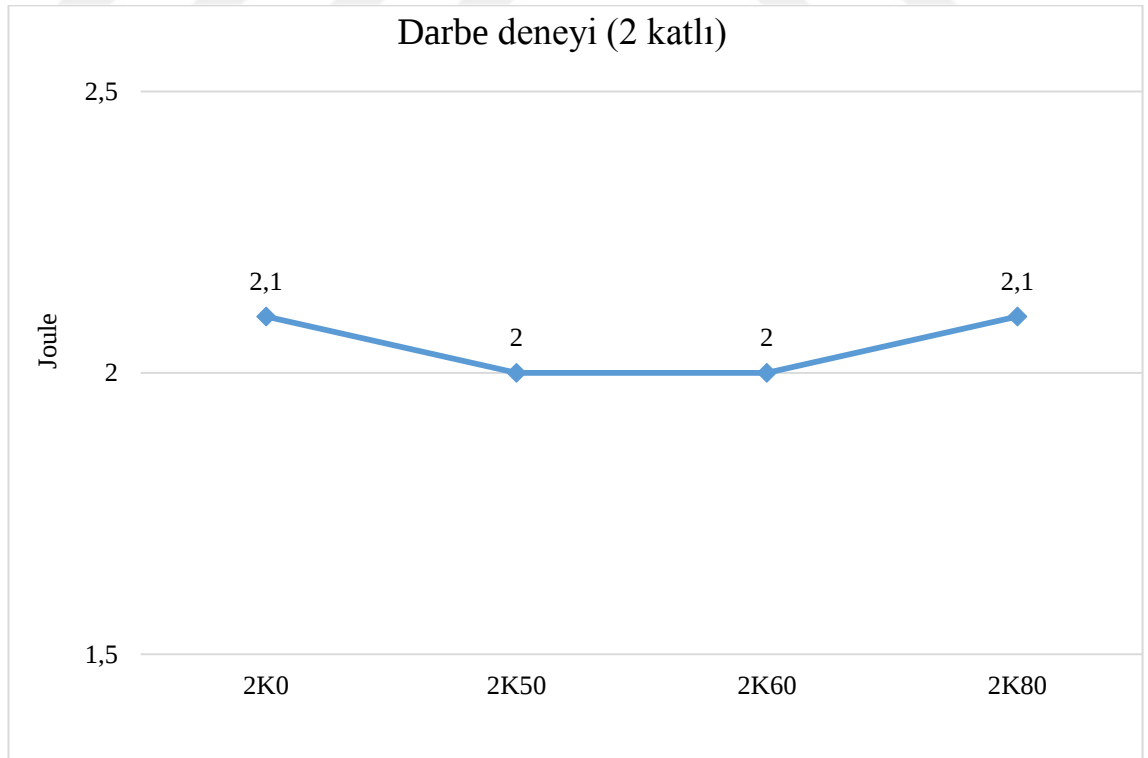


Şekil 5.10. 5 katlı PA borunun akma mukavemetinin yaşlandırma sıcaklığına göre değişimi

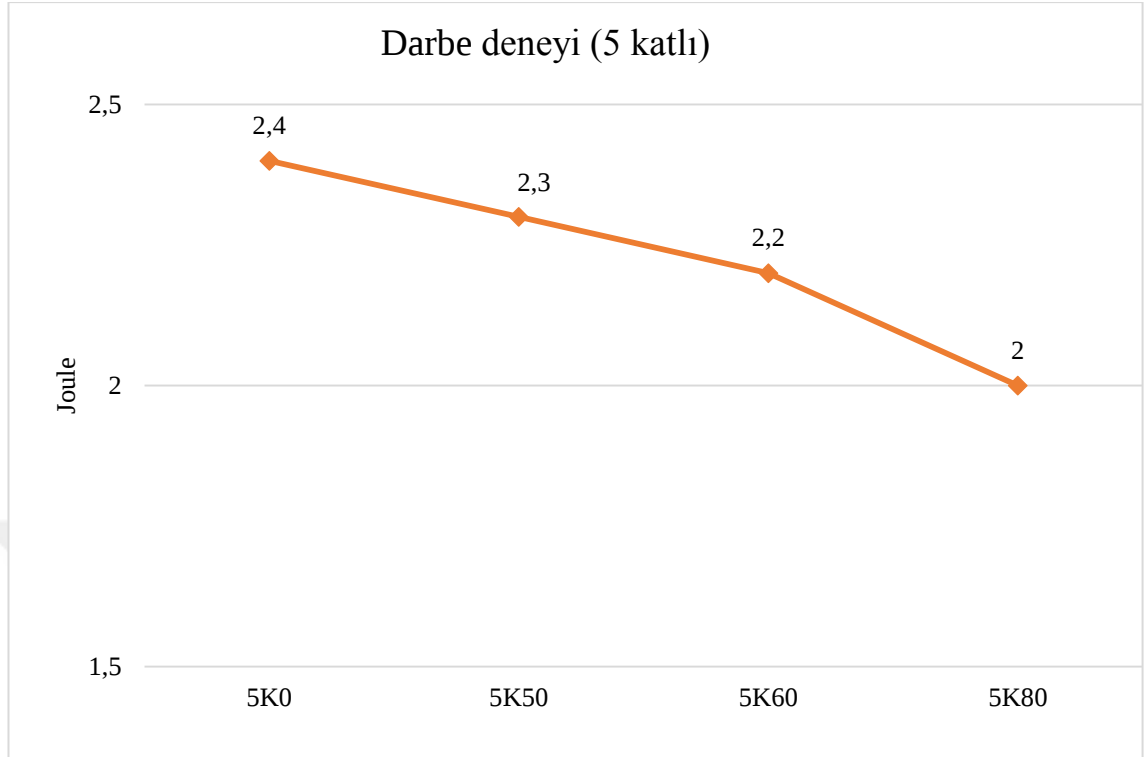
2 katlı ve 5 katlı PA boruya ait akma mukavemetinin yaşlandırma sıcaklığına bağlı olarak değişimi incelendiğinde Şekil 5.9. ve Şekil 5.10.'da görüldüğü gibi yaşlandırma sıcaklığının artmasıyla birlikte 2 katlı ve 5 katlı PA borularda akma mukavemetinin de arttığı gözlemlenmiştir. Malzemelerin sıcaklık artışıyla birlikte gevrek davranış göstermeye başlamasından dolayı, yaşlandırma sıcaklığının artmasıyla birlikte akma mukavemeti değerlerinde 2 katına yakın oranlarda artış olduğu gözlemlenmiştir. Literatürde de sıcaklık artışı ile polimerlerde gevrekleşme yaşandığı gözlemlenmiştir [41].

5.2. Darbe Deneyi Sonuçları

2 katlı ve 5 katlı PA borulara oda sıcaklığında darbe deneyi yapılmıştır. Darbe deneyi sonuçları yaşlandırma öncesi ve sonrası olarak 2 katlı ve 5 katlı PA borularda ele alınmıştır. Darbe deneyine tabi tutulan bütün numunelere ait sonuçlar aşağıdaki grafiklerde gösterilmiştir. Şekil 5.11. ve Şekil 5.12.'de alev sıcaklığı uygulanmamış olan 2 katlı ve 5 katlı PA borulara ait darbe deneyi sonuçları gösterilmiştir.

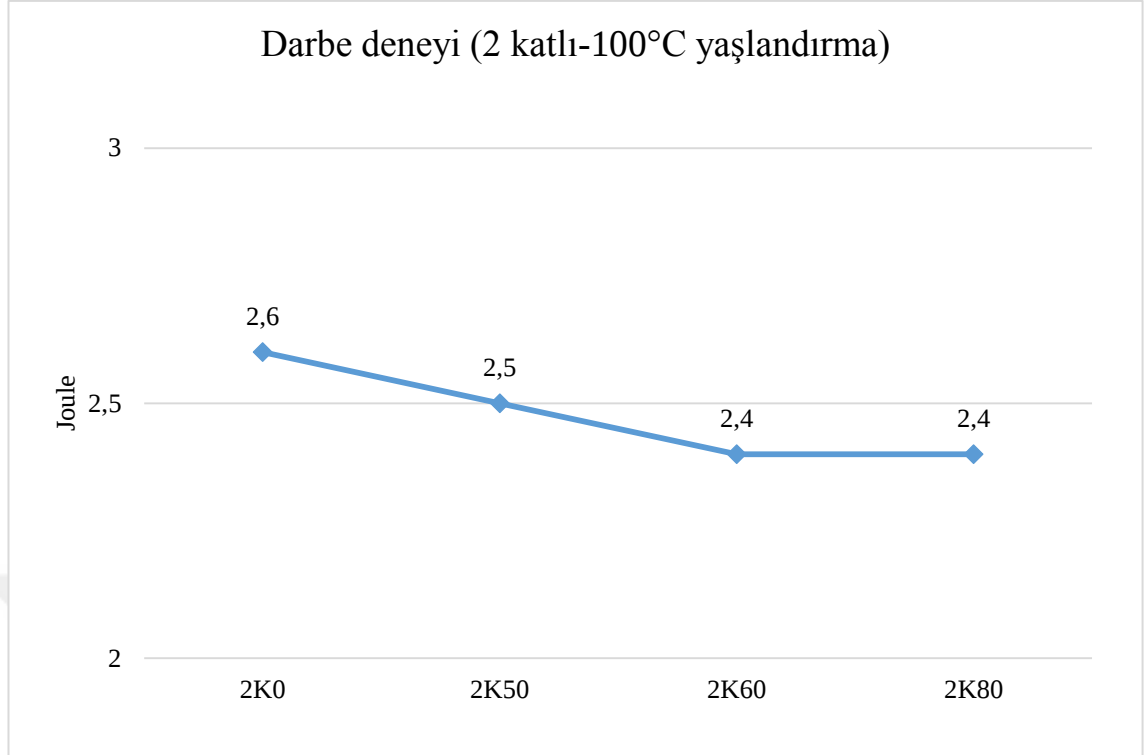


Şekil 5.11. 2 katlı PA boru numunesinin darbe deneyi sonuçları

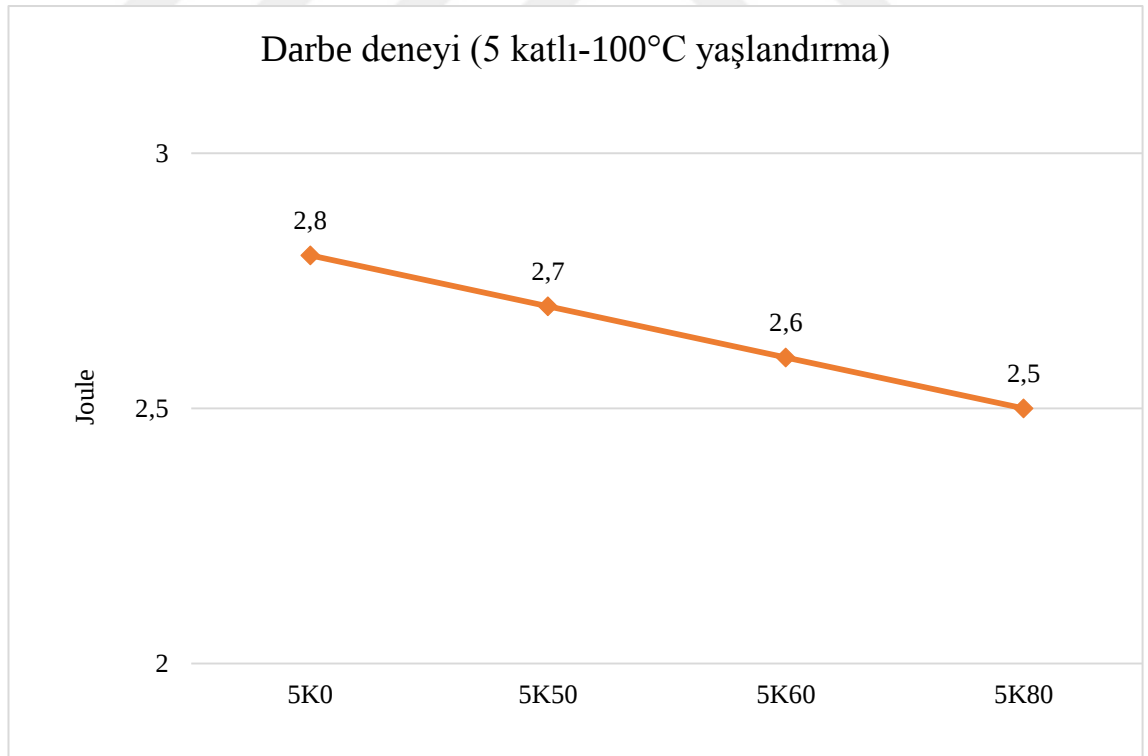


Şekil 5.12. 5 katlı PA boru numunesinin darbe deneyi sonuçları

2 katlı ve 5 katlı PA boruların darbe deneylerinin sonuçları incelendiğinde alev ünitesi etkisiyle küçük değişimler olduğu gözlemlenmiştir. 2 katlı PA borunun 0°C ve 80°C alev sıcaklığı uygulanan malzemeler ile 50°C ve 60°C alev sıcaklığı uygulanan numunelerin aynı darbe direncine sahip olduğu görülmüştür. 5 katlı PA borunun ise alev ünitesi sıcaklığının artması ile darbe direncinin azaldığı gözlenmiştir. 100°C yaşlandırma sıcaklığı uygulanan 2 katlı ve 5 katlı PA boruların darbe deneyi sonuçları Şekil 5.13. ve Şekil 5.14.’de gösterilmiştir.

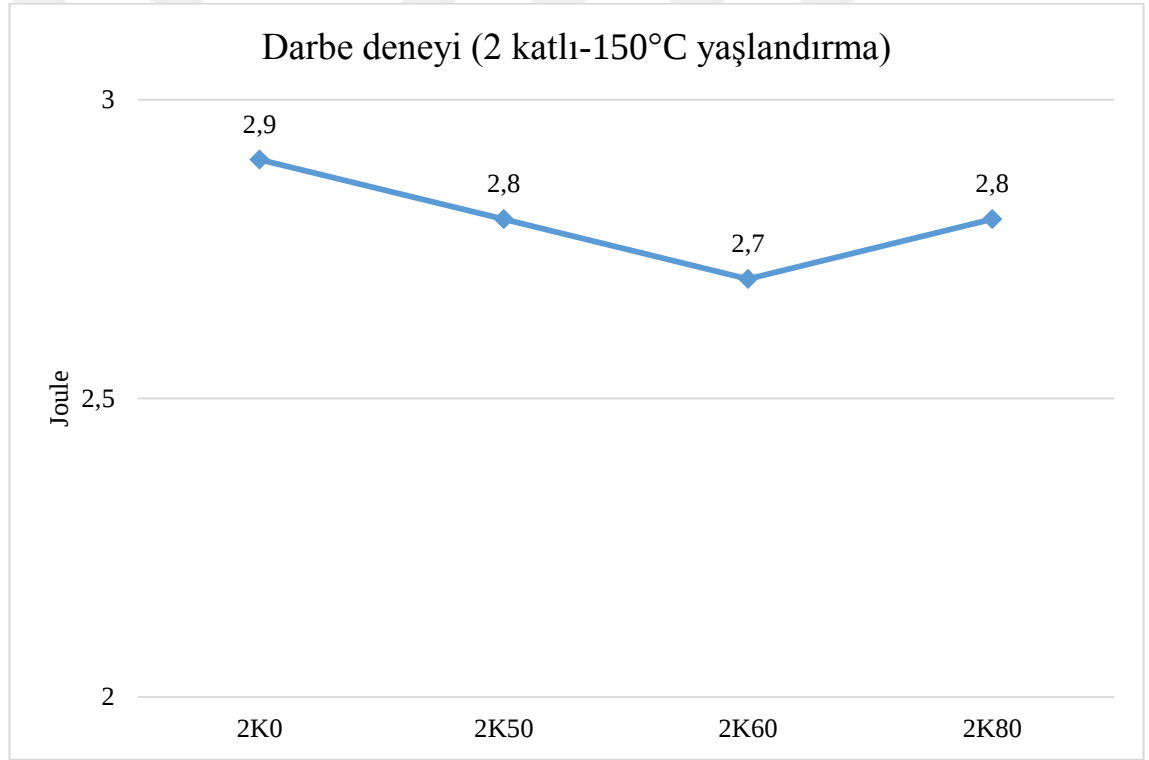


Şekil 5.13. 2 katlı PA boru 100°C 280 saat yaşlandırma sonrasındaki numunelerin darbe deneyi sonuçları

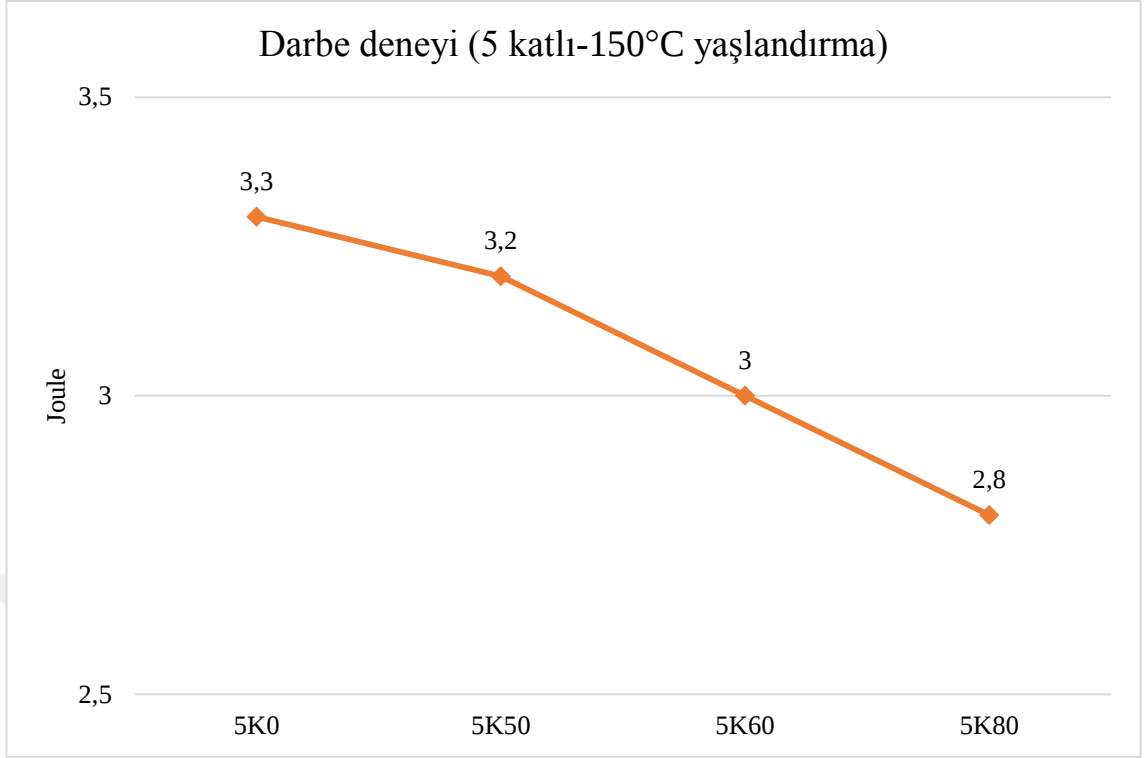


Şekil 5.14. 5 katlı PA boru 100°C 280 saat yaşlandırma sonrasındaki numunelerin darbe deneyi sonuçları

2 katlı ve 5 katlı PA boruların 100°C yaşlandırma sonrası darbe testi sonuçlarının yaşlandırma yapılmamış numunelere göre daha fazla değere sahip olduğu gözlenmiştir. 2 katlı PA borunun darbe direnci 60°C alev sıcaklığı uygulanan numuneye kadar azalarak devam ederken, 80°C alev sıcaklığı uygulanan numunenin darbe direnci sonuçları da 60°C alev sıcaklığı uygulanan numuneler ile aynı sonuca sahiptir. 5 katlı PA boru incelendiğinde ise darbe direncinin alev sıcaklığı arttıkça azaldığı görülmektedir. Fakat yaşlandırma uygulanmamış numunelere göre daha yüksek darbe direnci değerleri elde edildiği görülmektedir. 150°C yaşlandırma sıcaklığı uygulanan 2 katlı ve 5 katlı PA boruların darbe deneyi sonuçları Şekil 5.15. ve Şekil 5.16.'da gösterilmiştir.



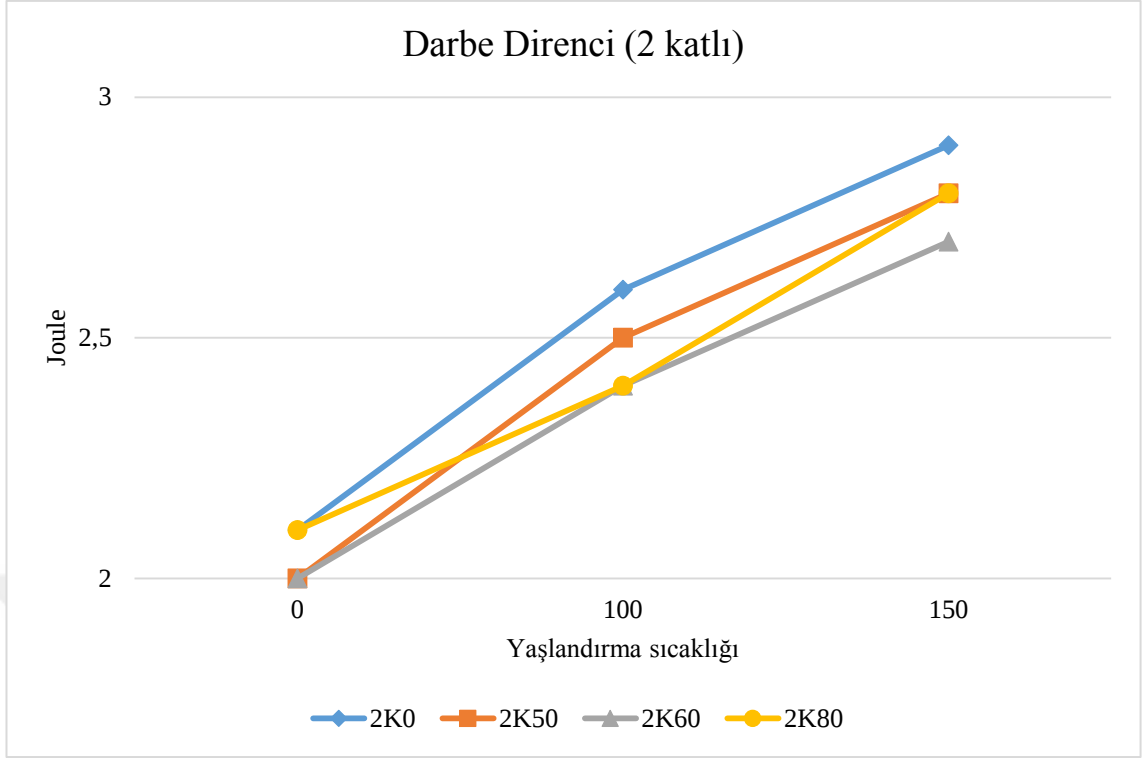
Şekil 5.15. 2 katlı PA boru 150°C 280 saat yaşlandırma sonrasındaki numunelerin darbe deneyi sonuçları



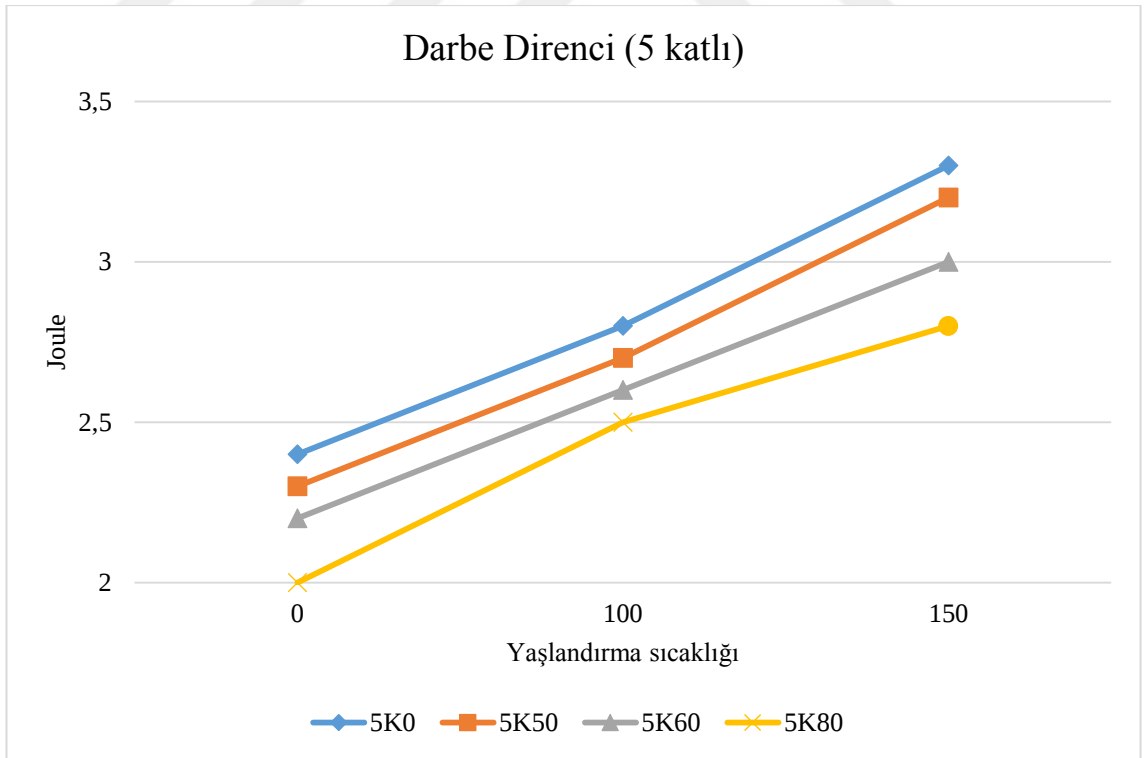
Şekil 5.16. 5 katlı PA boru 150°C 280 saat yaşlandırma sonrasındaki numunelerin darbe deneyi sonuçları

2 katlı ve 5 katlı PA boruların 150°C yaşlandırma sonrası darbe deneyi sonuçlarının en yüksek değere sahip olduğu gözlemlenmiştir. 2 katlı PA borunun darbe direnci 60°C alev sıcaklığı uygulanan numuneye kadar azalarak devam ederken, 60°C alev sıcaklığı uygulanan numuneden sonra darbe direncinde artış olduğu gözlemlenmiştir. 5 katlı PA boru incelendiğinde ise yaşlandırma yapılmamış ve 100°C yaşlandırma yapılmış numunelerde olduğu gibi alev sıcaklığının artması ile darbe direncinde azalma olduğu görülmüştür.

2 katlı ve 5 katlı PA borunun yaşlandırma sıcaklığının etkisini gözlemlemek amacıyla numunelere ait 2 ayrı grafik oluşturulmuştur. Yaşlandırma sıcaklığının 2 katlı ve 5 katlı PA borulardaki darbe direncindeki değişimi Şekil 5.17. ve Şekil 5.18.'de gösterilmiştir.



Şekil 5.17. 2 katlı PA boruya ait darbe direncinin yaşlandırma sıcaklığına göre değişimi



Şekil 5.18. 5 katlı PA boruya ait darbe direncinin yaşlandırma sıcaklığına göre değişimi

2 katlı ve 5 katlı PA boruların darbe direnci değerlerinin yaşlandırma sıcaklığının artması ile birlikte arttığı gözlemlenmiştir. 2 katlı ve 5 katlı PA borularda yaşanan bu artışın en önemli sebebi yaşlandırma ile birlikte malzemelerin daha gevrek hale gelmesinden dolayı darbe direncinde artış gözlemlenmiştir.

5.3. Soğuk Hava Top Düşme Testi Sonuçları

2 katlı ve 5 katlı PA boruların alev uygulaması yapılmış ve yapılmamış olan bütün numuneleri soğuk havaya tabi tutulduktan sonra test düzeneğinde top düşme testi gerçekleştirilmiştir. Bu test sonrası numunelerin tamamı kontrol edilmiştir. Soğuk hava top düşme test sonuçları Tablo 5.4.'de gösterilmiştir.

Tablo 5.4. Soğuk hava top düşme test sonuçları

Numuneler	Top Düşme Test Sonucu
2K0	Deformasyon Yoktur
2K50	Deformasyon Yoktur
2K60	Deformasyon Yoktur
2K80	Deformasyon Yoktur
5K0	Deformasyon Yoktur
5K50	Deformasyon Yoktur
5K60	Deformasyon Yoktur
5K80	Deformasyon Yoktur

Tablodan da görülebileceği gibi soğuk havaya tabi tutulan numunelerin tamamının top düşme testi sonucu sonrası herhangi bir deformasyona uğramadığı görülmüştür.

Numunelerde herhangi bir çatlama ve kırılma gerçekleşmeyerek standartta istenildiği gibi uygun sonuçlar elde edilmiştir.

5.4. Malzeme Çözünmesine Karşı Direnç Testi Sonuçları

2 katlı ve 5 katlı PA borular malzeme çözünmesine karşı direnç testine tabi tutulmuştur. 2 katlı ve 5 katlı PA borulardan alev uygulanmamış ve alev uygulanmış numunelerden 2 metrelik test numuneleri hazırlanmıştır. Hazırlanan numuneler test gerekliliklerine uygun şekilde teste tabi tutulmuştur. Yapılan testler sonucunda filtre üzerinde kalan çözünmeyen bileşenlerin miktarları Tablo 5.5.'de gösterilmiştir.

Tablo 5.5. Test edilen numunelerin çözünmeyen bileşen miktar sonuçları

Numuneler	Çözünmeyen Bileşen Miktarı ($<0,5 \text{ g/m}^2$)
2K0	0,156
2K50	0,199
2K60	0,163
2K80	0,175
5K0	0,237
5K50	0,245
5K60	0,232
5K80	0,197

Filtrede yaşanan ağırlık değişimine göre çözünmeyen bileşen miktarları incelendiğinde numunelerde $0,5 \text{ g/m}^2$ miktarının üstünde bir değer ile

karşılaşmamıştır. Testin devamı niteliğinde cam şişenin boş ağırlığı ve test sıvısının buharlaştırılması sonrası ortaya çıkan çözünen bileşen miktarları incelenmiştir. Yapılan çalışma sonucunda 2 katlı ve 5 katlı PA boru numunelerine ait çözünen bileşen miktarları Tablo 5.6.'da gösterilmiştir.

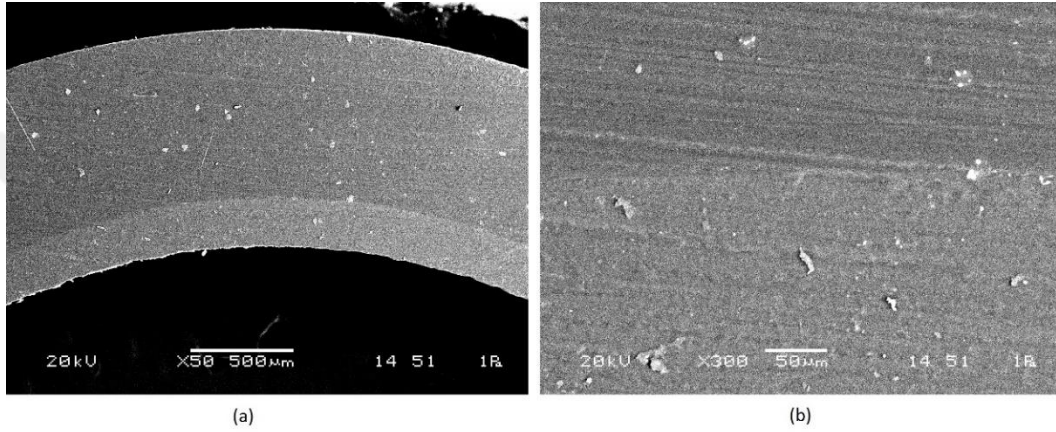
Tablo 5.6. Test edilen numunelerin çözünen bileşen miktar sonuçları

Numuneler	Çözünen Bileşen Miktarı ($<6 \text{ g/m}^2$)
2K0	5,34
2K50	5,37
2K60	5,61
2K80	5,02
5K0	5,54
5K50	5,05
5K60	5,44
5K80	5,39

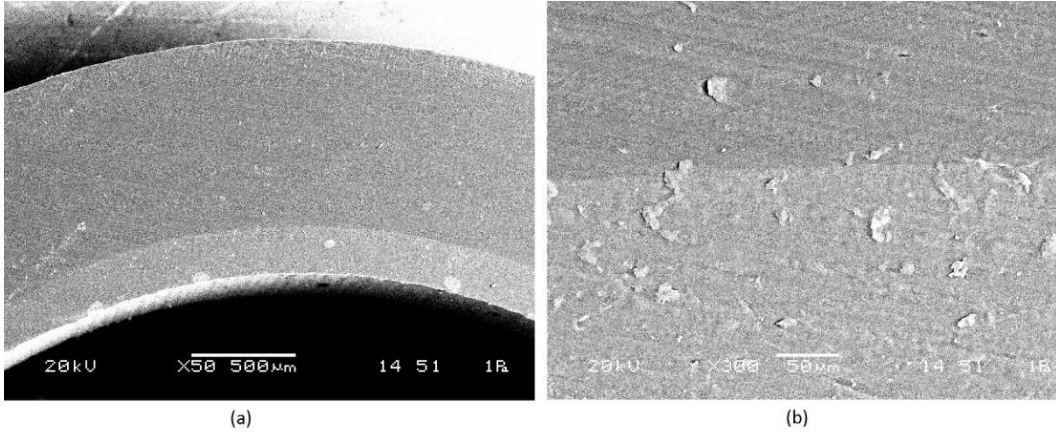
Test edilen 2 katlı ve 5 katlı PA borulara ait çözünen bileşen miktarları incelendiğinde elde edilen sonuçların tamamının 6 g/m^2 değerinin altında kaldığı görülmüştür. Literatürdeki çalışmalarda da polimerlerin yakıt altındaki davranışları ve bariyer katının polimer malzemelerde yakıtlara karşı direnç sağlayarak yakıt geçirgenliğine engel olduğu gözlemlenmiştir [42,43,44,45,46].

5.5. SEM Mikroyapı Görüntüleri

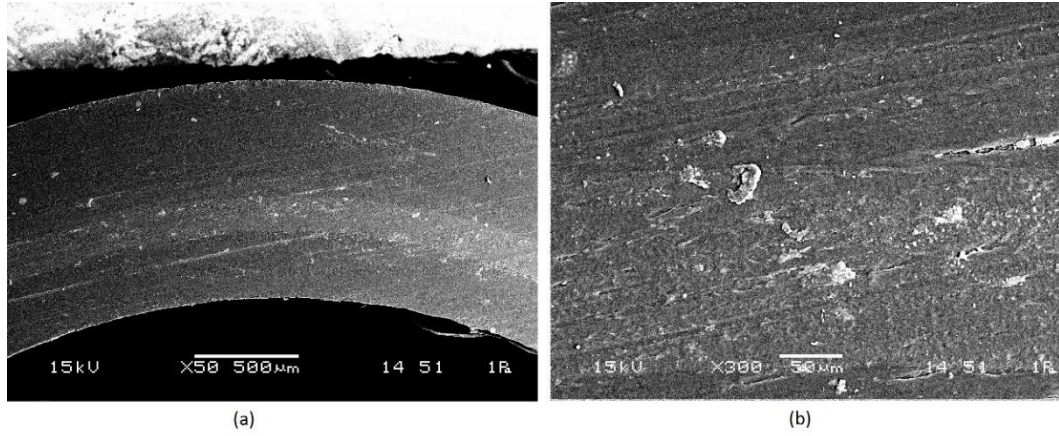
Jeol JSM – 6060LV marka cihaz ile PA boruların elektron mikroskobu altında mikroyapıları incelenmiştir. Alev uygulanmamış 2 katlı PA boru ve 60°C alev sıcaklığı uygulanmış numunelerle birlikte 5 katlı PA borularda alev uygulanmamış ve 60°C alev sıcaklığı uygulanmış olan numunelerin Şekil 5.19., Şekil 5.20., Şekil 5.21. ve Şekil 5.22.'de SEM mikroyapı görüntüleri verilmiştir.



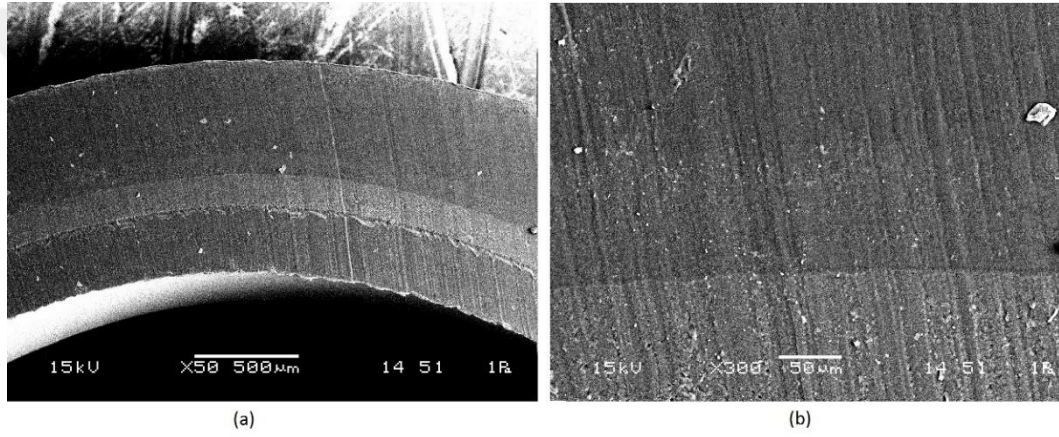
Şekil 5.19. 2 katlı alev sıcaklığı uygulanmamış PA boruya ait SEM görüntüleri (a) 50x, (b) 300x



Şekil 5.20. 2 katlı 60°C alev sıcaklığı uygulanmış PA boruya ait SEM görüntüleri (a) 50x, (b) 300x



Şekil 5.21. 5 katlı alev sıcaklığı uygulanmamış PA boruya ait SEM görüntüleri (a) 50x, (b) 300x



Şekil 5.22. 5 katlı 60°C alev sıcaklığı uygulanmış PA boruya ait SEM görüntüleri (a) 50x, (b) 300x

SEM görüntüleri incelendiğinde 2 katlı ve 5 katlı PA borulara malzemelerin et kalınlığı dağılımındaki katmanları görülmüştür. PA boruları oluşturan katların istenilen şartlarda olduğu gözlemlenmiştir. 2 katlı ve 5 katlı PA borulara ait katlar arası geçişler görülmüştür.

BÖLÜM 6. GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER

6.1. Genel Sonuçlar

Yapılan çalışmalar sonrası 2 katlı ve 5 katlı PA borulara uygulanan alev sıcaklığının malzemenin uzama değerlerine olumlu etki yarattığı gözlemlenmiştir. Fakat uzama değerleri incelendiğinde 2 katlı PA boruda alev ünitesi uygulanmamış ve 50°C alev ünitesi uygulanmış numunelerin şartname gerekliliği olan 200 değerinin altında kaldığı ve diğer 2 katlı ve 5 katlı numunelerin tamamının ise 200 değerinin üzerinde %uzamaya sahip olduğu görülmüştür. 2 katlı PA borularda en iyi %uzama değerine 60°C alev ünitesi sıcaklığı uygulanmış numunede elde edilirken, 5 katlı PA borularda en iyi %uzama değerine ise 80°C alev ünitesi sıcaklığı uygulanmış numunede elde edilmiştir.

100°C ve 150°C sıcaklıklarında yapılan yaşlandırma sonrası 2 katlı ve 5 katlı PA borularda %uzama değerlerinde azalmalar olduğu görülmüştür. Yaşlandırma sonrası malzemelerin daha gevrek yapıya sahip olmasından dolayı %uzama değerlerinde azalma olduğu öngörülmektedir. Yaşlandırma sonrası %uzama değerlerinde yaşanan azalmalarla birlikte akma mukavemeti ve darbe direncinde artış gözlemlenmiştir. 2 katlı ve 5 katlı PA boruların yaşlandırma yapılmamış ve yaşlandırma yapılmış olan numunelerinin tamamına yapılan darbe deneyleri sonucunda numunelerde herhangi bir deformasyon veya kırılma gözlemlenmemiştir.

PA boruların soğuk hava yaşlandırma altındaki durumları incelenmek amacıyla -40°C altında soğutulan 2 katlı ve 5 katlı PA boruların top düşme testinde de herhangi bir deformasyona uğramadığı görülmüştür. Alev ünitesi uygulamasının soğuk hava altında 2 katlı ve 5 katlı PA borularda herhangi bir dezavantaj oluşturmadığı gözlemlenmiştir.

2 katlı ve 5 katlı PA boruların çözünen ve çözünmeyen bileşen miktarları incelendiğinde, yapılan test sonucunda ortaya çıkan değerlerin standartta istenilen değerlerden daha düşük olduğu görülmüştür. Çözünen bileşen miktarları ve çözünmeyen bileşen miktarları ele alındığında ise 2 katlı ve 5 katlı PA boruların yakıt dayanımı konusunda uygun seviyede olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca alev uygulamasının 2 katlı ve 5 katlı PA boruların malzeme çözünmesi ve çözünmeyen bileşen miktarına bir dezavantaj yaratmadığı da gözlemlenmiştir.

6.2. Öneriler

2 katlı ve 5 katlı PA borulara farklı alev ünitesi sıcaklıkları uygulanarak, uygulanan bu alev sıcaklıklarındaki malzeme davranışı incelenebilir.

2 katlı ve 5 katlı PA boru üretiminde kullanılan malzemeler değiştirilerek yeni PA borularla deneme yapılabilir.

2 katlı ve 5 katlı PA borularda kullanılan malzemelerin özellikleri değiştirilmeden et kalınlığı dağılımları değiştirilerek aynı testlere tabi tutularak, et kalınlık değişiminin etkisi gözlemlenebilir.

2 katlı ve 5 katlı PA boruların et kalınlık ölçüsü sabit tutularak, sadece boru dış çapı değiştirilerek dış çaptaki değişimin etkisi gözlemlenebilir.

2 katlı ve 5 katlı PA borulara uygulanan soğuk hava ve sıcak hava yaşlandırma sıcaklıkları değiştirilerek farklı sıcaklardaki davranışları incelenebilir.

KAYNAKLAR

- [1] Kumar A., Gupta R. K., Fundamentals of Polymer Engineering, 2. Edition, USA, 1-4, 2003.
- [2] http://besergil.cbu.edu.tr/4_polimerler.pdf, Erişim Tarihi: 14.11.2018.
- [3] <http://web.utk.edu/~prack/mse201/Chapter%2015%20Polymers.pdf>, Erişim Tarihi: 14.11.2018.
- [4] Krevelen D.W., Nijenhuis K., Properties of Polymers, 4. Edition, Slovenia, 16-17-820, 2009.
- [5] <http://ncert.nic.in/ncerts/l/lech206.pdf>, Erişim Tarihi: 17.11.2018.
- [6] Tsipas S., Serrano B., Polymeric Materials Lecture Notes, Charles III University of Madrid, Dep. Of Materials Science and Engineering, Madrid, 12-13, 2010.
- [7] Güneş ř., Polimer İnce Filmlerin Manyetik zelliklerinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa, 4-8, 2014.
- [8] <https://nptel.ac.in/courses/103103029/pdf/mod7.pdf>, Erişim Tarihi: 17.11.2018.
- [9] <https://www.ch.ntu.edu.tw/~sfcheng/HTML/material94/Polymer-1.pdf>, Erişim Tarihi: 17.11.2018.
- [10] <https://polymerdatabase.com/Elastomers/Elastomers.html>, Erişim Tarihi: 17.11.2018.
- [11] https://www.tut.fi/ms/muo/vert/6_elastomeric_materials/index.htm, Erişim Tarihi: 06.01.2019.
- [12] http://shodhganga.inflibnet.ac.in/bitstream/10603/10198/2/a_patel_chapter-1.pdf, Erişim Tarihi: 17.11.2018.

- [13] Kalias S. V., Applications and Processing of Polymers, Indian Institute of Science, Dept. of Mechanical Engineering, Bangalore, 1-2, 2012.
- [14] <https://www.tech-worm.com/termoplastik-nedir/>, Erişim Tarihi: 23.12.2018.
- [15] Mihalick J. E., Structure of Polymers Lecture Notes, University of Wisconsin Oshkosh, Dept. Of Chemistry, Oshkosh WI, USA, 10-11, 2011.
- [16] Liang R., Introduction to Polymers, Fiber Reinforced Polymer Composite Workshop, Mumbai, 9-11, 2008.
- [17] <https://nptel.ac.in/courses/112107085/module4/lecture1/lecture1.pdf>, Erişim Tarihi: 17.11.2018.
- [18] <https://www.dunyaatlası.com/gunluk-hayatimizda-yaygin-olarak-kullanilan-polimerler/>, Erişim Tarihi: 17.11.2018.
- [19] <https://www.bilgiustam.com/plastik-nedir-plastikler-hakkında-hersey/>, Erişim Tarihi: 17.11.2018.
- [20] <https://acikders.ankara.edu.tr/mod/resource/view.php?id=10632>, Erişim Tarihi: 17.11.2018
- [21] <http://chemed.chem.purdue.edu/genchem/topicreview/bp/1polymer/types.htm> l#top, Erişim Tarihi: 17.11.2018
- [22] <http://www.kimyam.net/2012/09/gundelik-hayatmzdaki-polimerler.html>, Erişim Tarihi: 17.11.2018
- [23] <http://www.yardimcikaynaklar.com/endustride-kullanilan-polimerlerin-elde-edilmesi-ve-kullanim-alanlari/>, Erişim Tarihi: 17.11.2018
- [24] <https://malzemebilimi.net/otomotiv-sektorunde-kullanilan-malzemeler.html>, Erişim Tarihi: 17.11.2018
- [25] PAGEV, Türkiye Otomotiv Plastikleri Sektör Raporu, İstanbul, 12-22, 2016
- [26] <https://teknolojirojeleri.com/mekanik/polimer>, Erişim Tarihi: 17.11.2018.
- [27] MEGEP, Polimer Teknolojisi, Polimerlerin Fiziksel Özellikleri 2, T.C. Milli Eğitim Bakanlığı, Ankara, 37-38, 2006.
- [28] <https://www.smithersrapra.com/SmithersRapra/media/Sample-Chapters/Physical-Testing-of-Plastics.pdf>, Erişim Tarihi: 17.11.2018.

- [29] Şahin Y., Kompozit Malzemelere Giriş, 2.Baskı, Ankara, 27-28, 2006.
- [30] Lubin G., Handbook of Composites, Van Nostrand Reinhold Co., New York, 786, 1982.
- [31] Srikari S., Composites and Applications, M.S. Ramaiah University of Applied Sciences, Bangalore, 8, 2013.
- [32] Soydal Ü., İletken Polimer Kompozitlerin Hazırlanması ve Karakterizasyonu, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 18-19, 2014.
- [33] Açıkbaz G., Seramik Sağlık Gereçlerine Alternatif Polimer Matrisli Kompozit Malzemelerin Geliştirilmesi ve Karakterizasyonu, Doktoraz Tezi, Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya, 17, 2016.
- [34] Harris B., Engineering Composite Materials, London, 14, 1999.
- [35] Özsoy N., Polimer Esaslı Fiber Takviyeli Kompozit Malzemelerin Tribolojik ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 24, 2015.
- [36] Gülmez S., Otomotiv Endüstrisinde Kullanılan Polimer Matrisli Kompozit Malzemeler, Yüksek Lisans Projesi, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli, 55-59, 2018.
- [37] <http://www.3dml.net/tag/polymers/>, Erişim Tarihi: 06.01.2019
- [38] Wei X., Akhlaghi S., Kallio K., Bruder S., Bellander M., Gedde U., Hedenqvist M., Long-term Performance of Polyamide-Based Multilayer (bio) Diesel Fuel Lines Aged Under “In-Vehicle” Conditions, Journal of Elsevier, No: 144, 100-109, 2017.
- [39] Wei X., Kallio K., Bruder S., Bellander M., Gedde U., Hedenqvist M., Long-term Performance of Polyamide-12-Based Fuel Line with a Thin Poly(ethylene-co-tetrafluoroethylene) (ETFE) Inner Layer Exposed to Bio- and Petroleum Diesel, Journal of Elsevier, No: 156, 170-179, 2018.
- [40] http://malzememuh.cbu.edu.tr/db_images/site_117/file/darbe.pdf, Erişim Tarihi: 17.11.2018.
- [41] Diogo O., Richaud E., Verdu J., Fernagut F., Guilment J., Fayolle B., Investigation of Polyamide 11 Embrittlement During Oxidative Degradation, No: 82, 49-56, 2015.
- [42] Nascimento R., Catelli de Souza A., Mechanical Properties of Polyamide 12 After Exposed to Biodiesel, 2016.

- [43] Kallio K., Hedenqvist M., Ageing Properties of Polyamide-12 Pipes Exposed to Fuels With and Without Ethanol, *Journal of Elsevier*, No: 93, 1846-1854, 2008.
- [44] Lagaron J., Powell A., Bonner G., Permeation of Water, Methanol, Fuel and Alcohol-Containing Fuels in High-Barrier Ethylene-Vinyl Alcohol Copolymer, *Journal of Elsevier*, No: 20, 569-577, 2000.
- [45] Kallio K., Hedenqvist M., Effects of Ethanol Content and Temperature on The Permeation of Fuel Through Polyamide-12-Based Pipes, *Journal of Elsevier*, No: 29, 603-608, 2010.
- [46] Nulman M., Olejnik A., Samus M., Fead E., Rossi G., Fuel Permeation Performance of Polymeric Materials by Gas Chromatography and Sorption Techniques, *SAE*, No: 107, 470-477, 1998.

ÖZGEÇMİŞ

Umut Kurnaz, 28.05.1988’de Eskişehir’de doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Bilecik iline bağlı Bozüyük ilçesinde tamamladı. 2006 yılında başladığı Karadeniz Teknik Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü’nü 2010 yılında bitirdi. 2012 yılında başladığı Sakarya Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü’nde yüksek lisans eğitimine devam etmekte olup, 2013 yılından bu yana otomotiv sektöründe Proje Mühendisi olarak görev almaktadır.