

T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**PLASTİK MALZEMELERİN YAPIŞTIRILMASINDA YÜZEY
İŞLEMLERİ VE YAŞLANDIRMA ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

DOKTORA TEZİ

SİDEM KANER

DENİZLİ, TEMMUZ - 2017

T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI



**PLASTİK MALZEMELERİN YAPIŞTIRILMASINDA YÜZEY
İŞLEMLERİ VE YAŞLANDIRMA ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

DOKTORA TEZİ

SİDEM KANER

DENİZLİ, TEMMUZ - 2017

KABUL VE ONAY SAYFASI

Sidem Kaner tarafından hazırlanan “**PLASTİK MALZEMELERİN YAPIŞTIRILMASINDA YÜZEY İŞLEMLERİ VE YAŞLANDIRMA ETKİSİNİN İNCELENMESİ**” adlı tez çalışmasının savunma sınavı 04.07.2017 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalı Doktora Tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

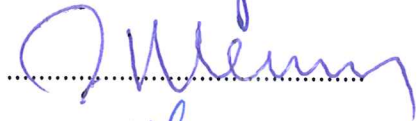
Danışman

Prof. Dr. Tezcan ŞEKERCİOĞLU



Üye

Prof. Dr. Cemal MERAN



Üye

Yrd. Doç. Dr. Metin SAYER



Üye

Prof. Dr. İsmail BÖGREKÇİ



Üye

Doç. Dr. Pınar DEMİRCİOĞLU



Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
19/07/2017 tarih ve 28/17 sayılı kararıyla onaylanmıştır.



Prof. Dr. Uğur YÜCEL

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Bu tez çalışması Pamukkale Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi (PAUBAP) tarafından 2014FBE008 nolu proje ile desteklenmiştir.

Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atfedildiğine beyan ederim.



Sidem KANER

ÖZET

PLASTİK MALZEMELERİN YAPIŞTIRILMASINDA YÜZEY İŞLEMLERİ VE YAŞLANDIRMA ETKİSİNİN İNCELENMESİ

DOKTORA TEZİ

ŞİDEM KANER

PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

(TEZ DANIŞMANI: PROF. DR. TEZCAN ŞEKERCİOĞLU)

DENİZLİ, TEMMUZ - 2017

Plastik malzemeler günümüzde yoğun kullanım alanı bulmaktadır. Özellikle imalat alanlarında, ağır, işleme zor, metal esaslı malzemelerin yerine gerekli mekanik şartları sağlaması durumunda tercih edilme önceliği taşımaktadır. Plastiklerin sahip oldukları hafiflik, işleme kolaylığı, rahat bulunabilirliği, plastiğe olan ihtiyacı her geçen gün arttırmaktadır. Plastiğin kullanıldığı sektörlerde yapıştırma önemli bir sorundur. Plastiklerin sahip oldukları düşük yüzey enerjilerinden dolayı yapışmaya karşı gösterdikleri direnç, bağlantı alanlarında çözüm gerektiren bir konudur. Bu çalışmada, farklı plastik malzemeler üzerinde farklı yüzey işlem uygulamaları sonrasında yapıştırma yapılmıştır. Yüzey işlemi olarak zımparalama, korona ve plazma uygulamaları yapılmıştır. Yapıştırılan numuneler -20, 0 ve 20 °C sıcaklıklarda 30 gün boyunca şartlandırılmıştır. Ayrıca yüzey işlemi uygulanan numunelere yaşlandırma yapılmıştır. Yapıştırılan numuneler 50 °C sıcaklık ve % 95 nem oranı sabit kalacak şekilde 30, 60 ve 90 gün süre ile yaşlandırılmıştır. Numunelerde oluşan dayanım değişimlerinin tespiti için çekme deneyleri ve izod darbe deneyleri yapılmıştır. Yapıştırma bağlantılarının dayanımları, yüzey işlemlerine, sıcaklık ve çevre koşullarına göre değişim göstermiştir.

ANAHTAR KELİMELEER: Plastik, Yüzey İşlemleri, Yapıştırma, Yaşlandırma

ABSTRACT

**INVESTIGATION OF EFFECT ON SURFACE TREATMENTS AND AGEING FOR
BONDING OF PLASTIC MATERIALS**

PH.D THESIS

SİDEM KANER

PAMUKKALE UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE

MECHANICAL ENGINEERING

(SUPERVISOR: PROF. DR. TEZCAN ŞEKERCİOĞLU)

DENİZLİ, JULY 2017

Recently, plastic materials are used extensively in today. In particular manufacturing areas, heavy, hard-to-handle, preferential priority in the event that mechanical requirements are met in place of metal-based materials. Plastic's lightness, ease of handling, comfortability, plasticity are increasing every day. Bonding is an important problem in the sectors where plastic is used. The resistance that plastics show against adhesion due to the low surface energy which they have a matter of solution in the connection areas. In this study, different surface treatment applications were made on different plastic materials. Sanding, corona and plasma applications were applied as surface treatment. Bonded specimens were conditioned at -20, 0 and 20 °C for 30 days. In addition, the surface treated samples were aged. The glued samples were aged for 30, 60 and 90 days at a temperature of 50 °C and 95 % humidity. Tensile tests and izod impact tests were carried out to determine the changes in strength in the specimens. The strengths of the bonding connections varied with surface treatments, temperature and environmental conditions.

KEYWORDS: Plastic, Surface Treatment, Bonding, Aging

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİL LİSTESİ.....	v
TABLO LİSTESİ	vii
SEMBOL LİSTESİ	viii
ÖNSÖZ.....	ix
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Yapıştırmanın Önemi	1
1.2 Literatür Özeti	3
1.3 Çalışmanın Amacı	12
2. PLASTİK MALZEMELER VE YAPIŞTIRMA.....	14
2.1 Plastik Malzemelerin Tanımı	14
2.2 Plastik Malzemelerin Sınıflandırılması	14
2.2.1 Hammaddelerine Göre Plastikler.....	14
2.2.2 Üretim Yöntemlerine Göre Plastikler	15
2.2.2.1 Polimerizatlar	15
2.2.2.2 Poliadüktler	16
2.2.2.3 Polikondenzatlar.....	16
2.2.3 İç Yapılarına Göre Plastikler	16
2.2.3.1 Termoplastikler	18
2.2.3.2 Termosetler	20
2.2.3.3 Elastomerler	20
2.3 Plastik Malzemelerde Yapıştırma ve Önemi.....	21
2.3.1 Yapıştırma İşlemleri	21
2.3.2 Yapıştırmada Oluşan Hasar Çeşitleri.....	22
2.3.3 Yapıştırmanın Avantajları.....	23
2.4 Plastik Malzemelerde Yüzey Enerjisi ve Temas Açısı.....	25
2.5 Plastik Malzemelerin Mekanik Özellikleri.....	30
2.6 Plastik Malzemelerin Isıl Özellikleri.....	33
2.6.1 Camı Geçiş Sıcaklığı	33
2.6.2 Plastiklerde Yaşlanma.....	36
2.7 Plastiklerde Yapıştırma Uygulamaları	40
3. PLASTİK MALZEMELERDE YÜZEY İŞLEMLERİ.....	46
3.1 Plastik Malzemelerde Yüzey Hazırlama Yöntemleri.....	46
3.1.1 Mekanik Aşındırma	49
3.1.2 Kimyasal Dağlama.....	50
3.1.3 Alev ile Dağlama	51
3.1.4 Korona İşlemi	51
3.1.5 Plazma İşlemi.....	52
4. MATERYAL VE METOD.....	56
4.1 Deneysel Çalışmalar	56
4.1.1 Yapıştırılan Malzemelerin Özellikleri	56
4.1.2 Deneylerde Kullanılan Yapıştırıcının Özellikleri	57
4.1.3 Deney Numuneleri	58

4.1.4	Deney Numunelerinin Yüzey Hazırlık İşlemleri	61
4.1.4.1	Zımparalama İşlemi	65
4.1.4.2	Korona işlemi	66
4.1.4.3	Plazma İşlemi	68
4.1.5	Deney Numunelerinin Yapıştırılması	69
4.1.6	Yaşlandırma İşlemleri	75
4.1.7	Deney Cihazları	75
5.	ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	77
5.1	DeneySEL Bulgular	77
5.1.1	Yüzey İşlemi Uygulanmadan Yapılan Yapıştırma İşlemi ve Bulgular 77	
5.1.2	Ön Yüzey İşlemleri ve Yaşlandırma	78
5.1.3	Zımparalama İşlemi İçin Elde Edilen DeneySEL Sonuçlar	79
5.1.3.1	Zımparalama Sonrası Yapıştırılan Numunelerde Çekme Deney Sonuçları	80
5.1.3.2	Zımparalama Sonrası Yapıştırılan Numunelerde İzod Darbe Deney Sonuçları	82
5.1.4	Korona İşlemi İçin Elde Edilen DeneySEL Sonuçlar	83
5.1.4.1	Korona İşlemi Sonrası Yapıştırılan Numunelerde Çekme Deney Sonuçları	83
5.1.4.2	Korona İşlemi Sonrası Yapıştırılan Numunelerde İzod Darbe Deney Sonuçları	87
5.1.5	Plazma İşlemi İçin Elde Edilen DeneySEL Sonuçlar	88
5.1.5.1	Plazma İşlemi Sonrası Yapıştırılan Numunelerde Çekme Deney Sonuçları	88
5.1.5.2	Plazma İşlemi Sonrası Yapıştırılan Numunelerde İzod Darbe Deney Sonuçları	91
5.1.6	Yüzey İşlemi Uygulanan Numunelerin Karşılaştırılması	93
5.1.7	Hasar Yüzeylerinin İncelenmesi	96
6.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER	101
7.	KAYNAKLAR	108
	ASTM D1002, Standard Test Method for Apparent Shear Strength of Single- Lap-Joint Adhesively Bonded Metal Specimens by Tension Loading, (2010). 108	
	ASTM D2093-03, Standard Practice for Preparation of Surfaces of Plastics Prior to Adhesive Bonding, (2013)	108
8.	ÖZGEÇMİŞ	114

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1: Plastiklerin iç yapılarına göre gerilme-birim uzama değişimi.....	18
Şekil 2.2: Yapıştırma alanlarında oluşan hasar tipleri.	23
Şekil 2.3: Temas açısı ölçümü	27
Şekil 2.4: Plastik malzemelerde yüzey ve ara yüzey şematik gösterimi.....	28
Şekil 2.5: Polimerlerin özgül hacim-sıcaklık değişimi	34
Şekil 2.6: Yaşlanmış plastik yüzeyler	38
Şekil 2.7: PE ve PP malzemeleri için yaşlandırma etkisi ile zincirler arasındaki bağ değişimi	39
Şekil 2.8: Plazma teknolojisi ile yapıştırılan led far uygulamaları	43
Şekil 2.9: Robotik plazma uygulaması.....	43
Şekil 2.10: Sandviç panel üzerinde plazma uygulaması	44
Şekil 2.11: Miele firması tarafından plazma uygulaması yapılan beyaz eşya grubu.....	45
Şekil 3.1: Plastik malzeme yüzeyine uygulanabilen ön işlemler	47
Şekil 3.2: Korona cihazı ve sistemin çalışma mekanizması	52
Şekil 3.3: Plazma sisteminin çalışma mekanizması	54
Şekil 3.4: Plazma uygulanan yüzey işleminde radikal oluşumu	55
Şekil 4.1: Statik çekme deney numunesi	59
Şekil 4.2: Izod darbe deney numunesi	60
Şekil 4.3: Korona yüzey işlemi uygulaması için tek kafalı korona sistemi	67
Şekil 4.4: Plazma yüzey işlemi uygulaması yapılan tantec Vaculab sistemi ...	69
Şekil 4.5: Çekme deney numunelerinin yapıştırılması	70
Şekil 4.6: Yapıştırılmış çekme deney numuneleri	71
Şekil 4.7: Numunelerin yapıştırılma aşamaları	72
Şekil 4.8: Klimatik kabin içerisinde deney numunelerinin yaşlandırılması	75
Şekil 4.9: ALŞA servo hidrolik çekme/basma deney cihazı, Izod darbe deney cihazı	76
Şekil 4.10: Klimatik kabin	76
Şekil 5.1: Zımparalanmış numunelerin çekme deney sonuçları	81
Şekil 5.2: Zımparalanmış numunelerin izod darbe deney sonuçları	83
Şekil 5.3: 1. Düzey korona işlemi uygulanmış numunelerin çekme deney sonuçları	85
Şekil 5.4: 2. Düzey korona işlemi uygulanmış numunelerin çekme deney sonuçları	86
Şekil 5.5: 1. Düzey Korona işlemi uygulanmış numunelerin izod darbe deney sonuçları.....	88
Şekil 5.6: 1. Düzey plazma işlemi uygulanmış numunelerin çekme deney sonuçları	91
Şekil 5.7: 2. Düzey plazma işlemi uygulanmış numunelerin çekme deney sonuçları	91
Şekil 5.8: 1. Düzey Plazma işlemi uygulanmış numunelerin izod darbe deney sonuçları.....	92
Şekil 5.9: PE için kayma gerilmesinin sıcaklık ve uygulanan yüzey işlemine göre değişimi	94

Şekil 5.10: PP için kayma gerilmesinin sıcaklık ve uygulanan yüzey işlemine göre değişimi	94
Şekil 5.11: PVC için kayma gerilmesinin sıcaklık ve uygulanan yüzey işlemine göre değişimi	95
Şekil 5.12: -20 °C; 30 gün şartlandırılan çekme deneyi yapılmış PE numunelerde yüzey işlemi uygulamasına göre yapıştırma bağlantılarının kırılma yüzeyleri	96
Şekil 5.13: -20 °C; 30 gün şartlandırılan izod darbe deneyi yapılmış PE numunelerde yüzey işlemi uygulamasına göre yapıştırma bağlantılarının kırılma yüzeyleri	97
Şekil 5.14: -20 °C; 30 gün şartlandırılan çekme deneyi yapılmış PP numunelerde yüzey işlemi uygulamasına göre yapıştırma bağlantılarının kırılma yüzeyleri	98
Şekil 5.15: -20 °C; 30 gün şartlandırılan izod darbe deneyi yapılmış PP numunelerde yüzey işlemi uygulamasına göre yapıştırma bağlantılarının kırılma yüzeyleri	99
Şekil 5.16: -20 °C; 30 gün şartlandırılan çekme deneyi yapılmış PVC numunelerde yüzey işlemi uygulamasına göre yapıştırma bağlantılarının kırılma yüzeyleri	100
Şekil 5.17: -20 °C; 30 gün şartlandırılan izod darbe deneyi yapılmış PVC numunelerde yüzey işlemi uygulamasına göre yapıştırma bağlantılarının kırılma yüzeyleri	100

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 2.1: Bazı plastikler için yüzey enerji değerleri	29
Tablo 2.2: Plastiklerin mekanik özellikleri	32
Tablo 2.3: PE, PP ve PVC bağ sistemi, camsı geçiş ve ergime sıcaklıkları	33
Tablo 2.4: Plastiklerin camsı geçiş ve ergime sıcaklıkları	36
Tablo 3.1: Plastik malzemelerin yapıştırılma sonrası yüzey durumları	48
Tablo 4.1: Weicon Easy-Mix PE-PP 45 yapıştırıcı içeriği	58
Tablo 4.2: Statik çekme deney numune boyutları	59
Tablo 4.3: Numune kutlama örneği	61
Tablo 4.4: Zımparalama işlemi uygulanmış numune kodlaması	63
Tablo 4.5: Korona işlemi uygulanmış numune kodlaması	64
Tablo 4.6: Plazma işlemi uygulanmış numune kodlaması	65
Tablo 4.7: İşlem uygulanmamış numunelerin yüzey pürüzlülük değerleri	66
Tablo 4.8: Zımparalanmış numunelerin yüzey pürüzlülük değerleri	66
Tablo 4.9: Korona sistemi ve teknik özellikleri	66
Tablo 4.10: Korona uygulanmış numunelerin yüzey pürüzlülük değerleri	68
Tablo 4.11: Plazma sistemi ve teknik özellikleri	68
Tablo 4.12: Plazma uygulanmış numunelerin yüzey pürüzlülük değerleri	69
Tablo 4.13: Yüzey işlemi uygulanan numuneler için çekme deneyi koşulları ve sayıları	73
Tablo 4.14: Yüzey işlemi uygulanan numuneler için izod darbe deneyi koşulları ve sayıları	74
Tablo 5.1: Ön işlem uygulanmamış numunelerinin çekme deney sonuçları	77
Tablo 5.2: Ön işlem uygulanmamış numunelerinin izod darbe deney sonuçları	78
Tablo 5.3: Zımparalanmış numunelerin çekme deney sonuçları	80
Tablo 5.4: Zımparalanmış numunelerin izod darbe deney sonuçları	82
Tablo 5.5: Korona işlemi uygulanmış numunelerin çekme deney sonuçları	84
Tablo 5.6: Korona işlemi uygulanmış numunelerin izod darbe deney sonuçları	87
Tablo 5.7: Plazma işlemi uygulanmış numunelerin çekme deney sonuçları	89
Tablo 5.8: Plazma işlemi uygulanmış numunelerin izod darbe deney sonuçları	92

SEMBOL LİSTESİ

APET	:	Amorf polietilen tereftalatın
CF	:	Karbon fiber kompozit
CNT	:	Karbon nano tüp
EPDM	:	Ethilen propilen dien termopolimer
GF	:	Cam fiber kompozit
KTP	:	Kompozit takviyeli plastik
PA	:	Poliamid
PBT	:	Polibütilteraftalat
PC	:	Polikarbonat
PE	:	Polietilen
PEEK	:	Polietereterketon
PET	:	Polietilen tereftalat
PLA	:	Poliaktikasit
POM	:	Polioksimetilen
PP	:	Polipropilen
PPS	:	Polifenilen sülfid
PTFE	:	Politetrafloretillen
PU	:	Poliüretan
PVC	:	Polivinilklorür
SBT	:	Termal yapıştırıcı bant
UV	:	Ultraviyole
WPC	:	Ahşap plastik kompozit

ÖNSÖZ

Bu çalışma ile elde edilen verilerin, ilgili çalışma alanlarında yeniliklerin geliştirilmesi için yararlı olmasını temenni ederim.

Çalışma süresince desteğini esirgemeyen, bilimsel alanda hep daha iyisini hedefleyerek çalışmalarına katkıda bulunan, beni yönlendiren değerli hocam Prof. Dr. Tezcan ŞEKERCİOĞLU'na teşekkür ederim. Çalışma boyunca teknik ekipman alanında deneysel çalışmaların sürdürülebilmesi için vermiş olduğu destekten dolayı, sayın hocam Prof. Dr. Cemal MERAN'a teşekkür ederim. Tez izleme çalışmaları boyunca tezin gelişimi açısından vermiş olduğu emek için sayın hocam Yrd. Doç. Dr. Metin SAYER'e teşekkür ederim. Savunma sürecinde bilgi paylaşımları, verdikleri destek ve emek için sayın hocalarım Prof. Dr. İsmail BÖĞREKÇİ ve Doç. Dr. Pınar DEMİRCİOĞLU'na teşekkür ederim.

Her konuda desteklerini arkamda hissettiğim, maddi ve manevi olarak bana güç veren, yanımda olan canım anneme ve babama minnettarım. Bu süreçte her zaman yanımda olan sevgili eşime teşekkür ederim. Oğullarım Kaan ve Bora'nın bu zorlu süreçte varlıkları ile beni sonsuz mutlu ettiklerini, her zaman onlardan aldığım enerji ile çalışmalarına devam ettiğimi belirtmek isterim.

1. GİRİŞ

Plastik malzemeler, her geçen gün önem kazanan, kullanım alanı genişleyen malzeme sınıflarından biri haline gelmiştir. Hafifliği, işlenebilme kolaylığı, imalat yöntemlerine uygunluğu, piyasada bulunabilirliği ve uygun maliyeti özellikle hem imalatçıların hem de ihtiyacına karşılık sağlayan her kesimin ilgisini çekmektedir. Bu avantajların kullanılabilirliği yapılan çalışmalar ile genişletilmektedir.

Plastik malzemeler bu kadar avantaj sunabilmesine rağmen polimer bağ yapısından kaynaklı, yüzey enerji değerlerinin düşük olması, özellikle yapıştırma teknolojisi ile kullanılacak alanlarda ilerlemesini kısıtlamaktadır. Geçmişten günümüze kadar kullanılan birçok yüzey şekillendirme tekniği ile yüzey enerji değerleri artırılarak yapıştırma alanında başarılı çalışmalar hedeflenmiş olsa da yeni teknolojilerin kullanımı, yüzey işlemi dışında çalışma ortam sıcaklıkları ve süreleri gibi değerleri göz önünde bulundurarak yapılan çalışma sayısı oldukça azdır.

1.1 Yapıştırmanın Önemi

Yapıştırma yöntemiyle yapılan birleştirmeler, malzemenin dayanım değerlerini etkilemediği için tercih edilebilirler. Özellikle yapıştırma işlemi için herhangi bir mekanik işlem yapılmaması malzeme üzerinde çentik darbe hassasiyeti oluşturmaz. Ayrıca gerilme değerlerinde düşüşe sebep olacak delme vb. gibi işlemlere ihtiyaç duyulmadığı için malzemelerde gerilme yığılması oluşmaz. Isıl işlem uygulaması olmadığından ısı gerilme bölgeleri oluşmaz. Yapıştırıcının kullanılacağı malzemeler ince veya kalın yapıda olabilirler. Araya sürülen yapıştırıcının yüzey üzerinde homojen dağılımı sağlandığında, yapışan her bölgenin yaklaşık aynı dayanım değerlerini göstermesi mümkündür. Ayrıca yapıştırıcının yüzeylerin arasını tam doldurması hassas tolerans ihtiyacı oluşturmaz (Pizzi 2003). Yapıştırma ile sızdırmazlık sağlanabildiği gibi, iyi yalıtım ve sönümleme özelliklerinden de faydalanılabilir. Plastiğin sunduğu bütün bu avantajlardan yararlanmak için yapıştırma teknoloji ile malzemeyi uyumlu hale getirmek

önemlidir. Yapıştırma teknolojisi çelik, alüminyum, bakır, alaşımlı metal malzemeler, ağır ve hafif metaller, plastikler gibi farklı yapıdaki malzemelere uygulanabilmektedir. Yapıştırmada en önemli noktalardan birisi yapıştırıcı ile yüzey arasında oluşan adezyon bağları ile yapıştırıcı içinde oluşan kohezyon bağlarının mukavemet dayanım değerlerinin yüksek tutulabilmesidir.

Yapıştırma teknolojisini daha rahat kullanabilmek, uygulama yapılan alanların kullanım ömrünü ve dayanımını arttırmak amacıyla yüzeylere uygulanan işlemler son yıllarda yaygınlaşmaya başlamıştır. Plastik malzemelerin kullanımının artırılmaya çalışıldığı alanlarda yüzey işlem uygulamaları özellikle yapıştırma söz konusu olduğunda ciddi önem taşımaktadır. Yüzeyde meydana gelen bağların aralıklarda kuvvetlendirilmesi daha sağlıklı yapıştırma alanlarının oluşması için önemlidir.

Günümüzde uçak sanayine bakıldığında bir yolcu uçağının dış yapısının metal-metal yapıştırma, alüminyum petek konstrüksiyon ve elyaf takviyeli plastik yapıştırma alanlarının oluşumu ile imal edildiği bilinmektedir. Havacılık sektöründe uçak dış aksamalarının %40'ından fazlasında kullanılan karbon elyaf takviyeli plastik konstrüksiyon üretimlerinde yapıştırma öncesi kullanılan plazma teknolojisi ile iyi sonuçlar elde edilmektedir. Plazma sistemi ile kullanılan KTP (Kompozit takviyeli plastik) malzemenin dayanım değerlerinde iyileştirme çalışmaları yapılmaktadır.

Fiberglas malzemelerden imal edilmiş tekne yarı parçaları yapıştırma ile birleştirilmektedir. Gemicilik sektöründe korozyon sıkıntısının ortadan kalkmasına yönelik yapılan çalışmalarda, hafif konstrüksiyon amaçlı kullanılan plastik takviyeli malzeme yüzeylerinde kaplama öncesi yüzey şekillendirme için plazma teknolojisi kullanılarak olumlu sonuçlar elde edildiği, deneysel çalışmaların yapılmakta olduğu bilinmektedir. Otomotiv sektöründe özellikle hafiflik istenilen bölgelerde plastik malzeme ile imalat söz konusudur. Otomobillerde kaput altı bölgesi, iç konsol, ısıtılma alanları, çamurluklar, kanallar, motor içerisinde tek parça birleştirme alanları gibi birçok bölgede plastik kullanımı gün geçtikçe artmaktadır. Otomotiv sektöründe PP ve PC plastik malzemelerden yapılan far sistemi için farların iç kısmına zamanla nem girmesini önleyecek uzun süreli kalıcı bir yapıştırma ömrü elde etmeye yönelik plazma sistemi ile yapıştırma öncesi ön işlem yaygın kullanım alanı bulmaya başlamıştır. Beyaz eşya sektörüne bakıldığında çamaşır makinelerinin

PP malzemeden imal edilen ve yapıştırılarak kullanılan parçalarında uzun süre yapışma kalitesini koruyabilmek için plazma teknolojisi kullanımı ile yüzey enerjisini arttırmaya yönelik çalışmalar yapılmaktadır.

Bugün plastikler, bütün dünyada demir, tahta ve cam gibi materyallerin yerine alternatif malzeme olarak kullanılmakta, her geçen gün de yeni uygulama alanları ortaya çıkmaktadır. Gerek ekonomiklikleri, gerekse kolay uygulanabilirlikleri plastiğin diğer maddelere göre tüketimini hızla artırırken, plastik tüketim miktarı da ülkelerin gelişmişliğinin bir göstergesi olarak kabul edilmektedir.

Plastik malzemeler yaşamımızın her anında karşımıza çıkan alternatif malzemeler sınıfındadır. Plastik malzemelerin endüstriyel ortama uyum sağlayabilmesi için çalışılan farklı ortam koşullarına cevap verecek çözümler aranmaktadır. Endüstriyel alanda da karşımıza yoğun olarak çıkmakta olan plastik malzemelerin yapıştırılması özellikle imalat alanında kullanım bulabilmesi açısından önemlidir. Plastik malzemelerin yapıştırılmadan önce, uygulanması gereken yüzey işlemleri, malzemenin yüzey direncini ve mukavemetini ciddi oranlarda arttırmaktadır. Plastiklerin sahip olduğu düşük yüzey enerjisi yani yapışmaya karşı gösterdikleri yüksek direnç, yüzey işlemleri ile asgari değerlere indirilerek yapıştırma işlemlerinde sağlıklı sonuçlara ulaşılması mümkündür. Düşük yüzey enerjisine sahip olmalarından dolayı plastik malzemelerin yapıştırılmasında farklı problemlerle karşılaşmaktadır. Plastik malzemeleri yapıştırabilmek ve istenilen mukavemeti elde edebilmek için farklı yüzey işlemleri uygulanmalıdır. Yapıştırma sırasında yüzeyler arasında oluşan bağ, malzemenin sahip olduğu yüzey enerjisi ve temas açısı ile doğrudan ilişkilidir. Kullanılan yapıştırma teknikleri, statik dayanımın yapıştırma alanında eşit dağılımını sağlamaktadır.

1.2 Literatür Özeti

David ve diğ. (2004) tarafından yapılan çalışmada PTFE ve Al malzemenin yapıştırılması için yüzey işlemlerinin etkisi incelenmiştir. Vakum ortamında metal sodyum banyosu oluşturulup kimyasal aşındırma ve elektron transferi yapılmıştır. Na ile PTFE atomlarının zincir bağ kurarak bağlanması sağlanmıştır. Yapılan kimyasal

aşındırma işleminde Na miktarının yüksek tutulması, derin ve üniform bir yüzey katmanı oluşturmuş ve yapışma kalitesinin arttığı görülmüştür.

Molitor ve diğ. (2000) yapmış oldukları çalışmada titanyum ve polimer kompozit malzeme yapıştırması üzerinde inceleme yapılmıştır. Polimer kompozit üzerinde yapılan yüzey işlemlerinden sadece aşınma yöntemi iyi sonuç vermiştir. Titanyum üzerinde yapışmayı kolaylaştırmak için asit ile dağlama, sodyum hidroksit dağlaması ve lazer işlemleri ile yüzey şeklinde değişimler elde edilirken, polimer kompozit üzerinde yapılan kimyasal dağlama ile dayanım ve mukavemet artışı elde edilmiştir. Yapılan işlemler de titanyum yüzeyine uygulanan lazer işlem sonrası yapılan yapışma ile en iyi bağlama dayanım sonucu elde edilmiştir.

Marancı (2009) tarafından yapılan yüksek lisans tezinde metal plastik birleştirmelerinde ara yüzey incelemesi gerçekleştirmiştir. EPDM (Ethylene-Propylene-Diene-Terpolimer) kauçuğun metale yapışma mukavemeti, değişik yüzey kalitelerinde ve farklı yapıştırıcı cinsleri için yapışmaya olan etkisi araştırılmıştır. Yapışma sonrası çekme, kayma ve kopma gerilmeleri hesaplanmıştır. Yapışma işleminden sonra, elde edilen gerilme dağılımlarının, titreşim kabiliyetinin, yorulma, şok ve titreşim dirençlerinin, yüksek olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca yüzeye uygulanan yüzey pürüzlülüğü, yüzeyde kanal ve delik oluşumlarının da yapışma mukavemetini olumlu etkilediği tespit edilmiştir.

Anagreh ve diğ. (2007) yapmış oldukları çalışmada düşük yüzey enerjili plastiklerden PPS için yüzeye uygulanan plazma işlemi sonrasında yapıştırma işlemi uygulanmıştır. PPS özellikle otomotiv sektöründe Al plakalar ile yapılan birleştirmelerde yoğun kullanım bulduğundan yapılan çalışmada bu iki malzemenin yapıştırma durumu detaylı olarak incelenmiştir. Oksijen kullanılarak PPS üzerine plazma teknolojisi ile yüzey işlemi gerçekleştirilmiştir. Oksijen plazmasının uygulandığı yüzeylerde oluşan yüzey pürüzlülüğü sayesinde yüksek polar yüzey enerjisi elde edilmiştir. Oksijen plazmasıyla yapılan işlemlerde optimum uygulama sürecinin oluşan bağ kuvvetinde farklı sonuçlar oluşturduğu belirlenmiştir. Kullanılan epoksi ve PU bazlı yapıştırıcıların akışkanlık durumu da yapıştırmayı etkileyen diğer etkenler arasındadır.

Temiz (2003) hazırlamış olduğu doktora tezinde, yapıştırma bağlantılarının mekanik özellikleri üzerine çevresel faktörlerin etkisini incelemiştir. Yapıştırıcıların

bağlama elemanı olarak yüksek kullanım performansı sunmalarına rağmen, özellikle farklı ortamlarda, zamanla, mekanik özelliklerinin değişmesinden dolayı tasarım aşamasındaki veri eksikliğinin giderilmesi için yapıştırma bağlantıları yapılmıştır. Çalışmada SBT bant yapıştırıcısının yaşlanması incelenmiştir. Oluşturulan farklı iklim şartlarında yapıştırılan malzemeler 90 gün bekletilmiştir. Yapılan çalışma sonucunda yapıştırılan bölgede bağlantı dayanımlarında, % 100 nem ortamında zamanla önemli derecede değişim gözlenirken, atmosfer ortamında önemli bir değişim olmamıştır. Ayrıca yapıştırıcı kalınlığının artmasıyla yapıştırıcının mukavemetleri azalırken, bindirme uzunluğunun artmasıyla mukavemette oluşan bozulmanın azaldığı gözlenmiştir.

Anagrech ve Dorn (2004) yapmış oldukları çalışmada PBT ile Al arasında epoksi ve PU bazlı yapıştırıcı ile düşük basınç altında plazma ile şekillendirilen yüzeylerde yapıştırma işlemi uygulanmıştır. Oksijen ve Argon ile yapılan plazma işlemlerinde oksijen ile yapılan plazma işleminin, epoksi bazlı yapıştırıcılar ile yapışma adına daha iyi bağlantı sağladıkları gözlenmiştir.

Saesatya ve diğ. (1999) yapmış oldukları çalışmada hızlı kürleşme özelliği olan epoksi yapıştırıcının 6,5 kW güce sahip mikrodalga fırında, 2,5 GHz ışın dalgası altında polikarbonat sandiviç malzemeyi yapıştırma işlemi incelenmiştir. Kürleşme zamanı, mikrodalga gücü ve proses parametreleri dikkate alınarak yapışma ile oluşan gerilme direncinin etkileri ölçülmüştür. Deneyler sırasında yapışma için kullanılan epoksi reçinesi ile kopma mukavemeti açısından iyi sonuçlar elde edilmiştir. Yapılan ölçümlerde kopma mukavemetinin % 20 oranında arttığı tespit edilmiştir. Yapıştırma sırasında kullanılan mikrodalga fırın sayesinde bağlar arasında oluşan ve sistemi zorlayan iç gerilmelerin de giderildiği belirlenmiştir.

Kaya (1997) tarafından yapılan doktora tezinde yapıştırma bağlantıları altında malzemelerin statik ve dinamik karakteristiklerindeki değişimleri incelemiştir. Yapıştırıcı kullanılarak yapılmış, tek bindirmeli bağlantılarda yayılı kuvvetler etkisi altında, gerilme dağılımları ve şekil değişimleri, sonlu elemanlar metodu ile incelenmiştir. Bütün gerilme bileşenlerinin dikkate alındığı üç boyutlu bir model üzerinde sonuçlar değerlendirilmiştir. Yapıştırma tekniği ile sönümleme açısından doğal frekans ve titreşim biçimlerinde düşüşler olduğu gözlenmiştir.

Cheng ve diğ. (2011) yapmış oldukları çalışmada PVC ile ahşap malzemenin epoksi reçinesi ile birleştirilmesi sırasında uygulanan işlemleri incelemişlerdir. Yapılan çalışmada PVC malzeme üzerinde UV yaşlandırma uygulanmıştır. Bu şekilde epoksi ile herhangi bir işlem uygulanmadan yapılan PVC-ahşap birleşmelerinde yapılan UV yaşlandırma sonrasında özellikle kayma mukavemetinde % 87,7' lik bir artış gözlenmiştir. Çalışmada kullanılan SEM elektron tarama mikroskopuyla işlem öncesi ve sonrası farklılıklar da rahatlıkla tespit edilmiştir.

Ignatova ve diğ. (2008) yaptıkları çalışmada PET levha malzeme (5 mm) ve PET film tabaka (0,36 µm) üzerine uygulanan korona yüzey işleminin etkileri incelenmiştir. PET film tabakada yapılan yüzey işlemi PET levhada yapılanı göre daha iyi sonuçlar vermiştir. PET film tabaka üzerinde yapılan incelemede yüzeyde yoğun gözenek oluşumu tespit edilmiştir. Oluşan yoğun gözenegin özellikle yapıştırma sırasında yüzey enerjisi açısından iyi sonuçlar verebileceği saptanmıştır.

Ebnessajjad (2006) çalışmalarında yüzey işlemlerinin öncesinde yüzey temizliğinin üzerinde durmuştur. Yüzeylerin temizlenmesinin ardından atmosfer ile temas girmesini önleyici önlemler alınarak koruma altına alınması gerektiğini belirtmiştir. Plastiklerin sahip oldukları düşük bağ enerjilerinden dolayı yüzeyde bulundukları moleküllerle bağ oluşturma'nın önemi açıklanmıştır. Oluşan zayıf bağ güçlendirmek için malzemeye katkı maddeleri, pigment eklemesinin önemi vurgulanmıştır.

Ersoy ve Kuntman (2010) yapmış oldukları çalışmada polimerik yalıtkanlarda yüzey özelliklerini temas açısı ile incelemişlerdir. Çalışmada kullanılan elektrolitler çözeltide bekletme sürelerine göre temas açıları için ölçümler yapılmış ve temas açısına bağlı olan yüzey gerilimleri tespit edilmiştir. Yapılan çalışmada elektrolit çözelti içerisinde bekletilen numunelerin zamanla hidrofob (sıvının yüzeyde dağılmaya gösterdiği direnç) özelliklerinin zayıfladığı görülmüştür. Ayrıca boraks katkısı ile polyester örneklerin temas açılarında ve yüzey enerjilerinde artış sağladığı gözlemlenmiştir.

Xu ve diğ. (2001) yapmış oldukları çalışmada galvanizlenmiş çelik malzeme ile polipropilen kompozit arasındaki yapıştırma bağı ve malzemenin dayanımını incelemişlerdir. Çalışmada proses sıcaklığının, yapıştırma bağ gücünü belli noktalarda etkilediği görülmüştür. Yapıştırma sırasında yüzeye verilen ısının

yapıştırma bağları arasında difüzyon oluşumunu kolaylaştırdığı görülmüştür. Kataplazma yaşlandırma testi uygulanan çalışmada, polyester-melamin ve temel birleştiricilerin kullanılarak yapıldığı kompozit malzemede dayanım değerlerinde artış görülmüştür.

Iqbal ve diğ. (2010) yapmış oldukları çalışmada yüksek performanslı polimerlere uygulanan atmosferik plazma yüzey modifikasyonunun, yapıştırmaya etkisinin nasıl olduğunu incelemişlerdir. Bu çalışmada PEEK, CF, GF ve PPS malzemeleri kullanılmıştır. Atmosferik plazma işlemi uygulanan yüzeylerdeki yüzey enerji değişimleri tespit edilmiştir. Yapılan çalışmada polar bileşenlerin toplamda yüzeyde oluşacak enerji artışında önemli etki yaptığını göstermektedir. Bir karşılaştırma yapılması açısından atmosferik plazma ve düşük basınçlı plazma ile PEEK yüzeyinde yapılan çalışmada, düşük basınçlı plazmanın istenilen modifikasyonu oluşturduğu görülmüştür. Bu da göstermektedir ki, atmosferik plazma ile yüzeyde önemli bir modifikasyon yapılsa da düşük basınçlı plazma ile yapılan işlemde önemli bir yüzey enerji artışı sağlanabilmektedir. Yapılan çalışmalar elektron mikroskopunda incelenmiş, atmosferik plazmanın yüzeyde önemli bir yüzey pürüzlülüğü oluşturduğu görülmüştür. Oluşan bu pürüzlülük yapışmaya karşı gösterilen direncin de azaldığını göstermiştir.

Sonnenschein ve diğ. (2007) yapmış oldukları çalışmada polihibrit yapıştırıcılar ile düşük yüzey enerjisine sahip polimerler üzerinde yapıştırma işlemi yapılmıştır. Akrilik ve silikon yapıştırıcılar ile yapılan deneylerde -40 ile 150 °C arasında yapılan yapıştırma işlemlerinde yapıştırma bağ kuvvetleri açısından iyi sonuçlar alınmış olsa da % 100 başarı elde edilememiştir. Özellikle düşük yüzey enerjisine sahip PE, PTFE, PP malzemelerde yapıştırma yapılmıştır. Yapıştırma işlemleri öncesinde yüzeylerde uygun asitle ile dağlama işlemi pürüzlendirme gerçekleştirilmiştir. Özellikle silikon yapıştırıcıların yüzey ile olan bağlarının oldukça zayıf kaldığı gözlenmiştir.

Crowther (2003) çalışmalarında plastik yüzey işlemlerinin etkilerinden ve değişimlerinden bahsetmiştir. Özellikle uygulanan birçok farklı yüzey işlemi arasından Korona, Plazma ve UV ışın yöntemiyle yüzeylerde meydana gelen enerji artışlarının sayısal değerleri belirtilmiş ve yöntemlerin içinde belirtilen bu üç yöntemin etkinliği hakkında değerlendirmeler yapılmıştır.

Dobbi ve diğ. (2012) yapmış oldukları çalışmada Sahra şartlarında PE malzemenin yaş sera içinde kullanımı incelemişlerdir. Plazma yüzey işlemi uygulanmış PE malzeme için mekanik, fiziksel ve yapısal şartların durumu analiz edilmiştir. Plazma işlemi ile yüzeyde enerji artışı olmuş ve kullanım kolaylığı sağladığı belirtilmiştir.

Kraus ve diğ. (2016) çalışmalarında PEEK ve POM plastik malzemelerin yüzeylerinde, düşük basınç altında plazma yüzey işlemi uygulamaları yapmışlardır. Plazma sonrası yüzeyde asit-baz ıslatma uygulamaları yapılmıştır. Deneysel çalışmalar, mekanik mukavemet değerlerinin plazma yüzey işlemi ile yükseltilmiş olduğunu göstermiştir.

Moghadamzadeh ve diğ. (2011) WPC malzeme üzerinde yapıştırma öncesi farklı yüzey işlemi uygulamaları yapmışlardır. Alev ile dağlama, korona, mekanik abrazyon ve bu yüzey işlem uygulamalarının birlikte yapılan kombinasyonları üzerinde uygulamalı çalışılmıştır. Yapıştırma sonrası çekme dayanımları için deneyler yapılmıştır. Yapıştırma için en etkili yüzey işlemlerinin WPC malzeme için mekanik abrazyon ve sonrasında uygulanan korona yöntemlerinin kombinasyonu ile gerçekleştiği görülmüştür.

Mandolino ve diğ. (2014) yapmış oldukları çalışmada Al6061 alüminyum malzeme üzerinde plazma ve lazer uygulaması ile yapıştırma işlemi gerçekleştirmişlerdir. Yüzey işlemlerinin yüzeyde meydana getirdiği performans değişimi kontrol edilmiştir. Uygulamaların etkinliği yapıştırma yüzeylerinde tek ve çift noktalarda yapılan çekme deneyleri ile incelenmiştir. İşlem uygulanan numuneler ile referans alınan işlemsiz numuneler arasında mukavemet artışı olduğu görülmüştür. En yüksek dayanım ise plazma işlemi uygulanmış numunelerde tespit edilmiştir.

Pandiyaraj ve diğ. (2016) yapmış oldukları çalışmada parametrelerinin etkisi ile (uygulanan potansiyel, maruz kalma süresi ve plazma oluşturan gazlar) soğuk atmosferik yüzeyde yüksek basınç (CAP) plazma ile uyumlu LDPE filmlerinin özelliklerini araştırmışlardır. Plazma ile işleminden geçirilmiş LDPE filmleri için polar fonksiyonel gruplar oluşturulmuştur. Daha yüksek deşarj uygulanan numunelerde yüzeyde meydana gelen enerji artışı daha fazla olmuştur. Ayrıca Ar₂ ve O₂ gazlarının kullanıldığı plazma işlemi ile kaba yüzey morfolojisinde fonksiyonel gruplarda

oluşan yüzey şekilleri açısından diğer gazlara kıyasla iyileşme gösterdiği görülmüştür. Yüzey morfolojisindeki değişim, birkaç molekülün katmanlar ve organik artıklar halinde sürekli bombardımanla 60 s boyunca 14 kV akıma maruz bırakılarak gerçekleştirilmiştir. Morfolojik ve kimyasal fonksiyon değişiklikleri geliştirilmiş hidrofiliteye, yani temasın azalmasına katkıda bulunmuştur. Dolayısıyla, temas açısı sonuçları LDPE' nin hidrofillik özelliklerinin geliştirildiğini açık bir şekilde ortaya koymuştur.

Wu ve diğ. (2016) çalışmalarında lazer abrazyon yüzey işleminin, eklem performansı üzerine etkisini araştırmışlardır. AA6022-T4 2,0 mm et kalınlığına sahip Al malzemede yapışma alanı incelenmiştir. Daha yüksek enerjili lazer abrazyon uygulaması yüzeyin su tutma kabiliyetinde olumlu değişim sergilemiştir. Daha yüksek enerji akışı ile yapılan işlemde, hem yüzey pürüzlülüğü hem de yüzey alanının enerjisi arttırılmıştır. Bu durum yapıştırılan alanda, bağ performansına katkıda bulunan bir faktördür. Ayrıca daha fazla yüksek enerji akışı ile yüzey kimyasını modifiye ederek daha düzgün ve daha kalın alüminyum oksit tabakası oluştuğu tespit edilmiştir. Ek olarak yaşlanmanın etkisinin (6 haftaya kadar) ortam koşullarında sağlanabildiği görülmüştür.

Akram ve diğ. (2016) yaptıkları çalışma, yüksek basınçlı ortamda yapıştırma ile bağlanmayı içermektedir. Polimid (PI) yüzey, hava basıncı altında uygulanan plazma ile farklı maruz kalma sürelerine göre şekillendirilmiştir. Yüzey enerjisi, maruz kalma süresine bağlı olarak artış göstermiştir. Ancak, uzun süre plazmaya maruz kalındığında, yüzeyde meydana gelen bozulmanın olumsuz yönde etki ettiği görülmüştür. Yüzeyde temas açısı ölçümü yapılarak yüzey enerjisi değişimine bakılmıştır. Polimid maddesine atmosfer basıncı altında uygulanan plazma işlemi ile hem yüzey enerjisinin de hem de yüzey pürüzlülüğünün de iyileşmeler meydana getirilmiştir. Her iki parametre de plazma uygulama süresinden belirgin olarak etkilenmiştir. Her iki parametredeki artış, işlem süresinin artmasıyla birlikte 60 saniyeye kadar yükselmiş olsa da, hem yüzey enerjisinde hem de pürüzlülükte azalmalar gözlenmiştir. Yüzey enerjisiyle, etkilerden sorumlu ana faktör, işlem süresinin uzaması ve polar kuvvetlerin farklı hareketleri olarak tespit edilmiştir.

Ku ve diğ. (2013) yapmış oldukları çalışmada polipropilenin (PP) atmosfer basıncı altında plazma işlem uygulaması ile PP ve alüminyum plakalar arasındaki

kayma direnci üzerine çalışmışlardır. Optimum uygulama sayısı ile temas açısında, boya yapışma mukavemetinde ve Scotch bant soyulmasındaki değişimler ölçülerek belirlenmiştir. İşlem sayısının bir fonksiyonu olarak mukavemet ölçümü yapılmıştır. Temas açısının atmosferik basınç plazmasından etkilendiği görülmüştür. İşlem sayısı arttıkça (altı işleme kadar) temas açısı azalmış ve bundan sonra neredeyse sabit kalmıştır. İşlem uygulanmamış PP' nin temas açısı yaklaşık 91° iken plazma sekiz defa uygulandıktan sonra açı yaklaşık 53° olmuştur. Yapıştırılan PP ve Al malzemenin yapıştırma bölgelerinde yapılan ölçümlerde kopmaya karşı direnç ve kayma mukavemeti sırasıyla % 42 ve % 44 oranında iyileşmiştir.

Encinas ve diğ. (2011) çalışmada polimerik malzeme (PP) ve bir PU bazlı astar yüzey sıvası için yüzey hazırlama yöntemlerine yüksek mukavemetli yapıştırma bağlantılarının etkisi incelenmiştir. Yapılan çalışmada PP malzemenin düşük yüzey enerjisi ve buna bağlı olarak zayıf ıslanabilirliği gözlenmiştir. Sonuç olarak plazma işleminin yapıştırma alanını güçlendirdiği görülmüştür. Plazma işlemi ile yüzey enerjisindeki artış toplam ve polar olarak sırasıyla 23,01 ve 0,19 mJ/m²' den 50,29 ve 29,05 mJ/m²' ye yükseltilmiştir.

Encinas ve diğ. (2010) çalışmada, yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE), düşük yoğunluklu polietilen (LDPE) ve polipropilen (PP) malzemelere atmosferik basınçlı hava plazma ile yüzey işlemi uygulaması yapılmıştır. Islanabilirlik özelliklerini iyileştirmek için uygulanan plazma ile yüzey enerjisindeki değişikliklerin yanında dayanıklılık için ölçümler yapılmıştır. Plazma işlemi sonrası farklı yaşlanma süreleri uygulanarak temas açısı ölçümleri yapılmıştır. En iyi yaşlandırma sürelerinin elde edilen dayanım değerlerine göre kıyaslandığından 21 ile 31 gün arasında olduğu tespit edilmiştir. Yaşlandırma için en uzun süre 270 gün olarak uygulanmıştır.

Han ve diğ. (2014) yapmış oldukları çalışmada esnek ön elektrot olarak kullanılan karbon nano tüplerinin (CNT' ler) PET üzerindeki ön yüzey işlem uygulamalarının etkilerini araştırmışlardır. CNT' ler PET (polietilen tereftalat) malzeme üzerinde spreyci kaplama metodu kullanılarak kaplanmaktadır. CNT' lerin yüzey değişiminden önce, PET malzemenin üzerinde uygulanan korona işleminin birden fazla tekrarı ile yüzeyde istenilen alanın oluşturulması sağlanmıştır. Korona yüzey işleminden sonra yüzeyde meydana gelen değişim ve pürüzlülük değerleri

atomik kuvvet mikroskopu ile kontrol edilmiş ve olumlu değişimler gözlenmiştir. PET malzemedeki temas açısı polar ve dispersiyon sıvılar kullanılarak ölçülmüş ve yüzey enerjileri hesaplanmıştır. Deney sonuçları CNT' ler ile PET malzeme arasındaki yapışkan kuvvetlerinin korona yüzey işlemi uygulaması ile önemli ölçüde arttırılabileceğine dair güçlü bir kanıt sağlamıştır.

Moraczewski ve diğ. (2015) yaptıkları çalışmada, yüzey işlemi uygulanan PLA yüzey tabakasının seçilen özellikleri karşılaştırılmış ve çalışma sonuçları değerlendirilmiştir. Yüzey üzerinde üç farklı yöntemle işlem gerçekleştirilmiştir. Kimyasal metotta su ve etanol 0,25 mol sodyum hidroksit çözeltisi kullanılmıştır. Plazma yönteminde, hava atmosferinde indirgenmiş basınç altında plazma üreten 50 W jeneratör kullanılmıştır. Lazer yönteminde akıcılık 60 mJ/cm^2 olan darbeli bir ArF Excimer Lazer Sistemi uygulaması yapılmıştır. İşlem uygulanmış numunelerin yüzey görüntüleri incelenmiş, temas açısı ölçümü ve yüzey serbest enerjisi hesapları yapılmıştır. PLA yüzey katmanının kimyasal bileşiminin nitel ve nicel analizleri de yapılmıştır. Sonuçlar değerlendirildiğinde, yüzeyde uygulanan plazma işleminin yüzey enerjisini en fazla arttıran sistem olduğu görülmüştür.

Dowling ve diğ. (2012) yapmış oldukları çalışmada amorf polietilen tereftalatın (APET) ısıl yapısal özelliklerini polietilen tereftalat (PET) filmine yükseltmek için atmosferik basınçlı plazma sistemini kullanmışlardır. Plazma ile işleme tabi tutulmuş APET tabakası malzemesi, gıda ambalaj endüstrisinde kullanılmak üzere şekillendirilmiştir. Ortaya çıkan ambalajın ısıyla sızdırmazlık özellikleri patlama testi tekniği kullanılarak değerlendirilmiştir. Plazma işleminin yapışkanlık özelliklerini önemli ölçüde arttırdığı ve plazma ile işlenmiş yiyecek tepsileri için patlama basıncının 18 ile 35 kPa arasında bir artış oluşturduğu gözlenmiştir. APET yüzey kimyası plazma işlemi ile oksijen artışı ve polimer yüzeyine azot türevi artışı sağlanarak, istenilen PET özelliklerine yakın değerler elde edilmiştir.

Deynse ve diğ. (2015) çalışmalarında polietilenin yüzey özelliklerini argon plazma kullanarak başarıyla değiştirmişlerdir. Bu çalışmada, yüzey düşük yoğunluklu polietilen (LDPE) üzerinde argon atmosferik basınçlı plazma jetinin (APPJ) modifikasyonu araştırılmıştır. Yüzey üzerindeki ıslanabilirlik kontrol edilmiştir. 15 mm kalınlığındaki yüzey tabakasında uygulanan işlem ile ıslanabilirlik

arttırılmıştır. Ayrıca yüzeye uygulanan işlem sonrası yapılan yaşlandırma ile uygulanan plazmanın etkisi incelenmiştir. Yapılan 14 günlük yaşlandırma sonrasında yapılan işlemin etkisi % 25 ile % 40 arasında azalma göstermiştir.

Delo firması (2014) PEEK malzeme üzerinde yapmış olduğu düşük basınçlı plazma ile 85 °C sıcaklıkta % 85 nem altında çalışan numunelere plazma uygulaması yapmıştır. Plazma işlemi sonrasında numuneler yapıştırılmıştır. Yapıştırma sonrası yapılan çekme deneyinde numune için 40 MPa dayanım değeri tespit edilmiştir.

Literatür çalışmaları kapsamında elde edilen verilerde darbe dayanım ölçümü ile ilgili deneysel çalışma bulunamamıştır. Ayrıca plazma sisteminin kullanım kolaylığı bu sistemde çalışmaların yoğunlaşmasına neden olmuştur. Korona sistemlerinin sağladığı faydaların tespiti kısıtlı kalmıştır. Plastiklerde yaşlandırmanın etkisi oldukça az çalışılmıştır. Bu konular kapsamında yapılan çalışmada özellikle darbe dayanımlarının etkisi, korona sisteminin sağladığı avantajlar üzerinde durulmuştur. Ayrıca plastiklerin yapıştırılmasında yaşlandırmanın etkisi farklı plastik malzemeler üzerinde detaylı olarak incelenmiştir.

1.3 Çalışmanın Amacı

Günümüzde, yapıştırma teknolojileri ile malzemelerin birleştirilmesi birçok kullanım alanı bulmaktadır. Malzemeleri birleştirmek için kullanılan bu yöntem, özellikle düşük ağırlık, kolay şekillendirilebilme, yüzey işlemleri ile kuvvetli yapışmanın elde edilmesi açısından plastik malzemelerin de kullanım alanlarını genişletmektedir. Üretim sahasında kullanılan sistemlerin güvenilir ve düşük maliyetli olması plastiklerin kullanımı için yöntemlerin yaygınlaşmasını sağlamaktadır. Plastik malzemelerin yapılarından dolayı yüzeye uygulanan işlemler, daha rijit ve sağlam yapıların oluşturulmasını hedeflemektedir. Yüzey işlemleri sayesinde yüzey bağları kuvvetlenmekte ve iyi dayanım değerleri elde edilmektedir. Plastik malzemeler için uygulanan birleştirme yöntemlerine bakıldığında, kaynaklı birleştirme ve yapıştırma karşımıza çıkmaktadır.

Bu çalışmanın amacı; plastik malzemeleri yapıştırabilmek ve istenilen mukavemeti elde edebilmek için plastik malzeme yüzeylerine farklı yüzey işlemleri uygulamak, yaşlandırma yapmak ve sonuçları irdeleyerek başarılı birleşmelerin

oluşturulmasına hangi sistemlerin daha fazla katkısının olduğunu tespit edebilmektir. Tez sonucunda elde edilecek veriler ile kullanılan yzey işlemlerinin, endüstriyel alanda yapılacak çalışmalar için temel oluşturması hedeflenmektedir.

Çalışma neticesinde plastik malzeme ile yapılabilecek birleştirmelerin, çalışma alanlarında maliyetleri dūřürmesi, çalışılan sistemlerin yapışma ömürlerinin uzaması, yapıştırma teknolojisinin kullanım yaygınlığının sağlanması ve tasarım hafifliği oluşturması amaçlanmaktadır.

Uygulanan yzey işlemlerinin yapıştırmaya olan etkisi, ayrıca uygulanan yaşlandırma sürecinin yapıştırma bağlantısının dayanım değerlerine etkisi belirlenmeye çalışılmıştır. Yalnızca işlem sonrası yapılan uygulamanın anlık durumunun değil aynı zamanda farklı çalışma sıcaklıklarında bekleme sürelerinin yapıştırma alanlarındaki etkileri de çalışma sahasında dikkate alınması gereken bir konudur. Dolayısıyla bu çalışmada özellikle farklı yzey işlemleri ile farklı sıcaklık ve sürelerdeki çalışma döngüsünün yapıştırma bağlantılarının nihai mukavemeti üzerindeki etkileri araştırılmıştır.

2. PLASTİK MALZEMELER VE YAPIŞTIRMA

2.1 Plastik Malzemelerin Tanımı

Plastikler, esasını makro moleküllü organik maddelerin oluşturduğu yapay veya doğal maddelerin kimyasal yoldan dönüştürülmesiyle elde edilmiş malzemelerdir. Plastikler ya tamamen sentetik olarak petrolden, doğal gazdan, taş kömüründen, kireç, su, azot, kum vb. maddelerin yardımıyla ya da selüloz, doğal kauçuk ve ağaç reçinelerinin kimyasal işlemlerden geçirilip bunların yeni bileşiklerinin yardımıyla elde edilir. Makro moleküllerin kullanılmasına dayanan ısı ve basınç etkisiyle kalıba dökerek, fışkırtılarak veya akıtılma yollarıyla biçimlenebilen yapay organik maddelerdir (Yaşar 2001).

Plastikler kimyasal bileşimleri bakımından polimerler grubuna dahildir. Polimerler, küçük kimyasal yapıdaki monomerlerin birbiriyle birleşmesi sonucu oluşan molekül yapılarıdır. Polimer kelimesi iki sözcüğün birleşimiyle oluşmaktadır. Poli kelimesi çok, mer kelimesi ise molekül anlamına gelir.

2.2 Plastik Malzemelerin Sınıflandırılması

Plastik malzemeler ham maddelerine, üretim yöntemlerine ve iç yapılarına göre üç ayrı grupta incelenebilir.

2.2.1 Hammaddelerine Göre Plastikler

Plastik malzemeler ham maddelerine göre sınıflandırıldığında, tamamen sentetik veya doğal maddelerin dönüştürülmesiyle elde edilenler olmak üzere iki grupta incelenir.

Tamamen sentetik olan plastiklerin monomerleri petrolden, doğalgazdan, taş kömüründen, kireç, su, azot, kum vb. gibi maddelerden sentez yoluyla kazanılır.

Polimerleri diğer malzemelerden ayıran temel özellik zincir bağ yapılarının farklı olmasıdır. Zincir bağ yapısının farklı uzunluklarda olması ve tek bir molekül yerine çok sayıda molekül ağırlığına sahip olması plastik malzemelerin iç yapılarını çeşitlendirmektedir (Pocius 2012). Büyük moleküllü maddeler plastiklerin yapı taşı olan polimerlerdir. Makro moleküller birbirlerine kovalent bağ ile bağlıdır. Yani moleküller arasındaki bağ oldukça güçlü bağlanmış küçük atom gruplarından oluşmaktadır. Monomer ise makro moleküllerin oluşturulmasını sağlayan molekül niteliğindeki atom topluluklarıdır (Yüksel ve Meran 2016).

2.2.2 Üretim Yöntemlerine Göre Plastikler

Plastikler, doymamış hidrokarbonların C atomları ile kovalent bağ yaparak oluşturduğu malzemelerdir. C atomunun yanında H atomları veya Cl, F, O, N ve S atomları bulunur. Hidrokarbon zincirlerinin genel formülü C_mH_{2m+2} şeklindedir. Zincirdeki m sayısı arttıkça molekülün boyutu büyür, aralarındaki zayıf bağ sayısı artar. Bu şekilde gaz halinde iken sıvı, daha sonra katı olur. Bu dönüşümlerde hem ısı ve hem de mekanik etkilere karşı direnci artar. Polimerleri oluşturan ana gruplar doğrusal, dallanmış veya çapraz şekilde bağ oluşturarak yapılaşırlar. Grupların bir molekülündeki sayısına “Polimerizasyon derecesi” denir. Plastiğin molekül kütlesinin hesabı için grup molekül kütlesi ile polimerizasyon derecesinin çarpımı yapılır (Yaşar 2001).

2.2.2.1 Polimerizatlar

Aynı veya benzer cinsteki monomerlerin birleşerek yan yana oluşturdukları zincir şeklindeki yapıya polimerizat denir. Özellikle C-C-C- bağlarıyla zincirleme yapı sisteme bağlanan H atomlarıyla bir bütün oluşturmaktadır. Polimerizasyon yöntemiyle üretilen plastiklerdir. Hammaddeleri petrol ve taş kömüründen elde edilen benzinin moleküllerinin parçalanarak daha küçük moleküller haline getirilmesiyle oluşturulurlar. Parçalama işlemi için kademeler halinde reaksiyonlar oluşturularak büyük molekül küçük moleküllere dönüştürülerek polimerizatlar oluşturulur (Yüksel ve Meran 2016).

2.2.2.2 Poliadüktler

Poliadisyon yöntemiyle üretilen plastiklerdir. Farklı cins monomerlerin makro molekül oluşturacak şekilde birleştirilmesidir. Birleşim sonunda bir yan ürün açığa çıkmaz. Bileşen uçların uçlarında hareket edebilen atom molekülleri vardır. Poliadisyon yönteminde hidrojen atomu moleküller arasında yer değiştirir. Zincir bağlantıları $-C-C-$ şeklinde olabildiği gibi, $-O-N=C=S-$ şeklinde yapılarda görülebilir. Burada C- bağlantılarının yanı sıra N- ve S- bağlarının olması makro moleküllerin üç boyutlu ağlaşmasını da sağlayabilir. Termoset ve elastomerler içerisinde üç boyutlu ağlaşmış yapılar incelendiğinde çoğunlukla poliadükt yapı ile karşılaşılır (Yüksel ve Meran 2016).

2.2.2.3 Polikondenzatlar

Polikondenzasyon yöntemiyle üretilen plastiklerdir. Farklı cins monomerlerin molekül oluşturacak şekilde birleştirilmesidir. Birleşim sonunda bir yan ürün açığa çıkar. Genellikle açığa çıkan yan ürün su olur. Ayrıca hidroklorik asit, karbondioksit, amonyak vb. gibi yan ürün açığa çıkabilir. Monomerler arasında zincir şeklinde bir ağlaşma olmaktadır. Burada birleşen atomların uçlarında hareketli atom grupları görülmektedir (Yüksel ve Meran 2016).

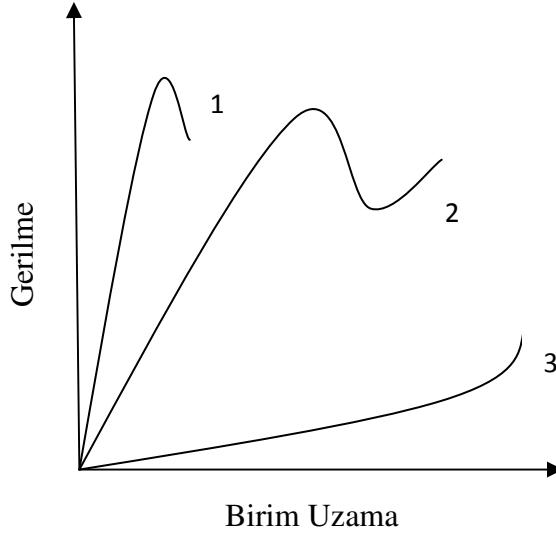
2.2.3 İç Yapılarına Göre Plastikler

Plastik malzemeler iç yapılarına göre dört gruba ayrılır. Bağ yapıları, monomerlerin birleşimi iç yapı farklılıklarına neden olur. İç yapıların farklılığı özellikle dayanım değerlerinde değişkenlikler oluşturur. İç yapılarında amorf ve yarı kristalli bölgelerin varlığı dayanım açısından önemli farklılıklar oluşturmaktadır.

Polimerler aynı zamanda polimer sentezinde kullanılan monomerlerin düzenlenmesiyle sınıflandırılır.

Tek bir monomer bir polimer oluşturmak için kullanılıyorsa sonuç bir homopolimerdir. Homopolimerin oluşumu için aynı monomerlerin oluşturduğu makro moleküller meydana gelmelidir. Bir polimer oluşturmak için bir veya daha fazla monomer kullanılırsa, sonuç bir kopolimerdir. Bir kopolimerin oluşma şekli de önemlidir. Monomerler birbirleriyle tamamen rasgele bir şekilde tepki gösteriyorsa, sonuçta rastgele bir kopolimer oluşur. Monomerler her iki yanında boş bağ bırakan yapılardır. Serbest olan bu alanlar herhangi birleşme anında bağlanırlar. Bu tip monomerler bifonksiyonel monomer olarak bilinmektedir. Her iki tarafında birden fazla bağ yapabilen monomerler ise polifonksiyonel olarak bilinmektedir. Monomerlerden oluşan molekülün şekli monomerlerin fonksiyon sayılarına göre değişmektedir. Tek bağ ile bağlantı sağlayabilen bifonksiyonel monomerler lineer veya zincir şeklinde moleküller oluşurken polifonksiyonel olanlar üç boyutlu çapraz bağ ile bağlanarak uzay ağı oluştururlar. Lineer ve zincir bağ sisteminde düz zincir veya ağlaşmış zincir yapı görülebilmektedir. Bu şekildeki sınıflandırma yapısal olarak değerlendirildiğinde lineer moleküllü yapılar termoplastikleri, üç boyutlu çapraz bağlı sistemler termosetleri oluşturmaktadır (Akkurt 1991).

Polimerler, ayrıca gerilme-birim uzama tepkilerine bağlı olarak da sınıflandırılmaktadır. Şekil 2.1’de görülen 1, 2, ve 3 eğrileri sırasıyla değerlendirildiğinde, malzeme üzerine gelen yüke karşı gösterdiği direnç açısından farklı tepkiler sunan plastik malzemeler incelenebilir. 1 eğrisinde gerilme değeri yüksek, fakat birim uzama değeri küçük olan bir plastik malzeme de hızlı bir kırılma görülür. Plastik malzemede oluşan tepki gerilim ve birim uzama açısından yakın değerlere sahip olduğu 2 eğrisinde sert bir plastik yapının gerilmeye bağlı gösterdiği dayanım görülebilir. Ayrıca gerilme değeri düşük olsa da uzun süreli uzamaya maruz kalabilen plastik için 3 eğrisinde görüldüğü gibi uzun süreli elastik şekil değişimi gösterebilen elastomerik bir plastik sınıflandırması yapılabilir. Genel olarak bakıldığında, malzemelerin dayanım değeri arttıkça uzama değerleri düşmektedir. Uzama kabiliyeti yüksek olan malzemelerin ise dayanım değerleri düşüktür.



Şekil 2.1: Plastiklerin iç yapılarına göre gerilme – birim uzama değişimi, (Pocius 2012).

2.2.3.1 Termoplastikler

Makro molekülleri arasında ağlaşma olmayan plastiklerdir. Sıcaklığa maruz kaldıkça yumuşayan plastiklerdir. Isıtılarak tekrar plastik şekillendirmeleri mümkündür. Her ısıtıldığında makro molekül yapı biraz zayıflar fakat özgül kimyasal yapıya geri döner.

Termoplastikler amorf ve yarı kristal olarak sınıflandırılabilir. Amorf termoplastiklerin moleküler seviyede uzun iç yapı bağ düzeni yoktur. Semi kristalin termoplastiklerin en azından iç yapının bir kısmında ve yüzeyde kristal yapısı sergileyen alanlar görülebilir. Yarı kristal polimerler yapısında hem amorf bir bölge hem de iyi tanımlanmış kristal yapılar görülebilir. Yarı kristal bir polimerdeki kristallik derecesi fiziksel özelliklerini büyük ölçüde belirler (Pocius 2012). Kaynak edilebilirler, ergitilebilirler ve çözücülerle çözündürülebilirler. Geri dönüşümü mümkün olduğu için en çok kullanım alanı bulan plastik malzeme grubudur. Termoplastiklerde zincir bağ sistemleri arasında kuvvetli kovalent bağlar vardır. Bu bağlar zincirin mukavemetini artırır. Moleküller arasında ise fiziksel bir bağ oluşumu yoktur. Moleküller arası van der Waals bağı ile bağlı olduklarından iç yapı dayanımı düşük malzemelerdir. Bu bağ sistemi sayesinde moleküllerin birbirlerine karşı elektrostatik çekme kuvvetleri oluşur. Malzemenin şekillendirilmesi bağ sisteminin zayıflamasından dolayı yani makro moleküller arasında ağlaşma olmadığı için kolaylık sağlamaktadır. Bu şekilde ısıtılarak malzemenin yumuşaması ve

şekillendirilmesi sağlanabilir. Dolayısıyla termoplastik ısıtıldığında moleküller arası kuvvet zayıflar ve zincirler arasında bir hareket başlar. Malzeme soğutulduğunda ise moleküller arası kuvvetler tekrar artar ve molekül zincirleri sağlam bir katı yapı oluşmasını sağlar. Ancak sisteme verilecek yoğun ısı moleküller arası zincirleri koparabilir ve malzemeden beklenen dayanım değerleri oluşmaz. Zincirler arasındaki mesafe azaldıkça oluşan çekme kuvveti artar. Zincirlerin birbirlerine yaklaşması lineer olan zincir sistemlerinde daha rahat gerçekleşir. Dallanmış zincir sistemleri arasında moleküllerin bağ kurması ve birbirlerine yaklaşması daha zordur. Dolayısıyla dallanmış zincir sisteminde elde edilen dayanım değerleri lineer zincir sistemine göre daha düşüktür (Akkurt 1991).

Türlerine göre plastiklerin mekanik özelliklerinde önemli farklar vardır. Bazı plastikler için aşınma dayanımı, uzama değerleri metallerin göstermiş olduğu mekanik değerlerin üzerine çıkabilmektedir. Genel olarak bakıldığında sertlik, basma ve çekme dayanımları metallere göre daha düşüktür.

Bazı termoplastiklerin yapıları ve özelliklerine bakıldığında en çok kullanım alanı bulanlar PE, PP, PVC, PC, PA vb. şeklinde sıralanabilir. PE malzeme hafif, yarı kristalli bir termoplastiktir. Etilenlerin polimerizasyonu sonucu oluşur. Polimeri şekillendirmek için basınç, sıcaklık ve katalizör kullanılması gerekir. PE malzemesinin kapladığı hacim ve yoğunluk, üretimi sırasında reaksiyon şartlarının değiştirilmesiyle elde edilebilir. PE’de oluşan yoğunluk artışı ile malzemenin sertliği, yüzey abrazyonu, gerilme dayanımı, modül, termal denge, kimyasal direnci, yüzey parlaklığı, berraklığı, esnekliği, uzama ve gerilme darbe direnci arttırılabilir. PE genel anlamda yüksek performansa sahip bir plastiktir. Fakat çok yönlü olması, ucuz olması, kullanım alanını genişletmektedir. PE’nin özellikleri yoğunluk ve moleküler ağırlığına bağlı olarak değişmektedir.

PP malzeme monomerlerin polimerizasyonu sonucu üretilir. PP iyi mekanik özelliklere sahiptir. Isı ve kimyasal dayanımı iyidir. PP bilinen en yüksek esneklik modülüne sahip poliefindir. En hafif termoplastiklerden biri ve dayanımı yüksektir. PP malzeme düşük sıcaklıkta sahip olduğu kötü gerilme dayanımından dolayı dikkatli seçim yapılacak sıcaklık aralıklarında çalıştırılmalıdır.

PVC malzeme radikal polimerizasyon yöntemi ile vinil kloride monomerlerinin birleşmesiyle oluşmaktadır. PVC malzeme genel olarak kırılğan,

gevrek bir yapıya sahiptir. Fakat üretimi sırasında eklenen alaşımlar ile elastiklik özelliği elde edilebilir. PVC suya, havaya ve korozyona karşı yüksek direnç gösterir. Elektrik ve termal yalıtkandır. Birçok PVC yüksek sıcaklığa dayanıklıdır ve yanmazlık özelliğine sahiptir. PVC en fazla 104 °C sıcaklığa dayanabilmektedir.

2.2.3.2 Termosetler

Termosetler makro molekülleri birbirleriyle dar biçimde ağlaşmış, geri dönüşümü mümkün olmayan plastik grubudur. Termoset malzemelerin iç yapılarında amorf ve yarı kristal bölgeler bulunabilir. Makro moleküller arasında kovalent bağlar vardır. Üç boyutlu çapraz bağlanmış bir iç yapıya sahiptirler. Moleküller arası oluşan yan bağlar malzemeye dayanım ve ısı direnci açısından yüksek değerlere ulaşma kabiliyeti sağlamaktadır. Buna bağlı olarak kalıcı şekil değişimleri mümkün değildir. Sert ve kırılğan iç yapılarından dolayı diğer plastik gruplara göre esneme özelliği daha düşüktür. Moleküller arasındaki bağın kuvvetli olması şekillendirilmeyi zorlaştırmaktadır. Çapraz bağın etkisi termosetlerin sertleşmesine ve şekil değişiminin olmasına engel olmaktadır. Isıtıldıkça sertleşen iç yapı, sıcaklığın daha fazla artmasıyla bozunmaya başlar.

2.2.3.3 Elastomerler

Makro molekülleri birbirleriyle termoset plastiklere benzer şekilde ağlaşmıştır. Elastomerlerin ağlaşma yapılarındaki gözenek yapısı daha geniştir. Elastomerler de kürleşme sırasında uzun polimerik zincirler arasında çapraz bağlar meydana gelir. En önemli özellikleri esnek ve elastik olmalarıdır; oda sıcaklığında gerdirildiğinde uzunluğunun en az iki katı kadar uzarlar ve gerilimin kaldırılmasıyla hemen eski boyutuna dönerler. Bu özellikler özel polimer sistemleriyle sağlanır. Ağ gözeneklerinin genişliği elastomer plastiklerde daha büyüktür. Camlaşma sıcaklığının altında sert elastiklerdir. Ergimezler, çözünmezler, fakat sıvı emerler.

2.3 Plastik Malzemelerde Yapıştırma ve Önemi

2.3.1 Yapıştırma İşlemleri

Yapışma işlemi iki malzemenin aralarında bağlantı kurmak için kullandıkları yapıştırıcı ile bağ kuvvetleri oluşturarak birleşme şeklidir. Yapıştırma sırasında iki önemli kuvvet oluşmaktadır. Bu kuvvetler adezyon ve kohezyon kuvvetleridir.

Adezyon kuvveti, yapıştırma sırasında yapışan yüzey ile yapıştırıcı arasında oluşan kuvvettir. Yapıştırıcı ve yapışma alanı birbirine karşı bağ kurma isteği göstermektedir. Bu durumda oluşan ara bağ kuvveti adezyon kavramını oluşturmaktadır.

Kohezyon kuvveti, yapıştırıcının kendi içerisinde meydana gelmektedir. Yapıştırıcı içerisinde bütünlük sağlayan kuvvetli bağ yapı yapıştırıcının mevcut durumunu korumasını sağlamaktadır. Bu kuvvete kohezyon kuvveti denir. Yapıştırıcı içinde oluşan; fiziksel olarak Van der Waals bağ kuvvetlerinin etkisi ve kimyasal olarak monomerlerin bir arada kalmasını sağlayan bağ kuvvetlerinin etkisi kohezyon kuvvetlerinin tamamını oluşturmaktadır.

Yapışmayı etkileyen farklı faktörler vardır. Sıcaklık, basınç, zaman, katalizör, oksijen, nem, su, çözücü ve ultraviyole ışınlar şeklinde belirtilebilir.

Yapıştırma için ideal sıcaklık oda sıcaklığıdır. Bu sıcaklıkta kürleşme hızı yüksektir. Fakat yüksek sıcaklıkta yapıştırmanın yapılacağı durumlarda olmaktadır. Sıcaklık yükseldiğinde yapışma hızı artar. Yapıştırıcının özelliklerinin bozulmaması için sıcaklık kontrolünün dengeli şekilde yapılması gerekmektedir.

Basınç uygulaması iki yüzeyin yapışma hızını artırır ve yapışmayı kolaylaştırır. Özellikle ince cidar kalınlığına sahip malzemelerin yapıştırılması için basınç uygulaması yapışma kalitesini arttırmaktadır. Yapışmada süre, yapıştırıcının kürleşme süresine bağlı olarak değişmektedir. Birkaç dakikadan birkaç güne kadar kürleşmenin olması ve yapışmanın tamamlanması sağlanmaktadır.

Yapıştırıcının kullanım alanları da göz önüne alındığında yapıştırıcının etkinliğini arttırmak için katalizör kullanılarak yapışma sağlanmaktadır. Katalizör yapıştırıcının reaksiyon hızını arttırmaktadır.

Oksijen ise yapıştırıcının yapışma anında kürleşmesini engelleyici etki yapabilir. Bazı yapıştırıcıların oksijensiz ortamda yapıştırılması sağlandığında, yapıştırılan bölge oksijenli ortamda uzun süre kalıcılığını koruyabilmektedir.

Bazı yapıştırıcılar için yapışma sırasında su veya organik içerikli yapıştırıcı kullanılmaktadır. Sıcaklığın yükseltilmesi ile yapıştırıcının içindeki bu maddeler yapıştırıcıdan ayrılırlar ve yapışma bu şekilde sağlanır.

Havanın içinde bulunan nem ve su bazı yapıştırıcıların reaksiyona girmesi için önemlidir. Özellikle silikon ve türevlerinde yüzeyin nemli olması yapışma işlemini kolaylaştırıcı etki oluşturmaktadır.

Ultraviyole ışının oluşturduğu küçük dalga boyu ışınlar yapıştırıcı üzerinde etki ederek yapışmayı hızlandırıcı etki oluşturmaktadır.

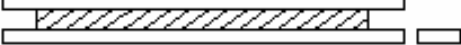
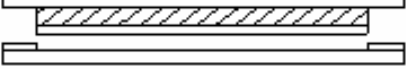
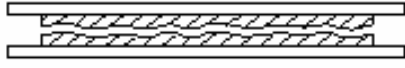
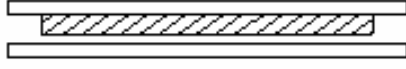
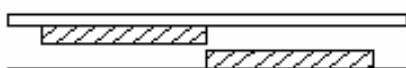
2.3.2 Yapıştırmada Oluşan Hasar Çeşitleri

Yapıştırma alanlarının doğru tasarlanması, uygun şekilde malzemelerin birbirleri üzerinde yerleştirilmesi önemlidir. Yapıştırma sırasında oluşan adezyon ve kohezyon kuvvetlerinin bozulması yapıştırmanın hasara uğramasına neden olmaktadır. Oluşan hasarın nasıl ve neden meydana geldiğinin anlaşılabilmesi için yapıştırma alanına uygulanması gereken mekanik testler vardır.

Mekanik testlerde temel olan, yapıştırıcı ile yüzey arasındaki hasar durumu ile yapıştırıcının içinde oluşan hasar durumunun doğru tespit edilmesi ile sağlanmaktadır. Temel hasar tipleri Şekil 2.2’de verilmektedir.

Yapıştırılan yüzey ile yapıştırıcı arasında malzeme ara yüzeyinde gözle görülebilen bir ayrılık olması durumunda adezyon kuvvetlerine bağlı hasar oluşmuştur. Yüzey ile yapıştırıcı arasında kopma olur.

Yapıştırıcı veya yapışan malzemelerde gözle görülen bir ayrılma olduğunda ve yapıştırıcıda veya yüzeyde fiziksel hasar oluşumu varsa bu durumda kohezyon kuvvetlerine bağlı hasar oluşmuştur. Kopmanın olduğu yüzeylerin her ikisinde de yapıştırıcı görülmektedir (Özenç 2014).

Yapıştırılan malzemede meydana gelen hasarlar	Hasar Tipleri	
		Yapıştırılan malzemelerin birinde veya ikisinde de hasarın olması
		Kohesiv yapıştırılan malzeme hasarı
		Kalkma (Deleminasyon) yoluyla hasar
Yapıştırıcıda meydana gelen hasarlar		Kohezyon hasarı
		Özel kohezyon hasarı
		
		Adhezyon hasarı
		

Şekil 2.2: Yapıştırma alanlarında oluşan hasar tipleri (TS EN ISO 10365).

2.3.3 Yapıştırmanın Avantajları

Plastik malzemeler sahip oldukları bağ şekillerinden dolayı yapışmaya karşı direnç gösteren bir yapıya sahiptirler.

Plastik bir maddenin kendisine veya başka bir plastik malzemeye yapıştırılması, plastik malzemenin türüne ve yapıştırıcıların yapıldığı maddeler ve kimyasallara karşı gösterdikleri dirence bağlı olarak değişmektedir (Kaya 2004). Bu durum yapıştırmanın başarılı olmayan sonuçlar oluşturmalarına neden olmaktadır. Dolayısıyla plastik malzemelerde yapıştırma işlemi için hem çalışma kabiliyeti iyi hem de farklı yöntemlerle yapıştırılabilme ihtimali yüksek malzemeler kullanım için seçilmektedir.

Plastik malzemelerde yapıştırma, özellikle termoplastik grupta daha kolay ve uygulanabilir sonuçlar vermektedir. Bunun en büyük nedeni bu grup malzemenin van der Waals olarak bilinen daha zayıf bir bağ ile bağlanmış olmasıdır. Bağlar arası kopmanın daha kolay olduğu, şekillendirmeye açık yapıya sahip olması yapıştırma için daha kolay çözümler üretmeyi sağlamaktadır.

Plastik malzemeler son dönemlerin en çok tercih edilen tasarımları içerisinde yer almaktadır. Tabiki bunun nedenleri; işlenebilme kolaylığı, ucuz olması ve bir çok malzemeye kıyasla hafif olmasıdır. Özellikle hafifliğin ön plana çıktığı uçak ve uzay sanayi, fiyat politikasının önem kazandığı elektronik üretim ağları, gemi inşaatı, otomotiv sektörü plastiklerin kullanımını son zamanlarda yoğunlaştırmıştır. Bu da bir çok açıdan olumlu imalat özelliği sunan malzemenin kullanımı için yüzey işlemi uygulamalarının geliştirilmesini sağlamıştır. Uygulanan bu yüzey işlemleri ile ara yüz bağlarında meydana getirilebilen mukavemet artışı ile daha dayanıklı yapıştırma alanları elde edilmektedir. Plastik malzemelerin yapıştırılması için uygulanan yüzey işlemlerinde temel amaç, yüzeyin yapıştırmaya uygun hale getirilmesidir. Yani yapıştırıcı ve malzeme ara yüzeyinde meydana getirilen, çoğu zaman gözle görülemeyen şekil değişimleri yapıştırıcının etkisinin artması amaçlanarak gerçekleştirilir. Yapıştırıcı ile yüzey arasında oluşan kohezyon bağ kuvvetlerinin güçlenebilmesi, yapıştırma alanının dayanımını arttırabilen en doğru yüzey ön işleminin seçimiyle gerçekleştirilebilir.

Yapıştırıcının kendi içindeki molekülleri arasında oluşan adezyon kuvvetlerinin mukavemet artışı çoğunlukla yüzeye uygulanan yüzey işleminden bağımsızdır.

Plastik malzemelerdeki bağ yapısı ve yüzey enerjilerinin düşük olması bu kuvvete yönelik artışın sağlanmasını oldukça zorlaştırmaktadır. Yapılan çalışmalarda hedef alınan bölgedeki dayanım artışı, yapılan deneysel çalışmalar ile ölçülmektedir. Plastik malzemenin yüzey enerjisinin belirlenmesi ve bu değerlere göre yüzeye uygulanacak işlemlerin seçilmesi önem arz eder. Düşük yüzey enerjisi, plastik malzeme yüzeyindeki ıslanabilirliği olumsuz etkilemektedir. Yani sıvının yüzeyde yayılmasına karşı yüzeyde direnç gösteren düşük yüzey enerjili bir yapı söz konusudur. Plastiklerin yapıştırılmasını zorlaştıran ıslanabilirlik direnci, genellikle plastiklerin düşük yüzey enerjili yapılarından kaynaklanmaktadır. Bu direnci kısmi olarak ortadan kaldırmak ve yüzeydeki enerji seviyesini yükseltmek beraber sağlanabilecek ilişkili bir durum sunmaktadır. Bunun için plastik yüzeye uygulanan ön yüzey işlemleri ile yüzeyde meydana getirilen şekil değişimi sayesinde yüzey enerjisi arttırılıp ıslanabilirlik daha kolay sağlanmaktadır. Bu da yüzeylerdeki yapıştırmanın daha başarılı sonuçlar oluşturmasını sağlamaktadır.

2.4 Plastik Malzemelerde Yüzey Enerjisi ve Temas Açısı

Plastik malzemelerde yüzey enerjisi moleküller arası kuvvetler tarafından belirlenmektedir. Malzemenin kaynama ve ergime noktaları da bu kuvvetlerin oluşumunda etkili olmaktadır. Plastik yüzeylerin yapıştırılması esnasında, yüzey ve yapıştırıcı arasında farklı çekim kuvvetleri oluşmaktadır. Yapıştırıcı molekülleri ve yapıştırılacak yüzey moleküllerinin birbirlerini çekmesi sonucu oluşan bağ, yapıştırıcı ile malzemeyi bir arada tutar, bu olaya adezyon denir. Kürleşme sonucu iki yüzeyi birleştiren yapıştırıcının kendi molekülleri arasında oluşan bir çekim kuvveti daha vardır. Çekim kuvveti yapıştırıcı moleküllerin, dışarıdan uygulanan kuvvetler karşısında bir arada tutunmasını sağlar. Gerçekleşen bu olaya ise kohezyon denir. Adezyon ve kohezyon olaylarında meydana gelen çekim kuvveti, kovalent, iyon, ve van der Waals kimyasal bağları ile gerçekleşmektedir.

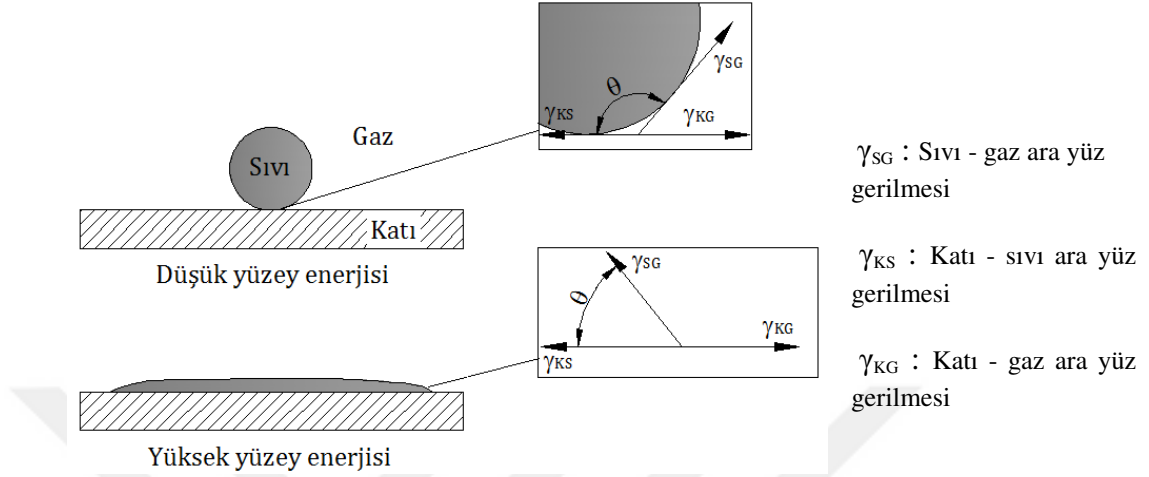
Katı ve sıvı fazdaki iki malzemenin atom veya molekülleri ile kurmuş oldukları bağın oluşturduğu sanal bir ara yüz mevcuttur. Bu iki fazın yapıları birbirleri içinde dağılır ve farklı bir katmanın oluşmasına neden olmaktadır. Atomlar ara yüz sayesinde bir fazdan diğerine geçebilmektedir. Yüzeyde sıvı moleküllerinin oluşturduğu bir çekim kuvveti mevcuttur. Yüzeye etki eden tüm çekim kuvvetleri

toplandığında sıfıra eşit olur. Oluşan bu kuvvet sıvının yüzeye yayılmasına karşı direnç göstermektedir. Bu enerji de yüzey enerjisi olarak adlandırılır. Malzemenin sahip olduğu yüzey enerjisi, üzerine herhangi bir malzemenin yapışmasına karşı gösterdiği direnç ile orantılıdır. Malzeme üzerine uygulanan ıslanabilirlik testi ve ölçülen temas açısı malzemenin yüzey enerji değerinin bulunmasını sağlar (Kovan ve Şekercioğlu 2005).

Yüzey enerjileri bakımından malzemeler, düşük yüzey enerjili ve yüksek yüzey enerjili olarak ayrılmaktadır. Organik bileşikler olarak bilinen polimerler düşük yüzey enerjili malzemelerdir. Yüzey enerjileri genel olarak 100 mJ/m^2 'nin altında değerlere sahiptirler. Metal, metal oksit ve seramik malzemeler ise yüksek yüzey enerjili malzemeler olarak bilinir ve yüzey enerji değerleri 500 mJ/m^2 'nin üzerinde değerler alır. Polimer malzemelerin temasları sırasında oluşan temas açısı ve bu durumda polimer malzemeler arasında oluşan kritik yüzey gerilim açısı arasında oluşan parametrik değerler malzemelerin temas durumları hakkında bilgi vermektedir. Temas açısı ve kritik yüzey gerilimi oluşumu plastik malzemeler arasında kullanılan farklı sıvılarda, farklı değerler almaktadır. Kritik yüzey gerilim değeri ve oluşan temas açısı, düşük enerjili bir yüzeyin karakterize edilebilmesi için önemli parametrelerdir. Temas açısı (θ) ve gerilmeler Şekil 2.3'de gösterilmektedir (Goss 2010).

Termodinamik denge açısından tam ve kısmi ıslanma, iki ayrı denge rejimi oluşturmaktadır. Tam ıslanma, bir sıvı ile düz bir katı yüzey arasındaki temas açısının sıfır olduğu anlamına gelir. Şekil 2.3'de görülen θ açısının sıfır olduğu durum ıslanmanın en iyi olduğu durumu gösterir. Tam ıslatma, bir sıvı ile düz bir katı yüzey arasındaki temas açısının sıfır olduğu anlamına gelir. Bu durumda, sıvı katı yüzey üzerinde çok ince bir film oluşturur ve moleküler etkileşimlerin uzun menzilli karakteri hesaba katılmalıdır. Kısmi ıslanma, temas açısı sonlu ise oluşur. Sıvı, yüzey üzerinde tam yayılma gösteremez. Bu nedenle, tartışılacak temas açısı, makroskopik nicelikler cinsinden tanımlanabilir. $\theta > 0$ olduğu durumlarda yüzeyde tam bir ıslanma oluşmaz. Oluşan ıslanmaya kısmi ıslanma denilir. Sıvının eğilip yüzeyden kolayca uzaklaşmaya eğilim gösterdiği durumda, bu alan için ıslanmayan yüzey ifadesi kullanılabilir. Kısmi ıslanmada önemli iki faktör vardır. Yüzey gerilimi ve yerçekimi kuvvetidir. Yüzey kuvvetleri damlaları küresel hale getirmeye

çalışırken, yerçekimi kuvveti durgun şekilde yüzeyde dağılması yönünde etki etme eğilimindedir (Grundke 2007).



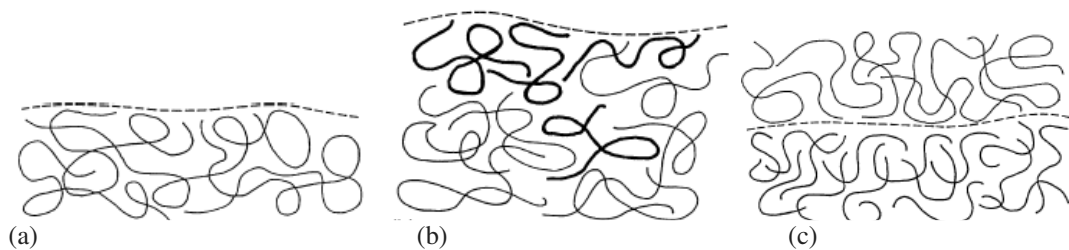
Şekil 2.3: Temas açısı ölçümü (Goss 2010).

Fazlardan biri gaz veya buhar ise, sıklıkla, "yüzey gerilimi" veya "yüzey serbest enerjisi" terimi kullanılır. "Ara yüzey gerilimi" terimi, genellikle birbirleriyle karışmayan iki sıvı arasındaki gerilimi tanımlamak için kullanılır. Örneğin; su ve yağ karışımında olduğu gibi. Katı-sıvı, katı-buhar, sıvı-buhar ve sıvı-sıvı arayüzlerin serbest enerjisini tanımlamak için "ara yüzey gerilimi" veya "ara yüz serbest enerjisi" terimleri de daha genel anlamda kullanılır (Grundke 2007). Yüzeyin pürüzsüz, homojen, izotropik, tepkisiz ve çözünmez gibi özelliklere sahip olması katı parça üzerinde sıvının tutunabilmesini zorlaştırır. Bu durumda θ açısı sıfırdan büyük bir değer olarak yüzey ile arasında oldukça az bağ kurar ve bu durum ıslanabilirliğin kısmi olduğunun ispatıdır. Tabi ki kısmi ıslanabilirlik, yüzey ile sıvı arasındaki ara bağ kuvvetlerinin yetersiz olmasından kaynaklanmaktadır. Bu durumda yüzeyde oluşturulabilecek farklı şekiller, sıvının yüzeyde dağılmasını destekleyecek şekilde olmalıdır.

Polimerlerin yüzeyleri ve gizli ara yüzler, polimerlerin özellikleri ve uygulamaları için önemli bir rol oynamaktadır. Polimer yüzeyine uygulanacak ön işlem ve ara yüz analizi doğru seçilmelidir. Yüzeyler ve ara yüzler, birçok özellik ve uygulamalar için önemlidir. Özellikle homojen olmayan polimer yapılarda ara yüzeyde meydana gelecek şekillendirmeler farklı mekanik özellikler kazandırabilir.

Yüzey ve ara yüzey bağlarının dikkatli incelenmesi uygulanacak yüzey işlemleri açısından önemlidir. Bu alanda çoğu zaman nanometre veya milimetre boyutunda bir kalınlıkta bağ kurulur.

Şekil 2.4’de yüzey ve ara yüzey bağlarının oluşum şekli görülmektedir. Burada zincir bağlar arasında dönme yarıçapları 3-30 nm kadardır. Farklı mikroskopik yüzey özellikleri veya genel olarak bağ sisteminin bir kombinasyonudur. Belirli bir makroskopik yapı veya görünüm elde etmek için önemlidir. Pürüzsüz bir yüzeyin bir sıvı ile ıslatılması söz konusu olduğunda temelde ıslaklık davranışı için en dış yüzey tabakasının bileşimi önemlidir. Bu durumda öncelikle yüzeydeki tabakalarda nanometre ölçeğinde ilk atomik katmanların bileşimi hakkında bilgi edinmek gerekmektedir. Farklı bir malzeme yüzeyinde optik görünüş için mikrometre kalınlığındaki bir yüzey tabakası yeterli olurken iki polimerik malzeme tabakası arasındaki yapışmada ara yüz yakınında bir milimetreden fazla bir bölgenin dikkate alınması gerekir. Yüzey işlemi için öncelikle yüzeyden en az 0,2 nm’lik kalınlıktaki alanın dikkatle incelenmesi ve yüzey pürüzlülük durumunun üstünde durulması gerekmektedir. Buradaki neden ise yüzey ve ara yüz arasındaki bağda farklı yapıların oluşma ihtimalidir. Burada birleşmeyi sağlayacak yüzey ve ara yüz işleminin doğru seçilmesi, aradaki bağın şeklinin doğru tespitiyle mümkün olmaktadır. Polimerlerin yüzey ve ara yüzey gerilmeleri, ıslanma, kaplama işlemleri, biyo uyumluluk, polimer yapısı, korozyon gibi işlemlerde önemli rol oynamaktadır. Yapılan çalışmalara rağmen ara yüzey özellikleri ve malzeme özellikleri arasındaki ilişki konusunda iyi anlaşılamayan noktalar mevcuttur (Stamm 2007).



Şekil 2.4: Plastik malzemede yüzey ve ara yüzey şematik gösterimi; (a) Amorf homopolimer yüzey, (b) Bir bileşenli yüzey ayrımı olan kopomolimer yüzey, (c) Polimerler arasındaki ara yüzey (Stamm 2007).

Plastik malzemelerin sahip oldukları yüzey enerjileri iç yapılarından dolayı farklılık göstermektedir. Farklı plastik malzemelerin sahip olduğu yüzey enerjileri Tablo 2.1’de verilmiştir. En yüksek yüzey enerjisine sahip Naylon’un yapıştırılması diğerlerine göre daha kolaydır. Politetrafloretilen (Teflon) ise en düşük yüzey enerjisine sahip olduğu için yanmaz-yapışmaz mutfak araç ve gereçlerinde kullanılmaktadır. Plastiklerin sahip oldukları farklı yüzey enerjilerinin hesabında temas açısı ölçümünün önemi büyüktür. Oluşan temas açısının yüzey ile yaptığı açı küçüldükçe malzemenin yapışmaya karşı gösterdiği direnç düşmektedir. Bu durum yapışma işlemini kolaylaştıran yüzeyin yüksek enerjiye sahip olduğunu göstermektedir. Yüzey enerjileri artırılarak ıslanabilirlik ve dolayısıyla yapıştırılabilirlik için farklı yüzey hazırlama yöntemleri geliştirilmiştir.

Tablo 2.1: Bazı plastikler için yüzey enerji değerleri (Ebnesajjad 2006).

Plastik Malzeme	Yüzey Enerjisi (dyne/cm)
Politetrafloretilen	18-19
Politrifloretilen	22
Polivinildi Florür	25
Polivinil Florür	28
Polipropilen	29
Polietilen	30-31
Düşük Polisitiren	33
Yüksek Polisitiren	37
Polimetilakrilat	38
Polivinil Klorür	39
Selüloz	42
Polyester	43
Policarbonat	46
Naylon	46

Özellikle deney numunesi olarak seçilmiş malzemelerin yüzey enerji değerlerine bakıldığında yapıştırma öncesi bir yüzey işlemi olmadan yapıştırmanın başarısız olacağı buradan da görülmektedir. Mevcut yüzey enerji miktarlarının yapıştırmada iyi sayılabilecek bir bağ yapısı oluşturabilmesi için en az 50 dyne/cm değerlerine ulaşması gerekir.

Plastik malzemelerde yüzey işlem uygulamaları sonrası yapılan yapıştırma ile elde edilen yüksek mukavemet değerleri endüstrideki kullanım alanını da

arttırmaktadır. Otomotiv sektöründe PP ve PC plastik malzemelerden yapılan far sistemi için farların iç kısmına zamanla nem girmesini önleyecek uzun süreli kalıcı bir yapıştırma ömrü elde edilmesi amaçlanmaktadır. Buna yönelik plazma sistemi kullanarak yapılmış olan yüzeysel çalışmalar olumlu sonuçlar vermiştir. Havacılık sektöründe, uçak dış aksamalarının %40'ından fazla bir bölgesinde kullanılan karbon elyaf takviyeli plastik konstrüksiyon üretimi için yapıştırma öncesi kullanılan plazma teknolojisi iyi sonuçlar vermektedir. Plazma sistemi ile kullanılan KTP malzemenin dayanım değerlerinde iyileşmeler tespit edilmiştir.

Gemicilik sektöründe korozyon sıkıntısının ortadan kalkmasına yönelik yapılmış çalışmalarda, hafif konstrüksiyon amaçlı kullanılan plastik takviyeli malzeme yüzeylerinde kaplama öncesi yüzey şekillendirme için plazma teknolojisi kullanarak olumlu sonuçlar elde edildiği görülmektedir. Böylece yapıştırma uygulanarak yapılan kaplamalarda daha iyi birleşmeler tespit edilmiştir.

Beyaz eşya imalatında, PP malzemeden imal edilen ve yapıştırılarak kullanılan parçalarda, uzun süre yapışma kalitesini koruyabilmek için plazma teknolojisinin kullanılarak yüzey enerjisinin arttırıldığı görülmektedir. PP malzeme üzerinde uygulanmış olan plazma çalışmalarında, önemli artışlar tespit edilmiştir.

2.5 Plastik Malzemelerin Mekanik Özellikleri

Plastik malzemelerde yüzeyin istenilen enerji seviyelerinde olmaması özellikle malzemenin başka malzemelerle bütünleşmesi istenilen alanlarda çalışma zorluğu oluşturmaktadır. Plastiklerin yüzey ve ara yüzeylerindeki mekanik özelliklerinin yüzey hazırlama öncesinde ve yapıştırma kalitesi açısından önemi oldukça fazladır.

Plastik malzemelerin ortak özelliklerine bakıldığında; düşük yoğunluğa sahip olmaları, organik, büyük moleküllü yapıları, makro moleküller içindeki atomlarda kovalent bağ ile bağlı oldukları, elektrik, ısı ve ses yalıtımı açısından tercih edildikleri sıralanabilir. Ayrıca mekanik özelliklerinin homojen olmaması, katı maddeleri ile özelliklerinin değiştirilebileceği ve ısı genleşme katsayılarının metallere göre daha yüksek olduğu da bilinmektedir.

Plastik malzemelerin özellikleri katkı maddeleri ile, makro moleküllerin birbirleri ile harmanlanmasıyla, moleküllerdeki farklı ağlaşma ve kısmen kristalleşme yapılarının sağlanmasıyla değiştirilebilir (Yüksel ve Meran 2016).

Plastik yüzeyinde işlem uygulanmadan önce üstünde durulması gereken bir konu da; plastik malzemenin mekanik özellikleridir. Malzeme üzerine uygulanacak işlemler ile mekanik davranış sert ve kırılığandan son derece esnek yapı oluşacak kadar değişim gösterebilir. Ayrıca mekanik özelliklerin yüksek sıcaklığa ve malzeme üzerine yapılan yükleme şekline göre de değişim gösterdiği bilinmektedir. Pratik uygulamalar için, davranışın genellikle özel geometrik koşullar altında, yüzeyin yakınında veya çok küçük numunelerde tanımlanması gereklidir. Plastiklerin mekanik özelliklerinin tespiti için karakteristik test uygulamaları yapılmaktadır. Plastiklerin deformasyon aralıkları oldukça geniştir. Yapılan deneysel çalışmalar plastiğin ne zaman ve nasıl deformasyona uğrayabileceği hakkında net sınır değerler verememektedir (Schneider 2007).

Plastiklerdeki yüzey teması, temas halinde olduğu malzemenin özelliklerine de bağlı olarak değişmektedir. Ara yüzeylerde malzemelerin birbiri üzerinde oluşturabileceği kuvvet, ara yüz kuvvetine etki edecektir. Malzemelerin meydana getireceği deformasyon çoğu durumda yüzeyde kalıcı şekil değişimine sebep olabilir. Her plastik malzeme için camsı geçiş sıcaklığı, ergime sıcaklığı gibi değerler malzemenin iç yapısına, bağ sistemine göre farklılıklar göstermektedir. Özellikle camsı geçiş sıcaklığı plastik malzemelerde mekanik dayanım değerleri açısından önemli farkların oluşmasını sağlamaktadır. Metal malzemelerde mevcut olan metalik bağ sistemlerine göre plastiklerdeki amorf yapı daha farklı ve tahmin edilemeyen mekanik değerler verebilmektedir. İç yapının dışında, plastiklerde özellikle sahip olunan düşük yüzey enerjileri de mekanik dayanım değerlerinin farklı sonuçlar oluşturmasını sağlamaktadır. Plastiklerin mekanik özellikleri bir çok metal malzemeye göre çok daha düşüktür. Fiziksel olarak hafif olmaları açısından, elastiklik yönünden daha iyi sonuçlar verebildikleri için kullanım alanları artmaktadır. Plastiklerde genel olarak 100-150 °C sıcaklık değerlerinde çalışma bölgeleri oluşturmak mümkündür. Plastiklere eklenebilen bazı alaşım elementleri ile çalışma sıcaklığının günümüzde 450 °C sıcaklıklarda çalışmaya uygun hale getirildiği bilinmektedir. Özellikle sıcaklığın arka planda kaldığı, hafif ve kolay

tasarım, kolay imalat amacı oluşan üretim alanlarında tercih edilme oranında artışlar olduğu görülmektedir.

Plastiklerin mekanik özelliklerinin farklı malzemeler ile karşılaştırılması Tablo 2.2’de gösterilmiştir. Mekanik değerler karşılaştırıldığında plastik malzemelerin özellikle çekme dayanımına karşı gösterdiği direnç oldukça düşüktür. Malzemeler üzerinde uygulanan yüzey işlemleri ile birleşme sonrası bu değerlerde belli oranlarda artış sağlanabilmektedir. Tabiki bir plastiğin bir metal gibi çekme dayanımı göstermesi mümkün değildir. Fakat kullanım alanında daha uzun süreli bir çalışma düzeneği oluşturulabilmesi için yüzey işlemleri ile malzemenin dayanım değerlerinin artırılması hedeflenmektedir.

Tablo 2.2: Plastiklerin mekanik özellikleri (Yüksel ve Meran 2016).

Özellikler	Birimi	Değerler	Malzemeler
Çekme Dayanımı	N/mm ²	1000-400	Çelikler
		800-500	Gerilmiş PA ve PET lifleri
		630-200	Cam elyaf takviyeli UP ve EP
		400-300	Demir
		290-150	Al.ve diğer hafif metaller
		250-35	Cam elyaf takviyeli termoplastlar
		100-50	Camlar
		85-60	Ağaç malzemeler
		80-40	Termosetler
		70-2	Termoplastlar
Kopma Uzaması	%	1000-10	Elastomerler
		800-3	Termoplastlar
		3-1	Cam elyaf takviyeli termoplastlar
		3-0,8	Termosetler
		1,5-0,7	Ağaç malzemeler
		0,8-0,2	Cam elyaf takviyeli termosetler
		0,7-0,1	Doğal taşlar
		0,2-0,07	Dökme demirler
		≈ 0,15	Camlar
		≈ 0,05	Tam sertleştirilmiş çelik
Basma Dayanımı	N/mm ²	2000-800	Camlar
		600-480	Dökme demirler
		480-180	Cam elyaf takviyeli
		420-350	Çelikler
		300-100	Termosetler
		140-80	Termoplastlar
		140-70	Alüminyum
		60-20	Ağaç malzemeler
		8-0,01	Elastomerler

2.6 Plastik Malzemelerin Isıl Özellikleri

2.6.1 Camsı Geçiş Sıcaklığı

Plastiklerin ısı özellikleri malzemenin iç yapısına ve bağ sistemine bağlı olarak değişmektedir. İmalat aşamasında soğumanın yavaş gerçekleştiği durumlarda kristalleşme görülse bile tamamen kristalleşme oluşmaz. Kristalleşmenin en fazla olduğu plastik malzemelerde, bağ sistemlerinde en az %10 kadar bir hacim boş kalmaktadır. Yani amorf alan oluşmaktadır. Çoğunlukla amorf yapılı veya yarı kristalli yapıya sahip plastikler için bu durum geçerlidir.

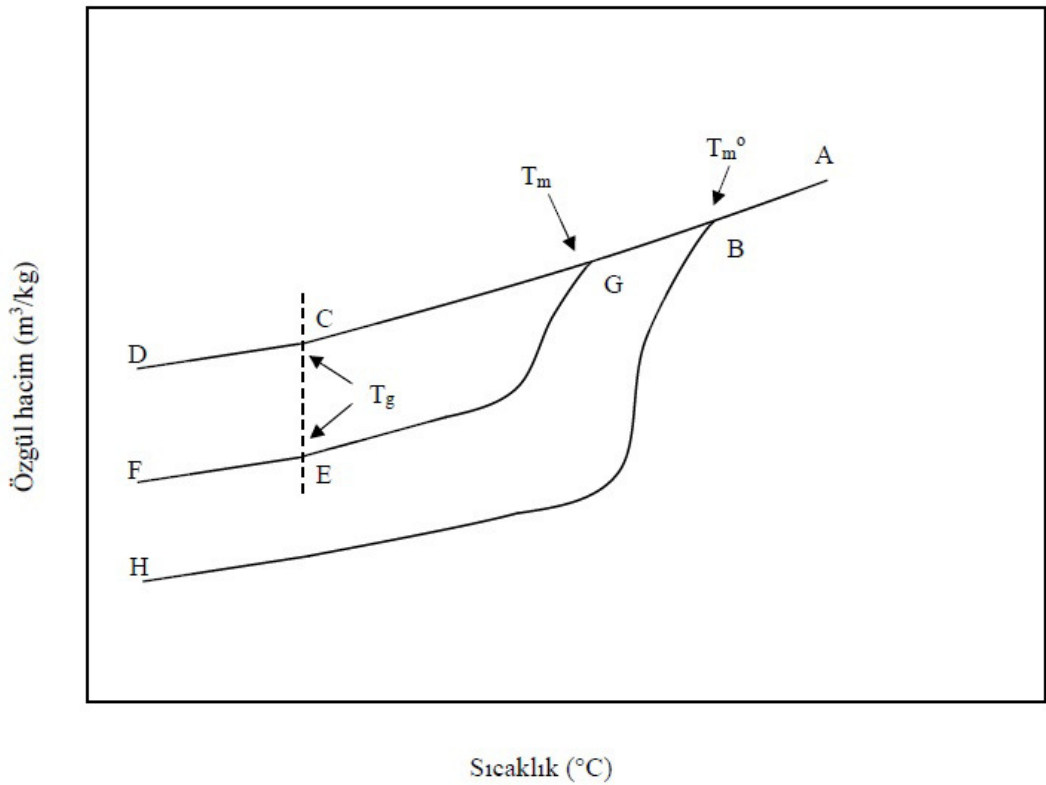
Termoplastikler sıcaklığa bağlı olarak farklı davranışlar göstermektedirler. En önemli iki nokta camsı geçiş sıcaklığı (T_g) ve ergime sıcaklığıdır (T_m). Plastiğin yarı kristal yapısı her plastik için farklı sıcaklıklarda camsı geçiş sıcaklığı ve ergime noktaları oluşturmaktadır. Deneysel çalışmalarda kullanılan üç farklı plastik için bağ sistemi, camsı geçiş sıcaklığı ve ergime sıcaklığına ait değerler Tablo 2.3’de verilmiştir.

Tablo 2.3: PE, PP ve PVC bağ sistemi, camsı geçiş ve ergime sıcaklıkları.

Polimer ve tekrarlanan ünite	Durum	T_g (°C)	T_m (°C)
$\left(\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\ \quad \\ -\text{C}-\text{C}- \\ \quad \\ \text{H} \quad \text{H} \end{array} \right)_n$	Dallanmış (%60 kristalli yapı) – Lineer (%95 kristalli yapı)	-115	115-138
$\left[\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ -\text{C}-\text{CH}_2- \\ \\ \text{H} \end{array} \right]_n$	Dallanmış (%60 kristalli yapı)	-20	176
$\left[\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{Cl} \\ \quad \\ -\text{C}-\text{C}- \\ \quad \\ \text{H} \quad \text{H} \end{array} \right]_n$	Amorf - Yarı kristalli	80	212-273

Sıcaklığın azalması durumunda ise hareketler yavaşlar ve bir süre sonra zincirler arasında hareket durur. Fakat belirli sıcaklıklarda plastiği oluşturan atomlar kendi eksenleri etrafında titreşim hareketine devam etmektedir. Bu sıcaklık camsı geçiş sıcaklığı olarak bilinir. Camsı geçiş sıcaklığının altında, malzeme rijit haldedir; yani katı ve sert halini korur. Camsı hal malzemenin yapısından çok soğutulma hızına ve şekline bağlı olarak değişmektedir. Yarı kristalli polimerler belli bir sıcaklıkta erir, amorf polimerler ise kauçuk gibi bir davranış gösterip sıcaklık arttıkça macunumsu bir hal alırlar.

Her plastik için farklı olan camsı geçiş sıcaklığının değişimi malzemenin özgül hacimine bağlıdır. Polimerlerin özgül ağırlıkları arttıkça camsı geçiş sıcaklıkları da artar. Dolayısıyla özgül hacim, camsı geçiş sıcaklığını etkileyen kavramlardan biri haline gelmektedir. Bu durum Şekil 2.5’de görülmektedir.



Şekil 2.5: Polimerlerin özgül hacim - sıcaklık değişimi.

Şekil 2.5’e bakıldığında, ACD eğrisi tamamen amorf yapıya sahip bir termoplastiğin özgül hacminin sıcaklığa bağlı değişimini göstermektedir. Eğrinin DC kısmı plastiğin camsı olduğu bölgedir.

Malzemenin bu bölgede ısıtılması enerji düzeyini arttırmaktadır. Molekül içerisinde atom hareketi başlar. Zincir bağ sisteminin hareketlenmesi sisteminin şeklinin bozulmasına ve lastik gibi özellik gösteren fiziksel bir hale geçmesine neden olmaktadır. Sıcaklığın artması zincirlerin tamamen bağımsız hale gelmesini ve yapı içerisinde harekete geçmesini sağlamaktadır. Zincirler tamamen bağımsız hale geldiğinde malzeme sıvı gibi davranmaya başlar. Amorf yapıdaki malzemenin tam bir ergime noktası yoktur. Sıcaklığın artmasıyla yapıda meydana gelen bozulma, macunumsu bir hal oluşturur ve sonrasında sıvı hale geçiş görülmektedir. Fiziksel halin macunumsu hale gelmeye başladığı camsı geçiş sıcaklığı malzemenin yapısı ile ilgili yorum yapılabilmesi açısından önem taşımaktadır.

Tamamen kristalli yapıda malzemenin katı halden sıvı hale geçişi HBA eğrisiyle belirtilmektedir. Kristalli yapıya sahip sistemlerde camsı geçiş sıcaklığı yoktur. Katı halden ısıtılan malzeme (T_m) ergime sıcaklığında kristal yapının bozulması ile faz değişimine maruz kalarak sıvı hale gelebilir.

Plastik malzemelerin, özellikle termoplastiklerin çoğunluğu yarı kristalli haldedir. Dolayısıyla bu malzemelerin hem camsı geçiş sıcaklığı (T_g) hemde ergime sıcaklığı (T_m) değerleri vardır. Camsı halde bulunan bir plastiğin katı sıvı faz geçişi FEGA eğrisine göre oluşmaktadır. Sıcaklığın artması ile camsı geçiş sıcaklığındaki malzemenin zincir bağları harekete geçmektedir. Öncelikle macunumsu hale gelen malzeme ergime sıcaklığında kristalli yapının bozulması ile sıvı faza geçmektedir. Kristal derecesine göre mevcut eğri amorf yapıya veya kristalli yapıya doğru yaklaşabilmektedir (Akkurt 1991).

Plastiğin camsı hali, rijit ve kristal olmayan gevrek bir hal içinde bulunmaktadır. Fakat bu durum plastiğin cinsine ve sıcaklığına bağlı olarak değişebilmektedir. Camsı geçiş sıcaklığının değeri, molekül ağırlığı, moleküller arası kuvvetin durumu, zincir bağ içerisindeki yapının rijitliğine ve çapraz bağların durumuna göre değişmektedir. Mevcut yapıların büyümesi yani artması camsı geçiş sıcaklığını da yükseltir. Plastiklerde kullanılabilen yumuşatıcılar camsı geçiş sıcaklığını düşürücü etki yapabilmektedir. Camsı geçiş sıcaklığının artması ile kristallenme derecesi azalır. Genellikle ergime sıcaklığına bağlı olarak camsı geçiş sıcaklığının değişimi aşağıda belirtilen şekildedir;

Kristalli plastiklerde $0,5 T_m < T_g < 0,67 T_m$

Yarı kristalli plastiklerde $T_g \approx 0,5 T_m$

Amorf plastiklerde $T_g \approx 0,67 T_m$

Yarı kristalli yapıdaki plastiklerin iç yapıları, bağ sistemleri camsı geçiş sıcaklıklarında önemli farklar oluşmasına neden olmaktadır. Camsı geçiş sıcaklıklarındaki farklar aynı zamanda ergime sıcaklıklarını da değiştirmektedir. Tablo 2.4’de farklı plastikler için camsı geçiş sıcaklıkları ve ergime sıcaklıkları verilmektedir.

Tablo 2.4: Plastiklerin camsı geçiş ve ergime sıcaklıkları.

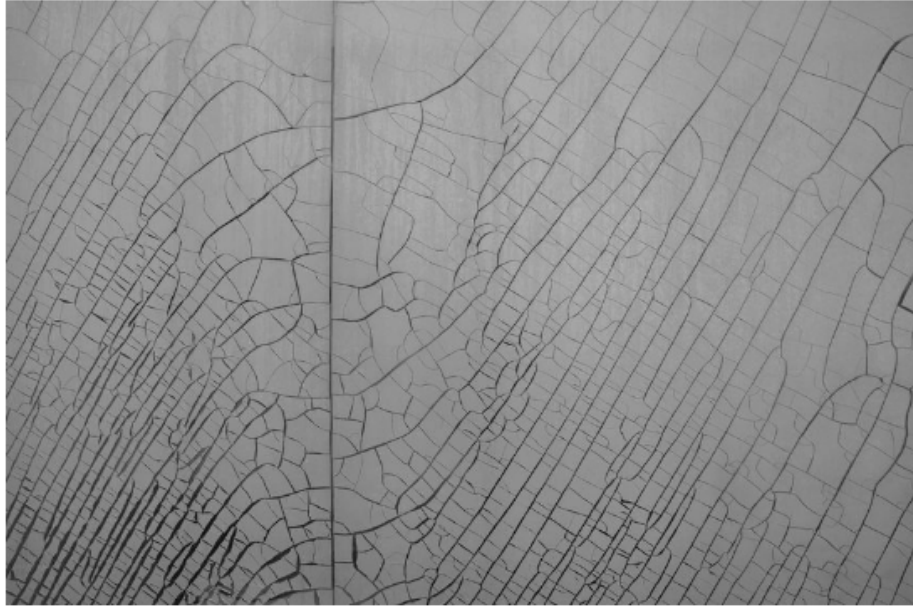
Plastik	T_g (°C)	T_m (°C)
Polietilen (PE)	-115	137
Polioksimetilen (POM)	-85	181
Polipropilen (PP)	-20	176
Polivinilklorür (PVC)	80	212
Polisitiren (PS)	100	240
Politetrafloretillen (PTFE)	127	327
Polisopren (Doğal kauçuk)	-73	28

Lineer amorf plastiklerde camsı geçiş sıcaklığı genellikle 40 °C ile 150 °C arasında değişmektedir. Molekül ağırlığı fazla olan plastikler için camsı halde lastik şeklinde bir yapı oluşur, sonrasında sıvılaşma görülür. Molekül ağırlığı düşük olan plastiklerde ise camsı geçiş sıcaklığının altında ve üstünde sıvı hal oluşur (Akkurt 1991).

2.6.2 Plastiklerde Yaşlanma

Plastiklerde yaşlanma özellikle uzun ömürlü olması istenilen endüstriyel alanlardaki kullanım için önemli bir kavramdır. Plastiğin çalışma alanında içinde bulunduğu çevresel şartlar, fiziki ortam, dayanımındaki değerleri hangi oranda koruyabileceğinin bilinmesi önem taşımaktadır. Polimer, yaşlanmaya doğrudan kararlılıkla bağlantılıdır ve gerekirse, spesifik uygulamalar için önceden tahmin

edilebilir ve programlanabilir. Genellikle sıcaklık, ultraviyole ışığa maruz kalma, görünür ışık, atmosferik bileşenler, nem veya sıvılar gibi etmenler plastiğin yaşlanması için en etkin durumlar olarak sıralanabilir. Polimerlerde yaşlanma; fiziksel yaşlanma ve kimyasal yaşlanma olarak iki temel şekilde sınıflandırılır. Birçok polimerin amorf yapısı zamanla fiziksel değişime maruz kalmasına ve elastiklik özelliğini kaybederek şekil değişimi yaşamasına neden olmaktadır. Plastiğin moleköl ağırlığının az olması, daha yumuşak yapıda olması yaşlanmaya karşı daha az direnç göstermesine neden olmaktadır. Ayrıca kimyasal bileşimi ile oksitlenmeye karşı daha duyarlı olabilir ve katkı maddelerinin etkisi yaşlanma sürecine olumsuz etki edebilir. Yaşlanan plastik malzeme zincir bağ sistemlerinde oluşan kırılmadan dolayı fark edilir şekilde bir yüzey değişimine maruz kalmaktadır. Şekil 2.6'da yaşlanan bir plastiğe ait yüzey görüntüsü verilmiştir.



Şekil 2.6: Yaşlanmış plastik yüzey.

Yaşlanma; bir malzemenin kimyasal ve fiziksel halinin yavaş ve geri döndürülemez şekilde değişimiyle oluşmaktadır. Bu değişimin malzeme üzerinde olumsuz etkileri vardır. Bu durum sistemin tasarım fonksiyonlarını aşamalı olarak zamanla kaybetmesine, üründe kayıba ve arızaya sebep olmaktadır. Yaşlanma, plastik malzemeler için iki temel sınıfta incelenir;

Kimyasal yaşlanma

- Termokimyasal yaşlanma
 - Anaerobik yaşlanma
 - Oksitlenme
- Fotokimyasal yaşlanma
- Reaktif şartlar altında yaşlanma (ozon, hava kirliliği, nem)

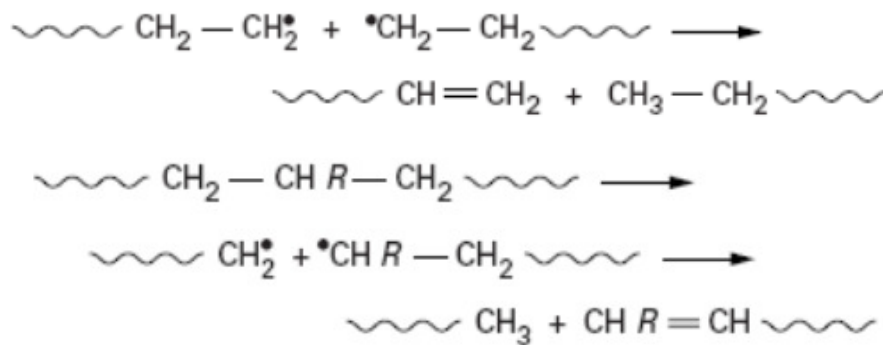
Fiziksel yaşlanma

- Serbest hacim rahatlaması (T_g 'nin altında eriyikten soğutulan polimerler)
- Katkı maddelerin etkisi

Plastiklerin yaşlanmasında en sık karşılaşılan yaşlanma şekli anerobik kimyasal yaşlanma şeklidir. Özellikle zincirler arasındaki bağ kuvvet bu aşamada önem kazanmaktadır. Plastiklerde yaşlanmanın en önemli sebebi zincirler arasındaki bağın sıcaklığa ve zamana bağlı olarak değişmeye başlamasıdır.

Özellikle zincirde meydana gelecek kopmalara sebep olabilecek yaşlandırma, ortam, süre ve sıcaklık ile doğrudan ilişkilidir. Bu durum oluştuğunda malzeme mekanik özelliklerini büyük oranda kaybetmektedir (David 2012).

Şekil 2.7'de PE ve PP malzemelerin anerobik yaşlandırma sonrasında bağlar arasındaki değişiminin durumu görülmektedir.

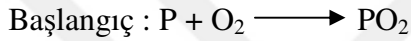


Şekil 2.7: PE ve PP malzemeleri için yaşlandırma etkisi ile zincirler arasındaki bağ değişimi (Yang 2006).

Zincirler arasında oluşan bağın durumu ve zayıflama miktarı malzemelerin moleküler kütle ölçümü ile tespit edilmektedir. Yaşlandırmanın etkisi ile bağlar arasında ortak kullanılan molekül bağ yapıları bozularak farklı yapıda moleküller oluşturmaktadır.

Bağ yapı içerisinde homojen olmayan bu yapılar malzemenin yüzeyinde bozulmalara sebep olmaktadır (Yang 2006).

Plastikler için önemli başka bir yaşlanma şekli ise oksitlenmedir. Oksitlenme bir polimer zincirindeki bir serbest radikal ile bir oksijen molekülü arasındaki reaksiyonu içerir. Aktif olmayan ürünler üretilene kadar zincirleme oksitlenme reaksiyonu devam eder. Bu durum en fazla zayıf C-H bağı içeren plastiklerde görülmektedir. Meydana gelen oksitlenme aşağıda belirtildiği gibi başlar ve sonlanır.



Oksidasyonu kontrol eden önemli bir parametre oksijenin difüzyonudur. Oksidasyon için polimerlerin kristal parçaları amorf parçalara göre daha uzun dayanım göstermektedir. Buna göre yarı kristalli bir polimerin amorf kısımları (PE, PA, PP vb.) genel olarak oksidasyon tarafından saldırıya uğramaktadır. Oksidasyon sırasında serbest radikal üretimi arttıkça oksitlenme hızı öncelikle artış gösterir, sonrasında da doğrusal olarak devam eder.

Plastiklerde fotokimyasal yaşlanmada UV ışını altında çalışan sistemlerde görülmektedir. Fotokimyasal yaşlanmada, UV ışını altında kalan plastik malzemelerin hızlı şekilde yaşlanmasına neden olan bağ yapıları oluşturmaktadır. UV ışının etkisi ile yüzeyde bir tür oksitlenme meydana gelir. UV ışını oluşan sistem üstünde UV fotonu ile bir radikal oluşur. Bu radikal sistemde bulunan C atomları ile birleşerek oksidasyonu oluşturur ve sıcaklık yükseldikçe oksitlenmenin miktarı artar. Özellikle zenon farların altında bulunan ya da bu sistemleri sararak çalışan PE grubu plastiklerde sık karşılaşılan yaşlanma şekillerindendir. Bu çalışma alanlarında yaşlanmanın etkisini azaltmak ve süreci uzatmak için plastik malzemenin içerisine üretim sırasında TiO_2 pigmentleri ve siyah karbon eklemesi yapılmaktadır. Bu şekilde UV ışının, malzemenin içine girmesi belli oranlarda önlenmektedir. Böyle oluşacak yaşlanmanın önüne geçilir (David 2012).

Yaşlanmaya etki eden dış etkenler içerisinde hidrofillik özelliği de vardır. Hidrofilite özelliği; malzemenin ortamdaki nemi içine alma eğilimidir. Özellikle polikondenzasyon yöntemi ile üretilen plastiklerde bu durum ile karşılaşmaktadır. Makromolekülleri oluşturan monomer üniteleri arasındaki sınırların bölünmesi molar kütlenin ve mekanik özelliklerin azalmasına neden olur. Polyester, poliamit (naylon), doğal olarak oluşan kağıtlar ve deri gibi polimerler özellikle hidrolize karşı duyarlıdır. Hidroliz doğrudan moleküler kütlenin azalmasına ve mekanik özelliklerin bozulmasına neden olmaktadır. Farklı reaksiyonlar içeriyor olmalarına rağmen mekanizmaları açısından, hidroliz ve oksidasyon birbiriyle yakından ilişkilidir; her iki süreçte de bu iki oluşum sıklıkla aynı anda hareket eder ve birbirlerini güçlendirebilir.

Fiziksel yaşlanmada, malzeme içinde bulunduğu fiziksel şartlardan dolayı bünyesindeki hava moleküllerini kaybeder ve şekil değişimine uğrar. Bu durumda malzemede meydana gelebilecek çatlak ve boşluklar, malzemenin üzerine gelen çalışma yüküne bağlı olarak büyür ve malzemenin kırılmasına veya kopmasına neden olur. PVC malzeme gevrek yapısından ve bağ sisteminden dolayı fiziksel yaşlanma karşısında uzun çalışma süreleri sonrasında hasara uğrayabilir. Polimer malzemenin normal çalışma koşullarında yaşlanması uzun süreçler almaktadır. Yapılan deneysel çalışmalarda bu durumu hızlandırmak amacı ile hızlandırılmış yaşlanma testleri uygulanmaktadır. Birçok faktör polimerik bir malzemenin dayanıklılığını önemli ölçüde etkileyebilir. Sıcaklık, ısıma, nem, kimyasallar, aktif bir fiziksel stres bu faktörler içerisinde verilebilir.

2.7 Plastiklerde Yapıştırma Uygulamaları

Plastik malzemeler özellikle hafif ve ucuz olmalarından dolayı kullanım alanları genişletilmek için üzerinde çalışılan malzeme gruplarından biri haline gelmiştir. Plastiklerin endüstriyel alanlarda kullanım alanlarının arttırıldığı bölgelerde hem tasarım ve işleme maliyetleri düşürebilmekte hem de hafiflik özelliği çalışma ortamında ekipman üzerinde fazla kuvvet uygulanmasını önleyebilmektedir. Plastik malzemelerin son yıllardaki kullanım alanları incelendiğinde otomotiv sektöründe, elektronik ve havacılık alanlarındaki kullanımının arttığı görülmektedir. Malzemenin şekillendirilmesi ve kullanılması için

mekanik sistemler ile üzerinde oluşabilecek çentik etkisi oluşturulmadan çalışılabilmesi için bağlantı sırasında yapıştırmanın önemi ortaya çıkmaktadır.

Otomotiv üretiminde, birim ağırlıkta mukavemet ve ekonomiklik ön plana çıkmaktadır. Yüksek mukavemetli, sünek, kolay biçimlendirilebilen, ucuz ve hafif malzemelerin kullanımı gerekliliği ortaya koymaktadır. Bu anlamda kullanılan malzemelere baktığımızda, çeliklere karşı düşünülen alternatif malzemelerin hafiflik ile birlikte çeliklere eşdeğer özellikler göstermesi gerekmektedir (Yeter 2010).

Ambalaj sektöründe kutu yapıştırma veya enjeksiyon kalıplama teknolojisi, otomobil parçalarının boyanması, alüminyum bileşenlerin veya EPDM profillerinin yüzey işlemi, elektronikte mikro temizlik veya otomotiv mühendisliğinde, gemi inşasında ve uçak yapımında yaygın kullanımı olan plazma ve korona yüzey işlemleri, çevre dostu yüzey hazırlama teknolojileri haline gelmiştir (Inès 2010).

Özellikle uygulama kolaylığı ve seri üretime uygunluğu açısından otomotiv sektöründe plazma sistemlerinin kullanımı son yıllarda yaygınlaşmıştır. Otomotiv sektöründe yoğun kullanım alanı bulan PE, PP, PS, PA gibi plastik malzemeler düşük yüzey enerjilerinden dolayı yapıştırma alanlarında istenilen dayanım değerlerini verememektedir. Özellikle otomotiv imalatında plastik malzemelerin kullanıldığı alanlarda, yapıştırma, kaplama, baskı ve vernikleme süreçlerinde dayanıklı yüksek kaliteli sonuçlar elde etmek oldukça zorlaşmaktadır. Belirtilen işlemlerin yapılacağı alanlarda yüksek yüzey enerjisi gerekmektedir. Bundan dolayı işlemlerin uygulanmasından önce mutlaka plazma, korona veya lazer gibi yüzey yapısını değiştirebilen ve yüzey enerjisini arttırarak yapıştırma için hazırlayabilen yüzey işlemlerinin uygulanması gerekmektedir. Plazma ve korona işlemi, plastik malzemelerin yüzeyindeki kimyasal yapıyı değiştirmekte ve yüzey enerjisini yükselterek yapışma ve ıslanabilirlik özelliklerini geliştirmektedir. Bu işlemler sayesinde üç boyutlu parçalarda tüm yüzeyde eşit ve tek biçimli yüzey işlem uygulaması yapılmaktadır. Yapıştırma alanlarında özel noktalar oluşturularak daha dayanıklı birleşme alanları oluşturulabilmektedir. Yapışma alanlarında uzun ömürlü dayanım sağlanmaktadır (Tantec 2014).

Led teknolojili modern farlar aracın ömrü boyunca dayanım göstermektedir. Led aydınlatma kullanılan farlarda, aydınlatma elemanlarının değiştirilmesine gerek kalmamaktadır. Burada en önemli durum, farların içerisine

giren nem ve suyun engellenmesidir. Bu nedenle polipropilen (PP) ve polikarbonat (PC) malzemeden farların ve stop lambalarının yapıştırılmasında, yapıştırıcının güvenilir yapışma sağlamasının yanı sıra, güvenli bir yalıtım işlevini de üstlenmesi gerekmektedir (Plasmatrete 2015). Plazma işlemi uygulandıktan sonra yapıştırılan led far uygulama örnekleri Şekil 2.8’de verilmektedir.

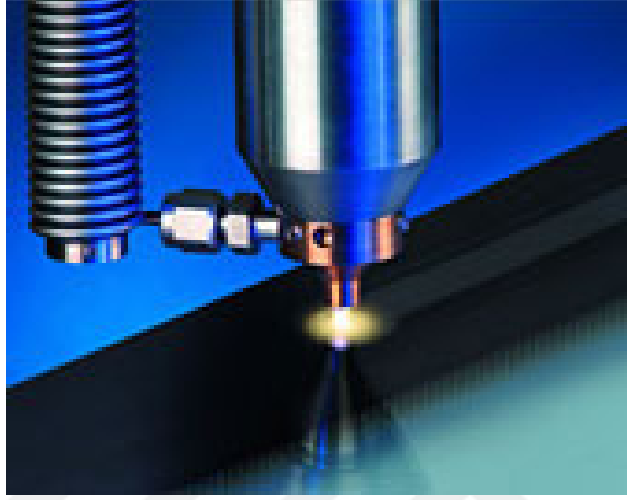


Şekil 2.8: Plazma teknolojisi ile yapıştırılan led far uygulamaları (Plasmatrete 2016).

Plazma ile yapılan noktasal doğrulukta ön işlem, apolar malzemeleri önem taşıyan noktalarda aktive eder ve bu sayede farlarda güvenilir yapışmayı ve uzun ömürlü yalıtımı sağlar. Bu teknoloji far üretiminde artık vazgeçilmez olmuştur. Günümüzde, tüm lider far üreticileri plazma teknolojisini kullanmaktadır. Plazma teknolojisi 1995 yılında Almanya’da ilk defa otomobil far gövdelerinin seri üretiminde kullanılmıştır. Günümüzde uluslararası çapta kullanılmaktadır. Dünya üzerinde BMW, Mercedes, Volkswagen, Ford, Rolls Royce gibi bilinen birçok araba üreticisinin yeni far monte işleminde plazma uygulaması mevcuttur.

PP ve PA gibi malzemeler otomotiv sanayinde karbüratör dahil, birçok parçanın imalatında kullanılmaktadır. Ayrıca valfler, gaz ve buhar contaları,

pervaneler, yüksek dayanımlı kabloların üretimi çoğunlukla PP malzemeden yapılmaktadır. Özellikle contaların takıldıkları alanda sızdırmazlığın öneminden dolayı bu bölgelerde plazma işlem uygulamasından sonra yapıştırma işlemi gerçekleştirilmektedir. Şekil 2.9’da otomobil ön camının iç panelinde bulunan yapıştırma alanı üzerinde çalışan robotik plazma sistemi verilmiştir.



Şekil 2.9: Robotik plazma uygulaması.

Otomotiv sektöründe ticari araçlarda da yapıştırma alanları yoğunlaşmaktadır. Üretim maliyetlerinin yapıştırma teknolojisi kullanılarak düşürülebiliyor olması ön işlem uygulamalarına olan ilgiyi arttırmaktadır. İç alanlarda kasayı oluşturan plastik takviyeli kompozit sandviç panellerde korona ve plazma uygulamaları yapılmaktadır (Marshall 2014). Bu panellerde yapıştırma öncesi yapılan plazma uygulama örneği Şekil 2.10’da verilmiştir.



Şekil 2.10: Sandviç panel üzerinde plazma uygulaması.

DELO firması yapıştırıcı imalatı yapan, aynı zamanda plastik malzemelerin yapıştırılması için çalışmaları olan firmalar arasındadır. Plastik malzemeler için düşük basınçlı plazma sistemleri ile başarılı birleştirme alanları oluşturabildiklerini belirtmektedirler. Özellikle farklı gazların kullanımı ile farklı plastikler üzerinde yapılan plazma işlemleri sonrasında başarılı yapıştırma yüzeyleri elde ettiklerini belirtmektedirler. İşlem uygulamasında basınç, güç, zaman ve pozisyon durumuna göre seçilen uygulama gazı ile daha olumlu yapıştırma dayanımları elde ettiklerini belirtmişlerdir.

Günümüzde elektronik alanlarda özellikle beyaz eşya grubundaki üretimlerde plazma işlemi uygulamaları görülmektedir. Uzun ömürlü yapışma alanlarının elde edilmesi amaçlanarak sistemler üzerinde kullanılan plastik malzemelere yapıştırma öncesi plazma uygulaması yapılmaktadır. Çamaşır makinesi, ocaklar, bulaşık makineleri gibi beyaz eşyaların belli bir ekonomik ömür döngüsüne sahip olması beklenmektedir. Bu nedenle, kolay şekilde ve uygun maliyetle malzeme birleşimleri elde etmek için yapıştırırmalı bağlantılara verilen önem giderek artmaktadır.



Şekil 2.11: Miele firması tarafında plazma uygulaması yapılan beyaz eşya grubu.

Miele beyaz eşya üreticisi, bugün dünya çapında lider ev cihazları sağlayıcısıdır. Şirketin yemek pişirme, fırında pişirme, buharlı pişirme, soğutma ve dondurma, kahve hazırlama, bulaşık yıkama, çamaşır ve zemin bakımı ürün alanlarında çok sayıda elektronik ev cihazları vardır. Bu cihazlarda özellikle çamaşır kurutucularının imalatı sırasında yüzey işlemleri önem taşımaktadır. Kurutucularda, yüksek kalite taleplerini yerine getirmek amacıyla contalar takılmadan önce farklı plastik parçalara plazma uygulaması yapılmaktadır. Plazma uygulaması ile uzun süre

kalıcı, neme karşı koruyucu yapışma alanları elde edilmektedir. Kurutucularda bulunan ısı pompası ve kondensat kurutucularının contaları, uzun kullanım sonrasında bile içlerinden hiçbir nem geçmeyecek şekilde yapıştırılmalıdır. Conta olarak PP malzeme kullanılan sistemlerde, PP'nin yüzeyinde mikro düzeyde meydana getirilen şekil değişimleri sayesinde uygun yapıştırma bağlantılarının oluşması sağlanmaktadır. Yapılan uygulamalarda, plazma işlemi ile yüzey enerjisinin 30 mJ/m^2 nin altından 72 mJ/m^2 nin üstüne yükseltilmesini sağlanmaktadır. Böylece contaların PP üzerinde kalıcı ve uzun süre dayanıklı şekilde yapışması sağlanmaktadır. Miele firmasında, plazma sistemi yılın 46 haftası genelde 3 vardiyalı işletim halinde çalışmaktadır. Plazma ile hazırlanan yüzeylere yılda yaklaşık 12 ton sızdırmazlık malzemesi uygulanmaktadır. Plazma teknolojisinin kullanılmasıyla ısı pompası kurutucusu için en az 20 yıl olan kullanım ömrü talepleri yerine getirilmiştir.

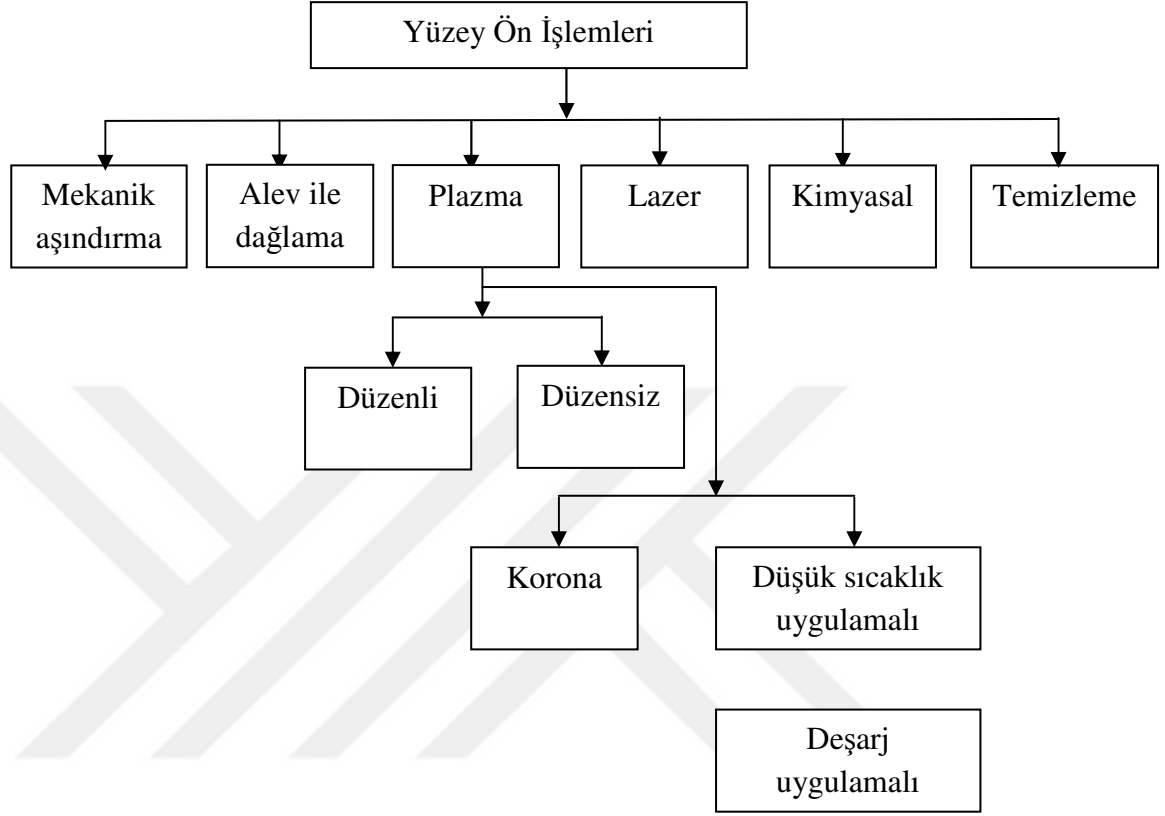


3. PLASTİK MALZEMELERDE YÜZEY İŞLEMLERİ

3.1 Plastik Malzemelerde Yüzey Hazırlama Yöntemleri

Yapıştırma yüzeylerin yapışmaya karşı gösterdiği mekanik bir direnç vardır. Uygulanan işlem ile yapıştırılacak bölgelerde bir iyileştirme yapılır fakat bu sırada malzemenin yoğunluğunda veya genel özelliklerinde bir değişim gerçekleşmez. Plastik yüzey enerjisinde bir artış polimer zincirlerinin birleşmesi ile oluşur. Halojenlenmiş polimerler, örneğin florlu polimerler için, yüzey modifikasyonu önemli bir halojenasyon, klorin ve florin atomu yüzey moleküllerinin kaldırılmasını sağlamaktadır (Ebnesajjad 2006). Genel olarak, yüzey işlemleri plastik yüzey için bir enerji transferi olarak görülebilir. Plastik malzemeler arasında oluşan düşük yüzey enerjilerinin yenilebilmesi için özel bazı yapıştırıcılar imal edilmektedir. Yapıştırıcı kullanılarak yapılan birleştirmelerde diğer yöntemlere göre farklı avantajlar karşımıza çıkmaktadır. Akustik izolasyon, titreşim sönümleme, korozyon dayanımı, üniform gerilme dağılımı gibi özellikler yönünden olumlu özellikler sunmaktadır. Fiziksel ve kimyasal değişikliklere dayalı yüzey işlemlerine yönelik yaklaşımlar yüzey etkinliğinin artması için olanaklar sunmaktadır (Mandolfino 2015). Özellikle epoksi-poliamid yapıştırıcılar plastik malzeme yüzeylerinde iyi sonuçlar alınmasını sağlamaktadır. Özel durumlarda malzeme yüzeyine yapıştırma öncesi ön hazırlık işlemleri uygulanırken bazı durumlarda uygulanmadan yapıştırmanın gerçekleşmesi sağlanabilmektedir. Fakat özellikle PTFE, PE, PP gibi malzemeler düşük yüzey enerjilerinden dolayı yapıştırma öncesi ön yüzey işlemlerine tabi tutulmadan birleşme sağlanamamaktadır. Plastik malzemeler yaklaşık 30 yıldır farklı yüzey işlemleri uygulamaları ile yapılmaktadır. Temelde amaç hep daha yüksek yüzey enerjisi elde edilmesi olmuştur. Özellikle plastik malzeme ile yeni güvenlik çözümleri için ciddi çalışmalar yapılmaktadır (Lacombe 2005). Plastik malzemenin kullanıldığı ortamın titreşime maruz kalması çalışma alanı içerisindeki dayanım değerini de olumsuz yönde etkilemektedir. Dolayısıyla yapıştırma öncesi seçilecek yüzey şekillendirme yönteminin çevresel çalışma koşulları da dikkate alınarak yapılmalıdır (Possart 2006).

Plastik malzemelerin yüzey enerjilerini arttırmak ve kullanım alanlarının yaygınlaşmasını sağlamak için farklı yüzey işlemleri uygulamaları yapılmaktadır. Bu işlemler Şekil 3.1’de verilmektedir.



Şekil 3.1: Plastik malzeme yüzeyine uygulanabilen ön işlemler.

Yüzey işlemleri yüzeye transfer edebildikleri enerji sayesinde yüzey enerjisinin arttırılmasını sağlayarak yapıştırma öncesi iyi bağ sistemi kurulabilecek bir yüzey hazırlamaktadır. Yüzey işlemi seçimi yapılırken öncelikle yüzeyin durumu incelenmelidir. Yüzeyde oluşan herhangi bir kalıntı; yağ, pas, kir, boya vb. mevcut ise öncelikle kimyasal çözündürme ile yüzey temizliği yapılmalı ve sonrasında yüzeyi şekillendirme işlemlerine geçilmelidir. Bu aşamada uygulanacak ön işlem için yüzeyin durumu incelenmeli ve yüzey işlem uygulamasının seçimine karar verilmelidir (Ebnesajjad 2014). Plastiklerde yüzeydeki parlak yapının giderilmesi ve yüzeyde belirgin oranlarda pürüzlülük oluşturulması için aşındırma yöntemi önemlidir. Yapıştırma öncesi bağlantılarda yüzeye uygulanacak işlem ve oluşturulacak şekil değişimi, yapıştırma işleminin başarılı olması için doğru

seçilmelidir (Wegman ve Twisk 2013). Yüzeyin ön işlem sonrası tabii olacağı işlem ön yüzey seçimi için önemli bir kriter olmaktadır.

Plastik malzeme yüzeylerinde oluşan gerilme değerleri ve yapıştırma sırasında malzeme yüzeyinde herhangi bir işlem uygulanmadan yapılan yapıştırma işlemlerinde karşılaşılan başarısız durumlara ait değerler Tablo 3.1’de verilmiştir.

Tablo 3.1: Plastik malzemelerin yapıştırılma sonrası yüzey durumları (Chan 1993).

Plastik Malzeme	Gerilme Değeri (N/mm ²)	Başarısız Yüzeyler
PTFE	1,2	Ara
PVF	26,4	Ara /Alt
PE (LD)	0,7	Ara
Nylon 11	16,7	Ara /Alt
PET	17,2	Ara /Alt
Nylon 6	11,2	Ara /Alt
Nylon 6.6	18,6	Ara /Alt

Plastik malzemelerin yapıştırılması sırasında iyi bir yapışmanın elde edilebilmesi için sadece bağ oluşturması istenilen yüzeyler uygun şekilde hazırlanmalıdır. Yüzey ile ilgili işlemler bittikten sonra bağ oluşturulmalıdır. Plastik malzemelerin sahip oldukları düşük yüzey enerjisi değerini arttırabilmek için malzeme yüzeyine uygulanan işlemler ile ıslanabilirlik miktarı arttırılarak yapışma adına daha sağlıklı yüzey bağlarının kurulması amaçlanır. Genel olarak yüzey işlemlerinin uygulanma nedeni plastik malzeme yüzeyine enerji transferi sağlamaktır. Yapıştırma işleminin başarılı sonuçlar vermesi için yüzeyde oluşan soyulma kuvvetlerinden kaçınma, gerilme dayanımından daha önemli olarak yüzeyde basınç dayanımı oluşturmak ve bağ bölgelerinde iç gerilme yoğunlaşmalarından kaçınmak gerekir. Yapıştırma alanlarında başarılı sonuçlar elde etmek için malzemelerin yüzeyindeki gerilme değerlerini bilmek, mümkünse aynı tipte malzemeleri birleştirmeyi kimyasal ve fiziksel özelliklerin ortak olmasından dolayı tercih etmek gerekir. Farklı yapıda birleşecek malzemelerin üst üste binen alanlarda oluşacak termal gerilme dağılımının farklı olması birleştirilen alanın dayanımını düşürücü etki oluşturabilir. Bu durumda mutlaka elastik içerikli yapıştırıcı kullanılması önerilmektedir. Yapıştırma yüzeyinin durumu tabiki yapıştırma kalitesi etkileyen en önemli faktörlerden birisidir. Yapıştırma bölgelerinde kayma

gerilmesinin değerine göre yapılan çalışmalar, yapıştırılan yüzeylerde n işlemin önemini göstermektedir (Brockmann 2009). Mekanik aşındırma veya sıvı esaslı kimyasal teknikler kullanılmadan yüzeyin değiştirilmesi amacıyla birkaç işlem geliştirilmiştir. Bunlar özellikle fiziksel olarak uyarılmış, oksidatif işlemler tarafından plastik yüzeylerde uygun kimyasal değişim sağlanması amacıyla geliştirilmiştir.

3.1.1 Mekanik Aşındırma

Mekanik aşındırma ile elde edilen yüzey pürüzlendirme ve zımparalama işlemi plastik malzemelerde de aynı metal malzemelerde elde edilen özelliğin sağlanması için uygulanır. Mekanik sürtünmeye dayanan fiziksel yöntemler ile yüzey pürüzlülüğü arttıka yapıştırma alanının genişlemesi beklenir. Fakat numune üzerinde her alanın etkin fiziksel değişimi sağlanamayabilir (Mandolfino 2015). Plastiklerde yapılan mekanik aşındırmada amaç, gevşek ve kararsız polimerlerin temas yüzeylerini arttırmaktır. Mekanik aşındırma için uygulama yapılacak plastik yüzeyde dekoratif amaçlı kullanım söz konusu olmamaktadır. Ayrıca malzemenin üstüne kaplama ya da film şeklinde bir tabaka var ise yöntem başarılı sonuç vermez. Yapıştırmanın kolaylığı açısından malzeme yüzeyinin mümkün olduğu oranda geniş olması istenir. Malzeme yüzeyine kazandırılacak belirli bir pürüzlülük oranı sayesinde malzeme üzerinde yapıştırıcının yoğun olarak dağılması ve tutunacak geniş bir alan bulması sağlanır. Böylece arada oluşan kimyasal bağ daha güçlü olacaktır. Mekanik aşındırma yöntemi de temelinde bunu amaçlamaktadır (Ebnesajjad 2014; Chan 1993). Mekanik aşındırma bir tür zımparalama işlemidir. Plastik malzemenin yapısına ve istenilen yüzey pürüzlülük miktarına bağlı olarak seçilecek uygun zımpara ile yapıştırılmaya uygun yüzey elde edilir. Zımparalanacak yüzey ile kullanılan zımpara kalitesi uyumlu olmalıdır. Aksi halde yapılacak zımparalama işlemi yüzeye zarar verebilir ve istenilen bağlantı dayanımı düşer. Mekanik aşındırmaya işlemi ayrıca kum pşkrtme tekniği kullanılarak da yapılabilir. Kum pşkrtme işlemi malzeme yüzeyine belli bir basınçta ve mesafede kum pşkrtlerek yapılan deformasyon ile gerçekleştirilir. Kum pşkrtme işlemi, pşkrtme oranına, pşkrtme başlığının malzemeye uzaklığına, yüzeydeki deformasyon derecesine bağlı olan yüzey işlemdir. Bu alanda patlama

oranı yüzeyde yüksek bir enerji yoğunlaşmasını oluşturmaktadır. Bu nedenle kısa sürede, etki alanında bir plazma durumu yaratılır. Plazma çöktüğünde yoğunlaşmış kalıntılar yapışan yüzeyi kirletebilir. Dolayısıyla, patlatma ortamının malzeme özellikleri, püskürtülmüş yüzeyin yapışma özelliklerini etkileyebilir. Patlatma işlemi olarak; volan patlatma, grit-patlatma ve vakum patlatma gibi kuru patlatma işlemleri uygulanmaktadır. Ayrıca jet püskürtme, sıcak su ve buhar gibi sıvılar kullanarak patlama işlemleri, kum püskürtme işlemi içerisinde yapılmaktadır. Patlama ortamları metalik, organik ve mineral malzemelerden oluşmaktadır. Patlatma ortamının yağ ve benzeri kirleticileri içermemesi önemlidir. Yüzeyde oluşan basınç gerilmelerinden dolayı oluşan yüzey hasar görebilir. Bunu engellemek için aynı miktarda kumlama işleminin yüzeyde homojen dağılımına dikkat edilmelidir (Brockmann 2009).

3.1.2 Kimyasal Dağlama

Kimyasal dağlama yöntemi, plastik malzemeler için en etkin yüzey işlemlerinden biridir. Kimyasal dağlama ile reaksiyon oluşur, yüzeyin doğal yapısı değiştirilir, yüzey enerjisi yükseltilir ve yüzeyin ıslanabilirliği artar. En sık kullanılan yöntemlerden biridir. Yüzey morfolojisi ve kimyasal yapı değiştirilerek yüzeyde etkin şekil değişimi sağlanabilir. Genellikle poliolefin, ABS, polistiren, polipenoloksit ve asetal gibi plastikler için kromik asit dağlaması önerilmektedir. Dağlamanın etkisi malzemelere göre farklılık gösterebilmektedir. Dağlama zamanı ve sıcaklığın artması, polipropilende sadece dağlama derinliğini arttırırken, polietilende derinlikle birlikte oksidasyon derecesini de arttırmaktadır (Loctite 2010). Yapılan işlem ile kimyasal kompozisyon ve morfoloji değiştirilerek yüzey enerjisi maksimum seviyeye çıkarılır. Kimyasal dağlama genellikle hidrojen, dipol, van der Waals, iyon ve kovalent bağa sahip malzemelerde uygulanabilir. Bu işlem ile malzemenin kimyasal ve mekanik özellikleri değiştirilir. İşlem öncesi yüzey kontrol edilmelidir. İşlemin yapılacağı yüzey öncelikle bir deterjan veya sabun ile temizlendikten sonra işlem uygulanabilir (Ebnesajjad 2014). Yüzey temiz değilse yapışmayı sağlayacak ıslanma enerjisi yeterli olmayacaktır. Bu durumda kimyasal bir dağlayıcı kullanmak faydalıdır. Kullanılan çözeltilerde asit, baz, oksitleyici veya klorlayıcı aktif kimyasallar vardır. Kimyasal dağlama tek başına yapılabileceği gibi, öncesinde yüzey üzerine uygulanan bir zımparalama sonrası da mekanik aşındırma

ile birlikte kullanılabilir. İşlem sonrası yüzey yüksek sıcaklıkta kurutulur ve su ile yıkanır. Yapıştırıcı sürülmeden önce kimyasal dağlayıcı yüzeyden uzaklaştırılmalıdır.

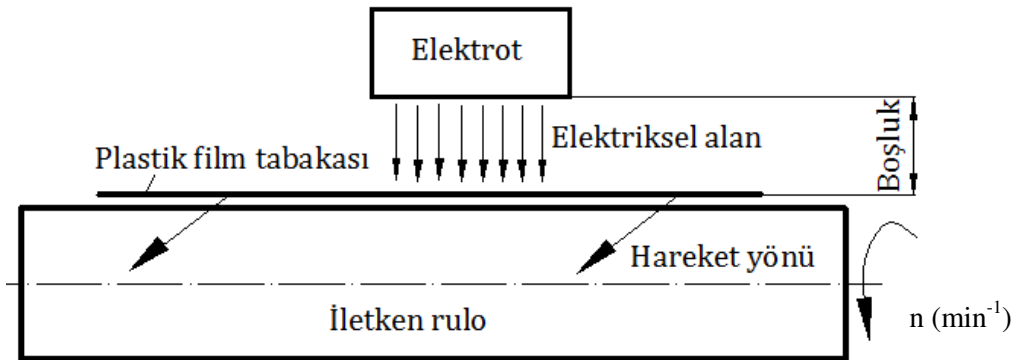
3.1.3 Alev ile Dağlama

Alev ile dağlama, yüzey işlemleri içerisinde en çok kullanılan yöntemlerden biridir. Düzensiz ve eğimli yüzeylerde dikkatli kullanılması durumunda esnek ve güvenilir yüzey birleştirmeleri sağlar. Alev ile yüzey hazırlama, çoğunlukla polietilen ve polipropilen yüzeylerin yapıştırılmasında kullanılmaktadır. Poliefin, poliasetal ve politeraftalat gibi birçok plastik malzeme de, yüzey enerjilerini artırmak için alev ile dağlanabilir. İşlem sırasında oksijence zengin hidrokarbonlardan oluşan bir gaz kullanılır. Bu gaz yüzeyde bulunan hidrojen-oksijen arasında elektrokimyasal değişim ile yüzey işleminin gerçekleştirilmesini sağlar. Alev yüzeyde biraz oksidasyona neden olur ancak yüzey enerjisini artırır. (Loctite 2010; Ebnesajjad 2014). Plastik malzemenin bileşenleri uygun alev uygulaması açısından önemlidir. Ayrıca hava oranı, brülör tipi, gaz akış hızı, alev mesafesi ve alev geçiş hızı, gaz tipi, uygulamanın doğru yapılabilmesi için önemlidir. Genellikle uygun koşulların sağlanması ve deneyin dikkatli yapılması önemli bir noktadır.

3.1.4 Korona İşlemi

Genellikle poliolefin (PO) film malzemelerde kullanılır (Loctite 2010). Ayrıca PE, PVC gibi malzemelerde tercih edilen yüzey ön işlemlerinden biridir. Korona, vakum gerektiren düşük sıcaklık (soğuk) plazma işleminin aksine, atmosferik basınç altında gerçekleşir. Korona işleminde polimer malzemeye uygulanan elektrik arkı, havadaki molekülleri aktif gruplara dönüştürerek, yüzeyde karbonil, hidroksil, nitrat ve nitrat esteri gibi iyonların oluşmasını sağlar. Oluşan bu gruplar yüzeyde ara faz katmanı oluşturarak adezyon kuvvetini artırır (Adhesives, 2016). Korona elektron ve bir elektrik alanı gibi hızlandırılmış iyonların, yüklü parçacıkların bir akışıdır. Hava ya da diğer gazlar ile doldurulmuş bir boşluk daha fazla iyon üretimi ile sonuçlanan nötr moleküller oluşturur. Yüksek hızlı parçacık

çarpışmaları bir zincir reaksiyonu için yeterince yüksek bir gerilime maruz kaldığında, bir korona oluşturulur. Bu yöntemde, plastik madde, yüksek frekanslı, yüksek gerilim ile alternatif akım tarafından üretilen bir korona deşarjına maruz kalmaktadır. Islanabilirliği sağlamak için plastik yüzeylerin oksidasyonunu gidermede yapıştırılacak yüzeylerden elektrik kıvılcımı geçirilir. Korona işleminde iyonize olmuş hava üzerinden yüksek voltaj geçirilerek elektrik enerjisinin yüzeyde deşarj olma mantığı kullanılır. İşlem atmosfer basıncında yapılır (Ebnesajjad 2014). Polietilen gibi hem amorf hem de kristalli yapıya sahip malzemelerin sahip oldukları amorf, şekilsiz bölge hedef alınır ve yüzeydeki pürüzlülük miktarı artırılır. Böylece yapıştırıcı, kama etkisinden dolayı tutunacak daha fazla yüzey bulmaktadır. Korona işleminden sonra yüzey oksitlerden temizlenir ve aşınır. Plastik film tabakalarda, korona işlemi, elektriksel boşalım ile, bir polimer filmin ıslanma gerilimini arttırmak için kullanılan bir yöntemdir (ASTM D5946). Şekil 3.2’de görüldüğü gibi film şeklindeki plastik tabaka üzerine yapılacak bir kaplama, boya, baskı vb. için bir elektrot, uygulanacak film tabakası, iletken bir rulo ve elektrik akımının oluşmasını sağlayacak bir hava akım boşluğunun olması gerekir. Güçlü bir işlem için, daha aktif olan yüzey farklı kutup ara yüzleri ile reaksiyona girer. Sistemde elektrot iletken rulo ile etkileşim içerisinde oluşturacağı elektrik kıvılcımı ile film tabakanın üzerine istenilen yüzey geometrisi oluşturulur.



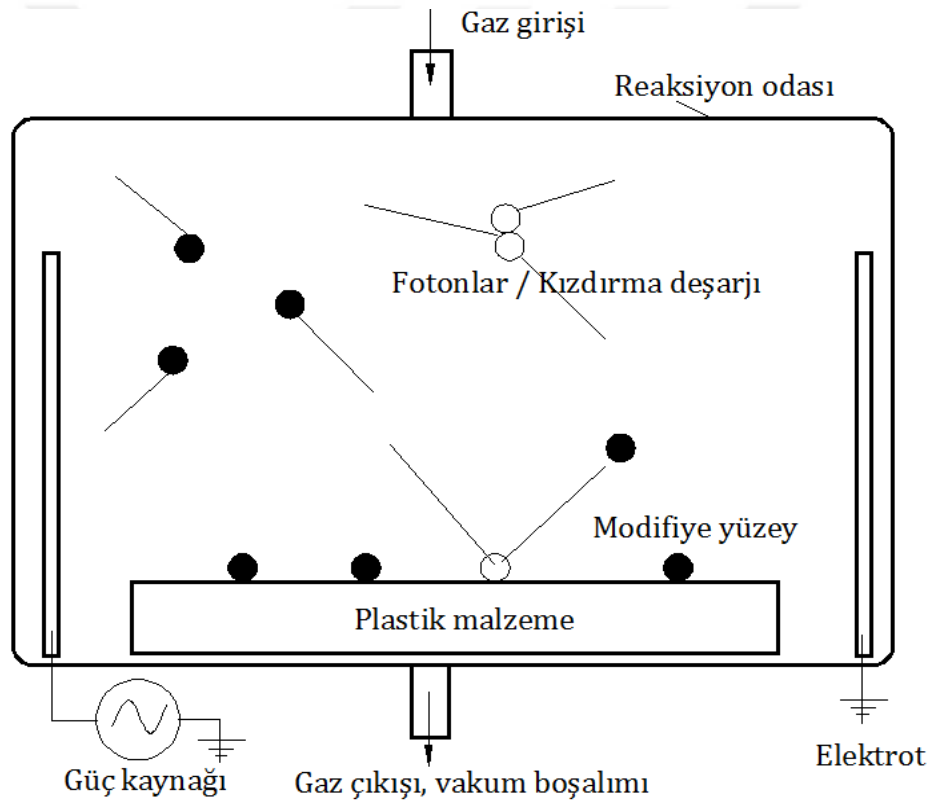
Şekil 3.2: Korona cihazı ve sistemin çalışma mekanizması (Ebnesajjad 2014).

3.1.5 Plazma İşlemi

Plazma, genellikle poliolefin, polyester ve birçok malzemede yüzeyi temizlemek için kullanılabilir (Loctite 2010). Plazma işlemleri mikro plazma, atmosferik plazma ve düşük basınçlı plazma uygulaması olarak üç temel gruba

ayrılır. Bir mikro plazma brülöründe, tungsten elektrot ile iş parçası arasındaki plazma yayı, bir pilot ark vasıtasıyla başlatılır. Elektrot ile iş parçası arasındaki proses gazı iyonlaşır ve gaz akışı, plazmayı, enerjisi arttırılacak yüzeye yönlendirir. Mikro plazma ön işleminin kullanımı kolaydır, ancak yapışma mukavemetini arttırma konusunda diğer plazma yöntemleri kadar başarılı değildir. Atmosferik plazma, jeneratörlü ve kapalı, metal tozdan yapılmış bir elektrik iletkeni ile çevrelenmiş bir seramik küvet içerisinde gerçekleşmektedir. Merkezde iyi ısı iletkenliğine sahip elektriksel olarak iletken bir çubuk (iç elektrot) karşı elektrot olarak işlev görür. Seramik tüpün iç duvarı ile iç elektrot arasındaki iyonizasyon aralığına iyonize olabilen bir gaz (hava, oksijen vb.) verilir ve elektrotlara yüksek frekanslı, yüksek voltajlı bir alan uygulanır. Aralığın içinden geçen gaz alternasyonlu elektrik alanı ile iyonize edilir ve daha sonra ağız açıklığından kaçar. Atmosferik plazma ön işlemi, birçok polimerin yapışma özelliklerinde belirgin bir iyileşme sağlar ve kullanımı kolaydır. Ayrıca, metal parçaların ön arıtımı için, yüzeysel kirlenme derecesinin az olması durumunda da başarıyla kullanılmaktadır. Düşük basınçlı plazma işleminde yapışkanlar, daha sonra boşaltılan bir proses odasına yerleştirilir. Proses gazı verildikten sonra, plazma yüksek frekanslı bir voltaj veya mikrodalga uyarma vasıtasıyla ateşlenir. Plazma arkının rengi, açıklığı ve dağılımı haznedeki basınç ve proses gaz türüne bağlıdır. Bu yöntem yüzeyde yapışma özelliklerini oldukça geliştirebilmektedir. Düşük basınçlı plazma ön işlemi çevreye zararsızdır ve kompleks bir şekile sahip bileşenlerin yapışmaya hazır olmasını sağlar (Brockmann 2009). Plastik malzeme yüzeyi düşük basınç altında argon, helyum gibi bir asal gaz ile veya oksijen ile bombardımana tutulur (Forcum ve diğ. 2010). Burada amaç yüzeydeki molekülleri, aktive edilmiş asal gaz iyonları ile çapraz bağlayarak yapıştırmanın kuvvetini arttırmaktır. Bu süreçte, atomlar güçlü, ısıtılabilir ve çapraz bağlanmış bir polimer yüzeyi elde etmeyi amaçlamaktadır. Yüzey üzerinde birikebilen gaz, oluşan reaksiyonda kullanılabilir. Malzeme yüzeyinde oluşan işleme soğuk plazma denilir. Sistem oda sıcaklığında çalıştırıldığı için bu şekilde adlandırılmıştır. Soğuk plazma, vakum ortamında radyo frekansı (13,56 MHz) veya mikrodalga fırın (2450 MHz) akımı kullanılarak istenilen gazın da bulunduğu bir vakum odasında gerçekleştirilir (Şekil 3.3). Plastik yüzeylerde genellikle 13,56 MHz frekans tercih edilmektedir. Gazın içerisinde bulunan enerji vakumlu oda içinde elektronlar, iyonlar, serbest radikaller ve yarı kararlı ürünler halinde enerji oluştururlar (Ebnesajjad 2014; Kolluri 1994). Aslında plazma yüzey işlemlerinde

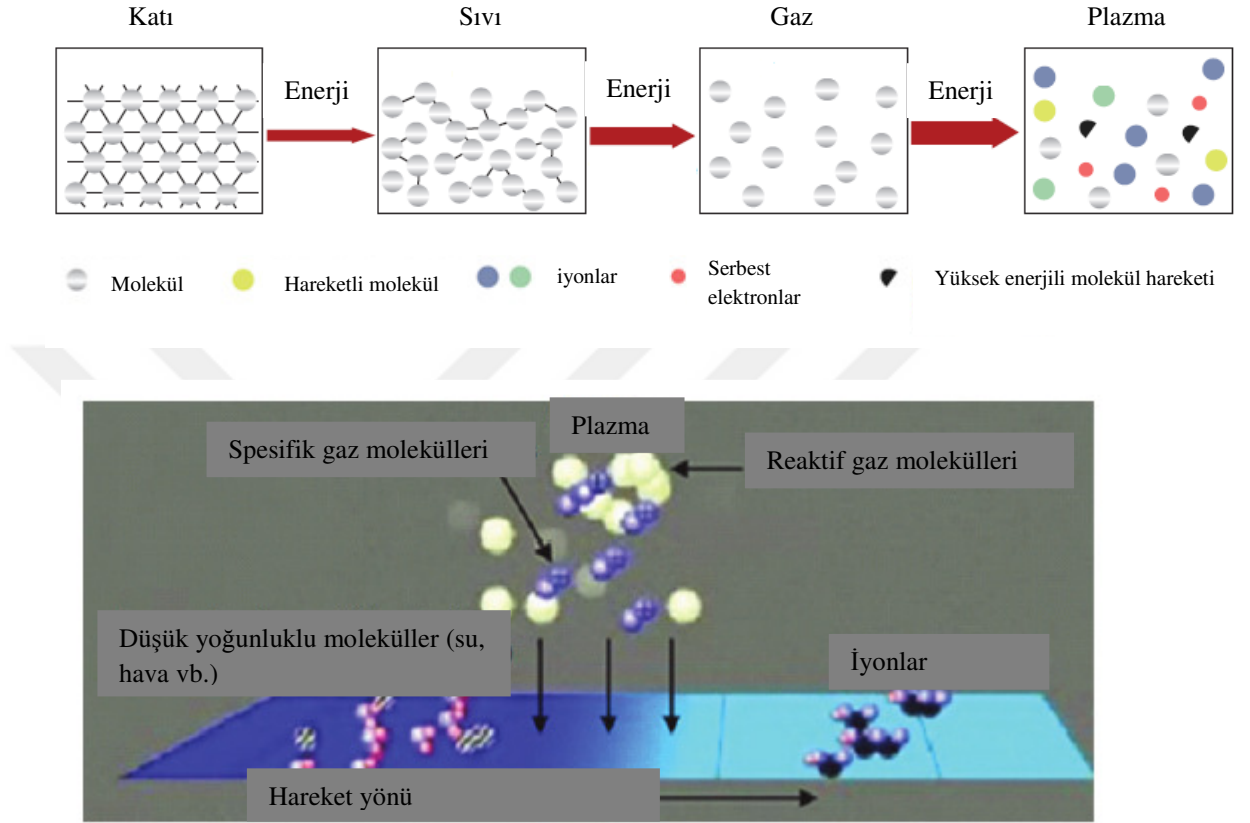
birçok gaz kullanılabilir, fakat özellikle soğuk plazma uygulamalarında oksijen yoğun olarak kullanılır. Sistemde kullanılan gaz ile oluşan reaksiyon çemberinde atomlar, moleküller, iyonlar, elektronlar, serbest radikaller ve yarı kararlı yapılarla karşılaşılır. Plazma işleminde oluşan elektronlar ve serbest yüzey radikalleri polimer yüzeyindeki kovalent bağları koparıp şekillendirebilir. Oluşan serbest elektronlar istenilen şekilde bir yüzey için kombinasyon oluştururlar. Öncesinde belirlenen süreye ve sıcaklığa ulaşıldığında radyo frekansı kapanır ve yüzeyde oluşan şekil kendisini korur. Plastiklerin yüzey değişiklikleri için elverişlidir ancak ekipmanın pahalı olması ve işlemin vakum ortamında gerçekleştirilmesi geniş çapta kullanımını sınırlamaktadır.



Şekil 3.3: Plazma sisteminin çalışma mekanizması (Ebnesajjad 2006).

Plazma sisteminde farklı yapıda moleküller oluşur. Moleküllerin oluşumu sırasında yüzeyde oluşturulan radikaller yani iyonlar vardır. Bu radikaller yüzeyin üstünde yapıştırma bölgesinde serbest şekilde dağılmış bir halde bulunurlar. Radikallerin oluştuktan bir süre sonra yapıştırma işlemi gerçekleştirilmelidir. Yapıştırma işlemi yapılmadığında radikaller bir süre sonra kaybolabilir. Bu durumda plazma işleminin etkisi ortadan kalkar. Yani ara bağ sisteminde kuvvetli birleştirme

gerçekleştirilemez. Dolayısıyla plazma işlemi yapıldıktan hemen sonra yapıştırıcı ile malzeme arasında birleştirme sağlanmalıdır. Serbest radikaller, yapıştırma anında yapıştırıcı ile yüzey arasında kurmuş olduğu bağ sayesinde uzun süre kalıcı bir birleşme sağlamaktadır. Sistemdeki radikallerin oluşumu Şekil 3.4’de verilmektedir.



Şekil 3.4: Plazma uygulanan yüzey işleminde radikal oluşumu (Ebnesajjad 2014).

4. MATERYAL VE METOD

4.1 Deneysel Çalışmalar

4.1.1 Yapıştırılan Malzemelerin Özellikleri

Günümüzde plastik malzemeler mekanik ve fiziksel özelliklerinin getirmiş olduğu hafiflik, işlenebilirlik, ısı iletkenlik, korozyona dayanım, fiyat ve piyasada rahat bulunabilirlik durumundan dolayı yaygın kullanılmaktadır. Özellikle hafifliğin ve fiyat politikasının ön plana çıktığı otomotiv, havacılık, gemicilik, elektronik eşya üretimi gibi sektörlerde kullanım alanı oldukça genişlemiştir. Bu çalışmada yapılan piyasa araştırması sonrasında deneysel çalışmalarda termoplastik malzeme kullanımına karar verilmiştir. Yaygın olarak bulunabilen termoplastiklerden PE, PP ve PVC deneysel çalışmalar için kullanılmıştır.

PE malzeme hafif, yarı kristalli bir termoplastiktir. Etilenlerin polimerizasyonu sonucu oluşur. Polimeri şekillendirmek için basınç, sıcaklık ve katalizör kullanılması gerekir. PE'nin kapladığı hacim ve yoğunluk, üretimi sırasında reaksiyon şartlarının değiştirilmesiyle elde edilebilir. PE malzemedeki oluşan yoğunluk artışı ile malzemenin sertliği, yüzey abrazyonu, gerilme dayanımı, modül, termal denge, kimyasal direnç, yüzey parlaklığı, berraklık, esneklik, uzama ve gerilme darbe direnci artırılabilir. PE genel anlamda yüksek performansa sahip bir plastik değildir. Fakat çok yönlü olması, ucuz olması, kullanım alanını genişletmektedir. PE'nin özellikleri yoğunluk ve moleküler ağırlığına bağlı olarak değişmektedir. Deneylerde kullandığımız düşük yoğunluklu PE (LDPE) düşük dirence ve sertliğe sahip olmasına rağmen esnekliği, sıkıştırılabilir olması, sürünme ve gerilim darbe dayanımının iyi değerlere sahip olması, uzama değerlerinin yüksek olması gibi özelliklerinden dolayı birçok alanda kauçuk malzeme ile kıyaslanabilmektedir. PE malzeme yüksek sıcaklıkta çalışmaya uygun değildir. Fakat kimyasal direnci oldukça yüksektir. PE üzerinde uygulanan yüzey işlemlerinin yapıştırma ile birleştirmede herhangi bir iyileştirici etki oluşturduğunu gösteren istatistiksel veri yoktur. Loctite

tarafından yapılan PE yapıştırma işlemleri incelendiğinde, PE malzemenin kayma gerilmesi değerleri 0,3 ile 5,2 N/mm² arasında değişmektedir. Yapılan deneysel çalışmalarda elde edilen değerlerin kıyaslanabilmesi açısından bu veriler de dikkate alınmıştır. PP malzeme monomerlerin polimerizasyonu sonucu elde edilir. PP iyi mekanik özelliklere sahiptir. Isıl ve kimyasal dayanımı iyidir. PP bilinen en yüksek esneklik modülüne sahip poliefindir. En hafif termoplastiklerden biridir. PP malzeme düşük sıcaklıkta sahip olduğu kötü gerilme dayanımından dolayı dikkatli seçim yapılacak sıcaklık aralıklarında çalıştırılmalıdır. Bunun nedeni ise malzemenin camı geçiş sıcaklığıdır. PP malzeme üzerinde deneysel çalışma kapsamında belirlenen yüzey işlem yöntemlerinden uygulama yapılmış herhangi bir çalışma olmamasına rağmen, özellikle poliefin malzemelerde korona yüzey işlem yöntemiyle uygulamalarda iyi sonuçlar elde edildiği belirtilmektedir. Loctite tarafından yapılan PP yapıştırma işlemleri incelendiğinde; PP malzemenin kayma gerilmesi değerleri 0,3 ile 13,5 N/mm² arasında değişmektedir. PVC malzeme radikal polimerizasyon yöntemi ile vinil kloride monomerlerinin birleşmesiyle oluşmaktadır. PVC malzeme genel olarak kırılkan, gevrek bir yapıya sahiptir. Fakat üretimi sırasında eklenen alaşımlar ile elastiklik özelliği kazanabilmektedir. Bu şekilde değerlendirildiğinde rijit ve esnek olmak üzere iki farklı sınıfta değerlendirilmektedir. Ayrıca hem saydam hem de opak renk olarak da çeşitleri vardır (Akkurt 1991). PVC suya, havaya ve korozyona karşı yüksek direnç gösterir. Elektrik ve termal yalıtkandır. Birçok PVC yüksek sıcaklığa dayanıklıdır ve yanmazlık özelliğine sahiptir. Loctite tarafından yapılan PVC yapıştırma işlemleri incelendiğinde, PVC malzemenin kayma gerilmesi değerleri 1,7 ile 25,2 N/mm² arasında değişmektedir.

4.1.2 Deneylerde Kullanılan Yapıştırıcının Özellikleri

Deneylerde yapıştırıcı olarak Weicon Easy-Mix PE-PP 45 metil akrilat bazlı iki bileşenli yapısal yapıştırıcı kullanılmıştır.

Weicon Easy-Mix PE-PP 45 yapıştırıcı PE, PP gibi yapısal açıdan yüksek dayanımlı, düşük yapıştırma enerjili plastikler için uygundur. Yapıştırıcı iyi derecede çekme ve kayma gerilmesi değerleri verebilen, ayrıca karıştıktan sonra oda sıcaklığında 2-3 dakika içerisinde kürleşebilen çözülmüş iki bileşenli akrilat yapıştırıcıdır. Yüksek yapışma gücüne sahiptir. -55 °C ile +80 °C aralığındaki

sıcaklıkta çalışmaya uygundur. Yapıştırılan bölgede hızlı güç gelişimi, yüksek nihai sertleşme, artık esneklikle sertleşme, yıpranmaya karşı dayanıklılık, kimyasal direnç açısından yüksek, macunsu yapılı bir özellik gösterir. Mekanik olarak (zımparalama, kumlama vb.), kimyasal olarak (florma) ve fiziksel olarak (alevle dağlama, korona, plazma vb.) yüzey işlemleri sonrası uygulandığında, yapıştırılan bölgede daha yüksek dayanım değerleri sağlamaktadır. Yapıştırıcının yapısal özelliklerine ait değerler Tablo 4.1’de verilmiştir.

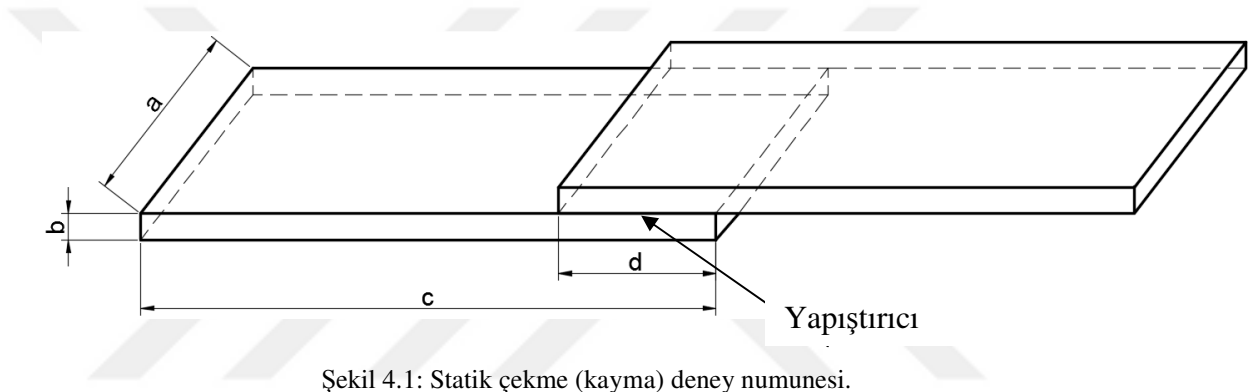
Tablo 4.1: Weicon Easy-Mix PE-PP 45 yapıştırıcı içeriği (Weicon 2014).

Kimyasal bileşim	Reçine-Sertleştirici
Hacimsel karışım oranı (Reçine / Sertleştirici)	10/1
Viskozite (Pa.s) (25 °C’de)	17-36
Soyulma dayanımı (N/mm)	2,9
Çekme gerilmesi (MPa)	13
Çalışma süresi (min)	2-3

4.1.3 Deney Numuneleri

Yapıştırma bağlantılarının mukavemet değerleri farklı test metotları ile ölçülebilmektedir. Yapılan deneysel çalışmalarda yapıştırma öncesi uygulanan yüzey işlemlerinin etkisi, yapıştırıcının da etkisi göz önünde bulundurularak değerlendirilmiştir. Deney numunelerinin hazırlanması aşamasında, ASTM D1002 standardı çekme deneyi için kullanılacak numunelerde, ASTM D950-3 standardı izod darbe deneyi numunelerinin boyutlandırmasında referans olarak alınmıştır. Numuneler üzerinde uygulanan üç farklı yüzey işleminden sonra yapıştırma işlemi yapılmıştır. Seçilen yüzey işlemleri, literatür çalışmaları ve sanayide yapılan çalışmalar baz alınarak kararlaştırılmıştır. Belirlenen süre ve şartlarda bekletilen numuneler üzerinde mekanik özelliklerinin ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Bunun için izod darbe deneyi ve statik çekme (kayma) dayanım deneyleri yapılmıştır. Elde edilen fiziksel sonuçlar uygulanan yüzey işlemlerine göre değerlendirilmiştir. Ayrıca deney numune boyutları, kullanılacak korona ve plazma sistemlerinin uygulama şekline göre ayarlanmıştır. Bu durumda sistemlerde rahat ölçüm yapılabilmesi ve

yapıştırılan yüzeylerin iyi sonuç vermesini sağlayabilmek için çekme deney numunelerinde bindirme alanının 35x35 mm şeklinde ölçülendirilmesine karar verilmiştir. Fakat deney çalışmalarına başlamadan önce yapılan ön deney çalışmalarında özellikle PVC malzeme yüzeyinde uygulanan yüzey işlemlerinin çok etkili olması, malzemenin diğer malzemelere kıyasla daha gevrek olması ve yapıştırma sonrası malzemenin yapışma bölgesi dışında kırılmasından kaynaklı olarak PVC malzeme için yapıştırma alanı 15x35 mm olarak belirlenmiştir. PE ve PP malzemelerde ise yapıştırma bölgesi PVC için seçilen bindirme uzunluğunun iki katı olacak şekilde 30x35 mm olarak belirlenmiştir. Yapıştırıcı, yapıştırma alanına bu ölçüler dahilinde uygulanmıştır. Statik çekme deneyinin yapılabilmesi için hazırlanmış numune boyutları Şekil 4.1’de verilmiştir.



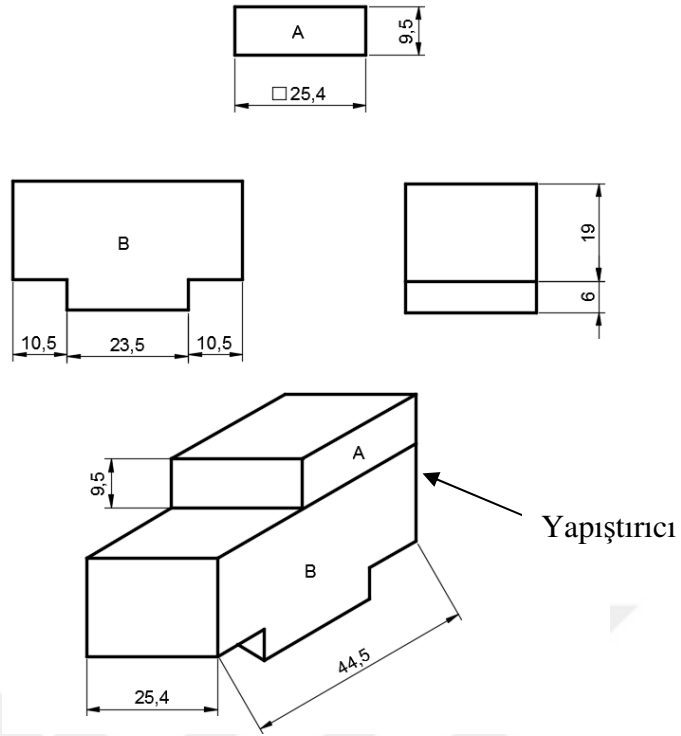
Şekil 4.1: Statik çekme (kayma) deney numunesi.

Tablo 4.2: Statik çekme deney numune boyutları.

	En	Kalınlık	Boy	Bindirme uzunluğu
	a*	b	c	d
PE	35	5	110	30
PP	35	5	110	30
PVC	35	5	110	15

*Ölçüler milimetredir (mm).

Izod darbe deneyi için hazırlanan numune boyutları Şekil 4.2’de verilmiştir.



Şekil 4.2: Izod darbe deneyi numune boyutları.

Levha halinde alınan PE, PP ve PVC numune malzemeleri, Denizli sanayisinde lazer kesim metodu ile kestirilerek çekme deneyi için 35x110x5 mm boyutlarında hazırlanmıştır. Izod darbe deneyi için numuneler talaşlı imalat yöntemi ile standartta verilen ölçülerde işlenmiştir.

Deneysel çalışma kapsamında PE, PP ve PVC için uygulanacak üç farklı yüzey işlemi seçilmiştir. Özellikle piyasada kullanımı yaygın olan bu gruptaki malzemelerin hangi yüzey işlemleri ile daha iyi etkileşimde olduğu araştırılarak ve literatür çalışmaları dikkate alınarak uygulanacak yüzey işlemleri belirlenmiştir. Yüzeye uygulanacak zımparalama, korona ve plazma işlemleri ile yüzeyde oluşturulacak şekil değişiminin yapıştırmaya olan etkisi incelenmiştir. Ayrıca yüzey işlemi uygulandıktan sonra yapıştırılan numunelerde belirlenen sıcaklıkta ve farklı bekleme sürelerinde, yapıştırmada ki değişimin görülebilmesi için yaşlandırma işlemi uygulanmıştır.

Yüzey işlemlerinin hepsi oda sıcaklığında uygulanmıştır. Numunelerde yüzey işlemi zımparalama ile başlamıştır. Yüzeyde yapılacak zımparalama, korona ve plazma işlemleri için belirlenen termoplastik malzemelerin numuneleri hazırlanmıştır. Yüzey işlemi uygulanacak numuneler için sıcaklık ve şartlandırma

süreleri için belirlenen farklı koşulları karşılayacak sayıda numune ölçülendirilmiştir. Yüzeye uygulanan işlemlerin ardından numuneler -20 °C, 0 °C ve 20 °C’de 30 gün bekletilerek çekme ve izod darbe deneyleri yapılmıştır. Klimatik kabinde yaşlandırılacak numuneler için, 50 °C; 30 gün, 50 °C; 60 gün, 50 °C; 90 gün şartlarında bekleme süreleri tamamlanmış ve deneylere tabi tutulmuşlardır. Yüzey işlemleri uygulamaları için öncelikle zımpara (P220C) ile işlemler yapılmış ve numunelerin yüzey pürüzlülük ölçümleri alınmıştır. Korona ve plazma yüzey işlemleri uygulama sistemleri Simtekno firmasından kiralanarak, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü Makine Elemanları laboratuvarına kurulmuştur. Sistemlerin sağlıklı çalıştırılması için Simtekno firmasının İzmir bölgeden gelen yetkili personeli tarafından kullanım şekilleri hakkında eğitim verilmiştir.

4.1.4 Deney Numunelerinin Yüzey Hazırlık İşlemleri

Yapıştırma öncesi üç farklı yüzey işlemleri uygulanmıştır. Seçilen yüzey işlemleri sistemsal çalışma açısından tamamen birbirinden farklı yapıya sahip olmasına rağmen her sistem için temel amaç, yüzeyde şekil değişimi oluşturmayı hedeflemektedir. İşlem uygulanacak tüm numuneler için kodlama yapılmış ve çalışma sırasında numunelerde kalacak şekilde uygun olarak üstlerine yazılmıştır. Belirtilen kodlama ile malzemeler arasında yüzey işlemleri, sıcaklık ve yaşlandırma işlemleri için bir dizi hazırlanmıştır. Tablo 4.3’de deney numuneleri için kodlama örnekleri verilmiştir.

Tablo 4.3: Numune kodlama örneği.

Örnek	Z1PE1	Z	1	PE	1
		Zımparalama	-20 °C	Polietilen	1. Numune çifti
	1K3PP4	1K	3	PP	4
		1.Düzy korona	20 °C	Polipropilen	4. Numune çifti
	2P2PVC2	2P	2	PVC	2
		2. Düzy plazma	0 °C	Polivinilklörür	2. Numune çifti

- Z: Zımparalama
- 1K: Birinci düzey korona
- 1P: Birinci düzey plazma
- 2K: İkinci düzey korona
- 2P: İkinci düzey plazma
- 1: İkinci sırada belirtilen için, yapıştırılan -20 °C; 30 gün için bekletilen numune
- 2: İkinci sırada belirtilen için, yapıştırılan 0 °C; 30 gün için bekletilen numune
- 3: İkinci sırada belirtilen için, yapıştırılan 20 °C; 30 gün için bekletilen numune
- 4: İkinci sırada belirtilen için, yapıştırılan 50 °C'de 30 gün için yaşlandırılan numune
- 5: İkinci sırada belirtilen için, yapıştırılan 50 °C'de 60 gün için yaşlandırılan numune
- 6: İkinci sırada belirtilen için, yapıştırılan 50 °C'de 90 gün için yaşlandırılan numune
- PE: Polietilen
- PP: Polipropilen
- PVC: Polivinilklorür
- 1: Son sırada belirtilen için, 1. numune çifti
- 2: Son sırada belirtilen için, 2. numune çifti
- 3: Son sırada belirtilen için, 3. numune çifti
- 4: Son sırada belirtilen için, 4. numune çifti

Yüzeyde uygulanması planlanan zımparalama, korona ve plazma yüzey işlemleri ile mekanik aşındırmaya yönelik bir çalışma söz konusudur. Sistemlerin çalışma şekilleri farklı yüzey pürüzlülükleri ve dokuları oluşturmuştur. Bunun da yapıştırma anında ve sonrasındaki etkileri incelenmiştir. Bağlantı mukavemetini artırmak amacıyla yapıştırılacak malzeme türüne göre standartlarda belirlenmiş olan korona ve plazma sistemleri için ASTM D6105-04, ASTM D2093-03 standartlarına göre yüzey işlemleri uygulanmıştır. Uygulanan yüzey işlemleri ile ölçülen dayanım değerleri karşılaştırılarak yapıştırma açısından doğru bağlantının hangi şartlarda

oluştugu görülmüştür. Plastik malzemelerde yapıştırma işlemi öncesi laboratuvar ortamında yapılacak genel yüzey hazırlama işlemleri TS EN 13887 standardında verilen şartlara uygun olarak yapılmıştır.

Her bir malzeme için uygulanacak işlem dikkate alınarak 4'er adet numune hazırlanmıştır. Uygulanacak yüzey işlemleri, bekleme süre ve sıcaklıkları göz önünde tutularak şartlandırma koşulları, Tablo 4.4, Tablo 4.5 ve Tablo 4.6'da numune kodlaması ile birlikte verilmiştir.

Tablo 4.4: Zımparalama işlemi uygulanmış numune kodlaması.

Zımparalama işlemi numune kodlama	-20 °C	0 °C	20 °C	50 °C 30 gün	50 °C 60 gün	50 °C 90 gün
PE	Z1PE1	Z2PE1	Z3PE1	Z4PE1	Z5PE1	Z6PE1
	Z1PE2	Z2PE2	Z3PE2	Z4PE2	Z5PE2	Z6PE2
	Z1PE3	Z2PE3	Z3PE3	Z4PE3	Z5PE3	Z6PE3
	Z1PE4	Z2PE4	Z3PE4	Z4PE4	Z5PE4	Z6PE4
PP	Z1PP1	Z2PP1	Z3PP1	Z4PP1	Z5PP1	Z6PP1
	Z1PP2	Z2PP2	Z3PP2	Z4PP2	Z5PP2	Z6PP2
	Z1PP3	Z2PP3	Z3PP3	Z4PP3	Z5PP3	Z6PP3
	Z1PP4	Z2PP4	Z3PP4	Z4PP4	Z5PP4	Z6PP4
PVC	Z1PVC1	Z2PVC1	Z3PVC1	Z4PVC1	Z5PVC1	Z6PVC1
	Z1PVC2	Z2PVC2	Z3PVC2	Z4PVC2	Z5PVC2	Z6PVC2
	Z1PVC3	Z2PVC3	Z3PVC3	Z4PVC3	Z5PVC3	Z6PVC3
	Z1PVC4	Z2PVC4	Z3PVC4	Z4PVC4	Z5PVC4	Z6PVC4

Zımparalama işleminde uygulama tek kademede gerçekleşmiştir. 30 s boyunca elle yapılan zımparalama işlemine ara verilmeden her numune için aynı fiziksel şartlar altında zımparalama işlemi gerçekleştirilmiştir. Korona ve plazma işlemlerinde üzerinde işlem uygulanan parça sayısı eşit iken zımparalama da kademe olarak farklı bir işlem uygulanmadığından parça sayısı yarı oranda azaltılmıştır.

Tablo 4.5'de korona uygulaması yapılan numunelerin kodlaması, Tablo 4.6'da plazma uygulaması yapılan numunelerin kodlaması görülmektedir. Korona ve plazma uygulamalarında ikişer kademe uygulama yapıldığı için kodlama listesinde bu durum ayrıca belirtilecek şekilde düzenlenmiştir. 1. Düzey işlemin 150 s süre ile 2. Düzey işlemin 300 s süre ile uygulandığını göstermektedir.

Tablo 4.5 : Korona işlemleri uygulanmış numunelerin kodlaması.

Korona işlemleri numune kodlama	-20 °C	0 °C	20 °C	50 °C 30 gün	50 °C 60 gün	50 °C 90 gün
1. Düzey PE	1K1PE1	1K2PE1	1K3PE1	1K4PE1	1K5PE1	1K6PE1
	1K1PE2	1K2PE2	1K3PE2	1K4PE2	1K5PE2	1K6PE2
	1K1PE3	1K2PE3	1K3PE3	1K4PE3	1K5PE3	1K6PE3
	1K1PE4	1K2PE4	1K3PE4	1K4PE4	1K5PE4	1K6PE4
2. Düzey PE	2K1PE1	2K2PE1	2K3PE1	2K4PE1	2K5PE1	2K6PE1
	2K1PE2	2K2PE2	2K3PE2	2K4PE2	2K5PE2	2K6PE2
	2K1PE3	2K2PE3	2K3PE3	2K4PE3	2K5PE3	2K6PE3
	2K1PE4	2K2PE4	2K3PE4	2K4PE4	2K5PE4	2K6PE4
1. Düzey PP	1K1PP1	1K2PP1	1K3PP1	1K4PP1	1K5PP1	1K6PP1
	1K1PP2	1K2PP2	1K3PP2	1K4PP2	1K5PP2	1K6PP2
	1K1PP3	1K2PP3	1K3PP3	1K4PP3	1K5PP3	1K6PP3
	1K1PP4	1K2PP4	1K3PP4	1K4PP4	1K5PP4	1K6PP4
2. Düzey PP	2K1PP1	2K2PP1	2K3PP1	2K4PP1	2K5PP1	2K6PP1
	2K1PP2	2K2PP2	2K3PP2	2K4PP2	2K5PP2	2K6PP2
	2K1PP3	2K2PP3	2K3PP3	2K4PP3	2K5PP3	2K6PP3
	2K1PP4	2K2PP4	2K3PP4	2K4PP4	2K5PP4	2K6PP4
1. Düzey PVC	1K1PVC1	1K2PVC1	1K3PVC1	1K4PVC1	1K5PVC1	1K6PVC1
	1K1PVC2	1K2PVC2	1K3PVC2	1K4PVC2	1K5PVC2	1K6PVC2
	1K1PVC3	1K2PVC3	1K3PVC3	1K4PVC3	1K5PVC3	1K6PVC3
	1K1PVC4	1K2PVC4	1K3PVC4	1K4PVC4	1K5PVC4	1K6PVC4
2. Düzey PVC	2K1PVC1	2K2PVC1	2K3PVC1	2K4PVC1	2K5PVC1	2K6PVC1
	2K1PVC2	2K2PVC2	2K3PVC2	2K4PVC2	2K5PVC2	2K6PVC2
	2K1PVC3	2K2PVC3	2K3PVC3	2K4PVC3	2K5PVC3	2K6PVC3
	2K1PVC4	2K2PVC4	2K3PVC4	2K4PVC4	2K5PVC4	2K6PVC4

Korona işleminde uygulama süresinin uzatılması iki farklı düzeyde uygulama yapılması ile elde edilen yüzey şekil değişimlerinde farklılıklar oluşturmuştur. Bu durumun yapıştırma üzerindeki etkisi de ayrıca değerlendirilmiştir. Aynı işlem plazma sistemi ile de aynı süre ve şartlar altında gerçekleştirilmiştir. Bu şekilde plazma ve korona sistemlerinin oluşturduğu yüzey işlemlerinin yapıştırmaya olan etkileri kıyaslama yapılarak karşılaştırılmıştır.

Tablo 4.6 : Plazma işlemleri uygulanmış numune kodlaması.

Plazma işlemleri numune kodlama	-20 °C	0 °C	20 °C	50 °C 30 gün	50 °C 60 gün	50 °C 90 gün
1. Düzey PE	1P1PE1	1P2PE1	1P3PE1	1P4PE1	1P5PE1	1P6PE1
	1P1PE2	1P2PE2	1P3PE2	1P4PE2	1P5PE2	1P6PE2
	1P1PE3	1P2PE3	1P3PE3	1P4PE3	1P5PE3	1P6PE3
	1P1PE4	1P2PE4	1P3PE4	1P4PE4	1P5PE4	1P6PE4
2. Düzey PE	2P1PE1	2P2PE1	2P3PE1	2P4PE1	2P5PE1	2P6PE1
	2P1PE2	2P2PE2	2P3PE2	2P4PE2	2P5PE2	2P6PE2
	2P1PE3	2P2PE3	2P3PE3	2P4PE3	2P5PE3	2P6PE3
	2P1PE4	2P2PE4	2P3PE4	2P4PE4	2P5PE4	2P6PE4
1. Düzey PP	1P1PP1	1P2PP1	1P3PP1	1P4PP1	1P5PP1	1P6PP1
	1P1PP2	1P2PP2	1P3PP2	1P4PP2	1P5PP2	1P6PP2
	1P1PP3	1P2PP3	1P3PP3	1P4PP3	1P5PP3	1P6PP3
	1P1PP4	1P2PP4	1P3PP4	1P4PP4	1P5PP4	1P6PP4
2. Düzey PP	2P1PP1	2P2PP1	2P3PP1	2P4PP1	2P5PP1	2P6PP1
	2P1PP2	2P2PP2	2P3PP2	2P4PP2	2P5PP2	2P6PP2
	2P1PP3	2P2PP3	2P3PP3	2P4PP3	2P5PP3	2P6PP3
	2P1PP4	2P2PP4	2P3PP4	2P4PP4	2P5PP4	2P6PP4
1. Düzey PVC	1P1PVC1	1P2PVC1	1P3PVC1	1P4PVC1	1P5PVC1	1P6PVC1
	1P1PVC2	1P2PVC2	1P3PVC2	1P4PVC2	1P5PVC2	1P6PVC2
	1P1PVC3	1P2PVC3	1P3PVC3	1P4PVC3	1P5PVC3	1P6PVC3
	1P1PVC4	1P2PVC4	1P3PVC4	1P4PVC4	1P5PVC4	1P6PVC4
2. Düzey PVC	2P1PVC1	2P2PVC1	2P3PVC1	2P4PVC1	2P5PVC1	2P6PVC1
	2P1PVC2	2P2PVC2	2P3PVC2	2P4PVC2	2P5PVC2	2P6PVC2
	2P1PVC3	2P2PVC3	2P3PVC3	2P4PVC3	2P5PVC3	2P6PVC3
	2P1PVC4	2P2PVC4	2P3PVC4	2P4PVC4	2P5PVC4	2P6PVC4

4.1.4.1 Zımparalama İşlemi

Yüzey üzerinde herhangi bir aşındırma işlemi uygulanmadan önce yüzey pürüzlülük ölçümleri yapılmıştır. İşlem öncesi ve sonrasının yüzeyde meydana getirdiği pürüzlülük açısından karşılaştırılabilmesi için işlem uygulanmadan yapılan yüzey pürüzlülük ölçümlerine ait değerler Tablo 4.7’de verilmektedir.

Tablo 4.7: İşlem uygulanmamış numunelerin yüzey pürüzlülük değerleri, R_a (μm).

Plastik Malzemeler	Numune 1		Numune 2		Numune 3		Numune 4		Ortalama	
	Üst	Alt	Üst	Alt	Üst	Alt	Üst	Alt	Üst	Alt
PE	3,23	3,83	3,72	3,60	3,40	3,89	3,10	3,42	3,36	3,68
PP	2,81	3,63	4,45	3,15	2,96	3,67	3,24	3,80	3,36	3,56
PVC	2,00	2,59	2,49	2,47	2,65	3,20	3,07	3,45	2,55	2,92

İlk olarak zımparalama ile yüzeyde mekanik aşındırma yapılacak numunelerin işlemleri yapılmıştır. Mekanik aşındırma ile yüzeyde fark edilebilen bir pürüzlülük oluşmuştur. Yapıştırma öncesi zımparalanmış numunelerin oda sıcaklığında yüzey pürüzlülük ölçümleri yapılmıştır. Zımparalama işlemi için P220C numaralı zımpara kağıdı kullanılmıştır. Zımparalama işlemi her numune için 30 s boyunca ara vermeden elle gerçekleştirilmiştir. Uygulanan zımparalama işleminden sonra numunelerin yüzey pürüzlülük değerleri üniversitemizin makine mühendisliği bölümü makine elemanları laboratuvarında bulunan yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı ile ölçülmüştür. Elde edilen değerler Tablo 4.8’de verilmiştir.

Tablo 4.8: Zımparalanmış numunelerin yüzey pürüzlülük değerleri, R_a (μm).

Numune	Numune 1		Numune 2		Numune 3		Numune 4		Ortalama	
	Üst	Alt	Üst	Alt	Üst	Alt	Üst	Alt	Üst	Alt
PE	3,7	3,5	3,5	3,9	3,2	3,5	3,1	3,7	3,4	3,7
PP	2,8	3,0	3,7	3,3	3,5	3,2	3,6	3,7	3,4	3,3
PVC	3,1	3,0	3,0	2,9	4,7	3,5	3,5	3,0	3,6	3,1

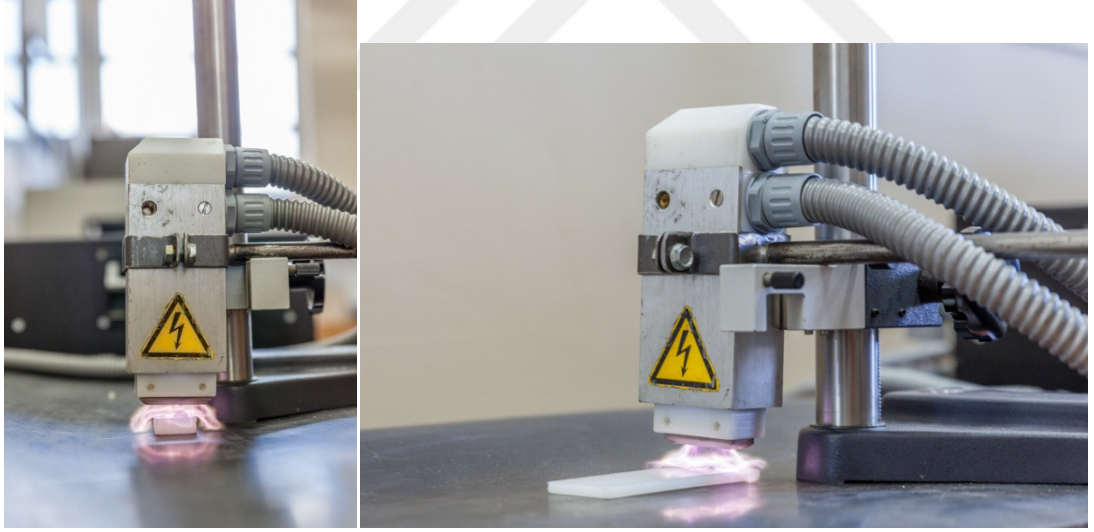
4.1.4.2 Korona işlemi

Korona sistemi olarak Simtekno firmasından kiralanan tantec markalı tek kafalı açık sistem kullanılmıştır. Sistem atmosfer basıncı altında çalışmaktadır. Çalışma mekanizması elektriksel alan oluşturarak gerçekleşmektedir. Korona sistemine ait teknik özellikler Tablo 4.9’da verilmiştir.

Tablo 4.9: Korona sistemi ve teknik özellikleri (Tantec).

Ana Voltaj Değeri	230/110 VAC, 50/60 Hz
Çıkış Gücü	550 Watt
Çıkış Voltajı	6,5 kV
İşlem Başlık Ölçüleri	45-65 mm
Ağırlık	13 kg
Zamanlayıcı	0,5-10 s

Deney sırasında laboratuvarında kullanılan korona sistemi ve deney işlemi uygulaması Şekil 4.3’de görülmektedir.



Şekil 4.3: Korona yüzey işlemi uygulaması için tek kafalı korona sistemi

Yüzeyde farklı bir ara yüzey oluşturmak için yüzey işlemi olarak korona yüzey işlemi seçilmiş ve uygulanmıştır. Bu sistem için açık tek kafalı sistem kullanılmıştır. Korona işlemi 150 s ve 300 s olmak üzere iki farklı sürede uygulanmıştır. Yüzey uygulamasının süreye bağlı değişimi de gözlenmiştir. Korona işleminin uygulanması sırasında oluşan elektron bombardımanı yüksek sıcaklık ve kıvılcım saçmaktadır. Bu yüzden yapılan deneysel çalışmalarda herhangi bir fiziksel

tehlikenin oluşmaması ve elektron sıçraması olmaması için kauçuk paspas zemin kullanılmıştır. Korona işlemi uygulandıktan sonra yüzey pürüzlülük değeri için ölçüm yapılmıştır. Korona işlemi sonrası yapılan yüzey pürüzlülük ölçüm değerleri Tablo 4.10’da verilmiştir.

Tablo 4.10: Korona uygulanmış numunelerin yüzey pürüzlülük değerleri R_a (μm).

Numune	Numune 1		Numune 2		Numune 3		Numune 4		Ortalama	
	Üst	Alt	Üst	Alt	Üst	Alt	Üst	Alt	Üst	Alt
PE	3,3	3,5	3,9	3,7	3,6	3,6	4,01	4,5	4,9	3,8
PP	4,1	4,0	3,2	3,3	4,1	4,0	2,9	4,1	3,6	3,9
PVC	3,6	3,2	4,0	3,2	3,9	3,7	2,2	3,7	3,4	3,5

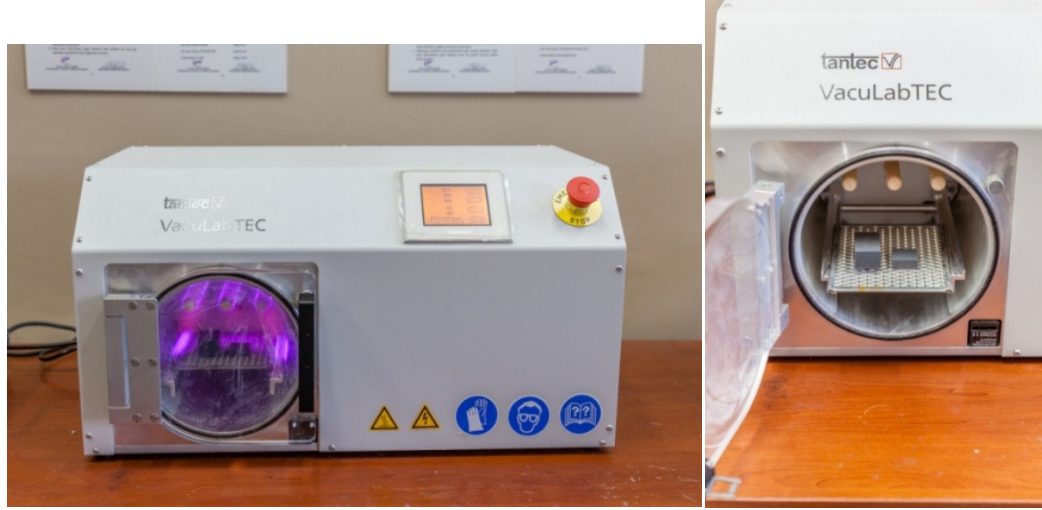
4.1.4.3 Plazma İşlemi

Plazma uygulaması için farklı yapıdaki plazma cihazları incelenmiştir. Sim tekno firması ile yapılan görüşmeler sonrasında Tantec Vaculab olarak adlandırılan laboratuvar ortamı için tasarlanmış plazma cihazı ile deneylerin yapılmasına karar verilmiştir. Kullanılan deney cihazının teknik özellikleri Tablo 4.11’de verilmektedir.

Tablo 4.11: Plazma sistemi ve teknik özellikleri (tantec).

Ana Voltaj Değeri	230 VAC, 50/60 Hz
Plazma Gücü	Max 400 VP
Çıkış Voltajı	300 Watt
Plazma İşlem Süresi	10-180 s
Plazma Elektrot Sistemi	Seramik İzolasyonlu
Ölçüler	Dış Hazne 600x410x340 İç Hazne 120x180x55 Ağırlık 36 kg

Deney sırasında laboratuvarda kullanılan Plazma sistemi ve deney işlemi uygulaması Şekil 4.4’de görülmektedir



Şekil 4.4: Plazma yüzey işleme uygulaması yapılan tantec vaculab sistemi.

Yüzeye uygulanan plazma işlemi kapalı ve vakumlu bir kabin içerisinde uygulanmıştır. İç hazneye yerleştirilen numuneler için sistemin dış kapağı kapatıldıktan sonra sistem içerisinde 1-4 mbar arasında uygulanan vakum ile haznedeki oksijen tamamen boşaltılıp seramik malzemeden elektrod üreticisi yüzeyde elektron bombardımanı yaparak yüzey değişimi sağlamaktadır. Deney uygulamaları iki farklı sürede 150 s ve 300 s olarak uygulanmıştır. Yüzeyde oluşan yüzey pürüzlülük değerleri Tablo 4.12’de verilmektedir.

Tablo 4.12: Plazma uygulanmış numunelerin yüzey pürüzlülük değerleri, R_a (μm).

Numune	Numune 1		Numune 2		Numune 3		Numune 4		Ortalama	
	Üst	Alt	Üst	Alt	Üst	Alt	Üst	Alt	Üst	Alt
PE	2,2	2,5	2,1	3,2	2,5	2,7	2,1	2,0	2,2	2,6
PP	1,9	2,4	3,1	2,0	1,8	2,4	2,6	2,9	2,4	2,4
PVC	2,5	2,3	2,1	2,0	1,7	1,9	2,1	2,2	2,1	2,1

4.1.5 Deney Numunelerinin Yapıştırılması

Numunelerin yüzeylerine uygulanan ön işlemlerden sonra yapıştırma işlemleri yapılmıştır. Yapıştırma sırasında önceden belirlenen yapıştırma alanları dikkate alınmıştır. Bu şekilde PE ve PP için 30 mm, PVC için 15 mm olacak şekilde bindirme uzunlukları düzenlenip çekme deney numuneleri için yapıştırma işlemleri

yapılmıştır. Yapıştırma işlemi sırasında iki bileşenli olan yapısal yapıştırıcı, yapıştırıcı ucunda bulunan statik karıştırıcı ile homojen şekilde uygun oranlarda birleşerek yapıştırma alanına sürülmüştür. Yapıştırma alanında yapıştırıcının homojen dağılması için metal bir spatula ile yapıştırıcı, yapıştırma bölgesine dağıtılmıştır. Yapıştırma işleminden sonra üstte kalan fazla yapıştırıcı temizlenmiş ve yapıştırıcının tüm yüzeye homojen olarak dağılması sağlanmıştır. Yapıştırılan malzemelerde kuruma sürecinde kayma olmaması için küçük el mandalları ile numuneler sabitlenmiştir. Yapıştırıcının kürleşme süresinin kısa olması nedeni ile işlem şekli hızlı gerçekleştirilmiştir. Yapıştırılan her bir deney çifti için işlem özenle yapılmıştır. Özellikle yapıştırılan alanın tamamen ıslanması ve yüzey üzerinde boşluk kalmadan birleştirme işleminin tamamlanmasına özen gösterilmiştir. Şekil 4.5’de yapıştırılan ve sabitlenen deney numuneleri görülmektedir. Yapıştırılan numuneler 1-2 saat sonrasında taşınabilir hale gelmiştir. Yapıştırma işleminden sonra her gruptaki 4 farklı numune çiftinin yapıştırma bölgelerinin kalınlıkları kumpas ile ölçülmüştür. Deney numunelerinde yaklaşık olarak 0,1 mm değerinde yapıştırıcı kalınlığı olduğu tespit edilmiştir. Kürleşmenin hızlı olması, tamamen birleşen numune çiftlerinin ölçümünün daha rahat yapılmasına olanak sağlamıştır. Yapıştırma işlemleri tamamlandıktan sonra, taşınabilir hale gelen numune çiftlerinin bindirme alanları tekrar ölçülerek önceden belirtilmiş olan ölçülere uygun olup olmadıkları kontrol edilmiştir.



Şekil 4.5: Çekme deney numunelerinin yapıştırılması.

Yapıştırma sonrası numuneler, yapıştırıcının tam olarak kürleşmesi için 3 gün süre ile laboratuvarında bekletilmiştir. Kürleşme sonrası her numune tipi uygulanacak

işlemlere göre bekleme süreleri ve sıcaklıkları dikkate alınarak gruplara ayrılmıştır. Şekil 4.6’da çekme deney numunelerinin yapıştırıldıktan sonra bekleme sürelerine göre işlem yapılmak üzere gruplandırılmış şekli görülmektedir.



Şekil 4.6: Yapıştırılmış çekme deney numuneleri.

Deney için standartlara uygun boyutlarda ölçülendirilerek kesilen numuneler için yüzey işlemi uygulamaları yapılmıştır. Uygulanan yüzey işlemlerinden sonra belirlenmiş olan Weicon Easy-Mix PE-PP 45 metil akrilat yapıştırıcı ile yapıştırılmıştır. Yapıştırma sonrası numuneler için 30 gün süreyle -20 °C, 0 °C ve 20 °C’de farklı üç sıcaklıkta bekletme süresi tamamlanmıştır. -20 °C ve 0 °C ortam sıcaklığı laboratuvarında bulunan derin dondurucu ile sağlanmıştır. Yapıştırma sonrası belirtilen sıcaklıklarda bekleme süresini tamamlamış olan numuneler için çekme deneyleri ve izod darbe deneyleri yapılmıştır.

Ayrıca işlem sonrası yapıştırılan numuneler 50 °C sıcaklıkta 30, 60 ve 90 gün olacak şekilde iklimik kabin ortamında yaşlandırma işlemine tabi tutulmuştur. İklimatik kabin ortamında % 95 nem oranının sürekli sağlanabilmesi için her gün nem seviyesi kontrolleri yapılmış, her iki günde bir olmak üzere sistemin su dolum deposunun su seviyesi kontrol edilip düzenli nemlendirme yapması için takip edilmiştir.

Deney numunelerinin yapıştırılma işlemleri, PE, PP ve PVC malzemelerin yüzey işlemine tabi olanları için işlemten hemen sonra yapılmıştır. Her deney numunesi için yüzey işlemi uygulama sırası PE, PP ve PVC şeklinde olmuştur. Yapıştırıcı uygulamasında tabanca kullanılmıştır. Ayrıca tüpün ucuna takılan statik karıştırıcı sayesinde yapıştırıcı homojen olarak karışmıştır.

Yapıştırıcının tüm tabakaya eşit şekilde dağılmasına ve yüzeyi tamamen ıslatmasına dikkat edilmiştir. Yapıştırıcının 2-3 dakika süren kürleşme süresinden sonra yapıştırılan bölgeler özel mandallar ile sıkıştırılarak bir hafta süre ile oda sıcaklığında bekletilmiştir. Tamamen kürleşmiş olan ve yapıştırılan numuneler derin dondurucuya ve iklimik kabine belirtilen şartlandırma koşulları sağlanarak konulmuştur. Numunelerin birbirleri üzerine bindirilmek suretiyle yapılan yapıştırma işlemlerinin aşamaları Şekil 4.7’de verilmektedir.



Şekil 4.7: Numunelerin yapıştırılma aşamaları.

Çekme deney numunelerine yaşlandırma uygulanmıştır. Izod darbe deney numuneleri yaşlandırmaya tabi olmamıştır. Çekme deneyi koşulları ve sayıları Tablo 4.13’de verilmiştir.

Çekme deneyinde yapıştırılan her çift için, her iki yüzeye de ayrı ayrı yüzey işlem uygulaması yapılmıştır. Bu şekilde sınıflandırdığımızda zımparalama işlemi uygulanan parça sayısı 144, korona işlemi uygulanan parça sayısı 288 ve plazma işlemi uygulanan parça sayısı 288’dir.

Her işlem için ayrı ayrı uygulama yapıldığı göz önünde bulundurulduğunda çekme deney uygulamaları için toplam 720 adet parça üzerinde yüzey işlem uygulaması yapılmıştır. Yapıştırılan 360 deney çifti için çekme deneyleri tamamlanmıştır.

Tablo 4.13: Yüzey işlemi uygulanan numuneler için çekme deneyi koşulları ve sayıları.

İşlem	Numune	-20 °C	0 °C	20 °C	50 °C 30 gün	50 °C 60 gün	50 °C 90 gün
Zımparalama	PE	4	4	4	4	4	4
	PP	4	4	4	4	4	4
	PVC	4	4	4	4	4	4
		12	12	12	12	12	12
Korona	PE 1. Düzey	4	4	4	4	4	4
	PE 2. Düzey	4	4	4	4	4	4
	PP 1. Düzey	4	4	4	4	4	4
	PP 2. Düzey	4	4	4	4	4	4
	PVC 1.Düzey	4	4	4	4	4	4
	PVC 2.Düzey	4	4	4	4	4	4
		24	24	24	24	24	24
Plazma	PE 1. Düzey	4	4	4	4	4	4
	PE 2. Düzey	4	4	4	4	4	4
	PP 1. Düzey	4	4	4	4	4	4
	PP 2. Düzey	4	4	4	4	4	4
	PVC 1.Düzey	4	4	4	4	4	4
	PVC 2.Düzey	4	4	4	4	4	4
		24	24	24	24	24	24

Izod darbe deneyinde numuneler üzerinde anlık darbe direnci ölçülmüştür. Burada deney numuneleri için çalışılacak koşullar 3 farklı sıcaklık için belirlenmiştir. Izod darbe deneyi için kullanılan numune boyutları standarta uygun olarak hazırlanmıştır. Numunenin birleşen alanları için her numune, aynı şekilde 3 farklı yüzey işlemine tabi tutulmuştur.

Zımparalama işlemi uygulanan parça sayısı 72, korona işlemi uygulanan parça sayısı 144 ve plazma işlemi uygulanan parça sayısı 144'dür. İşlem sonrası yapıştırma işlemi yapıp belirtilen sıcaklıklarda şartlandırılmıştır. Izod darbe deneyi için toplamda 360 adet parça birleştirilmiş ve 180 adet deney numunesi elde edilmiştir. İşlem uygulaması yapılan numuneler için koşul ve sayılar Tablo 4.14'de verilmektedir.

Tablo 4.14: Yüzey işlemi uygulanan numuneler için Izod darbe deneyi koşulları ve sayıları.

İşlem	Numune	-20 °C	0 °C	20 °C
Zımparalama	PE	4	4	4
	PP	4	4	4
	PVC	4	4	4
		12	12	12
Korona	PE 1. Düzey	4	4	4
	PE 2. Düzey	4	4	4
	PP 1. Düzey	4	4	4
	PP 2. Düzey	4	4	4
	PVC 1. Düzey	4	4	4
	PVC 2. Düzey	4	4	4
		24	24	24
Plazma	PE 1. Düzey	4	4	4
	PE 2. Düzey	4	4	4
	PP 1. Düzey	4	4	4
	PP 2. Düzey	4	4	4
	PVC 1. Düzey	4	4	4
	PVC 2. Düzey	4	4	4
		24	24	24

Zımparalama işlemi tek kademede 30 s uygulama sonucunda elde edilen yüzeyler arasında yapıştırma ile gerçekleştirilmiştir. Korona ve plazma sistemlerinde 1. Düzey için 150 s, 2. Düzey için 300 s uygulama yapıp numuneler yapıştırılmıştır.

4.1.6 Yaşlandırma İşlemleri

Yüzey işlem uygulaması yapılan ve yapıştırılan numuneler 1 hafta oda sıcaklığında bekletilmiştir. Yaşlandırma işlemleri yapıştırma bağlantılarının yaşlandırma deneylerinin anlatıldığı TS EN 2243-5 standardına göre numuneler % 95 bağıl nemde ve 50 °C’de 30, 60, 90 gün süreyle iklimatik kabinde tutulmuş ve yaşlandırma süreleri biten numunelerin deneyleri yapılmıştır.

Ayrıca -20 °C ve 0 °C’de ki numuneler için, yapıştırma sonrası derin dondurucuda 1 ay bekletilip deneyleri yapılmıştır. Şekil 4.8’de iklimatik kabin içerisindeki deney numuneleri görülmektedir.

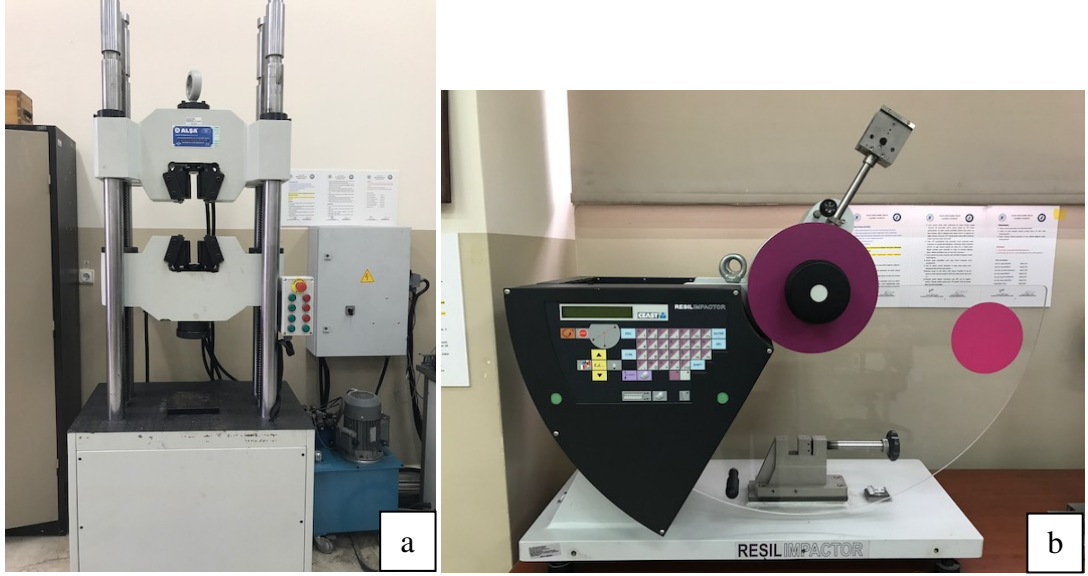


Şekil 4.8: İklimatik kabin içerisinde deney numunelerinin yaşlandırılması.

4.1.7 Deney Cihazları

Deneylerde Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü Malzeme laboratuvarında bulunan ALŞA servo hidrolik çekme/basma deney cihazı (Şekil 4.9 a) ve Izod darbe deney cihazı (Şekil 4.9 b) kullanılmıştır.

Çekme deneylerinde tüm deney numuneleri aynı prosedürde 2 mm/min hızla çekilmiştir. Anlık darbe dayanımı ölçümü için PE ve PP numuneleri için 7,5 J darbe enerjisi, PVC numuneleri için 11 J darbe enerjisi kullanılmıştır.



Şekil 4.9: a) ALŞA servo hidrolik çekme/basma deney cihazı, b) Izod darbe deney cihazı.

Yaşlandırma deneyleri için laboratuvarında bulunan NÜVE TK-252 marka iklimik kabin kullanılmıştır. İklimatik kabin mevcut sıcaklığını, nem oranını ve gece-gündüz döngüsü modelleme imkanı ile gerçek çevresel ortamları simule edebilmektedir. Cihaz 10 °C – 60 °C sıcaklık aralığında ve % 10 – % 95 Rh nem aralığında çalışabilmektedir. Kullanılan derin dondurucu –40 °C değerlerine kadar çalışabilme özelliğine sahiptir. İklimatik kabin Şekil 4.10’da verilmiştir.



Şekil 4.10: İklimatik kabin.

5. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

5.1 DeneySEL Bulgular

Bu bölümde PE, PP ve PVC malzemelerden hazırlanmış numuneler üzerine uygulanan zımparalama, korona ve plazma yüzey işlemlerinin yapıştırma üzerine etkileri, yüzey işlem uygulamasına göre değişken sıcaklık değerlerinde ve nemde nasıl davranış gösterdikleri yorumlanmaya çalışılmıştır.

5.1.1 Yüzey İşlemi Uygulanmadan Yapılan Yapıştırma İşlemi ve Bulgular

Deneylerde PE, PP ve PVC deney numuneleri için yüzey işlemi uygulaması yapılmadan önce yapıştırıcı ile birleştirilerek çekme deneyleri ve izod darbe deneyleri yapılmıştır.

Her bağlantı türünden dört adet deney çifti test edilmiştir. Bu yapıştırma işleminde herhangi bir ön yüzey işlem uygulaması yapılmamıştır. Yapıştırılan numune çiftlerinin çekme deneylerinden ve izod darbe deneylerinden elde edilen hasar yükü değerleri sırasıyla Tablo 5.1 ve Tablo 5.2’de verilmiştir.

Tablo 5.1 : Ön işlem uygulanmamış numunelerin çekme deney sonuçları

	Max. Kuvvet (kN)	Gerilme değeri (N/mm ²)
PE	1,75	1,7
PE	1,63	1,6
PE	1,84	1,8
PE	0,85	0,8
PP	1,88	1,8
PP	2,05	2,0
PP	1,74	1,7
PP	2,01	1,9
PVC	2,55	3,0
PVC	1,76	2,1
PVC	1,98	2,1
PVC	3,10	4,0

Standartlarda belirtilen ölçülerde kesilen numuneler üzerinde herhangi bir ön işlem uygulaması yapılmadan yapıştırma işlemi yapılmıştır. Yapıştırılan numune çiftleri oda sıcaklığında 30 gün bekletildikten sonra çekme deneyleri ve izod darbe deneyleri yapılmıştır.

Çekme deney sonuçlarına göre ön işlem uygulamadan elde edilen dayanım değerleri oldukça düşük sonuçlar vermiştir. PE, PP ve PVC deney numuneleri için elde edilen kayma gerilmesi ortalama değerleri sırasıyla 1,5 N/mm², 1,9 N/mm² ve 2,8 N/mm² olarak tespit edilmiştir.

Tablo 5.2 : Ön işlem uygulanmamış numunelerin izod darbe deney sonuçları

Darbe Dayanımı kJ/m ²					
PE	1,9	PP	1,9	PVC	3,2
PE	2,5	PP	2,1	PVC	3,1
PE	2,1	PP	2,1	PVC	1,8
PE	1,7	PP	1,3	PVC	1,3

Ön işlem uygulamadan yapıştırılan ve darbe deneyi yapılan numuneler için darbe deneyi sonucu oluşan dayanım değerlerinin düşük olduğu görülmüştür. Anlık darbe için yapıştırılan yüzey ve yapıştırıcının ayrılma bölgeleri incelenmiştir. Özellikle darbe anında yapıştırma alanından kopmayan ve malzemenin parçalanarak koptuğu numune çiftleri deney sonuçlarının oluşturulması açısından dikkate alınmamıştır. Bu şekilde hasara uğramış olan numuneler için deney tekrarları yeni numune çiftleri üzerinde yapılmıştır.

5.1.2 Ön Yüzey İşlemleri ve Yaşlandırma

Yapıştırma bağlantılarında çevresel şartların değişmesi, dayanım değerlerinin nasıl değişeceğini, bağlantı yüzeylerine uygulanabilecek yüzey işlemleri ve dayanımdaki değişimlerin tespit edilmesi amacı ile deneysel çalışmalar yapılmıştır. Numuneler üzerinde üç farklı yüzey işlemi uygulaması yapılmıştır. Uygulamalar için zımparalama, korona ve plazma sistemleri kullanılmıştır. Zımparalama el ile yapılmıştır. Korona ve plazma işlemleri laboratuvar ortamı için oluşturulan sistemler ile gerçekleştirilmiştir.

Öncelikle mekanik aşındırma sağlanabilmesi için zımparalama işlemi uygulanmıştır. Ayrıca yüzey ile yapıştırıcı arasında ara bağ kuvvetlerini arttırmak amacıyla korona ve plazma yüzey işlemleri uygulanmıştır.

Çevresel şartların etkilerinin tespit edilebilmesi için yapıştırılan numuneler üç farklı sıcaklıkta şartlandırılmıştır. Ayrıca numuneler 50 °C sıcaklıkta standartta belirtilen % 95 nem oranında 30, 60, 90 gün süreyle bekletildikten sonra deneysel çalışmalar yapılmıştır. Her bir ortam koşulu ve yüzey işlemi için dört adet deney numunesi çifti hazırlanmıştır. Elde edilen dört deney sonucundan ortalamaya en uzak olan değer çıkartılarak 3 tanesinin ortalaması alınmıştır.

Yüzeylerde oluşan yüzey pürüzlülük değerlerinin tespiti yapılarak mekanik aşındırmanın meydana getirdiği pürüzlülük değerleri hakkında işlem görmemiş numuneler ile kıyaslama yapılmıştır. Yüzeye uygulanan zımparalamanın yüzey pürüzlülüğünde artış meydana getirdiği tespit edilmiştir. Ayrıca yüzeyde gözle görülemeyen fakat yapıştırma alanlarında ara bağ yapısı oluşumu sağlayarak adhezyon ve kohezyon kuvvetlerini etkileyebilen korona ve plazma yüzey uygulamaları yapılmıştır. Korona yüzey uygulaması ile yüzeyde aktif bir elektrik alanı oluşturularak elektron aktarımı sağlanmıştır. Elektronların yüzeyde meydana getirdiği değişim pürüzlülük ölçümlerinde görülememektedir. Oluşan bağ yapısının elektron boyutunda olması yüzeyde farkedilebilir fiziksel bir değişim oluşturmamaktadır. Elektronlar ile yüzeyde bulunan bağ yapı arasında meydana gelen elektron alışverişi, oluşan bağ sisteminin birbirine kuvvetli şekilde bağlanmasını sağlamaktadır. Bu durum yapıştırıcı tabaka ile yüzey arasında kuvvetli bağ sistemleri kurarak numunelerin kayma gerilmesi ve anlık darbe dayanımı için olumlu sonuçlar oluşturabilmiştir. Malzemelerin farklı iç yapılara sahip olmasından dolayı, uygulanan korona işleminde elde edilen sonuçlar farklılıklar göstermektedir.

5.1.3 Zımparalama İşlemi İçin Elde Edilen Deneysel Sonuçlar

Zımparalama için elde edilen deneysel sonuçlar çekme ve izod darbe deneyleri olmak üzere iki kısımda verilmiştir.

5.1.3.1 Zımparalama Sonrası Yapıştırılan Numunelerde Çekme Deney Sonuçları

Zımparalama işlemi biten numuneler belirlenmiş bindirme uzunluklarında yapıştırılmıştır. Yapıştırılan çekme deney numuneleri -20 °C, 0 °C ve 20 °C, sıcaklık şartlarında bir ay bekletilmiştir. Yaşlandırma yapılacak numuneler 50 °C sıcaklıkta 30, 60 ve 90 gün şartlandırılarak çekme deneyleri uygulanmıştır. Izod darbe deneyi için yapıştırılan numuneler, -20 °C, 0 °C ve 20 °C sıcaklıkta bir ay bekletilmiştir. Bekleme süreleri tamamlanan numuneler gruplar halinde mevcut ortam şartlarından alınıp bekletilmeden deneyler gerçekleştirilmiştir. Zımparalama için yapılan çekme deneylerinden elde edilen kayma gerilmesi değerleri Tablo 5.3’de verilmektedir.

Tablo 5.3 : Zımparalanmış numunelerin çekme deneyi sonuçları

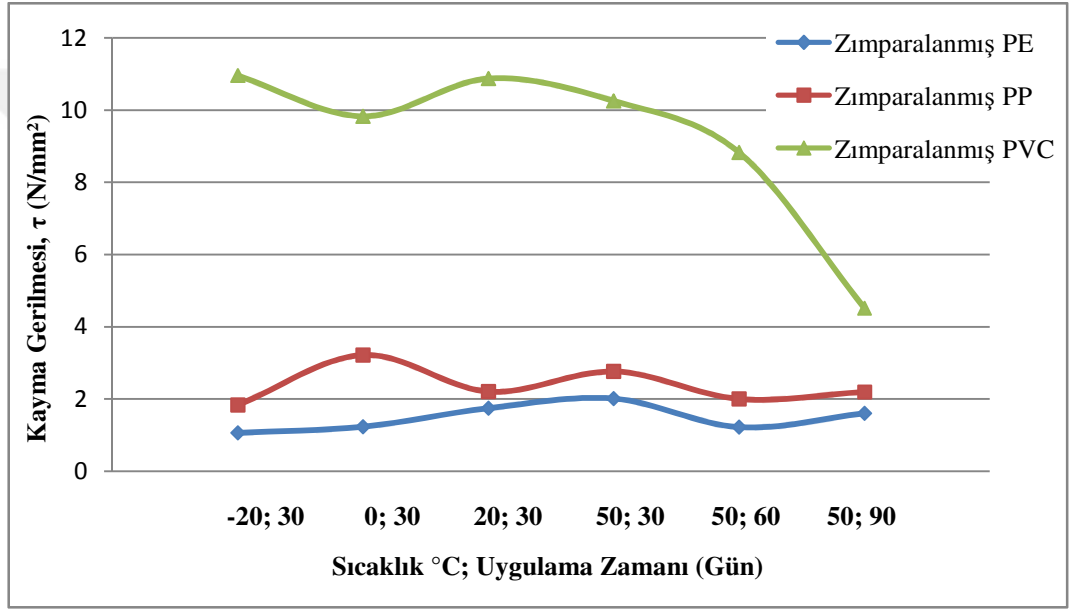
Deney Şartları	Numune	Kayma Gerilmesi (N/mm ²)	Numune	Kayma Gerilmesi (N/mm ²)	Numune	Kayma Gerilmesi (N/mm ²)
- 20°C	Z1PE _{ort} *	1,1	Z1PP _{ort} *	1,8	Z1PVC _{ort} *	11,0
0°C	Z2PE _{ort}	1,2	Z2PP _{ort}	3,2	Z2PVC _{ort}	9,8
20°C	Z3PE _{ort}	1,7	Z3PP _{ort}	2,2	Z3PVC _{ort}	10,9
50°C; 30 gün	Z4PE _{ort}	2,0	Z4PP _{ort}	2,8	Z4PVC _{ort}	10,3
50°C; 60 gün	Z5PE _{ort}	1,2	Z5PP _{ort}	2,0	Z5PVC _{ort}	8,8
50°C; 90 gün	Z6PE _{ort}	1,6	Z6PP _{ort}	2,2	Z6PVC _{ort}	4,5

*PE_{ort}, PP_{ort}, PVC_{ort} olarak verilen ortalama değerler her deneysel çalışma için yapılmış 4 deneyden en iyi 3 sonucun ortalamasını göstermektedir.

Kullanılan malzemeler için dayanım değerlerinin literatür değerlerine bakıldığında, PE malzemenin dayanım değerlerinin PP malzemedan daha düşük olduğu, PVC malzemenin dayanım değerlerinin ise en yüksek değerleri aldığı görülebilmektedir. Yapılan deneysel çalışmalarda zımparalama sonrası elde edilen dayanım değerleri için aynı sıralama oluşmuştur. Zımparalama işlemi uygulanmış PE malzeme için kayma gerilmesi değerleri 1,1 ile 2,0 N/mm² arasında değişmektedir. Burada elde edilen en iyi değer 50 °C; 30 gün yaşlandırma koşullarında olmuştur. En düşük kayma gerilmesi değeri ise -20 °C ortamda 30 gün bekletilen numunelerde görülmüştür. PP malzeme için kayma gerilmesi değerleri 1,8 ile 3,2 N/mm² arasında değişmektedir. Elde edilen kayma gerilmesi değerleri kıyaslandığında en iyi sonuç

3,2 N/mm²'lik değerde, 0 °C; 30 gün şartlarında sağlanmıştır. En düşük kayma gerilmesi değeri ise -20 °C; 30 gün şartlarında görülmektedir. PVC malzeme için elde edilen değerlere bakıldığında kayma gerilmesi değerleri 4,5 ile 11 N/mm² arasında değişmektedir. PVC numuneler için elde edilen en yüksek değer -20 °C; 30 gün şartlarında sağlanmıştır. En düşük değer ise 50 °C; 90 günlük yaşlandırma şartlarında oluşmuştur.

Zımparalama işlemi sonrası yapıştırılan numunelerin çekme deney sonuçları Şekil 5.1'de verilmektedir.



Şekil 5.1: Zımparalanmış numunelerin çekme deney sonuçları

Deney sonuçlarına bakıldığında malzemelerin dayanım değerlerinin sıcaklıkla ve şartlandırma süreleri ile değişimleri görülmektedir. PE ve PP malzemelerin dayanım değerleri literatürde verilen değerlerde olduğu gibi birbirine oldukça yakındır. PVC malzemenin dayanım değerleri ise daha yüksektir. Fakat yaşlandırma süresi uzadıkça PE ve PP malzemenin dayanım değerlerindeki değişim daha düşüktür. PVC malzeme ise yaşlandırma süresinin uzaması ile dayanım değerinde yüksek oranda düşme meydana gelmektedir. Yaşlandırma süresinin uzaması, PMA yapıştırıcı ile yüzey arasında oluşan ara bağ kuvvetlerinin zayıflamasına neden olmaktadır. Bu durum dayanım değerlerini düşürmektedir.

5.1.3.2 Zımparalama Sonrası Yapıştırılan Numunelerde Izod Darbe Deney Sonuçları

Zımparalanmış numunelerde anlık darbenin test edilebilmesi için yüzey işlemi uygulamasından sonra yapıştırılan numuneler için -20 °C, 0 °C ve 20 °C sıcaklıklarda 30 günlük şartlandırma sonrasında darbe dayanımlarının tespiti için izod darbe deneyleri yapılmıştır.

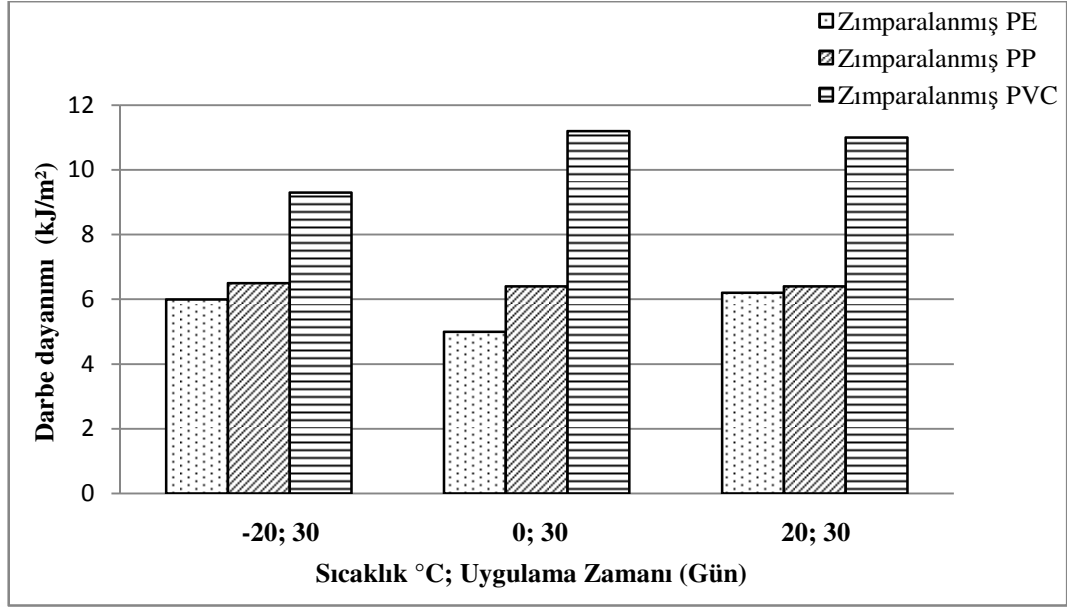
Zımparalanmış numuneler için yapılan izod darbe deney sonuçları Tablo 5.4’de verilmiştir. Ayrıca izod darbe deneylerinden elde edilen sonuçlardan oluşturulmuş karşılaştırma grafiği Şekil 5.2’de verilmektedir.

Tablo 5.4: Zımparalanmış numunelerin izod darbe deney sonuçları

Deney Şartları	Numune	Darbe Dayanımı		Numune	Darbe Dayanımı		Numune	Darbe Dayanımı	
		J	kJ/m ²		J	kJ/m ²		J	kJ/m ²
- 20 °C	Z1PE _{ort} *	3,9	6,0	Z1PP _{ort} *	4,2	6,5	Z1PVC _{ort}	6,0	9,3
0 °C	Z2PE _{ort}	3,1	5,0	Z2PP _{ort}	4,3	6,4	Z2PVC _{ort}	7,0	11,2
20 °C	Z3PE _{ort}	4,0	6,2	Z3PP _{ort}	4,1	6,4	Z3PVC _{ort}	7,0	11,0

*PE_{ort}, PP_{ort}, PVC_{ort} olarak verilen ortalama değerler her deney basamağı için yapılmış 4 deneyin içerisindeki en iyi 3 sonucun ortalamasını göstermektedir.

Izod darbe deney sonuçlarına göre anlık dayanım değerleri için PE malzemede en iyi sonuç 20 °C; 30 gün şartlarında elde edilmiştir. PP malzeme için elde edilen değerler birbirine yakındır. PP malzeme için en iyi değer, 0 °C; 30 gün şartlarında ve PVC malzeme de elde edilen darbe dayanımları için en iyi değer 20 °C; 30 gün ve 0 °C; 30 gün şartlarında elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar kıyaslandığında, sıcaklıktaki değişim, darbe dayanımını çok fazla etkilememiştir. Sıcaklık hariç malzemelerin kendi yapılarından kaynaklanan dayanım farklılıkları görülmüştür.



Şekil 5.2: Zımparalanmış numunelerin izod darbe deney sonuçları

5.1.4 Korona İşlemi İçin Elde Edilen Deneysel Sonuçlar

5.1.4.1 Korona İşlemi Sonrası Yapıştırılan Numunelerde Çekme Deney Sonuçları

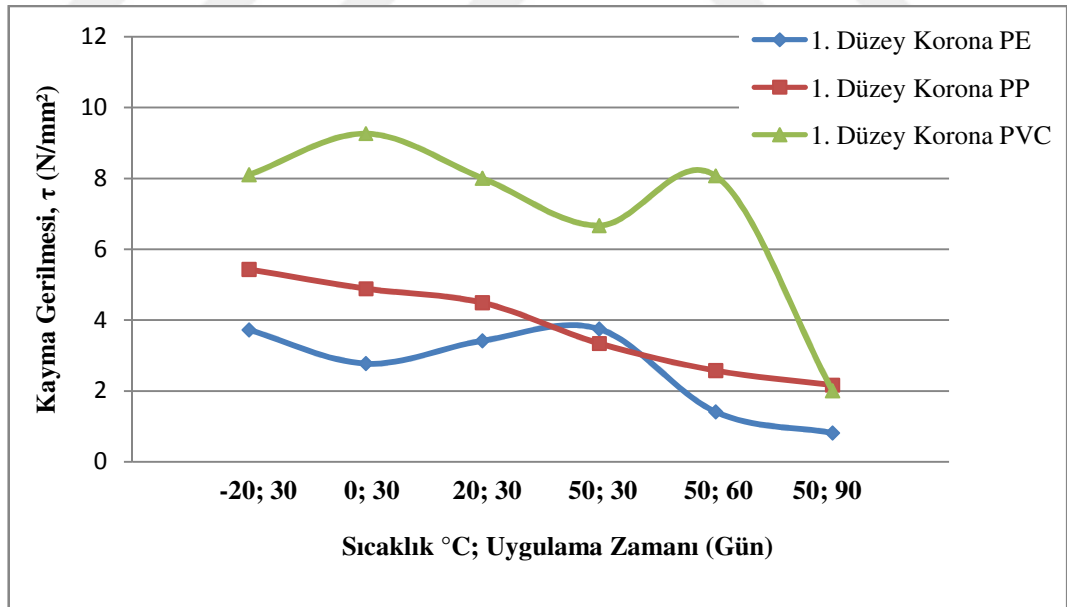
Korona işlemi uygulanmış numuneler yapıştırılıp belirlenen koşullarda şartlandırılmış, çekme deneyleri ve izod darbe deneyleri yapılmıştır. Korona işlemi uygulaması için tek başlıklı korona sistemi kullanılmıştır. Korona cihazına ait teknik veriler Tablo 4.10'da verilmiştir. Yüzey işleminde uygulama süresinin yapıştırma sonrası dayanıma etkisinin görülebilmesi için uygulama iki farklı sürede yapılmıştır. Uygulama süresi 1. Düzey ve 2. Düzey olarak belirlenmiştir. Korona sistemi için yapıştırılacak numunelerin bindirme alanları korona işlemine tabii tutulmuştur. İşlemin hemen sonrasında yapıştırma işlemi gerçekleştirilecek şekilde bir düzenek oluşturulmuştur. İşlem sonrası etkinin azalmaması için yüzey işlemi tamamlandıktan hemen sonra numuneler yapıştırılmıştır. Korona işlemi uygulanan ve yapıştırılan numunelerin şartlandırma süreleri sonrasında çekme deneyleri ve izod darbe dayanım deneyleri yapılmıştır. Korona sistemiyle uygulamaya tabii olmuş numuneler için çekme deneylerinde elde edilen deneysel sonuçlar Tablo 5.5'de verilmektedir.

Tablo 5.5: Korona işlemleri uygulanan numunelerin çekme deney sonuçları

Deney Şartları	Numune	Kayma Gerilmesi (N/mm ²)	Numune	Kayma Gerilmesi (N/mm ²)	Numune	Kayma Gerilmesi (N/mm ²)
- 20 °C	1K1PE _{ort}	3,7	1K1PP _{ort}	5,4	1K1PVC _{ort}	8,1
	2K1PE _{ort}	3,9	2K1PP _{ort}	4,2	2K1PVC _{ort}	5,6
0 °C	1K2PE _{ort}	2,8	1K2PP _{ort}	4,9	1K2PVC _{ort}	9,3
	2K2PE _{ort}	2,3	2K2PP _{ort}	2,8	2K2PVC _{ort}	6,5
20 °C	1K3PE _{ort}	3,4	1K3PP _{ort}	4,5	1K3PVC _{ort}	8,0
	2K3PE _{ort}	2,6	2K3PP _{ort}	3,2	2K3PVC _{ort}	6,9
50 °C; 30 gün	1K4PE _{ort}	3,7	1K4PP _{ort}	3,3	1K4PVC _{ort}	6,7
	2K4PE _{ort}	3,4	2K4PP _{ort}	3,3	2K4PVC _{ort}	5,7
50 °C; 60 gün	1K5PE _{ort}	1,4	1K5PP _{ort}	2,6	1K5PVC _{ort}	8,1
	2K5PE _{ort}	1,0	2K5PP _{ort}	1,4	2K5PVC _{ort}	4,5
50 °C; 90 gün	1K6PE _{ort}	0,8	1K6PP _{ort}	2,2	1K6PVC _{ort}	2,0
	2K6PE _{ort}	2,0	2K6PP _{ort}	2,1	2K6PVC _{ort}	4,5

Korona işlemleri uygulanan PE numunelerde en iyi kayma gerilmesi değerleri -20 °C’de ve 50 °C; 30 gün yaşlandırma sonrasında tespit edilmiştir. Ayrıca korona işlemi için 1. Düzey yapılan uygulamalarda elde edilen sonuçlar genel olarak 2. Düzey uygulamalardan daha iyi kayma gerilmesi sonuçları vermiştir. 150 s uygulama 300 s uygulamaya göre malzemede oluşturduğu bağlantı dayanımı açısından daha iyi sonuçlar göstermiştir. PP numuneler için en iyi kayma gerilmesi değerleri -20 °C’de elde edilmiştir. Korona uygulamasında genel olarak 1. Düzey PP numunelerin dayanım değerleri 2. Düzey korona uygulamasına göre daha yüksek değerler vermiştir. PP malzemede sıcaklık arttıkça dayanım değerlerinde azalma olmuştur. Özellikle yaşlandırma süresi uzadıkça malzemenin dayanım değerlerinde azalma meydana gelmiştir. PVC malzeme için korona uygulamasından sonra yapıştırılan numunelerde, en yüksek dayanım değeri, 0 °C’de 1. Düzey uygulama sonrasında elde edilmiştir. Genel olarak korona 2. Düzey uygulamalarında dayanım değerlerinde azalma olmuştur. Korona işlem uygulamasının süresi arttığında oluşan elektron akımı yüzeydeki bağlarda oluşturduğu yüksek sıcaklıkla beraber yüzeyde hasar meydana getirmektedir. Dolayısıyla uygulama süresinin artması yüzeyde homojen olmayan bir deformasyona neden olmaktadır. Bundan dolayı işlem uygulamasının bağ kuvvetlerdeki etkisinin görülebilmesi için 1. Düzey uygulama yeterli olacaktır.

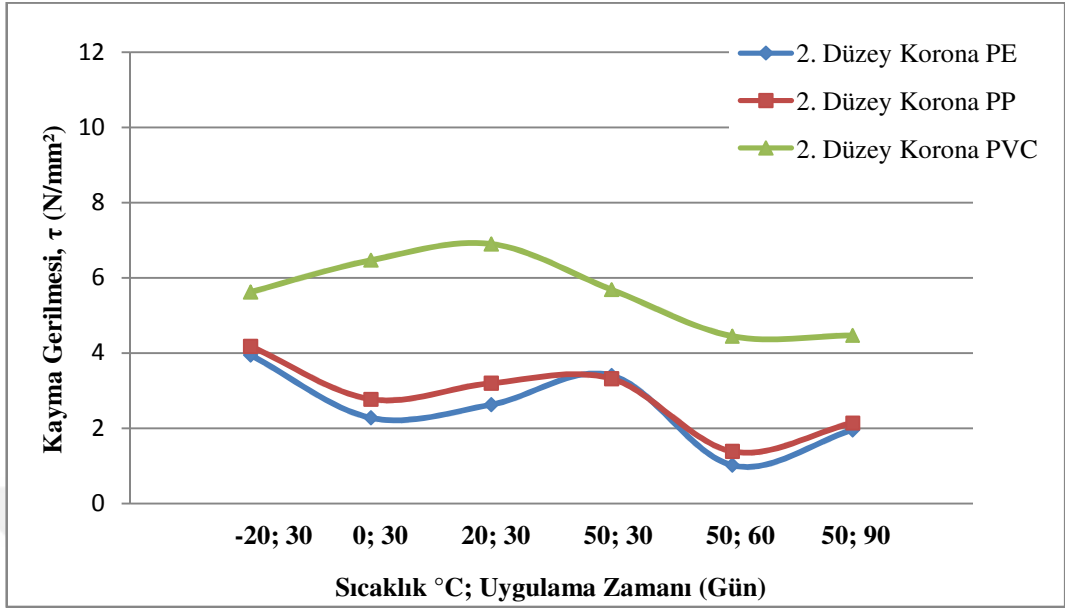
Korona işlemi uygulanan ve yapıştırılan numunelerin çekme deneylerinden elde edilen sonuçlar Şekil 5.3’de verilmiştir. Şekil üzerinden değerlendirildiğinde, yaşlandırma süresinin uzaması durumunda PE ve PP malzemenin kayma gerilmesi değerleri düşmektedir. Genel olarak değerlendirildiğinde malzemelerin sıcaklık artışı ile beraber dayanım değerlerinde azalan bir eğilim görülmektedir. PVC malzeme için 0 °C’de görülen en iyi kayma gerilmesi değeri, PE ve PP malzemeler için -20 °C’deki şartlandırma koşullarında görülmüştür. PVC malzeme de 50 °C; 60 günlük şartlandırma koşullarında görülen dayanım artışı, sürenin 90 güne çıktığı durumda azalmaya başlamıştır. 1. Düzey korona uygulamasında uygulama süresi açısından işlem görmemiş yüzeyde elektron dağılımı homojen olmakta ve oluşturulan yüzey değişimi sayesinde yapıştırma bölgelerinde dayanımı yüksek ara bağ kuvvetleri sağlanmaktadır. Fakat yaşlandırmanın etkisi bu bağ kuvvetlerini genel olarak azaltıcı etki yapmaktadır. Korona uygulama süresi arttıkça elektronların yüzeyde oluşturduğu dağılım da değişmektedir. Belli bölgelerde oluşan fazla şekil değişimi daha az elektron alan bölgelere göre daha yoğun bağ kuvveti oluşturmalarına rağmen bağ kuvvetinin az olduğu alanlardaki dağılımdan dolayı elde edilen dayanım değerleri azalma eğilimi göstermektedir.



Şekil 5.3: 1. Düzey korona işlemi uygulanmış numunelerin çekme deney sonuçları

2. Düzey korona işlemi uygulanmış numuneler için çekme deney sonuçları Şekil 5.4’de verilmiştir. 2. Düzey korona işlemi uygulaması ile 1. Düzeyde elde edilen değerlere göre belli oranlarda azalma görülmektedir. PE ve PP malzemeler

için en yüksek kayma gerilmesi değerleri 1. Düzeyde olduğu gibi 2. Düzey uygulama da -20 °C’de görülmektedir.



Şekil 5.4: 2. Düzey korona işlemi uygulanmış numunelerin çekme deney sonuçları

2. Düzey uygulama süresinin 300 s olması yüzeyde oluşan elektron yoğunluğunun yüzeydeki dağılımının homojen olmasını engelleyebilmektedir. Bu durumda yüzeydeki şekil değişimi ve yapıştırma bağlantılarının dağılımına göre dayanım değerleri için de farklı sonuçlar görülmektedir. PE ve PP için 50 °C; 30 günlük yaşlandırma şartlarında başlayan dayanım artışı aynı sıcaklıktaki 60 günlük yaşlandırma şartlarında azalma gösterirken, 90 günlük şartlandırma süresinde daha az oranda olmak üzere tekrar artış göstermiştir. Burada oluşan dalgalı değişken durumun temel sebebi işlem süresinin uzun olmasından dolayı elektronların yüzeyde oluşturduğu değişimin homojen olmamasından kaynaklanmaktadır.

PVC’ de 20 °C sıcaklıkta 30 günlük şartlandırma süresinde en iyi kayma gerilmesi değeri oluşurken, şartlandırmaya bağlı olarak yaşlandırma süresi uzadıkça dayanım değerlerinde azalma meydana gelmiştir.

5.1.4.2 Korona İşlemi Sonrası Yapıştırılan Numunelerde Izod Darbe Deney Sonuçları

Korona uygulaması yapılmış numunelerin izod darbe deney sonuçları Tablo 5.6’da verilmektedir. Darbe dayanımı için uygulanan deneylerde numuneler üzerinde tek kademedeki korona işlemi yapılmıştır. 1. Düzey korona işlemi sonrası numuneler - 20 °C, 0 °C ve 20 °C sıcaklıklarda 30 gün şartlandırıldıktan sonra darbe dayanım deneyleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde PE için en iyi dayanım değerleri, 0 °C ve 20 °C’ deki şartlarda görülmüştür. PP numuneler için en iyi dayanım değeri 0 °C’de şartlandırılan numunelerde görülmüştür. PVC numuneleri için en iyi darbe dayanımı 0 °C ve 20 °C’de tespit edilmiştir.

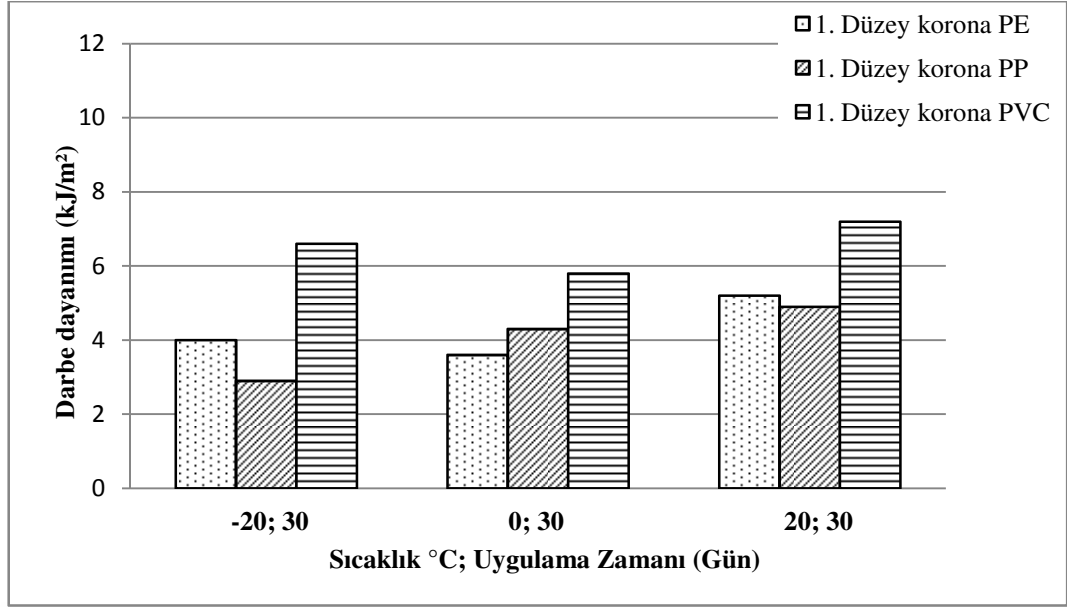
Tablo 5.6: Korona işlemi uygulanan numunelerin izod darbe deney sonuçları

Deney Şartları	Numune	Darbe Dayanımı		Numune	Darbe Dayanımı		Numune	Darbe Dayanımı	
		J	kJ/m ²		J	kJ/m ²		J	kJ/m ²
- 20 °C	1K1PE _{ort}	2,3	3,6	1K1PP _{ort}	0,5	0,8	1K1PVC _{ort}	3,0	4,7
0 °C	1K2PE _{ort}	2,7	4,2	1K2PP _{ort}	2,4	3,8	1K2PVC _{ort}	4,3	6,7
20 °C	1K3PE _{ort}	2,7	4,2	1K3PP _{ort}	1,9	3,0	1K3PVC _{ort}	4,3	6,7

Korona yüzey işlemi sonrasında yapıştırılan ve darbe dayanımı ölçülen numunelerde -20 °C’de tespit edilen dayanım değerleri genel olarak daha düşük sonuçlar vermektedir.

Korona işlemi uygulamasından sonra yapıştırılan ve belirlenen sıcaklıklarda şartlandırılan numuneler için karşılaştırma Şekil 5.5’de verilmektedir.

Izod darbe deney numuneleri için korona uygulaması sonrası numunelerdeki değişim, PP malzemenin sıcaklık yükseldikçe darbe dayanım direncinin daha yüksek olduğunu göstermektedir. PVC için 0 °C’de darbe dayanım direncinde azalma meydana gelmiştir. Fakat sıcaklığın 20 °C olduğu koşullarda darbe dayanım direnci tekrar artış göstermiştir. Darbe dayanımı sırasında oluşan adezyon kuvveti sıcaklık, ortam şartı, koşullandırma süresine bağlı olarak değişebilmektedir.



Şekil 5.5: 1.Düzey korona işlemi uygulanmış numunelerin izod darbe deney sonuçları

-20 °C’de PP malzemenin darbe dayanımı malzemenin camsı geçiş sıcaklığının bu sıcaklık değeri ile aynı olmasından da kaynaklanmaktadır. Camsı geçiş sıcaklığında rijitliğini kaybetmeye başladığı için, numunenin yüzeyine uygulanan ön işlemin etkisi de azaltmaktadır. PE ve PVC numunelerde meydana gelen değişim ise daha çok yapıştırıcının bu sıcaklıklarda göstermiş olduğu kohezyon kuvvetlerinden kaynaklanmaktadır. PE ve PVC için yapıştırıcının ideal kullanım sıcaklığı olan 20 °C’de en iyi dayanım değerlerine sahip olduğu görülmektedir.

5.1.5 Plazma İşlemi İçin Elde Edilen Deneysel Sonuçlar

5.1.5.1 Plazma İşlemi Sonrası Yapıştırılan Numunelerde Çekme Deney Sonuçları

Plazma uygulamasında laboratuvar ortamında kullanım için tasarlanmış vakumlu kapalı düzenek plazma cihazı kullanılmıştır. Plazma cihazına ait teknik veriler Tablo 4.11’de verilmiştir.

Plazma sisteminde vakum altındaki ortamda işlem görecektir yüzeylere elektron ile etki yapılarak yüzeyde serbest radikallerin oluşması sağlanmaktadır. Oluşan serbest radikallerin yapıştırıcı içerisindeki bağ yapıcı açık uçlu moleküllerle birleşmesi sayesinde dayanıklı bağ yapısı oluşturmaktadır.

Yapılan çalışmalarda plazma işlemi süresi iki farklı düzeyde uygulanmıştır.

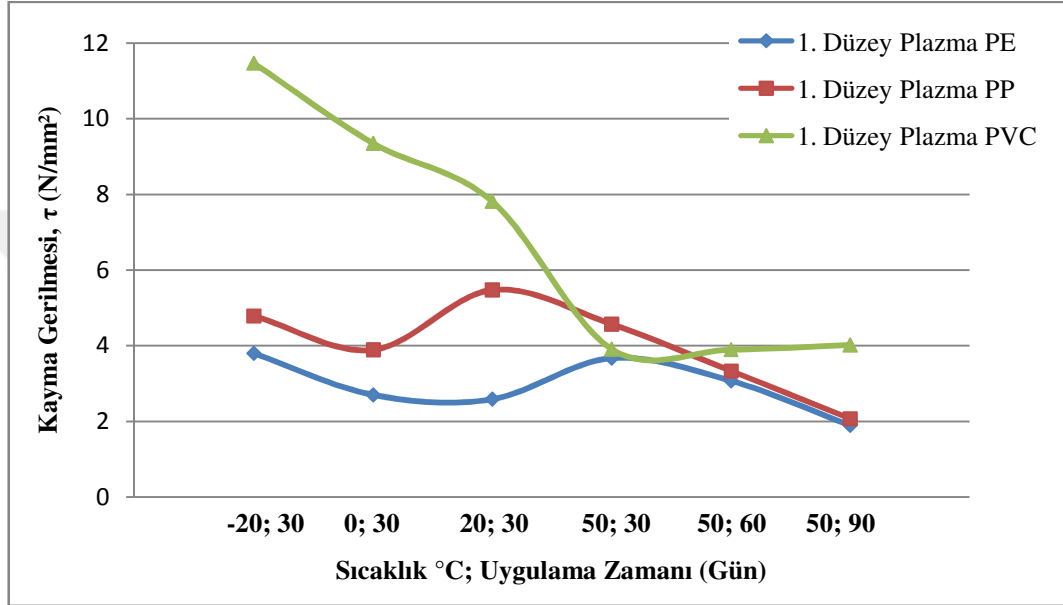
1. Düzeyde numune yüzeyine 150 s, 2. Düzeyde numune yüzeyine 300 s plazma işlemi uygulaması yapılmıştır. Farklı sürelerde yüzeyde meydana gelen değişimler ile bağ sistemi kurmak için oluşturduğu durumlar tespit edilmiştir. Plazma işlemi uygulanan çekme deney numunelerinden elde edilen sonuçlar Tablo 5.7’de verilmiştir.

Tablo 5.7: Plazma işlemi uygulanmış numunelerin çekme deney sonuçları

Deney Şartları	Numune	Kayma Gerilmesi (N/mm ²)	Numune	Kayma Gerilmesi (N/mm ²)	Numune	Kayma Gerilmesi (N/mm ²)
- 20 °C	1P1PE _{ort}	3,8	1P1PP _{ort}	4,8	1P1PVC _{ort}	11,5
	2P1PE _{ort}	2,8	2P1PP _{ort}	5,4	2P1PVC _{ort}	10,1
0 °C	1P2PE _{ort}	2,7	1P2PP _{ort}	3,9	1P2PVC _{ort}	9,4
	2P2PE _{ort}	2,4	2P2PP _{ort}	2,6	2P2PVC _{ort}	6,5
20 °C	1P3PE _{ort}	2,6	1P3PP _{ort}	5,5	1P3PVC _{ort}	7,8
	2P3PE _{ort}	2,9	2P3PP _{ort}	3,5	2P3PVC _{ort}	7,6
50 °C; 30gün	1P4PE _{ort}	3,7	1P4PP _{ort}	4,6	1P4PVC _{ort}	3,9
	2P4PE _{ort}	3,5	2P4PP _{ort}	3,5	2P4PVC _{ort}	4,7
50 °C; 60gün	1P5PE _{ort}	3,1	1P5PP _{ort}	3,3	1P5PVC _{ort}	3,9
	2P5PE _{ort}	2,3	2P5PP _{ort}	2,3	2P5PVC _{ort}	4,5
50 °C; 90gün	1P6PE _{ort}	1,9	1P6PP _{ort}	2,1	1P6PVC _{ort}	4,0
	2P6PE _{ort}	1,8	2P6PP _{ort}	1,0	2P6PVC _{ort}	3,7

1. Düzey plazma uygulamasından elde edilen verilere göre, PE için -20 °C sıcaklıktan 20 °C sıcaklığa kadar kayma gerilmesi değerlerinde azalma görülmüştür. 50 °C; 30 gün yaşlandırma koşullarında yüksek olan kayma gerilmesi değeri aynı sıcaklık koşullarında yaşlandırma süresi uzadıkça tekrar azalma göstermiştir. PP numuneler için 20 °C; 30 günlük şartlandırma koşullarında kayma gerilmesi değeri yüksektir. Fakat PP için yaşlandırma sıcaklığında şartlandırılan ve bu sıcaklıkta bekletme süreleri artan numunelerde kayma gerilmesi değerlerinin azaldığı

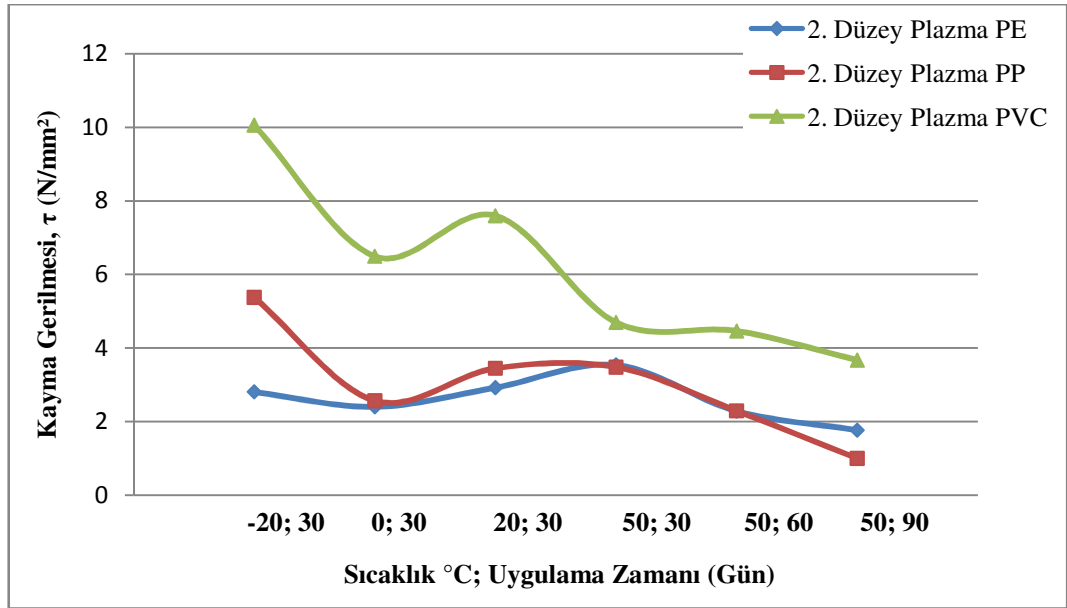
görülmüştür. Şekil 5.6'da PE, PP ve PVC numunelerinin deney koşullarında göstermiş olduğu kayma gerilmesi değerleri verilmiştir. 1. Düzey plazma uygulamasından sonra yapıştırılan ve yaşlandırılan numunelerde, yaşlandırmanın sabit sıcaklıkta dayanım değerlerini olumsuz etkilediği görülmüştür. Özellikle, yaşlandırma süresi uzadıkça numunelerdeki kayma gerilmesi dayanımları azalma göstermektedir. Plazma uygulamasının yapıştırma üzerindeki etkisi yaşlandırma sıcaklığında ve bekletme sürelerinin uzamasına bağlı olarak etkisini kaybetmektedir.



Şekil 5.6: 1. Düzey plazma işlemi uygulanmış numunelerin çekme deney sonuçları

Plazma işlemi uygulanmış olan PVC numunelerde özellikle -20 °C sıcaklıkta kayma gerilmesi değeri yüksektir. Sıcaklığın düşük olduğu durumlarda yüzeyde meydana gelen radikallerin bağ oluşturma ve oluşan bağ koruyabilmesinden dolayı bu sıcaklıkta yapılan bağ kuvvetlerin etkisi çekme deney sonuçlarında olumlu dayanım artışları sağlamıştır. Yaşlandırma sıcaklığının etkisi ve süresi, radikallerle bağ yapan moleküllerin yapılarını olumsuz etkilediği için bağ yapının dayanım direnci düşmektedir.

Plazma uygulama süresinin artışının numuneler üzerindeki etkisinin incelenebilmesi için uygulama, 2. Düzeyde de gerçekleştirilmiştir. 2. Düzey plazma uygulamasında yapıştırılacak numunelere 300 s boyunca kapalı vakum altındaki plazma cihazında işlem yapılmıştır. 2. Düzey plazma uygulaması yapılan numunelerin kayma gerilmesi değerlerinin sıcaklık ve zamana bağlı değişimi Şekil 5.7'de verilmektedir.



Şekil 5.7: 2. Düzey plazma işlemi uygulanmış numunelerin çekme deney sonuçları

2. Düzey plazma uygulamasında kayma gerilmesi değerleri genel olarak azalmaktadır. 1. Düzey plazma ile karşılaştırıldığında numunelerin şartlandırma koşullarındaki eğilimleri aynı şekildedir. 50 °C sıcaklıkta yaşlandırılan numunelerin kayma gerilmesi değerlerinde azalma olmuştur. Yaşlandırma süreleri uzadıkça gerilme değerleri azalmaya devam etmiştir. PE, PP ve PVC malzemelere uygulanan plazma işlemi için yaşlandırma işleminin dayanımda meydana getirdiği azalma, bu işlem sonrası yaşlandırmanın yapıştırma bağ kuvvetleri üzerinde olumsuz etki oluşturduğunu göstermektedir. Sıcaklığın artması bağ kuvvetlerinin zayıflamasına neden olmaktadır. Sıcaklık arttıkça sadece titreşim hareketi yapan moleküller, hacim büyüdükçe rahat hareket etmeye başlamaktadır. Buna bağlı olarak titreşim hareketi artar, bağlar birbirinden uzaklaşır ve ayrılır. Bu şekilde malzeme rijit durumunu kaybetmeye başlar ve dayanım değerlerinde azalma meydana gelir.

5.1.5.2 Plazma İşlemi Sonrası Yapıştırılan Numunelerde İzod Darbe Deney Sonuçları

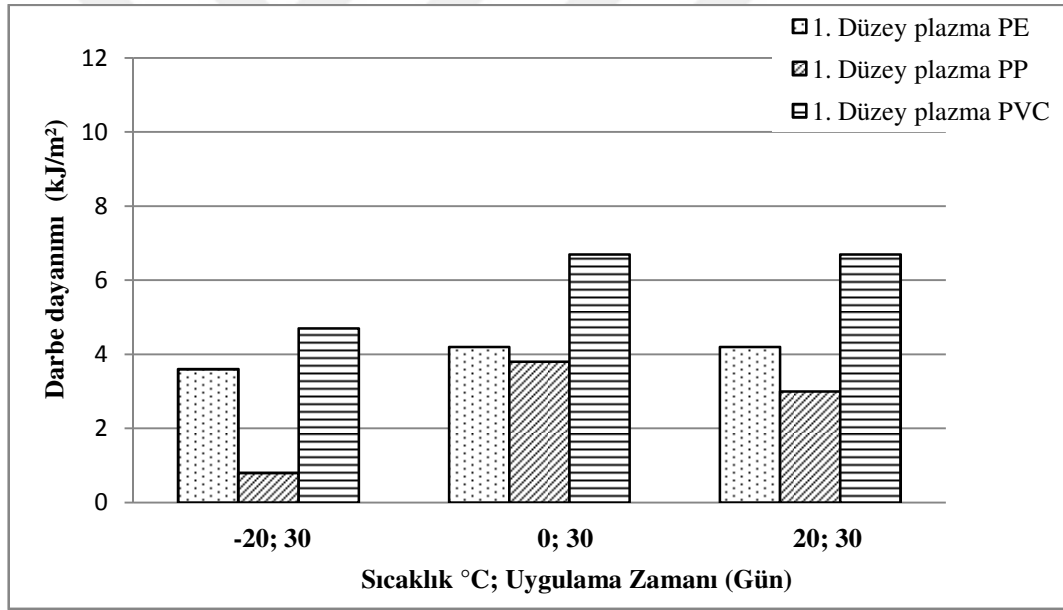
İzod darbe deneyi yapılacak, plazma işlemi uygulanan numuneler -20 °C, 0 °C ve 20 °C sıcaklıklarda 30 gün şartlandırılmıştır. Şartlandırma süreleri tamamlanan numunelerin şartlandırma ortam sıcaklıklarından çıkarılıp oda

sıcaklığında izod darbe deneyleri yapılmıştır. Darbe deneylerinden elde edilen sonuçlar Tablo 5.8’de verilmiştir.

Tablo 5.8: Plazma işlemi uygulanmış numunelerin izod darbe deney sonuçları

Deney Şartları	Numune	Darbe Dayanımı		Numune	Darbe Dayanımı		Numune	Darbe Dayanımı	
		J	kJ/m ²		J	kJ/m ²		J	kJ/m ²
- 20 °C	1P1PE _{ort}	2,6	4,0	1P1PP _{ort}	1,9	2,9	1P1PVC _{ort}	4,3	6,6
0 °C	1P2PE _{ort}	2,3	3,6	1P2PP _{ort}	2,8	4,3	1P2PVC _{ort}	3,7	5,8
20 °C	1P3PE _{ort}	3,3	5,2	1P3PP _{ort}	3,2	4,9	1P3PVC _{ort}	4,6	7,2

PE, PP ve PVC için en iyi darbe dayanım değerleri 20 °C sıcaklıkta 30 gün şartlandırılmış olan numunelerde tespit edilmiştir. Şartlandırma koşullarına bağlı olarak meydana gelen darbe dayanım değişimleri Şekil 5.8’de verilmiştir.



Şekil 5.8: 1. Düzey plazma işlemi uygulanmış numunelerin izod darbe deney sonuçları

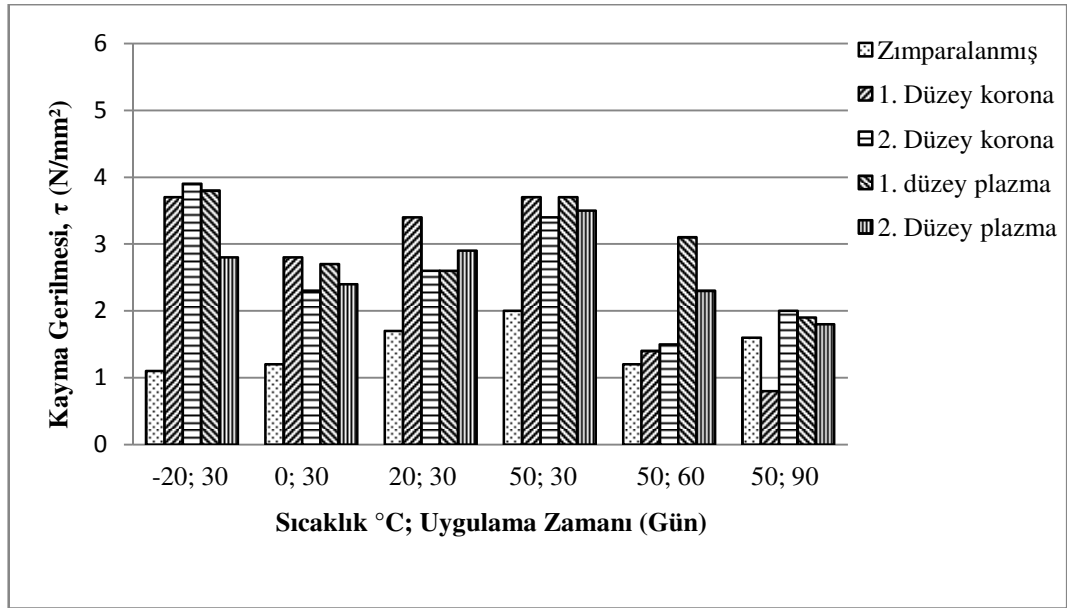
Yapılan deneysel çalışmalara göre PE malzemenin darbe dayanımı -20 °C’de daha düşüktür. Sıcaklığın artması ile PE için 0 °C sıcaklıkta elde edilen darbe dayanımı belli oranlarda artış göstermiştir.

PE için camsı geçiş sıcaklığı -115°C 'dir. Camsı geçiş sıcaklığından uzaklaşan plastik malzemenin rijit durumu korunur. PE malzeme camsı geçiş sıcaklığından uzaklaştığı sıcaklıklarda rijitliğe bağlı olarak dayanım değeri artış göstermiştir. PP için en yüksek darbe dayanımı 0°C 'de görülmektedir. PP'nin camsı geçiş sıcaklığı -20°C olduğundan bu sıcaklıkta gösterdiği dayanım değeri malzeme rijitliğini kaybetmeye başladığı sınırdaki olduğu için düşüktür. Camsı geçiş sıcaklığından uzaklaştığı 0°C sıcaklıkta dayanım değeri artış göstermektedir. PVC numunelerde -20°C 'de düşük olan darbe dayanımı 0°C ve 20°C sıcaklıklarda artış göstermiştir. Dayanım değerindeki artış PVC malzemenin sert ve gevrek yapısına bağlı olduğu gibi yapıştırıcı ile PVC arasında oluşan bağ kuvvetlerin daha yüksek olması ve yapıştırıcının özellikle 20°C sıcaklığında daha verimli yapışma sağlamasından kaynaklanmaktadır.

5.1.6 Yüzey İşlemi Uygulanan Numunelerin Karşılaştırılması

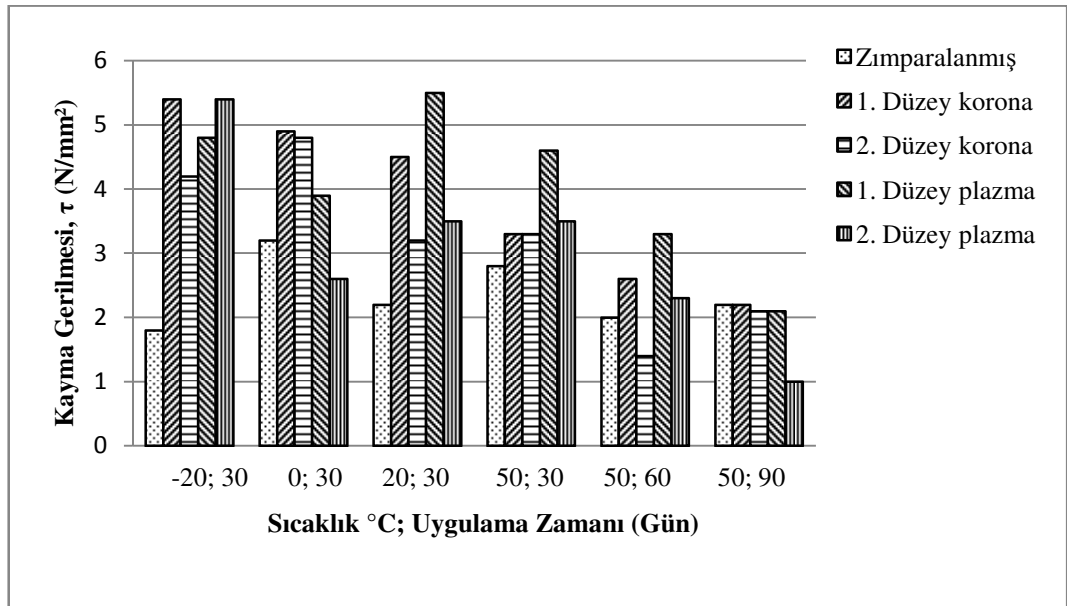
Deneysel çalışmalarda zımparalama, korona ve plazma olmak üzere 3 farklı yüzey işlemi uygulanmıştır. Farklı sıcaklık ve sürelerde şartlandırma yapılan numuneler için elde edilen deneysel sonuçlar uygulanan yüzey işlemine göre sınıflandırılmıştır. Sınıflandırma PE, PP ve PVC için ayrı ayrı yapılmıştır. Şekil 5.9'da deneysel çalışmalarda uygulanmış olan yüzey işlemleri ve şartlandırma şartları için PE malzemeden elde edilen çekme deney sonuçları verilmiştir.

PE malzeme için yapılan deneysel çalışmalar beraber değerlendirildiğinde genel olarak en iyi dayanım değerleri, -20°C ; 30 gün ve 50°C ; 30 gün koşullarında korona ve plazma yüzey uygulaması yapılan ve yapıştırılan numunelerde görülmüştür. Özellikle PE malzeme için yüzeyde meydana gelen elektron bombardımanının ve plazma sistemi ile sağlanan radikal oluşumunun ara bağ üzerindeki etkisi açıkça görülmektedir.



Şekil 5.9: PE için kayma gerilmesinin sıcaklık ve uygulanan yüzey işlemine göre değişimi

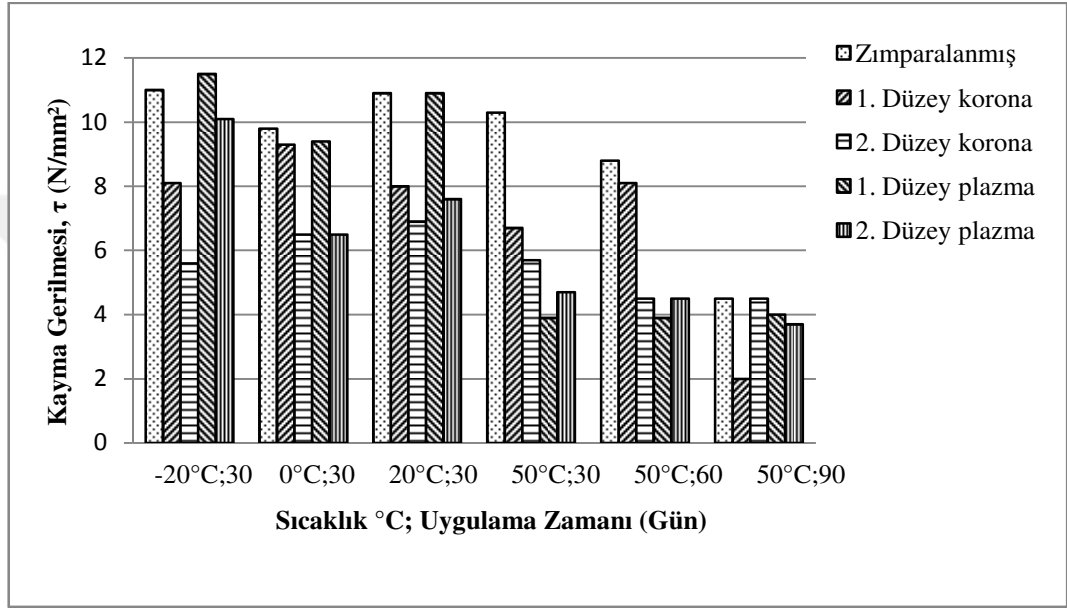
PP malzeme için numune çiftlerine uygulanan yüzey işlemleri ve dayanım değerlerindeki değişim Şekil 5.10'da verilmiştir. PP malzeme için -20 °C; 30 gün ve 20 °C; 30 gün koşullarında korona ve plazma yüzey uygulaması yapılan ve yapıştırılan numuneler için yüksek dayanım değerleri elde edilmiştir. Özellikle korona ve plazma uygulamaları ile yaşlandırma koşullarına kadar görülen yükselen dayanım değerleri, yaşlandırma sıcaklığında etkisini kaybetmektedir. Yaşlandırma sıcaklığı 50 °C iken yaşlandırma süresi uzadıkça ara bağda oluşan dayanım düşmektedir.



Şekil 5.10: PP için kayma gerilmesinin sıcaklık ve uygulanan yüzey işlemine göre değişimi

Ara bağda oluşan kohezyon kuvvetleri, sıcaklığın etkisi ile yapıştırma kalitesini azaltıcı etki oluşturmuştur. Yüksek sıcaklıkta bekleme süresinin artması yapıştırıcının kendi içerisindeki bağ kuvvetleri zayıflatmaktadır. Bu durum yaşlandırma süresinin uzaması ile numunelerde meydana gelen dayanım değerlerinin düşmesine neden olmaktadır.

PVC malzeme için uygulanan yüzey işlemlerinin sıcaklık ve süreye bağlı değişimi Şekil 5.11’de gösterilmiştir.



Şekil 5.11: PVC için kayma gerilmesinin sıcaklık ve uygulanan yüzey işlemine göre değişimi

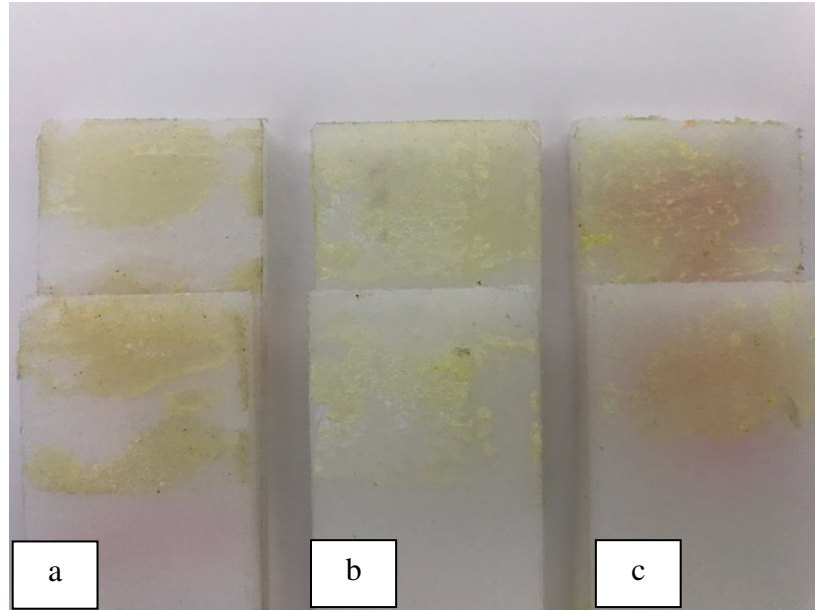
PVC malzemenin gevrek yapısından ve yüzey enerjisinden dolayı yapışmaya olan direnci yüksektir. PE ve PP malzeme PVC malzemeye göre yapıştırma alanlarında daha iyi sonuçlar verebilmektedir. PVC malzeme için uygulanan yüzey işlemleri ve bekleme süreleri farklı dayanım değerleri göstermiştir. PVC numunelerde özellikle zımparalama ile yapılan mekanik aşındırma sonrası yapıştırılan yüzeylerde farklı sıcaklıklarda yüksek dayanım değerleri elde edilmiştir. Zımparalama ve 1. Düzey plazma uygulamasının dayanım açısından daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. -20 °C ve 20 °C sıcaklıklarda 30 gün şartlandırılan numunelerde en yüksek kayma gerilmesi elde edilmiştir.

5.1.7 Hasar Yüzeylerinin İncelenmesi

Yüzey işlemi sonrası yapıştırılan, farklı sıcaklık ve sürelerde şartlandırılan numuneler için çekme deneyi ve izod darbe deneyi sonrası yüzeyde meydana gelen yapıştırma alanlarının görüntüleri, numunelerin en iyi dayanım değerine sahip olduğu koşullar için Şekil 5.12 - 5.17’de verilmiştir.

-20 °C’de zımparalanmış ve yapıştırılarak 30 gün bekletilen numunelerde çekme deneyi sonucu oluşan yüzey görüntüsünde kohezyon hasarı görülmektedir. Yapıştırıcı kalıntıları her iki yüzeyde de bulunmaktadır. Bazı alanlarda kalıntılar tek bir yüzey üzerinde kalmıştır. Yüzey ile yapıştırıcı arasında bu alanlarda tam olarak adezyon bağı oluşmamıştır (Şekil 5.12a).

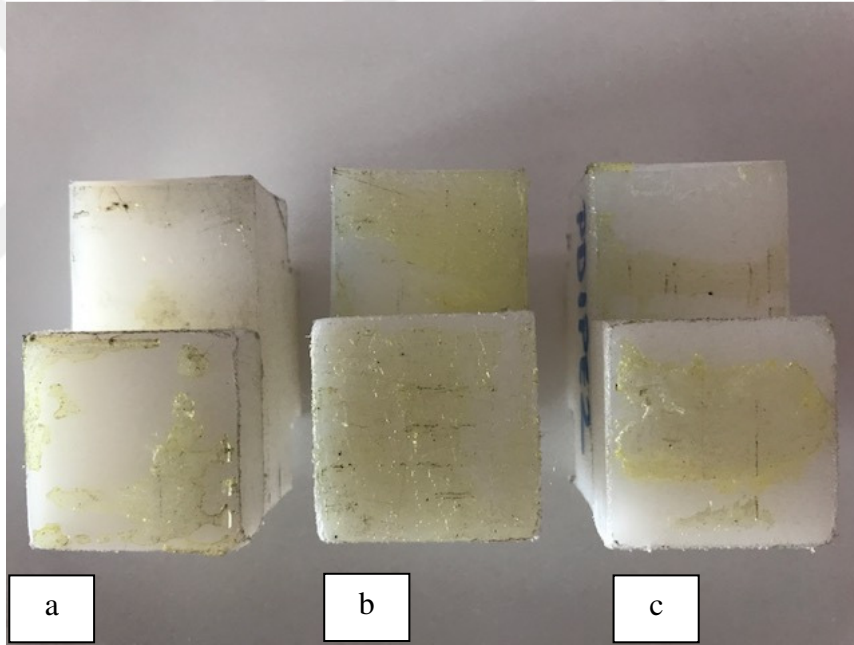
1. Düzey korona işlemi uygulanmış yüzeylerdeki hasar durumu incelendiğinde her iki yüzeyde yapıştırıcı kalıntıları tespit edilmiştir. Bu durum ara yüzey bağ kuvvetlerinin oluştuğunu göstermektedir. Böylece yüzey ile yapıştırıcı arasında oluşan ara bağ kuvvetleri yapıştırıcının her iki yüzeyde kalmasını sağlamıştır (Şekil 5.12b). 1. Düzey plazma işlemi uygulanmış numunede her iki yüzeyde de yapıştırıcı, tüm yüzeyleri kaplayacak şekilde mevcuttur. Burada yapıştırıcı ile yüzey arasında kurulan ara bağ kuvveti ve kohezyonun daha iyi gerçekleştiği görülmektedir (Şekil 5.12c).



Şekil 5.12: -20 °C ; 30 gün şartlandırılan, çekme deneyi yapılmış PE numunelerde yüzey işlemi uygulamasına göre yapıştırma bağlantılarının kırılma yüzeyleri a) zımparalanmış, b) korona yüzey işlemi uygulanmış, c) plazma yüzey işlemi uygulanmış

Darbe dayanımları için yapılan deneylerde zımparalanmış yüzeyde yapıştırıcı kalıntıları görülmektedir (Şekil 5.13a). Yapıştırıcı kalıntıları dağınık olarak yüzeye yayılmıştır. Darbe dayanımında ara yüz ile yapıştırıcı arasında oluşan bağ kuvvetinin istenilen dayanımı sağlayamadığı görülmektedir.

Korona uygulaması yapılan numunelerde yapıştırıcı yüzeylerin üzerinde daha iyi yayılmıştır. Kopma sonrasında yüzeylerde yoğun yapıştırıcı görülebilmektedir. Yapıştırıcının kendi içinde istenilen kohezyon hasarı gerçekleşmiştir (Şekil 5.13b). Plazma işlemi sonrasında yapıştırıcı keskin hatlar ile ayrılmıştır. Yapıştırıcının bir kısmı ana yüzeyde diğer kısmı ise karşı yüzeyde kalarak özel kohezyon hasarı oluşturmuştur. Plazma işleminin yüzeyde meydana getirdiği radikallerin dağılımından dolayı bu şekilde bir kopma olduğu söylenebilir (Şekil 5.13c).

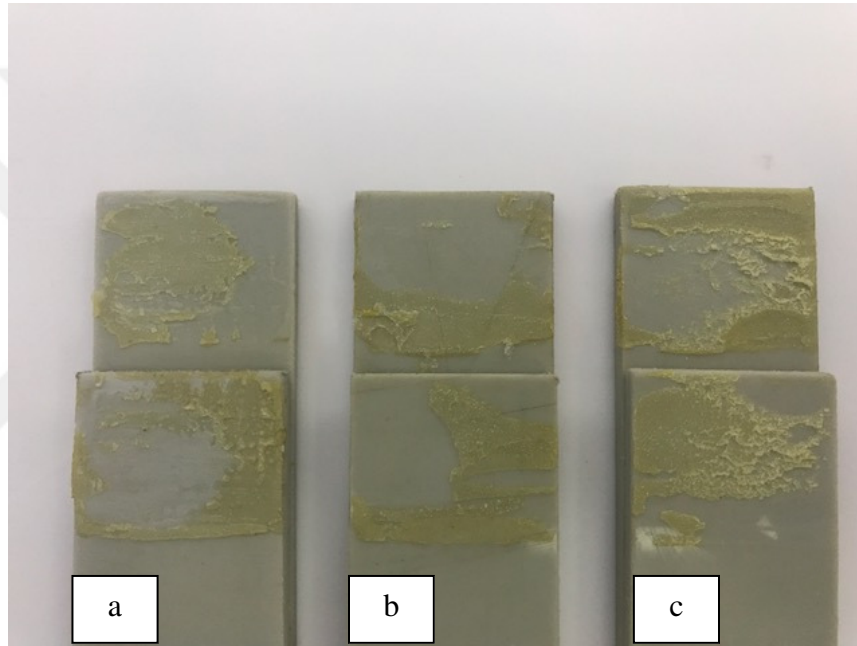


Şekil 5.13: -20 °C ; 30 gün şartlandırılan, izod darbe deneyi yapılmış PE numunelerde yüzey işlemi uygulamasına göre yapıştırma bağlantılarının kırılma yüzeyleri a) zımparalanmış, b) korona yüzey işlemi uygulanmış, c) plazma yüzey işlemi uygulanmış

Zımparalama sonrası yapıştırılan ve çekme deneyi uygulaması yapılan PP numunede yapıştırıcı kalıntısı her iki yüzeyde de görülmektedir. Yapıştırıcının belli alanlarda yüzey ile ara bağ kuvveti daha fazladır. Homojen dağılım oluşmamıştır (Şekil 5.14a).

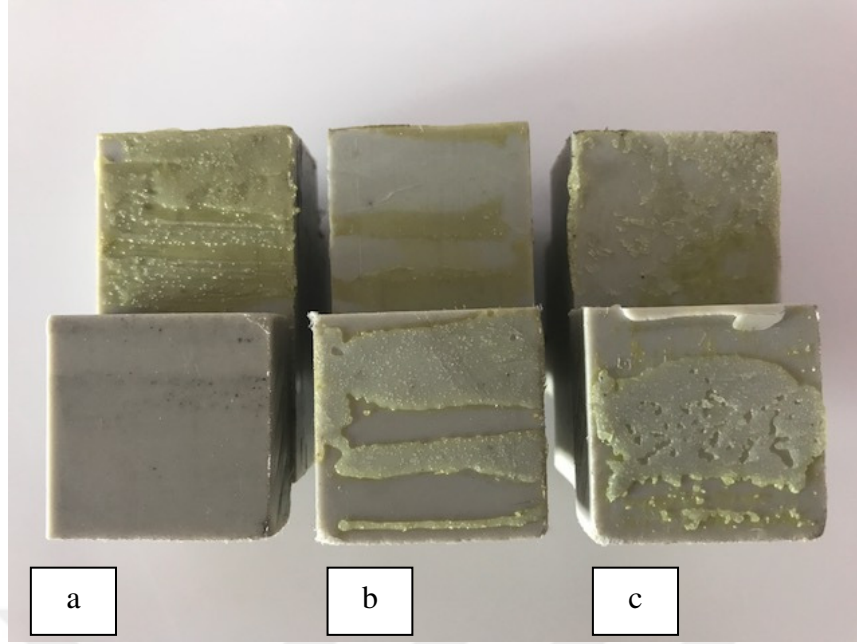
1. Düzey korona uygulamasından sonra iki yüzeyde yapıştırıcı kalıntıları görülmektedir. PP malzeme yüzeylerinde özel kohezyon hasarı tespit edilmiştir (Şekil 5.14b).

1. Düzey plazma uygulaması yapılan numunede yapıştırıcının ara bağ oluşturduğu yüzeyde kaldığı diğer yüzeyden ayrıldığı görülmektedir. Diğer işlemlerle kıyaslandığında plazma işlemi sonrası elde edilen yüzeye yapıştırıcı daha homojen dağılmıştır (Şekil 5.14c). Yapışma alanında oluşan yüksek kohezyon bağı yapıştırıcının nihai mukavemetinin elde edilmesini sağlamıştır.



Şekil 5.14: -20 °C ; 30 gün şartlandırılan, çekme deneyi yapılmış PP numunelerde yüzey işlemi uygulamasın göre yapıştırma bağlantılarının kırılma yüzeyleri a) zımparalanmış, b) korona yüzey işlemi uygulanmış, c) plazma yüzey işlemi uygulanmış

Zımparalama işlemi yapılmış -20 °C'deki PP ara yüzeyleri incelendiğinde adezyon hasarı olduğu görülmüştür. Yapıştırıcı tek bir yüzey üzerinde kalmıştır. Bu durum geçiş sıcaklığının etkisi olarak değerlendirilebilir (Şekil 5.15a). 1. Düzey korona işlemi sonrası yapıştırılan yüzeylerde yapıştırıcı kalıntıları görülmektedir. Burada kohezyon kuvveti daha etkili olmuştur (Şekil 5.15b). 1. Düzey plazma işlemi sonrasında yapıştırılan yüzeyde kopma anında yapıştırıcı ile yüzey arasında katmanlı bir kohezyon kopması elde edilmiştir. Burada adezyon kuvvetlerinin daha etkili olduğu söylenebilir (Şekil 5.15c).

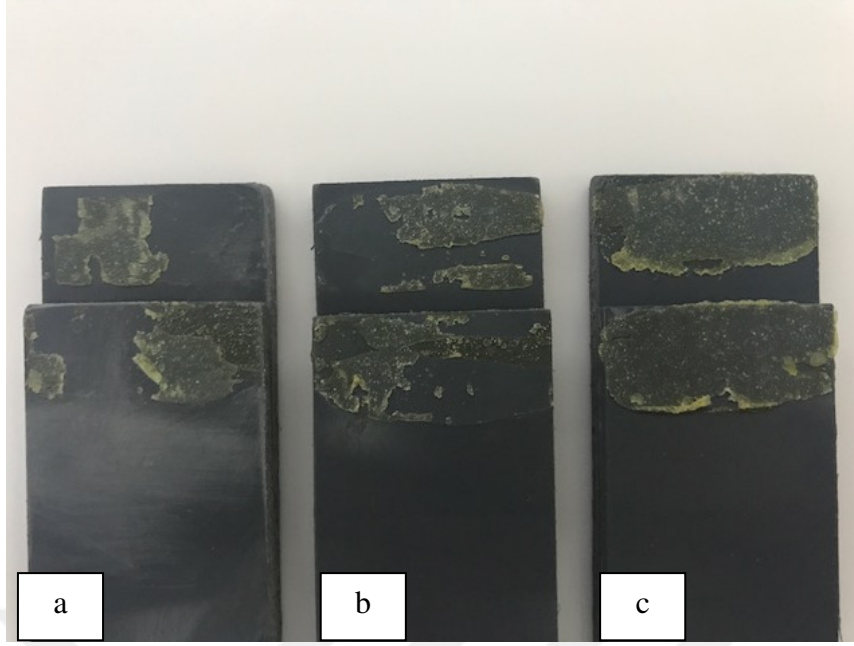


Şekil 5.15: -20 °C ; 30 gün şartlandırılan, izod darbe deneyi yapılmış PP numunelerde yüzey işlemi uygulamasına göre yapıştırma bağlantılarının kırılma yüzeyleri a) zımparalanmış, b) korona yüzey işlemi uygulanmış, c) plazma yüzey işlemi uygulanmış

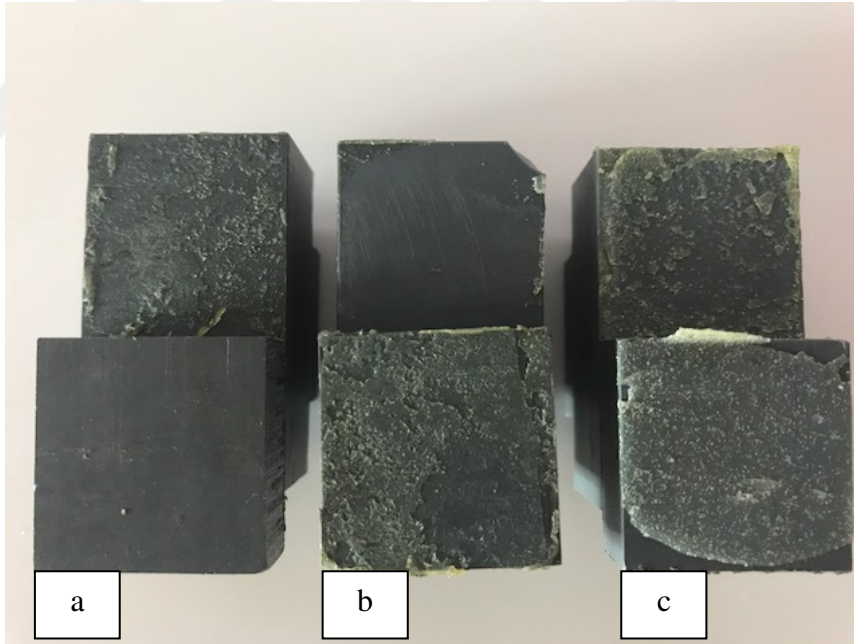
Şekil 5.16a-b’de zımparalanmış ve 1. Düzey korona sonrası yapıştırılan ve koparılan PVC numunede yapıştırıcı kalıntıları görülmektedir. Her iki yüzeyde de yapıştırıcı mevcuttur. Düşük sıcaklıkta yapıştırıcının daha az deforme olduğu görülmüştür. Bu durum yapıştırıcının daha gevrek olduğunun göstergesidir. Yapıştırıcı belirgin şekilde her iki yüzeyde de kalmıştır.

1. Düzey plazma uygulamasında her iki yüzeyde yapıştırıcı kalıntıları homojen dağılmıştır. Yüzey ile yapıştırıcı arasındaki kohezyon bağ kuvvetleri daha baskındır. Bu durum plazma uygulamasının malzeme yüzeyi üzerinde etkin olduğunu göstermektedir (Şekil 5.16c).

PVC numuneler için darbe dayanımında elde edilen yüzeylerde zımparalama işlemi uygulanan yüzeyde adezyon kuvvetinin etkisinin düşük olduğu görülmektedir. Yapıştırıcı tek yüzey üzerinde kalmıştır ve adezyon hasarı tespit edilmiştir (Şekil 5.17a). 1. Düzey korona işlemi uygulanmış numunelerde de benzer durum mevcuttur (Şekil 5.17b). 1. Düzey plazma işlemi uygulanan yüzeyde adezyon kuvvetleri daha etkin olduğu için kohezyon hasarı meydana gelmiştir (Şekil 5.17c).



Şekil 5.16: -20 °C ; 30 gün şartlandırılan, çekme deneyi yapılmış PVC numunelerde yüzey işlemi uygulamasına göre yapıştırma bağlantılarının kırılma yüzeyleri a) zımparalanmış, b) korona yüzey işlemi uygulanmış, c) plazma yüzey işlemi uygulanmış



Şekil 5.17: -20 °C ; 30 gün şartlandırılan, izod darbe deneyi yapılmış PVC numunelerde yüzey işlemi uygulamasına göre yapıştırma bağlantılarının kırılma yüzeyleri a) zımparalanmış, b) korona yüzey işlemi uygulanmış, c) plazma yüzey işlemi uygulanmış

Çekme ve darbe deneyleri sonucunda hasar gören yüzeyler incelendiğinde en fazla kohezyon hasarı, plazma işlemi görmüş olan numunelerde tespit edilmiştir. Korona işlemi görmüş yüzeylerde çoğunlukla özel kohezyon hasarı vardır. Adezyon hasarı ise en çok zımparalanmış yüzeylerde görülmüştür.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu deneysel çalışmada, fiziksel yüzey işlemleri uygulanmış farklı plastik malzemelerin yapıştırma işleminden sonra farklı sıcaklık değerleri ve nem gibi çevresel etkenler altında dayanımlarının nasıl değişeceği araştırılmıştır. Bu amaçla;

- Numune yüzeylerine zımparalama işlemi uygulanmıştır. Zımparalama işleminden sonra yapıştırma işleminin farklı sıcaklık ve nem koşullardaki dayanımları incelenmiştir.
- Numune yüzeylerine korona işlemi uygulanmıştır. Korona sisteminin uygulama sürelerinin yüzeylerde oluşturduğu değişimi görmek için iki farklı sürede uygulama yapılmıştır. Numuneler farklı sıcaklık ve nem koşullarında şartlandırılıp dayanım değerleri incelenmiştir.
- Numune yüzeylerine plazma işlemi uygulanmıştır. Plazma sisteminin uygulama sürelerinin yüzeyde oluşturduğu ara bağ kuvvetlerine etkisinin görülebilmesi için iki farklı sürede uygulama yapılmıştır. Numuneler farklı sıcaklık ve nem koşullarında şartlandırılıp dayanım değerleri incelenmiştir.
- Çevresel etkilerin bağlantılar üzerinde oluşturduğu değişimi görmek amacıyla, test numuneleri -20 °C, 0 °C, 20 °C sıcaklıkta 30 gün, 50 °C sıcaklıkta ve % 95 bağıl nemde 30, 60, 90 gün şartlandırılarak çekme ve izod darbe deneyleri yapılmıştır.

Deneysel çalışmalar sonucu elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- Yüzey işlemlerinin yapıştırmaya olan etkisinin işlem görmemiş numuneler ile kıyaslanabilmesi için işlem görmemiş numuneler yapıştırılıp 30 gün bekletilmiştir. Numunelerin yapıştırma sonrası çekme ve darbe deneyleri yapılarak dayanım değerleri tespit edilmiştir. Yüzey işlemi uygulamasında mekanik aşındırma için zımparalama işlemi yapılmıştır. Zımparalama, hem çekme deneyi hem de izod darbe deneyi yapılacak numuneler için yüzeye 30 s boyunca aralıksız şekilde elle uygulanmıştır. Burada elde edilen sonuçlar kıyaslandığında işlem uygulanmadan yapıştırılan numune gruplarına göre

zımparalama işlemi uygulanan numunelerde dayanım değerlerinde artış görülmüştür. Zımparalanmış PE numuneleri için en iyi kayma gerilmesi değeri 50 °C; 30 gün yaşlandırma koşullarında ölçülmüştür. Zımparalama işlemi ile PE numunenin kayma gerilmesi yaklaşık olarak % 25 oranında artmıştır. PE numuneler için 20 °C; 30 gün şartlarında bekletilen numunelerde elde edilen değerlere göre darbe dayanımı yaklaşık %60 oranında artmıştır. Zımparalama işlemi uygulanan PP numuneleri için çekme deneyi sonucu elde edilen değerlere göre kayma gerilmesi değeri 0 °C; 30 gün şartlarında en yüksek değeri vermiştir. Buradaki dayanım yaklaşık % 40 oranında artış göstermiştir. 20 °C; 30 gün şartlarında bekletilen numunelerin darbe dayanım deneylerine göre dayanımları yaklaşık % 70 oranında artmıştır. Zımparalama işlemi uygulanan PVC numuneleri için -20 °C; 30 gün şartlarında en yüksek kayma gerilmesi değerleri ölçülmüştür. Burada oluşan dayanım değeri yaklaşık % 75 oranında artış göstermiştir. PVC numunelerin darbe dayanımları 0 °C; 30 gün şartlarında en yüksek değeri göstermiştir. Bu şartlarda dayanım yaklaşık % 80 oranında artmıştır.

Zımparalamanın oluşturduğu fiziksel yüzey değişimi yapılan yüzey pürüzlülük ölçümlerinde açıkça görülmektedir. Ayrıca yüzeyde meydana gelen şekil değişimi yapıştırıcının bu alanlarda dağılımını kolaylaştırmıştır. Böylece yüzeyin girinti ve çıkıntılı bölgelerini dolduran yapıştırıcı adezyon bağı açısından daha başarılı bağ yapısı oluşturmuştur. Bu durum yapıştırmanın daha kaliteli olmasını sağlamıştır. Ara yüzeyde oluşan bağ kuvvetlerinin artması numune çiftlerinin daha iyi bir bağlantı kurmasını sağlamıştır. Böylece yapıştırılan numunelerin kayma gerilmesi değerleri ve darbe dayanımı değerleri artış göstermiştir.

- Korona uygulaması yapılan numuneler iki farklı düzeyde korona işlemi uygulamasına tabii tutulmuştur. Düzeyler, uygulama süresi ile doğru orantılıdır. Buna göre 1. Düzey korona işlemi uygulanan numuneler 150 s boyunca korona işlemi uygulamasına maruz kalmıştır. İşlem sonrasında bekleme yapılmadan yapıştırılan numuneler belirlenen sıcaklık ve sürelerde şartlandırılmıştır. 1. Düzey korona işlemi sonrası yapıştırılan ve -20 °C ve 0 °C sıcaklıklarda 30 gün bekletilen PE numunelerde en yüksek kayma gerilmesi değerleri tespit edilmiştir.

Buna göre çekme dayanımı yaklaşık % 30 oranında artmıştır. Bu süreçte yaşlandırma şartlarında bekletilen numunelerin yaşlandırma süreleri uzadıkça dayanım değerlerinin azaldığı görülmektedir. 50 °C yaşlandırma sıcaklığında sürenin uzaması ile birlikte yüzeye uygulanan korona işleminin etkisi azalmaktadır. Aynı zamanda yapıştırıcının kohezyon bağ kuvvetlerinin de zayıfladığı görülmektedir. Korona işlemi sonrası ölçülen PE numunelerin darbe dayanımlarının 0 °C ve 20 °C sıcaklıklarda yaklaşık % 50 oranında arttığı tespit edilmiştir. 1. Düzey korona işlemi sonrası yapıştırılan PP numuneler, -20 °C sıcaklıkta en yüksek kayma gerilmesi değerini vermektedir. Korona işleminin uygulanması ile yüzeyde meydana gelen elektron hareketliliği, numune çiftinin yapıştırıcı ile oluşturduğu ara bağ kuvvetlerini arttırmıştır. Düşük sıcaklıkta yapıştırıcının kohezyon kuvvetlerinin hareketsiz kalma eğilimi bu sıcaklıkta oluşan bağ kuvvetlerinin daha etkin olmasını sağlamaktadır. Çekme deneyi sonucuna göre numunelerin kayma gerilmesi değeri yaklaşık % 60 oranında artmıştır. Korona işlemi sonrası anlık darbe direnci için PP numunelerde 0 °C sıcaklıkta şartlandırmada darbe dayanım değerinin % 50 oranında arttığı tespit edilmiştir. 1. Düzey korona işlemi sonrası yapıştırılan PVC numuneler, 0 °C sıcaklıkta en yüksek kayma gerilmesi değerini vermiştir. Deneysel çalışmalara göre kayma gerilmesi değeri % 70 oranında artmıştır. Düşük sıcaklıkta elde edilen bu değer yapıştırıcı ile ara yüzey arasında oluşan bağ sistemin içerisinde bağlar arası hareketin olmamasından kaynaklandığı söylenebilir. Yaşlandırma için belirlenen şartlar altında yaşlandırma süresi uzadıkça dayanım değerlerinin düştüğü belirlenmiştir. Yüksek sıcaklıkta zamana bağlı olarak yapıştırıcının kohezyon kuvvetlerindeki zayıflamadan dolayı yüzey ile oluşan ara bağ kuvveti de azalmaktadır. Buna bağlı olarak yaşlandırma süresinin uzaması yapışma kalitesini olumsuz yönde etkilemektedir. PVC numunelerin darbe dayanım değerlerinde yaklaşık % 65 oranında artış görülmüştür. 2. Düzey korona uygulamasında yüzey işlemi 300 s aralıksız şekilde uygulanmıştır. Uygulama sonrası yapıştırma yapılmıştır. Korona uygulama süresinin artması 1. Düzey korona işlemine göre elde edilen dayanım değerlerinde azalmalar oluşturmuştur. Sürenin artması ile yüzeye gönderilen elektron yoğunluğunun yüzeyde homojen bir dağılım oluşturmamasından dolayı oluşan adezyon kuvvetlerinin de zayıfladığı söylenebilir. Genel olarak, uygulanan korona işleminin süresinin artması hiç işlem uygulanmamış numunelere göre dayanım değerlerinde artış

oluştursa da 1. Düzey korona işlemine göre dayanım değerlerinin daha düşük olduğu görülmüştür. 2. Düzey korona uygulamasında PE numuneler için -20 °C sıcaklıkta çekme deneyi sonucu kayma gerilmesi değerinde, yaklaşık % 60 oranında artış görülmüştür. 1. Düzey korona işleminden elde edilen dayanım değerlerine göre yalnızca PE numunelerinde daha fazla dayanım değeri elde edilmiştir. Burada PE malzemenin elastik ve yumuşak yapısı elektron dağılımının yüzeyde daha homojen olmasını sağlamasından dolayı dayanım değerleri için az bir oran farkı yaratmıştır. 2. Düzey korona uygulamasında PP numuneler için -20 °C sıcaklıkta çekme deneyi sonucu kayma gerilmesi değerinde, yaklaşık % 55. 2. Düzey korona uygulamasında PVC numuneler için 20 °C sıcaklıkta çekme deneyi sonucu kayma gerilmesi değerinde, % 70 civarında artışlar görülmüştür.

- Plazma uygulaması yapılan numuneler iki farklı düzeyde plazma işlemine tabi tutulmuştur. 1. Düzey plazma uygulaması yapılan numunelerde yüzeye yapılan elektron bombardımanı ile oluşturulan serbest radikallerin ara yüzde oluşan adezyon kuvvetinin etkisini arttırarak yüksek dayanım sağladığı bilinmektedir. İşlem sürenin artmasının radikal oluşuma etkisi incelenmiştir. Yapılan deneysel çalışmalardan elde edilen değerlere göre sürenin uzaması dayanım değerlerinde dikkate değer etki oluşturmamıştır. 1. Düzey plazma uygulanan PE numunelerde çekme deneyi sonucu elde edilen en yüksek kayma gerilmesi değeri -20 °C sıcaklıkta tespit edilmiştir. Bu koşullardaki dayanım değeri yaklaşık % 60 oranında artmıştır. Ayrıca darbe dayanım deneylerine göre PE için 20 °C sıcaklıkta şartlandırılan numunelerde anlık darbe direnci % 60 civarında artmıştır. 1. Düzey plazma uygulanan PP numunelerde çekme deneyi sonucu elde edilen en yüksek kayma gerilmesi değeri 20 °C sıcaklıkta % 65 oranında dayanım artışı sağlayacak şekilde oluşmuştur. Darbe dayanımında 20 °C' de % 60'a varan artış tespit edilmiştir. PVC numuneleri için 1. Düzey plazma uygulamasında elde edilen en yüksek kayma gerilmesi değeri -20 °C sıcaklıkta, % 75 oranında artış ile meydana gelmiştir. Darbe dayanımındaki artış ise 20 °C sıcaklıkta yaklaşık % 65 oranında olmuştur. 2. Düzey plazma uygulamasında elde edilen dayanım değerleri genel olarak işlem görmemiş numunelere göre daha yüksek, 1. Düzey plazma uygulamasında elde edilen değerlere göre daha düşüktür. 2. Düzey plazma işlemi yapılan PE numunelerde en yüksek kayma gerilmesi değeri 50 °C; 30 gün yaşlandırma şartlarında görülmüştür. İşlem

görmemiş numuneye göre dayanım yaklaşık % 55 oranında artmıştır. 2. Düzey plazma işlemi yapılan PP numunelerde çekme deneyi sonucu en yüksek kayma gerilme değeri -20 °C sıcaklıkta, % 65 oranında artış göstermiştir. 2. Düzey plazma işlemi yapılan PVC numunelerde çekme deneyi sonucu en yüksek kayma gerilmesi -20 °C sıcaklıkta görülmüştür. Kayma gerilmesi değeri % 65 civarında artmıştır.

Genel olarak bir değerlendirme yapıldığında; plastik malzemelerin sahip oldukları düşük yüzey enerjilerini arttırmak ve buna bağlı olarak ıslanabilirlik direncini azaltmak için ön yüzey işlem uygulaması yapılmalıdır. Yapılan çalışmalarda, ön yüzey işlem uygulaması yapılmış ve işlem yapılmamış numunelerin dayanım değerleri arasında yüksek oranlarda farklar tespit edilmiştir.

Numunelere uygulanan yüzey işlemleri değerlendirildiğinde genel olarak -20, 0 ve 20 °C sıcaklıklarda yüksek dayanım değerleri elde edildiği görülmektedir. Burada özellikle plastik malzemelere özel olan camsı geçiş sıcaklığının (T_g) önemi büyüktür. Camsı geçiş sıcaklıkları ve ergime sıcaklıkları plastik malzemelerin çalışma sıcaklığının doğru olduğu optimum noktanın tespiti için önemli kavramlardır. Özellikle camsı geçiş sıcaklığına yaklaşan plastik malzemenin yapısında yumuşama olur ve bağlar arasında serbestlik oluşacağından malzemenin dayanımı düşer. Bundan dolayı plastik malzemenin rijitliğini koruyabilmesi için camsı geçiş sıcaklığından uzakta bir sıcaklıkta çalışması gerekmektedir.

Yapılan deneysel çalışmalarda, zımparalama işlemi ile yüzeyde fiziksel bir şekil değişimi meydana getirilmiştir. Çekme deney sonuçlarına bakıldığında PVC malzemenin -20 °C'de dayanımının daha yüksek olduğu görülmektedir. PE, PP ve PVC'nin camsı geçiş sıcaklıkları sırasıyla -115, -20 ve 80 °C'dir. Bu durumda sıcaklık düştükçe bağ sisteminin oluşturmuş olduğu dayanım, camsı geçiş sıcaklığı -20 °C'ye daha uzak olan malzemede daha yüksek değerler elde edilmesini sağlamaktadır. PVC'nin içerisindeki polimerler bu sıcaklıkta sadece titreşim hareketi sergilerken, PP malzemede dayanımın düşük olması camsı sıcaklığa yakınlaşmasından kaynaklanmaktadır.

Korona işlemi uygulaması ile yüzeyde meydana gelen elektrik arkı havada bulunan molekülleri aktif hale getirerek iyon oluşumunu sağlamakta ve yüzeyde bu iyonlar bağlayıcı etki oluşturmaktadır. Bu durum yüzey ile yapıştırıcı arasında dayanıklı bağ sisteminin kurulmasını sağlamıştır. İşlemin malzemenin yapısında göre farklılıklar göstermesinden dolayı her numune grubunda farklı sonuçlar elde edilmiştir. Korona işleminin uygulama süresinin artması ile dayanım değerlerinde azalma görülmüştür. Bunun nedeni ise; yüzeye aşırı enerji yüklemesi yapıp polimer zincirini parçalayarak düşük molekül ağırlıklı zayıf sınır katmanlarının oluşması sebep gösterilebilir. Ayrıca aşırı korona yüklemesi oluşacak polar moleküller nedeniyle nem direncinin ve ısı yapışma kabiliyetinin düşmesi söz konusudur. Bundan dolayı korona uygulama süresi ve yaşlandırma süreleri arttıkça dayanım değerleri azalmaktadır. Darbe deney sonuçlarına bakıldığında korona işlemi uygulanmış numunelerde farklı sıcaklıklardaki dayanım değerinin dikkate değer bir değişime uğradığı görülmemiştir.

Plazma işlemi uygulaması yüzeylerde serbest radikallerin oluşmasını sağlamaktadır. Bu radikaller PMA bazlı yapıştırıcı ile çapraz bağ kurmaktadır. Yüzeyde fiziksel olarak görülemeyen bu radikaller yapıştırıcı ile kurmuş olduğu çapraz bağ sayesinde dayanıklı yapışma alanlarının oluşmasını sağlamaktadır. Burada yüzeydeki radikaller ile yapıştırıcının içerisindeki zincir bağ sistemleri çapraz bağ ile bağlanmakta ve dayanıklı yapışma alanları oluşturmaktadır. Yapıştırıcı ile yüzey arasında çapraz bağ ile birleşme sağlamış numuneler çekme deneyi sonucu daha yüksek dayanım değerleri vermiştir. Plazma işleminde de uygulama süresinin artması, dayanım açısından bir artışa neden olmamıştır. İşlem süresinin uzaması radikal oluşumunu artırıcı etki yaratmamaktadır. Sürenin uzaması radikallerin bağ kurma kabiliyetini azaltmaktadır. Oluşan radikaller oluşum süresinden hemen sonra bir bağlayıcı ile birleştirilmediğinde kaybolmaktadır. Dolayısıyla bu durum bağ oluşumuna katkıda bulunmamaktadır. İşlem süresini, yüzeyde ihtiyaç duyulan serbest radikali elde edecek kadar tutmak ve hızlı bağ kurma işleminin gerçekleşmesi için yapıştırma işleminin hemen uygulanması gerekmektedir.

Yapılan deneysel çalışmalarda elde edilen veriler kapsamında özellikle plazma, korona gibi yüzey işlemlerinin yüzeylerde meydana getirdiği özel

yapıların yapışma alanlarındaki etkisini ortaya koymuştur. Ön işlem uygulaması ile plastik malzemelerin yapıştırmaya gösterdikleri direnç, yüzey enerjilerinin artırılması ile iyi sonuçlar verebilmektedir. Mekanik aşındırmanın dayanım açısından etkisi işlem uygulanmadan yapıştırılan numunelere göre kıyaslandığında başarılı yapıştırma bağlantıları elde edildiği göstermiştir. Yaşlandırma uygulamalarının yüzeyde meydana gelen değişimi olumsuz etkilediği, özellikle yaşlandırma süresinin uzaması ile yapıştırıcı ve yüzey arasında oluşan ara bağ kuvvetlerinin zayıfladığı görülmüştür.

Plastiklerin kullanım alanlarının yaygınlaşması, yapıştırma bağlantılarındaki kalitenin artırılması ve sürekliliğinin sağlanabilmesi için farklı ön yüzey işlemi uygulamalarının önemi büyüktür. Yapılan deneysel çalışmalar ile bu durum desteklenmeye çalışılmıştır.

Bu çalışma kapsamında incelenmemiş olan farklı yüzey işlemlerinin (alevle dağlama, kimyasal dağlama vb.) plastik malzemeler üzerindeki etkisi araştırılarak kullanım alanlarına yönelik çalışmalar yapılabilir. Ayrıca farklı ortam şartlarında (basınçlı hava, tuzlu su ortamı vb.) ön işlem uygulanmış ve yapıştırılmış plastik malzemelerin dayanım değerleri ve süreleri için çalışmalar yapılabilir. Kullanım alanının yaygınlaştırılması ve mekanik olarak işlem zorluğunun ortadan kaldırılarak yapıştırma alanlarında yapılacak çalışmalar imalat alanlarında önemli bir kolaylık sağlayacaktır. Plastik malzemelerde yapıştırma bağlantıları ile oluşturulacak sistemlerin yaygınlaştırılması önemlidir. Malzemeleri birleştirmek için kullanılan mekanik işlemler (delme, kesme vb.) malzemenin dayanım değerlerini azaltıcı etki yapmaktadır. Yapıştırma ile birleştirilen malzemeler de dayanım değerleri olumsuz etkilenmez. Bu durum yapıştırma ile birleştirme yapılan kullanım alanları için önemli bir etkidir.

7. KAYNAKLAR

Akkurt, S., Plastik Malzeme Bilgisi, Birsen Yayınevi, İstanbul, 39-48, (1991).

Anagreh, N., Dorn L., “Influence of low-pressure plasma treatment on adhesive bonding between polybutyleneterephthalat (PBT) and aluminum”, *Int. J. Adhes.Adhes.*, 22, 165-172, (2005).

Anagreh, N., Dorn L., Bilke-Krause, C., “Low-pressure plasma pretreatment of polyphenylenesulfide (PPS) surfaces for adhesive bonding”, *Int. J. Adhes.Adhes.*, 28, 16-22, (2007).

ASTM D950-3, Standard Test Method for Impact Strength of Adhesive Bonds, (2003).

ASTM D1002, Standard Test Method for Apparent Shear Strength of Single-Lap-Joint Adhesively Bonded Metal Specimens by Tension Loading, (2010).

ASTM D2093-03, Standard Practice for Preparation of Surfaces of Plastics Prior to Adhesive Bonding, (2013).

ASTM D5946, Test Method for Corona-Treated Polymer Films Using Water Contact Angle Measurements, (2004).

ASTM D6105-04, Standard Practice for Application of Electrical Discharge Surface Treatment (Activation) of Plastics for Adhesive Bonding, (2004).

Chan, C.M., Polymer Surface Modification and Characterization, ch.7, Hanser Publishers, Munich, (1993).

Cheng, R.,Li, Y., Wang, Q., Zhang, L., “Bonding properties of poly (vinylchloride)-basedwood-plastic composites bonded with epoxy adhesive”, *J. Appl. Polym. Sci.*, Vol:125, 175-179, (2011).

Crowther, B.G., *Handbook of rubber bonding*, iSmithers Rapra Publishing, 400, (2003).

David, E., Lazar A., Armeanu A., “Surface modification of polytetra fluorethylene for adhesive bonding”, *J. Mater. Process. Technol.*, 157-158, 453-457, (2004).

David E., Aging of polymeric materials principles, Universite de Quebec, Mechanical Engineering department, Ecole de technologie superieure, 2012.

Deynse A.V., Cools P., Leys C., Morent R., Geyter N.D., “Surface modification of polyethylene in an argon atmospheric pressure plasma jet”, *Surf. Coat. Technol.*, 276, 384, 390, (2015).

Dobbi, A., Bouabdallah, A., Boucham, M., Meghoufel, F.Z., Hassini, N., “Effect of plasmatreatment on green house polyethylene cover aged under sub-Saharan conditions”, *Poly. Eng. Sci.*, 2305-2309, (2012).

Dowling D.P., Tynan J., Ward P., Hynes A.M., Cullen J., Byrne G., “Atmospheric pressure plasma treatment of amorphous polyethylene terephthalate for enhanced heat sealing properties”, *Int. J. Adhes. Adhes.* 35, 1, 8 (2012).

Ebnessajjad, S., *Surface treatment of materials for adhesion bonding*, William Andrew Publishing, USA, 101-113 (2006).

Encinas N., Abenojar J., M.A., “Development of improved polypropylene adhesive bonding by abrasion and atmospheric plasma surface modifications”, *Int. J. Adhes. Adhes.*, 33, 1, 6 (2011).

Encinas N., Díaz-Benito B., Abenojar J., Martínez M.A., “Extreme durability of wettability changes on polyolefin surfaces by atmospheric pressure plasmatorch”, *Surf. Coat. Technol.*, 205, 396, 402, (2010).

Ersoy, A., Kuntman, A., “Polimerik yalıtkanlarda yüzey özelliklerinin temas açısı ile incelenmesi”, *Elektrik–Elektronik–Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu (ELECO2008)*, Bursa, 107-111, (2008).

Forcum, A., Marotta, C., Williams, M., Laput, N., Adhesive Selection for Effective Plastic Bonding, Henkel Corporation, NY, (2010).

Goss, B., Practical Guide to Adhesive Bonding of Small Engineering Plastic and Rubber Parts, ch.6, Smithers Rapra, U.K, (2010).

Grundke, K., Polymer Surfaces and Interfaces, ch.6, Springer, (2007).

Han S., Kim B., Park J., “Effects of the corona pretreatment of PET substrates on the properties of flexible transparent CNT electrodes”, *Thin Solid Films*, 572, 73, 78, (2014).

Ignatova, M., Yovcheva, T., Viraneva, A., Mekishev, G., Manolava, N. Rashkov, I., "Study of charge storage in the nano fibrous poly(ethylterephthalate) Electrets prepared by electro spinning gorby coronadis charge method", *Eur. Polym. J.*, 44, 1962-1967, (2007).

Ines, F., "Compatibility of plastic with phase change materials (PCM)." *International Journal of Energy Research* 35.9: 765-771, (2010).

Iqbal, H., Bhowmik, S., Benedictus, R., "Surface modification of high performance polymers by atmospheric pressure plasma and failure mechanism of adhesive bonden joints", *Faculty of Aerospace Engineering*, Delft Universty of Technology, Netherlands, (2010).

Kaya A., Effects of various parameters on the static anddy namic characteristics in adhesively bonded joints, *Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, 119s., (1997).

Kaya, F., *Ana Hatları ile Yapıştırıcılar*, Birsen Yayınevi, İstanbul, (2004).

Kolluri, O.S., *Plasma Surface Engineering of Plastics*, ASM Handbook vol. 5, Surface Engineering, ASM International, USA, (1994).

Kovan, V., Şekercioğlu, T., "Yapıştırma Bağlantılarında Yapışma Teorileri ve Yüzey Enerjilerinin İncelenmesi", *Yüzey İşlemler*, sayı 42, s. 22-26, (2005).

Kraus, E., Orf, L., Baubrit, B., Heidemeyer, P., Bastion, M., Banenberger, R., Starostina, I., Stoyanov, O., "Analysis of the low pressure plasma pretreated polymer surface in terms of acid base approach", *App. Surf. Sci.*, 371, 365-375, (2016).

Ku J.H., Jung I.H., Rhee K.Y., Park S.J., "Atmospheric pressure plasma treatment of Polypropylene to improve the bonding strength of polypropylene/aluminum composites", *Composites: Part B* 45, 1282-1287, (2013).

Lacombe, R., *Adhesion measurement methods: theory and practice*. CRC Press, (2005).

Loctite, *Design Guide for Bonding Plastics*, vol. 6, LT-2197, Henkel Corporation, NY, (2010).

Marshall, J. S., and Shuiqing, L., *Adhesive particle flow*. Cambridge University Press, (2014).

Moghadamzadeh, H. Rahimi, H., Asadollahzadeh, M., Hemmati, A.R., "Surface treatment of wood polymer composites for adhesive bonding", *Int. J. Adhes. Adhes.*, 31, 816-821, (2011).

Molitor, P., Barrori, V., Young, T., "Surface treatment of titanium for adhesive bonding to polymer composites; a review", *Int. J. Adhes. Adhes.*, 21, 129-136, (2001).

Mondafino, C., Lertora, E., Genna, S., Leone, C., Gambaro, C., Effect of Laser and plasma surface cleaning on mechanical properties of adhesive bonded joints, 9th CIRP Conference on Intelligent Computation in Manufacturing Engineering., CIPR 33, 458-463, (2015).

Moraczewski K., Rytlewski P., Malinowski R., Zenkiewicz M., "Comparison of some effects of modification of a polylactide surface layer by chemical, plasma, and laser methods", *Appl. Surf. Sci.* 346, 11, 17, (2015).

M. Akram M., Jansen K.M.B., Ernst L.J. , Bhowmik S., "Atmospheric plasma modification of polyimides heat for joining to titanium with high temperature adhesive", *Int. J. Adhes. Adhes.* 65, 63-69, (2016).

Özenç, M., "Perçin ve yapıştırma hibrit bağlantılarının deneysel ve sayısal analizi", *Doktora tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı*, Pamukkale Üniversitesi (2014).

Pandiyaraj K.N., M.C. RamKumar M.C., Arun Kumar A., Padmanabhan P.V.A., Deshmukh R.R., Bendavid A. , Su P. e, Sachdev A. , Gopinath P., "Cold atmospheric pressure (CAP) plasma assisted tailoring of LDPE film surfaces for enhancement of adhesive and cytocompatible properties: Influence of operating parameters", *Vacuum*, 130, 34, 47, (2016).

Pizzi, A. and Kashmiri L. M., Handbook of adhesive technology, revised and expanded. CRC press, (2003).

Pocius, A.V., Adhesion and Adhesives Technology, ch.5, Hanser Publication, Munich, (2012).

Possart, W., ed. Adhesion: current research and applications. John Wiley & Sons, (2006).

Saestoy B., Blichlau, A., Siores, E., "Effect of rapid curing doped epoxy adhesive between two polycarbonate substrates on the bond tensile strength." *J. Mater. Process. Technol.* 89-90, 451-456, (1999).

Schneider, K., Polymer Surfaces and Interfaces, ch.7, Springer, (2007).

Stamm, M., Polymer Surfaces and Interfaces, ch.1, Springer, (2007).

Sonnenschein, M. F., Webb, S.P., Wendest, B.L. Poly(acrylate/siloxane) Hybrid adhesives for polymers with low surface energy, The Dow Chemical Co, Corporate Research and Development, Midland, USA, (2007).

Şener, M., “Metal plastik birleştirmelerinde ara yüzey incelemesi”, *Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı*, Trakya Üniversitesi, Edirne, 47, (2009).

Temzi, Ş., Yapıştırma bağlantılarının mekanik özellikleri üzerine çevresel faktörlerin etkisinin incelenmesi, *Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı*, Atatürk Üniversitesi, Erzurum, 112s., (2003).

TSE EN 13887, Yapısal Yapıştırıcılar-Metallerin ve Plastiklerin Yapıştırma Öncesi Yüzey Hazırlama Kılavuzu, (2007).

TSE EN ISO 10365, Yapıştırıcılar - Başlıca kusurların gösterilmesi, (2001).

Url-1, (<http://www.adhesives.org>), 05.02.2016.

Url-2, (<https://www.delo-adhesives.com>), 03.04.2015.

Url-3, (<http://www.tantec.com>), 10.09.2014.

Url-4, (<http://www.plasmatreat.com>), 15.03.2015.

Url-5, (<http://www.weicon.com>), 07.04.2014.

Wu Y., Lin J., Blair E. Carlson B.E., Lu P., Michael P. Balogh M.P., Nicholas P. Irish N.P., Mei Y., “Effect of laser ablation surface treatment on performance of adhesive-bonded aluminum alloys”, *Surf. Coat. Technol.*, 304, 340, 347, (2016).

Xu, C., Ramani, K., Kumar, G., Thermoplastic adhesive bonding of Galvanized steel to polypropylene composite and its durability, *School of Mechanical Engineering*, Purdue University, USA (2001).

Yang R., Polymer Degradation and Stability, 91, pp. 1651-1657, (2006).

Yaşar H., Plastikler Dünyası, MMO Yayınları, Ankara (2001).

Yeter A., Otomotiv Sanayinde Kullanılan Polimerik Malzemeler, Kale Oto Radyatör San. Tic. A.Ş., (2010).

Yüksel M., Meran C., Malzeme Bilgisi, 16. Bölüm, MMO/545 (2016).



8. ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Sidem KANER

Doğum Yeri ve Tarihi : Diyarbakır 17.08.1982

Lisans Üniversite : Pamukkale Üniversitesi

Y. Lisans Üniversite : Pamukkale Üniversitesi

Elektronik posta : skaner@pau.edu.tr

İletişim Adresi : Karahasanlı Mah. 2093 Sok. Park Vadi Evleri

B Blok No: 13 Merkezefendi / DENİZLİ

Yayın Listesi :

- Kaner, S., Şekercioğlu, T., “Effects of Surface Pre-treatments and Ageing on the Adhesive Strength of Plastic Joints”, Polymer Korea, kabul tarihi: 07.05.2017.
- Kaner, S., Şekercioğlu, T., “Yapıştırılan Plastik Malzemelerde Yüzey İşlemlerinin Yaşlandırmaya Olan Etkisi”, 16. Uluslararası Malzeme Sempozyumu, (2016).
- Şekercioğlu, T., Kaner, S., “Plastiklerin Yapıştırılmasında Yüzey Hazırlama Yöntemlerinin İncelenmesi,” *Mühendis ve Makina*, cilt 55, sayı 648, s. 37-43, (2014).
- Kaner, S., Şekercioğlu, T., “Plastik Malzeme Yüzeylerinde Temas Açısı ve Islanabilirliğin İncelenmesi”, 15.Uluslararası Malzeme Sempozyumu, (2014).