



MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



Poliüretan Bazlı Boyaların Hazırlanması ve Ses Kaybı Performanslarının Matematiksel Modellemesi

HANDE ERGİN ESEN

DOKTORA TEZİ

İş Güvenliği Anabilim Dalı

İş Güvenliği Programı

DANIŞMAN

Prof. Dr. Emin ARCA

EŞ DANIŞMAN

Dr. Öğr. Üyesi Mustafa YAĞIMLI

İSTANBUL, 2020



MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



Poliüretan Bazlı Boyaların Hazırlanması ve Ses Kaybı Performanslarının Matematiksel Modellemesi

HANDE ERGİN ESEN

726416009

DOKTORA TEZİ

İş Güvenliği Anabilim Dalı

İş Güvenliği Programı

DANIŞMAN

Prof. Dr. Emin ARCA

EŞ DANIŞMAN

Dr. Öğr. Üyesi Mustafa YAĞIMLI

İSTANBUL, 2020

İTHAF

Aileme ithaf ediyorum

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının yapılmasına imkan sağlayan, bilgi ve tecrübesiyle bana yol gösteren, desteğini hiç esirgemeyen, çalışmama sabırla destek olan, çok kıymetli danışman hocam Prof. Dr. Emin ARCA'ya;

Destek ve yardımlarını esirgemeyen, motive eden, samimiyeti ile hep yanımda olan çok değerli eş danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Mustafa YAĞIMLI'ya;

Bilgi ve birikimiyle desteklerini ve yardımlarını hiç esirgemeyen çok sevgili hocam Prof. Dr. Meral ARCA'ya;

Hiçbir zaman beni yalnız bırakmayan, çalışmalarımın her aşamasında güven, destek ve güç veren canım arkadaşım Efdal YALÇIN'a;

Manevi desteklerini hep hissettiren, samimiyetleri ile hep yanımda olan doktora arkadaşlarım Enes HACIBEKTAŞOĞLU ve Emre GÜMÜŞ'e;

Bugüne kadar bana emeği geçen tüm hocalarıma;

Hayatım boyunca bana emek veren, her zaman yanımda olan annem Meral ERGİN, babam Hıdır ERGİN, ablam Gamze ERGİN KIZILÇAY, anneannem Saadet YAYLA, canım eniştem Teoman KIZILÇAY'a ve bana daima destek olan değerli eşim Kemal Mert ESEN'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca, bu çalışmanın gerçekleşmesinde FEN-C-DRP-110718-0410 no'lu proje ile maddi imkan sağlayan Marmara Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne (BAP) katkılarından dolayı teşekkür ederim.

2020

Hande ERGİN ESEN

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	iv
İÇİNDEKİLER.....	v
ÖZET	vii
ABSTRACT	viii
YENİLİK BEYANI	ix
SEMBOLLER LİSTESİ	x
KISALTMALAR LİSTESİ	xi
ŞEKİL LİSTESİ	xii
TABLO LİSTESİ.....	xiv
BÖLÜM 1- GİRİŞ	1
1.1. Boya Tarihçesi	3
1.1.1. Boyanın içeriği	5
1.1.1.1. Bağlayıcılar	6
1.1.1.2. Pigmentler	9
1.1.1.3. Çözücüler (Solventler)	22
1.1.1.4. Boya içeriğinde kullanılan katkı maddeleri	27
1.1.2. Işığın saçılması	32
1.2. Yüzey Gerilimi	33
1.2.1. Yüzey gerilimi ölçüm yöntemleri.....	35
1.2.1.1. Kapiler yükselme yöntemi	35
1.2.1.2. Damla ağırlığı yöntemi.....	35
1.2.1.3. Wilhelmy plaka veya halka yöntemi	35
1.2.1.4. Asılı damla yöntemi	35
1.2.1.5. Halka koparma (du noüy tansiyometresi) yöntemi	35
1.2.1.6. Temas (Kontak) açısı yöntemi	36
1.2.2. Temas açısı ölçümü	38
1.2.3. Yüzey gerilim enerjisinin temas açısı yöntemi ile hesaplanması	39
1.2.3.1. Young denklemi	39
1.2.3.2. Zisman plot yöntemi.....	40
1.2.3.3. Owens ve Wendt / Fowkes modeli.....	40
1.2.3.4. Wu modeli	41
1.2.3.5. Neumann's modeli	41

1.2.3.6. Van Oss-Good-Chaudhury modeli.....	42
1.3. Elektromanyetik Spektrum	42
1.3.1. Görünür bölge.....	46
1.3.2. Boyalı yüzeylerde ışığın absorpsiyonu.....	47
1.4. Ses.....	48
1.4.1. Ses seviyesi ölçümü.....	52
1.4.2. İş sağlığı ve güvenliğinde gürültü maruziyeti	53
1.4.3. Gürültünün insan sağlığı üzerine etkileri.....	54
1.4.4. İş sağlığı ve güvenliğinde gürültüden korunma yolları	56
BÖLÜM 2- MATERYAL VE YÖNTEM.....	58
2.1. Materyaller.....	58
2.2. Yöntem.....	59
2.2.1. Boyanın hazırlanması ve yüzeye uygulanması.....	59
2.2.2. Yüzey gerilim enerjisi ölçümü	60
2.2.3. Absorpsiyon ve reflektans ölçümleri.....	61
2.2.4. Geçirgenlik testleri	62
2.2.5. Yüzey pürüzlülük ölçümü	62
2.2.6. Ses emisyonu ölçme	63
BÖLÜM 3 - BULGULAR VE TARTIŞMA.....	64
3.1. Yüzey Gerilim Enerjisi (SFE) Sonuçları	64
3.2. Absorpsiyon, Reflektans ve Geçirgenlik Sonuçları	66
3.3. Yüzey Pürüzlülük Ölçümü Sonuçları	68
3.4. Ses İletim Kaybı Sonuçları	70
3.5. LAB Sonuçları	72
3.6. Ses Kaybı Performanslarının Matematiksel Modellemesi.....	73
BÖLÜM 4- SONUÇLAR	75
KAYNAKÇA.....	77
EK 1	85
ÖZGEÇMİŞ	

ÖZET

POLİÜRETAN BAZLI BOYALARIN HAZIRLANMASI VE SES KAYBI PERFORMANSLARININ MATEMATİKSEL MODELLEMESİ

Gelişen endüstri ile beraber çalışanların karşılaştığı fiziksel, kimyasal, biyolojik, ergonomik ve psikososyal risk etmenleri de artmıştır. Fiziksel risk etmenlerinden kaynaklanan ses, özellikle insan ve makinenin birlikte çalıştığı sektörlerde karşılaşılan en yaygın tehlike kaynağıdır. Endüstriyel ses işitme kaybına ek olarak, fizyolojik bozukluklara, kas gerginliğine, kan basıncında artışa, kalp atışı ve kan dolaşımının değişmesine, solunumun hızlanmasına, dolaşım bozuklukları gibi rahatsızlıklara neden olur. İş sağlığı ve güvenliğinde gürültüden kaynaklı iş kazaları ve meslek hastalıkları yaşanmakta olup, çalışanların güvensiz davranış sergilemesine de sebebiyet vermektedir. Gürültüyü azaltmanın en etkili yollarından biri, çalışma alanlarında cam yünü, taş yünü, yumuşak poliüretan esaslı köpükler gibi ses emici özelliği olan malzemeler kullanarak yalıtımı sağlamak, yani gürültüyü kaynağında kontrol etmektir. Poliüretan ise, endüstriyel ekipmanların çoğunda yaygın olarak kullanılan iyi bilinen bir organik bağlayıcıdır. Bu çalışmada, farklı renklerdeki pigmentler ile üretilen poliüretan bazlı boyaların morfolojilerinin ve yapılarının ses iletim özelliği üzerindeki etkilerini incelemektir. Bu amaca ulaşmak için, kırmızı, turuncu, sarı ve yeşil renkte ağırlıkça farklı pigment oranları içeren, %5, %7 ve %9 konsantrasyonlarda olmak üzere, boyalar hazırlanıp cam ve alüminyum yüzeylere çekilmiştir. Kaplı yüzeylerdeki ses iletim kaybı ölçümleri laboratuvar alanında tasarlanan mikrofon ve desibelmetreye sahip düzenek ile yapılmıştır. Ayrıca, yüzeylerin yüzey gerilim enerjileri, yüzey pürüzlülükleri, reflektans yüzdeleri, absorptans değerleri, geçirgenlik yüzdeleri, LAB renk kodları ölçülmüştür. Bu çalışma kapsamında, poliüretan boya ile kaplı yüzeylerde ses iletim kaybının ölçülmesine yardımcı olmak için matematiksel modelleme yapılmış ve yeni bir yöntem geliştirilmiştir. Çalışmada, fiziksel risk etmeni olan gürültünün kaynaқта kontrol edilebilmesi ve iş sağlığı ve güvenliği literatürüne katkı sağlanması hedeflenmiştir.

ABSTRACT

PREPARATION OF POLYURETHANE BASED PAINTS AND MATHEMATICAL MODELING OF SOUND TRANSMISSION LOSS PERFORMANCES

With the developing industry, physical, chemical, biological, ergonomic and psychosocial risk factors that employees may encounter have also increased. Sound from physical risk factors is the most common source of hazards especially in sectors where human and machine mostly work together. In addition to hearing loss, industrial noise cause physiological disorders, muscle tension, increase in blood pressure, change of heartbeat and blood circulation, acceleration of respiration, disturbances such as circulatory disorders, psychologically; nervousness, fear, discomfort, anxiety, fatigue, and mental effects. Occupational health and safety, occupational accidents due to noise and occupational diseases are experienced and also cause employees to display unsafe behavior. One of the most effective ways to reduce the noise is to organize the reflection by using the sound absorbing feature of materials such as glass wool, stone wool, soft polyurethane based foams in working area. Polyurethane is also a well-known organic binder that is widely used in most of industrial equipment. The aim of this study is to investigate the effect of morphologies and the structure of polyurethane-based coatings created by different color pigments, on sound transmission loss properties. To achieve this goal, coatings were created in different concentrations of %5, %7 and %9 with red, orange, yellow and green pigments and the coatings were applied on glass and aluminium surfaces. The sound transmission loss was measured by a set-up containing a microphone and a decibel meter designed in the laboratory area. In addition, surface tension energies, surface roughness, reflectance percentages, absorbance values, permeability percentages, LAB color codes were measured. In the scope of this study, a new method and mathematical model created to help to measure the sound transmission loss on a polyurethane coated surface. In the study, it is aimed to control the noise, which is the physical risk factor, at the source and contribute to the occupational health and safety literature.

YENİLİK BEYANI

POLİÜRETAN BAZLI BOYALARIN HAZIRLANMASI VE SES KAYBI PERFORMANSLARININ MATEMATİKSEL MODELLEMESİ

Bu tez çalışmasının kendi çalışmam olduğunu, tezin planlanmasından yazımına kadar bütün safhalarda etik dışı davranışımın olmadığını, bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve etik kurallar içinde elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi ve bu kaynakları da kaynaklar listesine aldığımı, yine bu tezin çalışılması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını beyan ederim. Ayrıca literatürde, aynı laboratuvar cihazları kullanılarak, poliüretan bazlı boyalar üzerindeki ses kaybı ile ilgili yapılan çalışma bulunmamakta olup, bu çalışma ile bu boşluğun doldurulması da hedeflenmiştir.

Hande ERGİN ESEN

SEMBOLLER LİSTESİ

γ_{sv} : Katı-hava yüzey gerilimi

γ_{sl} : Katı-sıvı ara yüzey gerilimi

γ_{lv} : Sıvı-hava yüzey gerilimi

θ : Temas açısı

γ_{lv}^d : Sıvının havaya karşı yüzey enerjisinin dispersiyon bileşeni (polar olmayan)

γ_{lv}^h : Sıvının havaya karşı yüzey enerjisinin hidrojen bağlama (polar) bileşeni

γ_{sv}^d : Katı-hava yüzey gerilim enerjisinin dispersive bileşeni

γ_{sv}^h : Katı-hava yüzey gerilim enerjisinin hidrojen bileşeni

β : Neumann's sabiti

c : Işık hızı, sesin yayılma hızı

λ : Dalga boyu

ν : Frekans

P_0 : Işığın başlangıç gücü

P : Absorblanan ışığın gücü

A : Absorbans

f : Sesin basınç değişim frekansı

hPa : Hektopaskal

T : Basınç titreşiminin birim zamandaki döngü sayısı

P_A : Basınç dalgalanmasının genliği

w : Basınç dalgalanma sıklığı

$\emptyset$: Referansa göre ölçülen ses sinyalinin fazı

L_p : Ses Basınç Seviyesi

PI : Ses Basıncı rms

Pr : Referans Ses Basıncı

Leq : Eşdeğer gürültü seviyesi

KISALTMALAR LİSTESİ

2NP: 2-nitropropan

ADSA-P: Eksenel Simetrik Damla Şekli Analiz Profili

C: Konsantrasyon

CIE: The International Commission on Illumination

dB(A): Desibel-A ağırlıklı seviyede

GHz: Gigahertz

Hz: Hertz

IR: Kızılötesi Radyasyon

LAB: Rengin açıklığı, tonlaması, doygunluğu

MDI: Difenilmetan diizosiyanat

nm: nanometre

NMP: N-metil-2-pirolidon

P: Pigment

PU: Poliüretan

R%: Yansıtma yüzdesi

RGB: Red, green, blue

SFE: Yüzey Gerilim Enerjisi

SPD: Spektral güç dağılımı

SPSS: Statistical Package for the Social Sciences

SR: Yüzey pürüzlülüğü

STL: Ses İletim Kaybı

TDI: Toluen 2,4-diizosiyanat

UV: Ultraviyole

µm: Mikrometre

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1 Organik sarı pigment örnekleri	16
Şekil 1.2 Organik kırmızı pigment örnekleri	17
Şekil 1.3 Ftalosiyanın pigment örnekleri	19
Şekil 1.4 Sıvı moleküllerin aralarındaki etkileşimli kuvvetler	34
Şekil 1.5 Katı sıvı faz arası yüzey gerilimi	36
Şekil 1.6 İki farklı sıvının polimer yüzeydeki davranışı	37
Şekil 1.7 Gonyometre cihazı	38
Şekil 1.8 Zisman plot	40
Şekil 1.9 Elektromanyetik spektrum	44
Şekil 1.10 Elektromanyetik spektrum bölgelerinde görünür ve ultraviyole bölgeleri içeren optik spektrumu	45
Şekil 1.11 Prizma ile beyaz ışığın oluşturduğu renk yelpazesi	46
Şekil 1.12 Dalga boyu, genlik, frekans arasındaki ilişki	51
Şekil 1.13 Arı sesler için eş gürlük eğrileri	53
Şekil 2.1 4,4-MDI'nın kimyasal yapısı	58
Şekil 2.2 Dr. Blade uygulama görüntüsü	59
Şekil 2.3 Boya ile kaplanmış cam yüzeyler	60
Şekil 2.4 Yüzeye bırakılan damla görüntüsü (Sırasıyla: Su, Parafin, Gliserol)	60
Şekil 2.5 Laboratuvar ortamında tasarlanan gonyometre	61
Şekil 2.6 ImageJ programı örnek görüntü	61
Şekil 2.7 UV-Vis spektrofotometre	62
Şekil 2.8 Geçirgenlik ölçümü düzeneği	62
Şekil 2.9 Nanofocus cihazı	63
Şekil 2.10 (A) Lazer ile modifiye edilmiş sesin gönderildiği alan, (B) Yüzeyden geçen sesin ölçüldüğü alan (i: Hoparlör, ii: Mikrofon, iii: Boyalı Yüzey, iv: Ses Ölçer)	63
Şekil 3.1 Owens-Wendt/Fowkes, Wu, Neumann ve Zisman yöntemlerine göre farklı konsantrasyon ve renkler ile kaplı yüzeylerin yüzey gerilim enerjileri	66
Şekil 3.2 Görünür bölgede olan renklerin geçirgenlik deneyi sonuçları	68
Şekil 3.3 Yüzey pürüzlülük ölçümü örnek sonucu	69
Şekil 3.4 Yüzey pürüzlülük ölçüm sonuçları	70
EK 1- Şekil 1 Pigment içermeyen poliüretan boya kaplı yüzey	85

EK 1- Şekil 2 1. Set Kırmızı (%5 Konsantrasyon)	86
EK 1- Şekil 3 1. Set Sarı (%5 Konsantrasyon)	87
EK 1- Şekil 4 1. Set Turuncu (%5 Konsantrasyon)	88
EK 1- Şekil 5 1. Set Yeşil (%5 Konsantrasyon)	89
EK 1- Şekil 6 2. Set Kırmızı (%7 Konsantrasyon)	90
EK 1- Şekil 7 2. Set Sarı (%7 Konsantrasyon)	91
EK 1- Şekil 8 2. Set Turuncu (%7 Konsantrasyon)	92
EK 1- Şekil 9 2. Set Yeşil (%7 Konsantrasyon)	93
EK 1- Şekil 10 3. Set Kırmızı (%9 Konsantrasyon)	94
EK 1- Şekil 11 3. Set Sarı (%9 Konsantrasyon)	95
EK 1- Şekil 12 3. Set Turuncu (%9 Konsantrasyon)	96
EK 1- Şekil 13 3. Set Yeşil (%9 Konsantrasyon)	97

TABLO LİSTESİ

Tablo 1.1 Polimerik MDI özellikleri	8
Tablo 1.2 Bazı maddelerin yüzey gerilim değerleri	37
Tablo 1.3 Elektromanyetik spektrum bölgeleri	45
Tablo 1.4 Dalga boyu ve renk arasındaki ilişki	46
Tablo 1.5 Absorpsiyon ölçümü için önemli terimler ve semboller	48
Tablo 1.6 Ses ile ilgili genel tanımlar	49
Tablo 2.1 Kimyasalların genel özellikleri	58
Tablo 3.1 Renklere ve konsantrasyonlara göre ölçülen temas açıları değerleri	64
Tablo 3.2 Farklı renkler ile kaplanan yüzeylerin SFE sonuçları	65
Tablo 3.3 676.4 nm dalga boyunda UV-Vis spektrofotometre ile farklı konsantrasyon ve renklere göre ölçülen reflektans yüzdeleri ve absorpsiyon değerleri	67
Tablo 3.4 Farklı konsantrasyonlardaki farklı renklerin geçirgenlik testi sonuçları	67
Tablo 3.5 1000 Hz, 5000 Hz ve 10000 Hz frekanslarında gönderilen sesin farklı konsantrasyon ve renklerle kaplı yüzeylerde oluşan kayıp dB(A) değerleri	71
Tablo 3.6 Farklı konsantrasyonlardaki renklerin LAB değerleri	72
Tablo 3.7 Ses İletim Kaybı (STL), LAB değerleri, konsantrasyon (C), yüzey gerilimi enerjisi (SFE), yüzey pürüzlülüğü (SR) ve yansıtma yüzdesi (% R) değerleri	73
Tablo 3.8 SPSS programı matematik modelleme sonuçları	74
Tablo 3.9 SPSS programı matematik modelleme sonuçları	74

BÖLÜM 1- GİRİŞ

Boya bir bağlayıcı içine katılmış değişik maddelerin bir araya gelmesinden oluşan bileşik bir malzemedir. Bağlayıcı maddeler farklı kimyasal maddelerden elde edilebilir, ancak tamamı polimer yapılardan oluşmaktadır [1]. Boyanın omurgasını oluşturan bağlayıcıların tasarlanması, boya sanayisinin en önde gelen bilimsel ve teknolojik temelini oluşturur. Endüstride ise birçok farklı bağlayıcı kullanılmakta ve bu bağlayıcılar boyanın sınıflandırmasını sağlamaktadır. Birçok boya çeşidi olmakla beraber, bunlardan alkit boyalar tek komponent ile çeşitli yağ asitlerinden faydalanılarak üretilmektedir. Klor kauçuk ve vinil boyalar da alkitler gibi tek komponentli boyalardır. Klor kauçuk boyalar, güneş ışınlarına karşı dirençlerinin yüksek olması sebebiyle yol çizgilerinde tercih edilmektedir. Epoksi boyalar ise çift komponent ile üretilen, kimyasallara ve suya karşı dirençli olan boyalardır. Deniz ulaşım araçlarında, çelik konstrüksiyonlarda, tanklarda ya da zemin uygulamalarında kullanımı oldukça yaygındır. Çift ya da tek komponent ile üretilen akrilik boyalar, dış atmosfer şartlarına ve solventlere karşı dirençli, yüksek parlaklığa sahiptir. Yüksek performansından dolayı endüstride birçok alanda kullanılmasının yanı sıra, evlerde ya da birçok hobi alanında da kullanılmaktadır. Poliüretan boyalar ise, yüksek parlaklık, esneklik ve ultraviyole ışına karşı direnç gösteren boya çeşitlerindendir. Boya bağlayıcılarının çok büyük bir bölümü organik polimer bağlayıcılardan oluşturur. Poliüretan (PU) bazlı boya yapımında, birçok bağlayıcı kullanılmakla beraber, toluen 2,4-diizosiyanat (TDI) ve difenilmetan diizosiyanat (MDI) yaygın olarak kullanılırlar [1,2]. Polimerik MDI ürünleri birçok endüstriyel, imalat ve özel son kullanım uygulamaları için uygundur [3,4]. Son yıllarda yenilenebilir kaynaklardan elde edilen polimerler, bitkisel yağ temelli malzemelerden elde edilenler gibi, çevresel ve ekonomik sebeplerden dolayı dikkat çekmektedir. Yağ asitlerinin trigliseridleri olan bitkisel yağlar, poliüretan sentezinde bu bileşiklerin, başlangıç malzemeleri olarak kullanılması için polioller şeklinde fonksiyonelize edilmeleri gereklidir. Bitkisel yağlar arasında hint yağının, düşük maliyetli olması, zehirli olmaması gibi sebeplerden dolayı tercih edilen yağlar arasında değerlendirilmektedir [5,6]. Hintyağının ana komponentinin bir hidroksiasit olmasından dolayı diğer bitkisel yağlardan farklılık göstermektedir [7]. Bu yapı yağın yüksek viskoziteye ve spesifik graviteye, alkollerde çözünübilirliğe ve optikçe aktifliğe sahip olmasına neden olmakta,

poliüretan sentezlenmesinde herhangi bir modifikasyona ihtiyaç duymadan direkt hammadde olarak kullanılmasını sağlamaktadır [8,9].

Boya maddesinin bir diğer bileşeni olan pigmentler, çoğu zaman boya ile korunacak olan substratın ve ultraviyole radyasyonunun emilmesini sağlaması ile polimer koruyucu kaplamanın erken bozulmasını önler. Bunun yanı sıra bazı pigmentlerin en önemli görevi korozyona karşı yüzeyi korumaktır [10]. Young – Helmholtz teorisine ya da bir diğer adıyla trikromatik yani üç renkli renkli görme modeline göre RGB uzayında tüm renkler, üç ana rengin farklı oranlarda birleştirilmeleriyle oluşmaktadır. The International Commission on Illumination (CIE) in 1931, renk uzayında kırmızı, yeşil ve mavi renklerden oluşan 3 ana renk olduğunu ve diğer renklerin de bu renklerin farklı oranları ile oluşturulduğunu ve her rengin R (red), G (green), B(blue) değerlerinin ölçülebildiğini ifade etmektedir [11,12]. Dolayısıyla, pigmentin seçiciliği RGB değerlerine bağlı olmaktadır. LAB değerleri ise, renklerin renk uzayında tanımlanmasını sağlayan evrensel kodlardır. Bir pigmentin rengini kimyasal yapısı, pigmentli yüzeye çarpan ışığın çeşitli dalga boylarının seçici emilimi ve yansıması ise pigmentin tonunu belirler. Moleküllerin içindeki elektronların düzenlemelerine ve bunların enerji ve frekans titreşimlerine bağlı olarak farklı emilim ve yansıma özellikleri ortaya çıkmaktadır [13]. Tüm pigmentler bazı dalga boylarındaki radyasyonu emer, ancak beyaz pigmentler için absorpsiyon sadece ultraviyole bölgesinde kuvvetlenir. Çoğu renkli pigmentler görünür ışık spektrumunda güçlü bir şekilde absorpsiyon sağlarlar, ancak görünür olmayan spektrumda saydam hal alırlar [14].

Gelişen teknoloji ile sanayinin günden güne ilerlemesi, bir yandan insan çalışma gücünü arttırmakta bir yandan da makineleşmeyi tetiklemektedir. Çalışma ortamında kullanılan makinelerin sayısının artması çalışanların işini kolaylaştırmanın yanı sıra istenmeyen ve sağlığa zarar veren ses olarak tanımlanan gürültü gibi, insan sağlığını ciddi anlamda olumsuz etkileyen tehlikeleri beraberinde getirmektedir [15]. Endüstriyel gürültü birçok iş kazasına sebebiyet vermekte, aynı zamanda çalışanların sağlığını tehdit etmektedir. Birçok endüstriyel kolda farklı amaçlarla kullanılan boyaların ortamdaki gürültüyü soğuran yapıda olması iş sağlığı ve güvenliği açısından kaynakta uygulanan faydalı bir uygulama olacaktır.

Bu çalışmada, yeşil, sarı, turuncu ve kırmızı olmak üzere farklı renklerde hazırlanmış pigment pastaları ile hazırlanan poliüretan esaslı kaplamaların morfolojilerinin ve yapısal özelliklerinin ses iletim kaybı üzerindeki etkisinin araştırılması amaçlanmıştır. Bu amaca ulaşmak için, kırmızı, turuncu, sarı ve yeşil renkte pigment içeren boyalar pigment oranları ağırlıkça arttırılarak, %5, %7 ve %9 olmak üzere farklı konsantrasyonlarda hazırlanmıştır. Hazırlanan kaplamalar, cam yüzeylere ve alüminyum yüzeylere uygulanmış ve öncelikle yüzeylerin yüzey gerilim enerjileri ölçülerek hidrofobik ve hidrofilik davranışları, diğer bir deyişle ıslanabilirlik özellikleri değerlendirilmiştir. Nanofocus cihazı ile yüzey pürüzlülüğü ölçülen kaplamalı yüzeylerde renklerin karakterizasyonu için 400-800 nm aralığında uv-vis spektrofotometre cihazı ile absorbans değerleri ve reflektans yüzdeleri ölçülmüştür. Photoshop programı yardımıyla LAB değerleri ölçülen yüzeylerin ses iletim kaybı, bir mikrofon ve bir desibel metre içeren bir düzenekle ölçülmüştür. Yüzey gerilim enerjisi, LAB değerleri, yüzey pürüzlülüğü, yansıma yüzdeleri, absorbans değerleri ve konsantrasyonun ses iletim kaybı üzerindeki etkisi değerlendirilmiş ve matematiksel model geliştirilmiştir.

1.1. Boya Tarihçesi

Eski çağlarda boya kulanılan eserlere 25000 yıl önce karşılaşılmakla beraber, ilk olarak Mısır döneminde rastlanmaktadır [16]. Eskiden, boyamanın asıl amacı taş, bıçak veya mızrak başlarını renklendirmek ya da çömlek gibi eşyaların görselliğini arttırmak için dekorasyon sağlamaktır [17]. Avcılar, mağara duvarlarına hayvan resimleri çizmiş ve bu görüntüleri oluşturarak avlarının üzerindeki güçlerini artırılacaklarını düşündükleri varsayılmaktadır. İlk göl pigmentini geliştiren Mısırlılar, yaklaşık 5000 yıl önce ilk sentetik pigmenti üretmişlerdir [18]. Bu pigmentler, çözünebilir organik boyaların inorganik (mineral) bir baz üzerine çökeltilmesi ve çözünmeyen bir bileşik oluşturmak üzere kimyasal olarak 'sabitlenmesi' ile hazırlanmıştır. İlk olarak, merdane bitkisinin köklerinden elde edilen kırmızı boya kullanılmıştır [14]. M.Ö. 600 – M.S. 400 döneminde Yunanlılar ve Romalılar, boyanın nesneleri süslemenin yanı sıra koruduğunu da tespit etmişlerdir. Kurutma yağlarını içeren cilalar bu süre zarfında uygulanmıştır. Orta Çağ döneminde, özellikle ahşap üzerine yapılan birçok boya vernikle korunmuştur. Vernik, zamanla koyulaşmaya meyilli olan sıcak keten tohumu, kenevir tohumu veya ceviz yağı içinde reçine eriterek yapılmıştır [14]. On sekizinci yüzyılın sonlarına gelindiğinde ise,

her çeşit boya ve vernik kullanımına olan talep büyük ölçüde artmıştı. Üretim skalasındaki artış tehlikeleri ve kazaları da beraberinde getirdiği için, 1833 yılında J W Neil vernik üreticilerine her zaman vernik yapma işlemi sırasında güvenlik için bir asistan bulundurmalarını tavsiye etmiştir. Altamira (İspanya) ve Lascaux (Fransa) 'da bulunan mağara resimlerinin kimyasal analizi, paleolitik sanatçılar tarafından kullanılan ana pigmentlerin demir ve manganez oksitlere dayandığını göstermektedir. Bunlar, çoğu mağara resminde bulunan siyah, kırmızı ve sarı gibi üç temel rengi ara renk tonlarıyla birlikte sunar [14].

Sanayi devrimi ile inşaat ve mühendislik amaçlı demir ve çeliğin artan kullanımı, paslanmayı ve korozyonu geciktiren veya önleyen korozyon önleyici astarlara duyulan ihtiyaç artmış ve dolayısıyla boya endüstrisinin gelişimi de hızlanmıştır. Bu ihtiyaçları karşılamak için kurşun ve çinko bazlı boyalar geliştirilmiştir. Bitkisel yağların kurutulmasını hızlandırmak için metal kurutucular yaklaşık 1840'ta kullanılmaya başlanmıştır. Formaldehit reçine kimyasının temeli ve nitroselülozun kullanımı birinci dünya savaşında önce tespit edilmiş olsa da savaş bitene kadar kullanılmamıştır. Bunun gerçekleşmesi için gerekli itici güç, otomobilin seri üretimiyle gelmiştir. Savaş sırasında patlayıcı maddeler için büyük miktarda nitroselüloz üretilmiş ancak, savaşın sonunda patlayıcı ihtiyacındaki düşüşle birlikte, nitroselüloz için alternatif çıkışların bulunması ve motorlu araçların seri üretiminin yapılması için gerekli pazar sağlanmıştır.

Günümüzde, kaplama gelişmelerindeki en son etkiler çevresel faktörlerden dolayı ya da sağlık ve güvenlik koşullarını yerine getirmek amacından ziyade maliyet fayda ilişkileri ile rekabetçi dünya pazarında daha önemli hale gelmiştir [14]. Hızlı nüfus artışı ve kentleşme, sanayileşme ve teknolojinin artması farklı tehlike kaynaklarının ortaya çıkmasına sebep olmuş ve endüstride boyanın koruyucu özelliğinin farkına varılmasını sağlamıştır. Ürünlerinin inşaat ve imalat sanayilerine girdi olması nedeniyle, boya sanayisi sanayi kollarının önemli bir bölümünü etkileyen ve yine önemli bir bölümündeki dinamiklerden de etkilenen bir yapıdadır. Boya, bir bağlayıcı içine katılmış pigment, çözücü ve katkı maddelerinin karışımından oluşan akışkan bir kimyasaldır [1].

1996'dan beri yürürlükte olan Avrupa standardına göre yüzey koruma sağlayan organik kaplamalar için doğru malzeme seçimi, kaplama malzemeleridir. Boyalar, diğer taraftan belirli özelliklere sahip kaplama malzemeleri için standart terimdir. İngilizce konuşulan

dünyada “kaplamalar” terimi genellikle boya, kaplanmış ürünlerdeki tabaka ve boyama işlemi ile eş anlamlıdır. Boya için birçok tanım olmakla beraber çoğunlukla, dekoratif amaçlı üretilen opak malzeme, koruyucu yüzey kaplaması ya da özel tekniklerle üretilen sıvı, macunumsu veya toz kaplama malzemeleri olarak tanımlanır. Boyalar, büyük kaplama malzemeleri sınıfının sadece bir kısmıdır, ancak yine de son derece farklı gereksinimlerden oluşan geniş bir yelpazeyi temsil etmektedir. Çeşitli prensiplere göre alt bölümlere ayrılabilir: kaplamanın fonksiyonu (vernük, metalik boya, katı boya), kaplama sistemindeki özel katman (astar, son kat), boya amaçlı (otomobil boyası, dekoratif boya, endüstriyel boya), çevresel uyumluluk derecesine göre (su bazlı boya, yüksek katı madde boya, radyasyonla kür edilebilir sistemler, toz boya), film oluşturunucu madde (alkid reçine boya, akrilik reçine boyası, selüloz nitrat cila) veya işleme koşullarına göre (kabartma emaye, oksidatif olarak iyileştirilebilir kaplama malzemesi), ana sınıflandırma kriterlerini belirtmek için kullanılır [10]. Bu nedenle, optimum kaplama profili için doğru kaplama malzemelerinin seçimi, kalite gereksinimlerine, belirtilen uygulama koşullarına, sertleştirme işlemine, tasarım özelliklerine ve boyanacak nesnenin çeşitli malzemelerine eşit olarak bağlıdır. Bununla birlikte, kaplama malzemelerinin kullanım alanları farklılık gösterse bile, uygulanan yüzeyde homojen dağılım göstermeli ve tüm yüzeyin aynı özelliklere sahip olması gerekmektedir. Yüzeye uygulanan malzeme önce eşit olarak yüzeyi kapladıktan sonra katılaşmaktadır ve yüzeyin her noktasında aynı mekanik ve kimyasal korumayı sağlamaktadır. Bu nedenle boyaların performans profili sadece uygulamaya değil, daha sonraki film oluşumuna da bağlıdır. Örneğin, sprey tabancası ile uygulanan taze bir boya uygulamasında, damlacıkların tüm gözenekleri kapatması için yeterli akışkanlık sağlanmalıdır. Uygulama sırasında ya da sonrasında film yüzeyindeki tüm çukurluklar doldurulmalı ve pürüzlülük azaltılmalıdır. Yüzey gerilimi ve viskozite bu konuda en önemli boya parametreleridir. Ayrıca, parlak yüzey, metalik efekt gibi özel efektlerin elde edilmesi gerekebilir. Bu nedenle ahşap paneller için vernikler, antikorozyon boyalar veya deri üzerindeki renk tasarımları için kullanılan kaplama malzemelerine kıyasla tamamen farklı bir bileşime sahiptir [10].

1.1.1. Boyanın içeriği

Kurutulmuş veya sertleşmiş kaplamanın pigment ve genişletici içermeyen parçaları olan bağlayıcılar, film oluşturunucu maddeden ve katkı maddelerinin uçucu olmayan

bölümlerinden oluşur [10]. Boyanın içerikleri kullanım amacına göre çeşitlilik göstermekle beraber genel olarak içeriğini dört ana grup altında toparlayabiliriz [14].

1.1.1.1.Bağlayıcılar

Bağlayıcı maddeler farklı kimyasal maddelerden elde edilebilirler, ancak tamamı polimer yapılardan oluşmaktadır. Bağlayıcı, bir boyanın ana maddesi olmakla beraber, yalnızca uygun bir bağlayıcı ile yüksek kaliteli ürünler elde edilebilir. Bağlayıcının görevi, boyadaki farklı maddelerin bir arada bulunmasını ve boyanın uygulamada yüzeye yapışmasını sağlamak, koruyucu bir yüzey oluşturmaktır. Bağlayıcının tipi, iç cephe ve dış cephelerde farklılık gösterdiği gibi, ahşap, çelik veya beton yüzeylere göre de değişiklikler göstermektedir [1,19]. Günümüzde, en çok kullanılan bağlayıcılardan [1]:

Doğal reçineler, katkı maddesi ya da pigment içermeyen, vernik, boya tarihinde ve cila yapımında ilk defa kullanılan, ağaçların gövdelerinden çıkan sıvılardır. Günümüzde en çok tercih edilen çam reçinesinin yapısı, değişik kimyasal metotlar yardımıyla değiştirilerek farklı kimyasallar elde edilmektedir.

Alkit, alkol ve asit sözcüklerinin bileşiminden gelmekle beraber genelde yağ bazlı boyalara verilen isimdir. Alkitler, monogliseric ile asitlerin esterleşmesi sonucu oluşan ve içerisindeki yağ asidi miktarına göre az yağlı, orta yağlı ya da çok yağlı olarak tanımlanan reçinelerdir. Günümüzde yağlı boya adı ile kullanılan çok yağlı alkitlerin en önemli özelliği; yağ asitlerinin çok olmasından dolayı moleküllerinin birbirine daha yakın olması ve dolayısıyla çifte bağlar açıldıktan sonra atmosferdeki oksijen ile kolayca bağlanmaları ve kurumalarıdır.

Fenol-Formaldehit reçineleri, ilk elde edilen yapay reçinelerden olup günümüzde de kullanımı devam etmektedir. Formaldehit ya da metilen glikolün polimerleşmiş formu olan paraformaldehit kullanılarak üretilen reçinelerin, yapışkan özelliği çok yüksektir, su buharına karşı geçirgenlik göstermezler. Organik ve inorganik asitlere karşı dayanıklı olan bu reçineler 150⁰C'ye kadar direnç gösterirler. Ancak çok sert ve kırılgan oldukları için sentez sırasında polivinil butiral gibi kimyasallar ile kırılganlıkları azaltılmaya çalışılır. Isıya dayanıklılığı ve iyi yapışma özelliklerinden dolayı elektrik ve metal sanayide kullanımı yüksektir.

Amino reçineleri, yapıştırıcı imalatı, lastik ve tekstil gibi sanayi dallarında kullanılan bu reçineler, formaldehitin üre, melamin gibi amin grubu kimyasallarla oluşturdukları yoğunlaşma ürünleridir.

Epoksi reçineler, suya, kimyasallara ve alkali maddelere karşı dayanıklı reçineler olup, sertleştikten sonra form değiştirmeyen, ısıya dayanıklı, elektriği yalıtan, sertlik ve esneklik gibi birçok özellik gösterebilen, korozyona karşı tercih edilen sanayi boyalarında kullanılmaktadır.

Silikon reçineleri, silisyum ve oksijen atomlarının dizilimiyle oluşan silikozan isimli zincirden oluşan, ısıya ve oksitlenmeye karşı dirençli yapıda olup, yapıştırıcılarda ve boya hammadresi olarak kullanılmaktadır. Silikon reçine ile üretilen boyalar diğerlerine göre daha az sertlik gösterir, çözücülere ve aşınmaya karşı direnci azdır.

Poliüretanlar, diizosiyanatların polioller ve diğer kimyasallarla reaksiyona sokulmasıyla üretilir. Esnek veya sert köpüklerden, sert elastomerlere kadar çeşitli poliüretan tiplerinin kullanımı, çok çeşitli tüketici ve endüstriyel uygulamalarda tercih edilmektedir. Bu poliüretanlardan MDI ve TDI, toplam diizosiyanat pazarının yaklaşık % 90'ını oluşturan yüksek tonajlı ürünlerdir [1]. MDI ürünleri birçok endüstriyel, imalat ve özel son kullanım uygulamaları için uygundur. Polimerik MDI özellikleri Tablo 1.1.'de verilmiştir.

Tablo 1.1 Polimerik MDI özellikleri [20]

Görünüm	+39 °C'nin üzerinde sıvı halde 5 °C'nin altında katı veya pul pul görünümlü	Yapışkan sıvı
Moleküler Formül	$C_{15}H_{10}O_2N_2$	
Renk	Beyaz ile açık sarı arası renkte sıvı	Kahverengi
Koku	Hafif küf kokulu	
Özgül ağırlık (g/ml)	1.33 (20 °C'de) 1,20 (50 °C'de)	1,24 (20 °C'de)
Suda çözünürlük	Suda çözünmez, CO ₂ teşekkülü ile reaksiyona girer	
Kaynama noktası	>300 °C (1013 hPa'da) ayrışır/polimerleşir.	>300 °C (1011 hPa'da) ayrışır/polimerleşir
Donma/erime noktası	41 ± 2 °C	5°C;10°C'nin altında kristalleşir
Yanma noktası	>200°C	>200°C
Termal çözünme	>230 °C	
Tehlikeli çözülme ürünleri	CO, CO ₂ , NO _x , HCN ve diğer toksik ürünler	
Tehlikeli reaksiyona girdiği maddeler	Su, alkoller, aminler, asitler, bazlar	

MDI kullanılan bazı örnekler [2]:**Sert Köpük:**

- Binalarda, soğutucularda, depolama alanları ve tanklarında ısı yalıtımı;
- Teknelerde yüzdürme yardımcıları;
- Paketleme;
- Mobilya;
- Ekipman gövdeleri.

Esnek köpük

- Ev eşyaları;
- Araç koltukları;
- Çeşitli endüstriyel uygulamalar için yastıklama;
- Tekstil laminatlar.

Tamamlayıcı deri, yarı sert ve düşük yoğunluklu yapısal köpükler

- Araç içi ekipmanların kaplamaları;
- Mobilya parçaları;
- Spor malzemeleri.

Elastomerler

- Ayakkabı tabanı;
- Araç karoseri panelleri;
- Silindirler ve dişli çarklar;
- Konveyörler;
- İnşaat ve otomotiv endüstrisi için sızdırmazlık maddeleri;
- Lifler.

Poliüretan boyalar için muhtemel uygulama yelpazesi oldukça geniş olup, endüstrilere fayda sağlayan çeşitli yüzeyler için pigmentli ve pigmentsiz poliüretanlar kullanılmaktadır. Bu faydalar arasında iyi yapışma, aşınma direnci, uzun süreli dış mekana maruz kalma özelliklerinin yanı sıra; asitler, alkaliler, ev kimyasalları, solventler ve yakıtlar gibi kimyasal maddelere karşı yüksek direnç bulunur [10].

Akrilik ve vinil reçineleri, vinil monomerlerin polimerleşmesi ile elde edilen bu reçineler ile yapılan boyalar saydam renkte olup, esnek, renk değiştirmeyen, ısıdan ve ışıktan etkilenmeyen, suya dayanıklı olmaktadır [2].

1.1.1.2.Pigmentler

Film oluşturuucu maddelerin çözücüler ve katkı maddeleri ile kombinasyonu sonucunda şeffaf kaplama malzemeleri ve vernikler ortaya çıkmaktadır. Tahta veya plastiklerin kaplanması ya da metallerin kaplanması için çeşitli verniklerin kullanılmasına rağmen, en sık kullanılan kaplama malzemeleri şeffaf değildir. Renk pigmentlerinin, efekt indükleyici malzemelerin ve uzatma maddelerinin eklenmesi, filme parlaklık, gizleme

gücü, özel optik efektler, ayrıca sertlik gibi fonksiyonel özellikler de verir. Renk pigmentleri aynı anda gizlenme gücü ve parlaklık elde etme kabiliyetine sahiptir. Pigmentler kimyasal yapılarına bağlı olarak organik ve inorganik renklendiricilere ayrılır [19]. Renk vermek, etki yaratmak ve gizleme gücü sağlamak için daha önce belirtilen görevlere ek olarak, pigmentlerin ayrıca kaplamaların ultraviyole (UV) ışığının etkisine karşı stabilize edilmesi veya hatta ek antikorozyf koruma gibi özel görevler üstlenmesi beklenir. Bu tür görevlerin yerine getirilmesi için belirli koşulların yerine getirilmesi gerekir. Pigment partikülleri sıvı ortamda eşit bir şekilde dağıtılmalıdır, film oluşturucu ajan çözeltisi ile iyi ıslatılmalı, stabilize olan bağlayıcı molekülleri ile sorunsuz kaplama yapılması sağlanmalıdır [10]. Genel olarak değerlendirildiğinde, pigmentlerin boyaya eklenmesini gerektiren beş temel neden bulunmaktadır:

- Renk vermek,
- Alt tabakaları gizlemek,
- Bir kaplamanın uygulama özelliklerini değiştirmek,
- Filmlerin performans özelliklerini değiştirmek
- Maliyeti düşürmek.

Pigmentin rengi yapısal özellikleri üzerinde belirleyici olmakla beraber pigmentli yüzeye çarpan çeşitli dalga boylarındaki ışığın seçici emilimi ve yansıması renk tonunu belirler. Örneğin, mavi pigment üzerine düşen beyaz ışığın mavi dalga boylarını yansıtır ve diğer tüm dalga boylarını emer. Sodyum ışığının mavi bileşeni olmadığı için, turuncu sodyum ışığındaki mavi bir kalem siyah gözükmektedir. Beyaz pigmentler tüm görünür ışığı yansıtırken, siyah pigmentler tüm ışığı emer [14].

Pigmentlerin partikül büyüklüğü renk mukavemetini, saydamlığı veya opaklığı, dış dayanıklılığı, solvent direncini ve pigmentlerin diğer özelliklerini etkiler. Çoğu pigmentin üretimi sudan çökmeyi içerir; işlem koşulları parçacık boyutunu belirler. Birçok pigment çökeltme sırasında veya sonrasında yüzey işlemine tabi tutulur. Çöken pigment süzüldükten ve filtre yardımı ile kurutulma sırasında, pigment partikülleri kümelenerek kalıplaştırılır. Kaplama üreticisi genellikle pigment üreticisinden kuru pigment tozu alır ve bu kümelenmiş tozu orijinal partikül boyutlarına ayırmak ve stabil bir dağılım elde etmek için dağıtması gerekir [21].

Beyaz Pigmentler

Kaplamaların büyük bir kısmı beyaz pigment içerir. Beyaz pigmentler sadece beyaz kaplamalarda değil, aynı zamanda renkli pigmentler kullanılarak elde edilenden daha açık renkler vermek amaçlı, diğer pigmentli kaplamaların önemli bir kısmında kullanılır. Ayrıca, birçok renk pigmenti saydam filmler verir ve beyaz pigment, kaplamanın örtücülüğünün büyük bir bölümünü sağlar. İdeal beyaz pigment görünür ışığı almaz ve yüksek saçılma katsayısına sahip olur. Saçılma verimini kontrol eden temel bir faktör, pigment ve bağlayıcı arasındaki kırılma endeksindeki fark olduğundan, kırılma endeksi beyaz pigmentin kritik bir özelliğidir [22]. Kaplamalarda kullanılan en önemli beyaz pigment titan dioksit (TiO_2)'tir [23]. Pigmentte rutil ve anataz olarak iki farklı kristal tipi kullanılır. Rutil, daha büyük hacimlerde kullanılır, çünkü anatazdan yaklaşık %20 daha fazla gizleme gücü verir. Öte yandan, rutil menekşe ışığı absorbe eder, oysa anataz neredeyse hiç görünür ışığı absorbe etmez. Sadece rutil ile pigmentli olan bir kaplama beyaz görünüyor iken, anataz ile pigmentli bir kaplamanın yanında sarımsı görünür. Rutil rengi TiO_2 kaplamalarında renklendirme ile ayarlanabilir. Eğer karbazol menekşe gibi bir menekşe pigmentinin küçük bir miktar dağılımı eklenirse, elde edilen beyaz kaplama daha az sarı renkte olur. Menekşe pigmenti, menekşe dışındaki dalga boylarını güçlü bir şekilde emer ve dalga boylarının yansımalarındaki farkları diğerlerine kıyasla azaltır. Bu durum, kaplamayı açık gri yapar, ancak karşılaştırma için daha yüksek yansıtıcı beyaz olmadığı sürece renk gri değil beyaz olarak görülür. Beyazlarda kullanılan en yaygın renklendirme pigmenti menekşe ve mavi renk pigmentten daha ucuz olan karbon siyahıdır. Karbon siyahı ışığın tüm dalga boylarını emdiğinden, beyazın sarılığını azaltmaz, ancak saklamayı arttırmanın daha düşük maliyetli bir yöntemini sağlar. Ayrıca “Şeffaf TiO_2 ” (yani, çok ince parçacık boyutlu TiO_2) otomotiv metalik kaplamalarında buzlu bir etki vermek için kullanılır. Kaplanan yüzeyde fotodegradasyon ile aşınmasından kaynaklanan gevşek parçacıkların oluşumu sonucu tebeşirlenme oluşabilir, bundan dolayı çoğu dış uygulamada, tebeşirlenmeyi asgariye indirmek için rutil TiO_2 kullanılır. Bununla birlikte, rutil anatazdan daha az foto-reaktif olmasına rağmen, dış dayanıklılığı azaltmak için hala oldukça reaktiftir. Bundan dolayı, pigment üretimi sırasında TiO_2 partikülleri olan yüzeyin iyileştirilmesi ile problem minimize edilir [22,24]. En yaygın yüzey iyileştirme silika (SiO_2) ve alümina (Al_2O_3) ile yapılır; silika ve alümina ile çeşitli başka metal oksitler de kullanılır. Rutilin dış sınıflarında yüzey iyileştirmesi için yaklaşık olarak

ağarlıkça % 6 silika ve % 4 alümina kullanılır. İdeal bir yüzey işlemi, TiO_2 ve bağlayıcı arasındaki teması önlemek için tüm TiO_2 partikülleri üzerinde sürekli olan bir kaplama olacaktır. Alümina ile yapılan işlemlerde; çözücü bazlı kapamalarda dispersiyonu artırma gibi, pigmentlerin diğer özelliklerini de etkiler. Ayrıca, özel işlem görmüş TiO_2 pigmentleri, su bazlı kaplamalarda daha kararlı dispersiyon ile üretim sağlar. Lateks boyaların imalatında ise, bulamaç adı verilen sudaki TiO_2 dispersiyonları kullanılır. Bulamaçlar TiO_2 üreticisi tarafından üretilir ve kuru pigmentin yerini almak üzere tanklar ile taşınabilir. Pigment bazında fiyat yaklaşık olarak aynıdır, ancak bulamaç pompalanabilir bir sıvıdır ve pigment parçacıklarının kümelenmesi en aza indirgenir, bu nedenle malzeme taşıma ve dağıtım maliyetlerinde önemli tasarruflar sağlar. TiO_2 'nin yanı sıra, 1930'ların sonlarına kadar beyaz kurşun (kurşun karbonat, 2PbCO_3 , $\text{Pb}(\text{OH})_2$) yaygın olarak beyaz bir pigment olarak kullanılmıştır. Ancak, suda çözünmesi ve toksik tehlike oluşturmaları sebebiyle TiO_2 'nin piyasaya çıkması ile kullanımı hızla düşmüştür. Çinko oksit (ZnO) de önceden beyaz bir pigment olarak kullanılmasına rağmen düşük kırılma indisi nedeniyle, TiO_2 ile rekabet edememiş, kullanımı azalmıştır [25].

Küçük hava kabarcıkları da ışığı saçar ve bir başka beyaz pigment olarak değerlendirilir. Bazı durumlarda, kaplama filmlerinde hava kabarcıkları tarafından saçılmanın avantajlarından yararlanılarak maliyet azaltma yapılabilir. Havanın kırılma indisi, 1.00, tipik bir bağlayıcıda kırılma indisi farkı yaklaşık 0,50'tir. Bu fark, bağlayıcı ve rutil TiO_2 arasındaki 1,25 olan fark ile karşılaştırıldığında küçük olmasına rağmen, yine de ışık saçılımı ve dolayısıyla gizlenme sağlar. Bir kaplama filminde hava kabarcıklarının oluşmasını sağlamanın yaygın yolu; çözücü buharlaştıktan sonra, pigment parçacıkları arasındaki tüm boşlukları doldurmak için ve tüm pigment yüzeylerinde absorbe edecek kadar bağlayıcı olmadığında yüksek pigmentasyon seviyelerinin kullanılmasıdır. Yapılan bu işlem sonucunda hava kabarcıkları oluşacaktır. Bu tür kaplamalar, kritik pigment hacmi konsantrasyonunun üzerinde pigment hacmi ile formülize edilmektedir. Bununla birlikte, boşluklar kaplamayı gözenekli yapar ve yüzeyin koruyucu özelliklerini azaltır [25].

Renk Pigmentleri

Boya ile yapılan kaplamalarda yapılan işin amacına, kimyasına ve ekonomisine uygun olarak çeşitli renk pigmentleri kullanılmaktadır [21,26]. Belirli bir yüzey kaplama işlemi

öncesinde pigmentlerin uygun seçilmesi gerekmektedir ve bunun için de belirli özelliklerin değerlendirilmesi gerekmektedir. Bunlardan [27]:

Renk: Pigment seçiminde ilk kriter pigmentin rengidir. Pigmentin tonu, pigmentin kaplamadaki tek pigment olarak kullanıldığı bir renk çipiyle gösterilir. Daha sonra, pigment TiO_2 ile birlikte farklı oranlarda kullanıldığında elde edilen rengi gösteren bir veya iki renk çipi vardır; bunlara renk tonu denir.

Renk gücü: Bazı renklendiriciler, pigmentlerin emme katsayıları ve partikül boyutlarına göre güçlü ya da güçsüzdür. Yapılan işin özelliğine göre, güçlü ve pahalı bir pigment kullanmak zayıf ve düşük maliyetli bir pigmentten daha ekonomik hale gelebilir. Bu sebepten dolayı boyanın kaplanacağı yüzeyin özellikleri ve amacına göre renk gücünün iyi seçilmesi gerekmektedir.

Opaklık veya şeffaflık: Son kullanıma bağlı olarak, hem saçılma özelliği olan hem de emici radyasyonla gizlemeyi artıran bir pigment kullanılması istenebilir veya kaplama filminde çok az ışık saçan pigmentlerin seçilmesi önemli olabilir, böylece saydam bir renk elde edilebilir.

Dispersiyon kolaylığı: Bazı pigmentler diğerlerinden daha kolay dağılır ve tercih edilen pigment türü de en kolay şekilde homojen dağılım gösterenlerdir. Birçok pigment, dağılım kolaylıklarını arttırmak için üreticiler tarafından yüzey işlemine tabi tutulur. Pigmentin dispersiyonu ıslatma, ayırma ve stabilize etme gibi birçok parametreye bağlıdır [28].

Dış dayanıklılık: Bazı pigmentler, renk kaybına veya renk değişikliğine neden olan foto bozunmasına karşı diğerlerinden daha hassastır. Pigment üreticileri, açık havada kullanıma uygun olabilecek pigmentlerin taranması için faydalı olabilecek verileri sağlar. Bununla birlikte, pigment ve reçinenin kombinasyonuna bağlı olarak dış dayanıklılıkta önemli farklılıklar olabilir. Bu nedenle, kritik uygulamalar için, belirli formülasyonlar ile dış dayanıklılığı belirlenmelidir [27].

Isı direnci: Fırınlanmış veya yüksek servis sıcaklıklarına maruz kalan kaplamalar, ısıya dayanıklı pigmentler gerektirir. Sarı demir oksit pigmentleri gibi ısıya maruziyette kimyasal değişime uğramakta ya da daha yaygın bir problem olarak da; bazı organik pigmentlerin yüksek sıcaklıklarda süblimleşmesi olarak ortaya çıkmaktadır [27].

Kimyasal direnç: Birçok pigmentli boya kaplamaları, otomobillerin asit yağmurlarına maruz kalması ya da çamaşır makinalarının alkali deterjanlara maruz kalması gibi, çoğunlukla asit ve bazlar olmak üzere bazı kimyasallara maruz kalırlar. Pigmentler bu koşullar altında renk ya da kimyasal değişime karşı direnç gösterecek şekilde formülize edilmelidir [27].

Suda çözünürlük: Pigmentlerin özellik kaybına uğramalarına ya da mekanik ve fiziksel dirençlerini kaybetmelerine neden olduğu için suda çözünürlüğünden kaçınılması gerekmektedir. Astar boya içinde suda çözünür maddelerin varlığı, su içinden geçerken filmin kabarmasına neden olabilir. Lateks boyalarda, suda çözünür malzemeler lateks partiküllerinin dağılımlarının stabilitesini azaltabilir. Diğer taraftan pasivasyon ile paslanmaya karşı koruma sağlayan pigmentlerin etkili olabilmesi için suda bir miktar çözünür olması gerekmektedir [27].

Çözücünün çözünürlüğü: Bazı çözücülerde pigmentlerin kısmi çözünürlüğü bir problem olabilir. Örneğin, kırmızı kaplama bir otomobilin üzerinde beyaz renkli şerit olacaksa kırmızı pigmentin beyaz pigmentte bulunan çözücüler ile çözünmemesi gerekmektedir. Yüzeylere yapılacak işlemlerde çözücünün çözünürlüğü dikkate alınarak uygulamalar yapılmalıdır [27].

Nem içeriği: Kuru pigmentlerin çoğu, küçük ila orta derecede su absorbe eder. Absorbe edilen su, poliizosiyanatlar gibi su reaktif bağlayıcılarda ciddi sorunlara neden olabilir.

Zehirlilik ve çevresel tehlikeler: Kuru toz pigmentleri kullanılırken solunum sistemi, cilt ve göz koruması amacıyla filtre yüz maskeleri her zaman giyilmelidir; kimyasal olarak inert olsalar bile, ince parçacık tozlarını solumak tehlikelidir. Çoğu durumda, pigment bir kaplamaya dahil edildiğinde çok az tehlike vardır veya hiç tehlikesi yoktur ancak, kaplama filminde bile toksisite önemli olabilir. Örneğin, Amerika'daki mimari kaplamalarda toksik yapısından dolayı beyaz kurşun artık kullanılmamaktadır. Kurşun içeren pigmentler ayrıca çocukların oyuncakları ve mobilyaları için kaplamalarda yasaktır. Çinko kromat pigmentlerinin genellikle insan sağlığına zarar verdiği ve kanserojen olduğu düşünülmektedir. Bu pigmentlerin kaplamalarda kullanımı bazı ülkelerde yasaktır. Pigment seçimini etkileyebilecek diğer bir faktör ise; ağır metal içeren malzemelerin bertaraf maliyetinin artmasıdır.

Kızılötesi Radyasyon (IR): Kızılötesi radyasyonu absorbe etmek yerine yansıtan inorganik pigmentler çeşitli renklerde mevcuttur. Bunlar kompleks yapıli inorganik renk pigmentleri ve seramik renklendiriciler olarak bilinir. Birçoęu çok yüksek dış mekan dayanıklılığına sahiptir ve çatılarda ya da dış cephe kaplamalarında kullanıldığında, IR yansıtmaları güneş ısısını önemli ölçüde azaltır ve sıcak iklimlerde enerji tasarrufu sağlar.

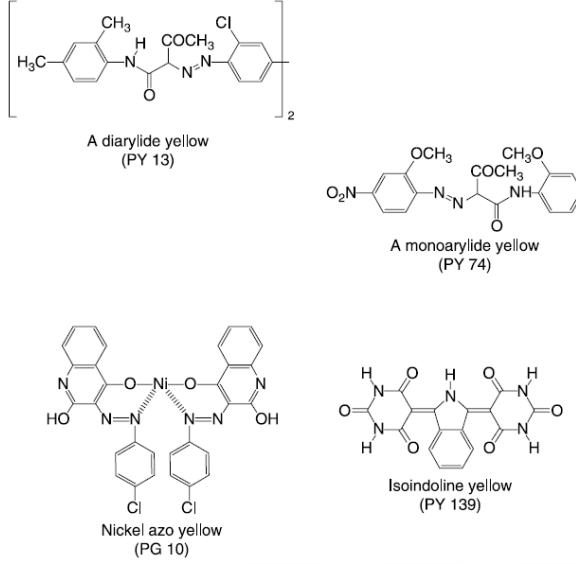
Maliyet: Kullanılan pigmentin maliyeti önemlidir, ancak daha önce de belirtildiği gibi, sadece birim ağırlığı başına fiyatlara bakarak hangi pigmentin en pahalı olduğu söylenemez. Son durumda kullanılan pigment hacmi ve kalitesi maliyeti belirleyen ana unsurlardır.

Sarı ve Turuncu Pigmentler

Demir oksit sarıları, $\text{FeO}(\text{OH})$, düşük parlaklıkta kahverengimsi inorganik sarı pigmentlerdir. İyi gizleme ve yüksek dış dayanıklılık ile opak filmler oluşturur; kimyasal ve solvent dirençleri mükemmel, genellikle kolayca dağılır ve nispeten daha ucuz olurlar. 1508°C 'nin üzerinde ısıtıldığında, rengi yavaş yavaş az parlak kırmızıya dönüşür çünkü demir oksit (Fe_2O_3) kırmızısı oluşturmak için dehidre olurlar. Çoğu demir oksit sararması sentetik olarak yapılır, ancak bazı doğal cevherlerin koyu renk pigmentleri kullanılır. Şeffaflık gerektiğinde kullanılan son derece ince partikül boyutlu demir oksit pigmentleri de mevcuttur. Parçacık boyutunun opaklık üzerindeki bu etkisi, ışık saçılması ve parçacık boyutu arasındaki ilişkiye mükemmel bir örnektir. Orta renkte kromajlı (parlak) sarı pigmentler ağırlıklı olarak kurşun kromattır (PbCrO_4). Çuha çiçeği sarısı ve limon sarısı olarak adlandırılan yeşilimsi sarı renklendiriciler, kurşun kromatın kurşun sülfat ile ko-kristalleridir. Daha kırmızı olan sarılar, yani krom turuncular, PbO ile birlikte kurşun kromatın ko-kristalleridir. Yine daha kırmızı turuncular, molibdat turuncuları, kurşun molibdat (PbMoO_4) ve kurşun sülfat ile birlikte kurşun kromatın ko-kristalleridir.

Titanyum sarıları, diğer metal iyonlarının anataz TiO_2 kristallerinin kafesine sokulması ve ardından rutil kristal yapısına dönüştürölmek üzere kalsine edilmesiyle oluşur. Yeşilimsi-sarı tonları antimon ve nikelin kullanılmasına dayanır; kırmızımsı sarı renk tonları antimon ve krom içerir. Dış etkenlere, kimyasal maddelere, ısıya ve çözücölere karşı dirençleri mükemmeldir. Ayrıca, bizmut vanadat (BiVO_4), son zamanlarda tanıtılan yüksek parlaklığa ve iyi dayanıklılığa sahip sarı bir pigmenttir. Pigmentlerin kod atamaları, Birleşik Krallık'taki the Society of Dyers ve Colourists Amerika Birleşik

Devletleri'ndeki Association of Textile Chemists and Colorists tarafından geliştirilen renk indeksi sisteminden yapılmaktadır. Şekil 1.1'deki sarı pigment için gösterilen örneklerdeki kodda olduğu gibi P pigment anlamına gelir, bir sonraki harf pigmentin tonunu gösterir ve sayı kronolojik olarak atanır [21].



Şekil 1.1 Organik sarı pigment örnekleri [21]

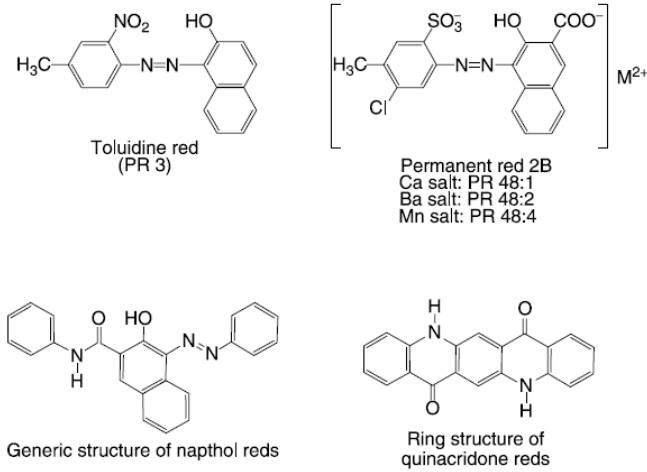
Organik turuncu ve sarı renklerden Diarylid sarıları, yüksek renk mukavemetine ve yüksek kroma sahiptirler. Yüksek mukavemetleri ve düşük yoğunlukları nedeniyle maliyetleri nispeten düşüktür. Renk tonlarında parlak sarı bir renge ihtiyaç duyulan iç kaplamalarda ve kalemlerin dış kaplamaları gibi uygulamalarda kullanılırlar.

PY 74 gibi monoarylid (monoazo) sarı pigmentleri de yüksek kroma sahip olup, yüksek sıcaklıklara maruz kaldıklarında, düşük sızıntı (akma) direncine ve süblimleşmeye sahiptirler. Bununla birlikte, ışığa karşı dayanıklılıkları, inorganik sarı pigmentlerden daha düşük olmasına rağmen, diarylid sarılardan daha iyidir. Nikel azo sarısı, nispeten zayıf olup daha çok çok yeşilimsi bir sarıdır; Şekil 1.1'deki PG 10 tanımıyla da anlaşılacağı gibi, yeşil olarak sınıflandırılır. Nikel azo sarı, mükemmel dış dayanıklılık ve ısı direnci sergiler. Şeffaf filmler verir ve ağırlıklı olarak otomotiv metalik kaplamalarında kullanılır. Vat sarı pigmentler, izoindolin sarı PY 139 ile örneklediği gibi, mükemmel dış dayanıklılık, ısı ve solvent direnci ile şeffaflık sağlar. Pahalıdır ve sadece üstün özellikleri gerektiğinde kullanılırlar (örneğin, otomotiv metalik kaplamalarında). Benzimidazolone turuncu pigmentleri ise, ışığa karşı çok iyi

dayanıklılık gösterirken, ısıya ve çözücüye karşı direnç sunar. Molibdat turuncusunun yerine kullanılır [25].

Kırmızı Pigmentler

İnorganik kırmızılarda, demir oksit (Fe_2O_3), bilinen kırmızı renk olup, fonksiyonel özellikleri ve düşük maliyeti ile düşük kroma kırmızısıdır. Demir oksit sarılarının aksine demir oksit kırmızıları termal olarak kararlıdır. Parçacık büyüklüğü saçılma için en uygun olduğunda, yüksek derecede gizlenme sağlar. Saydam filmler sağlayan çok ince parçacık dereceleri de vardır ve aynı zamanda mükemmel bir ultraviyole ışın (UV) emicidir. Organik kırmızılardan, Toluidin kırmızısı pigmenti (PR3) Şekil 1.2'de gösterildiği gibi, b-naftolün bir azo türevidir [21].



Şekil 1.2 Organik kırmızı pigment örnekleri [21]

Çok yüksek olmayan maliyete sahip olup, koyu renklerde dış dayanıklılığı iyidir. Kimyasal direnci yüksek olan parlak kırmızı azo pigmentinin kabartma emayelerinde kullanım için de direnci yeterlidir. Azo pigmentleriyle sızma (akma) direnci, karboksilik asit tuzlarının mevcudiyeti ile sağlanabilir. Örneğin, 2-hidroksi-3-naftoik asit (BON) diazo bileşikleriyle birleştirilebilir. Kalıcı Kırmızı 2B, bu gibi sızıntıya dayanıklı yüksek kromajlı kırmızı azo pigmentlerinin bir örneğidir. Kalsiyum, baryum veya manganez tuzu olarak bulunur. Biraz daha yüksek maliyetli manganez tuzu, kalsiyum veya baryum tuzlarından daha iyi dış dayanıklılık gösterir. Aynı zamanda, biraz farklı tonlara sahip çeşitli ilişkili azo pigmentleri de mevcuttur. Bu sınıf, kaplamalarda ve mürekkeplerde en yüksek oranla kullanılan organik kırmızı pigmenttir. Naftol kırmızısı, Şekil 1.2'de

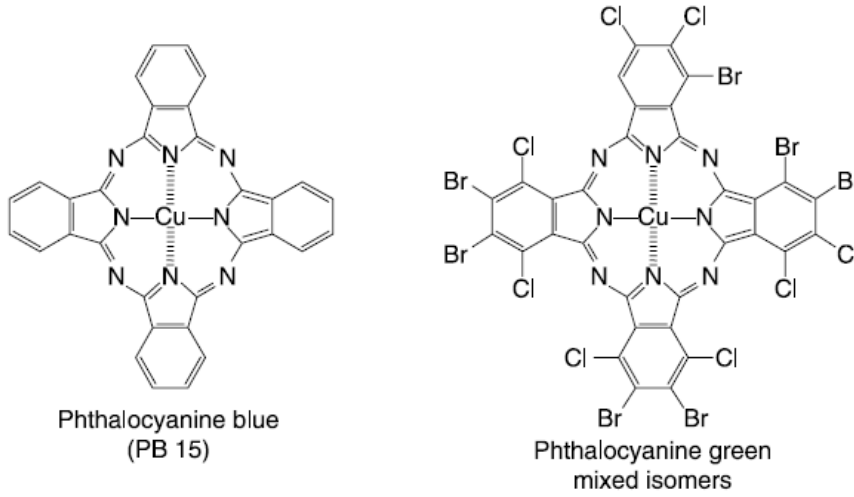
gösterilen genel yapıdaki çeşitli halkalara (-Cl, -OCH₃, -NO₂, vb.) sahip geniş bir azo pigment ailesidir [21].

Kinakridon pigmentleri nem almayan, ısıya ve kimyasallara dayanıklı ve açık tonlarda bile olağanüstü dış dayanıklılık sağlayan yapıda olup, maliyetleri yüksektir. İkame ve kristal formuna bağlı olarak, çeşitli turuncu, kestane, kırmızı, eflatun ve menekşe renkleri mevcuttur. Opak pigmentlere ihtiyaç duyulduğunda büyük partikül halinde kullanılırken, metalik otomotiv dış kaplamada kullanılmak üzere ince partikül dereceleri de mevcuttur. Dispersiyonlarının topaklanmaya karşı direncini arttırmak için yüzey işlemleri uygulanır [29]. Pek çok başka yüksek performanslı kırmızı pigment de mevcuttur [30,31].

Mavi ve Yeşil Pigmentler

İnorganik mavilerden demir mavis, ferrik amonyum ferrosiyaniür, $\text{FeNH}_4\text{Fe}(\text{CN})_6$, oldukça iyi özelliklere sahip yoğun kırmızımsı olan mavi tonudur. Tarihte yaygın olarak kullanılan ilk sentetik pigmentlerden biri olan ferrik amonyum ferrosiyaniürün yerine, 1930'lardan bu yana daha fazla renk mukavemeti olan ftalosiyaniin mavileri geçmiştir. İnorganik yeşillerde ise krom yeşili, çeşitli oranlarda demir mavis ve krom sarısı kristallerinden oluşmaktadır. Bu pigmentlerin popüleritesi, ftalosiyaniin yeşilinin yüksek renk mukavemeti nedeniyle azalmıştır; Amerika Birleşik Devletleri'ndeki mimari kaplamalarda ve birçok ülkede kurşun içeriklerinden dolayı artık kullanılmamaktadırlar [21].

Organik mavi ve yeşil pigmentler, genellikle ftalo mavis ve ftalo yeşili olarak adlandırılan bakır ftalosiyaniin pigmentleridir (Şekil 1.3.). Olağanüstü dış dayanıklılık ve kimyasal direnç sergilerler, ısıya dayanıklıdırlar ve yüksek renklendirme kuvvetlerine sahiptirler. Ftalo maviler ticari olarak üç kristal formda bulunur: alfa, beta ve nadiren kullanılan epsilon. Beta formu nispeten yeşil bir mavi gölgeye sahiptir ve kararlıdır. Alfa formu daha kırmızıdır, ancak bazen alfa formunun bazı dereceleri kullanıldığında ve stabil olmadığında, kaplamaların depolanması veya pişirme sırasında renk ve kuvvet değişikliği konusunda ciddi sorunlar olabilir. Daha kararlı alfa formundaki pigmentler mevcuttur; bunlar kristal formunu stabilize eden ve dispersiyonların topaklaşması ile ilgili problemleri en aza indiren çeşitli katkı maddeleri içerir. Bazı ftalosiyaniin mavis dereceleri hafifçe klorlanır; bunlarda mavinin yeşili tonları vardır [21,25].



Şekil 1.3 Ftalosiyenin pigment örnekleri [21]

Siyah Pigmentler

Kaplamalarda kullanılan hemen hemen tüm siyah pigmentler karbon siyahlarıdır. Işığın yanı sıra UV radyasyonunu da absorbe ederler ve çoğu bağlayıcı ile siyah renkler dış cephede en stabil olanıdır. Karbon siyahları, petrol ürünlerinin veya doğal gazın kısmi yanma işlemleriyle yapılır. Sürece bağlı olarak, partikül büyüklüğü ve dolayısıyla siyahlığın yoğunluğu değişmektedir. Yoğun siyah, parlak kaplamalar istendiğinde kullanılan siyahlar, 5-15 nm çapa sahip en küçük parçacık boyutuna sahiptirler. Ortalama çapları 50-200 nm olan fırın siyahlarının ise, yoğunlukları ve maliyetleri daha düşüktür. Lamba isi adı verilen siyahlar, 0,5 mm büyüklüğünde partikül ebadına sahiptir ve diğer karbon siyahlarından daha düşük renk kuvvetlerine sahip olup öncelikle gri renk kaplama yapımında kullanılırlar [24].

Her ne kadar tüm karbon siyahları ağırlıklı olarak temel karbon olmasına rağmen içerikleri, yüzeylerin kimyasal yapısına, hammaddeye ve imalatlarında kullanılan işleme bağlı olarak değişir. Yüzeyler genellikle oldukça polar ve bazı durumlarda asidik olup, farklı gözenekli yapıda olabilir. Geniş yüzey alanı, pigment partikülleri üzerinde yüksek reçine oranlarının adsorpsiyonuna yol açar ve yaygın olarak, hacimlerini büyük ölçüde artırır, dolayısıyla nispeten düşük pigment yükleme seviyelerinde yüksek viskozite sağlar [21,24].

Metalik ve Girişim Pigmentleri

En önemli metalik pigment, ince tanecikler yapmak için çelik bilyalı değirmenlerde öğütülerek üretilen alüminyum pigmentlerdir. Yaprak ve yaprak olmayan pigmentler olarak kaplamalarda 2 sınıfa ayrılırlar [24]. Yüzey geriliminin düşük olması için strearik asit gibi kimyasallar yaprak alüminyum pigmentlere uygulanır. Yüzeye yaprak alüminyum içeren bir kaplama uygulandığında düşük yüzey gerilimlerinin bir sonucu olarak pullar yüzeye yönlendirilir. Bu durum, parlak metalik bir görünüm verir ve filmdeki oksijen ve su buharının geçirgenliğine engel teşkil eder. Bariyer gelişimi sonucunda, çelik yapıların korozyona karşı korunması için üst katlarda yaprak alüminyum pigmentler kullanılır.

Yaprak olmayan alüminyum pigmentleri daha yüksek yüzey gerilimlerine sahip olup genellikle, otomobiller için metalik son kat kaplamalarda kullanılırlar. Şeffaf renkli pigmentler ve yaprak olmayan alüminyumdan yapılmış filmler, görüş açısı ile rengin ve gölgenin derinliğini değiştirir. Altın renkli alüminyum pullar, alüminyum pulların yüzeyine demir karbonilin buharla çökeltilmesi ve ardından ince bir demir oksit tabakası oluşturmak için oksidasyon ile yapılabilir [32]. Yaprak olmayan alüminyum pigmentler, aside karşı duyarlılığı en aza indirmek için yüzeye uygulanırlar. Su ile temas edebilir kaplamalarda kullanılan alüminyum pigmentleri, suyun alüminyum ile reaksiyonunu minimize etmek için belirli işlemlerden geçirilmesi gerekir [33]. Alüminyum pigmentler çözücüde üretilir ve toz patlaması gibi tehlikeleri minimize etmek için genellikle macun olarak satılırlar [34]. Alüminyum pigmentlere benzer olarak bronz, nikel ve paslanmaz çelik pigmentleri de mevcuttur, ancak daha düşük hacimlerde kullanılırlar. Bronz alaşımlı pullar altın renktedir; alaşım bileşimine bağlı olarak, yeşilimsi sarıdan altın kırmızısına kadar tonları mevcuttur. Genellikle, yüzey işleme tabi tutulur, bu nedenle yapraklanırlar. Sedefli pigmentler, ışığa dayanıklı pigment yüzeylerinin yansımalarını sağlayan, TiO_2 veya Fe_2O_3 'ün ince yüzey işleme katmanlarına sahip mika trombositleridir [35,36].

İnert Pigmentler

İnert pigment, boyanın gölgesini veya tonunu değiştirmeyen, ancak opaklık veya doku gibi renkten başka çeşitli fiziksel özellikler kazandıran, karıştırıldığı malzemeler ile kimyasal olarak reaksiyona girmeyen pigmentlerdir. İnert pigmentlerin, film içerisinde hacim sağlamak, sıvı kaplamaların ve parlaklığın reolojik özelliklerini ayarlamak,

filmlerin mekanik özelliklerini dengelemek gibi işlevleri vardır. En sık kullanılanlar tebeşir veya kalsiyum karbonat (CaCO_3) pigmentleridir. Bu pigmentler dış lateks boyalarda kullanılmamalıdır, çünkü filmde biriken, çözünmeyen kalsiyum karbonatın donmasına neden olabilirler. İnert pigmentler olarak çeşitli kil (alüminyum silikatlar), mika (alüminyum potasyum silikat) ve magnezyum silikat mineralleri de kullanılır. İnert pigmentler çoğunlukla inorganik minerallerdir, ancak toz haline getirilmiş polipropilen gibi organik malzemeler de inert pigmentler olarak kullanılabilir. Ayrıca, renklendirme kuvvetini veya boyaların gizlenme gücünü kontrol etmek için boyalara eklenirler [37,38].

Fonksiyonel Pigmentler

Fonksiyonel pigmentler, kaplamaların uygulama özelliklerini, görünümünü veya film özelliklerini değiştirmek için kullanılır. Örneğin, kompleks çinko kromat pigmentleri, stronsiyum kromat, baryum fosfosilikatlar, baryum borosilikatlar, kırmızı kurşun ve çinko fosfat, primerlerde çeliğin anodik alanların pasifleştirilmesiyle paslanmasını önlemek için kullanılır. Diğer pigmentlerin aksine, işlev görebilmeleri için suda biraz çözünür olmaları gerekir. Toksik tehlikelerden dolayı kromat ve kırmızı kurşun kullanımı hızla azalmaktadır. Fonksiyonel pigmentlerden, katodik etkisinden dolayı çinko metal elementi korozyona karşı koruma sağlar [24]. Donuk pigmentler ise, parlaklığı azaltmak için kullanılan bir fonksiyonel pigment türüdür. Düşük parlaklık genellikle film içindeki pigmentin yüksek hacim oranı ile formüle edilmesi sonucu elde edilir, ancak bu her zaman arzu edilen bir yaklaşım değildir. Örneğin, ahşap mobilya cilası için kullanımlarda ahşapın özelliklerinin gösterilmesi ve görsel olarak dokusunun kaybedilmemesi için filmin şeffaflığının mümkün olduğu kadar eksiksiz olması esastır. Kaplama filminden çözücü buharlaşırken, konveksiyon akımları ince parçacıkları yüzeye taşır, böylece kuru filmin yüzeyindeki pigmentasyon parlaklığı azalabilir. Yüzeye uygulanan silika işleminin, sıvı kaplamalarda şeffaflığı arttırdığı, pürüzsüz yüzeylerle mükemmel düzleşme sağladığı, ancak reoloji üzerinde çok az etkisi olduğu bilinmektedir [39].

Nano Pigmentler

Nano pigmentler çok küçük partikül boyutunda pigmentlerdir. Literatürde, ortalama partikül çapları 100 nm'den az olan pigmentleri ifade eden yayınlar olmakla beraber, yaygın olarak bu terim, 25 nm'nin altındaki çaplara uygulanır. Diğer pigmentlerin etkileri ile kıyaslandığında, nano pigmentlerin, özellikle nano dolgu maddelerinin kullanımı,

çizilmeye, aşınmaya, ısıya, radyasyona ve şişme direncine karşı etkiyi artırabilir, su geçirgenliğini azaltabilir [40]. Nano pigmentlerin partikül çaplarının çok küçük olması birçok avatajı da yanında getirirken bazı zorluklar içerebilir. Patikül boyutu özellikle 10 nm'nin altına düşürüldükçe, dispersiyon zor olabilir, ayrıca malzemelerin fiziksel özellikleri değişir ve bu durum çeşitli komplikasyonlara neden olur [41]. Uygulanacak alana göre doğru ve uygun yöntemler ile dispersiyon sağlanmalıdır. Örneğin; otomotiv metalik kaplamaları için nano renkli pigmentler, butil asetat içindeki renk pigmentlerinin süspansiyonlarının, öğütücüde çok küçük ve yüksek yoğunluklu toplar kullanılarak, ticari bir dispersiyon maddesi ile öğütülmesiyle hazırlanmaktadır [42].

1.1.1.3. Çözücüler (Solventler)

Çözücü, belirtilen kurutma koşulları altında uçucu olan ve film oluşturuca ajanları, kimyasal reaksiyona girmeden tamamen fiziksel olarak çözebilen bir veya daha fazla bileşen içeren sıvılardır. Kaplamanın karıştırılmasına, viskozitesine ve uygulanmasına yardımcı olacak formülasyon içindedirler. Uygulamadan sonra buharlaşıp kuru bir film bırakırlar. Hesaplama amacıyla, yoğunluklarının bilinmesi gerekir [5].

Çözücüler, düşük viskoziteli maddeler olarak, tüm kaplama hammaddeleri arasındaki istisnalardır. Kaplama malzemelerinin işlenmesi sırasında yalnızca yardım sağlamalarında özel bir görev üstlenirler. Bu görev, malzemenin kıvamını da etkileyen reaktif inceltici maddelerin ve plastikleştiricilerin aksine, olabildiğince çabuk bir şekilde ortamdaki uzaklaşmaktır. İdeal bir çözücü reçine içerisindeki bütün bileşenlerle homojen bir dağılım sergilemelidir. Çözeltiler, film oluşturuca kaplama reçineleriyle etkileşimine, çözücüyle olan uyumluluğuna ve dolayısıyla film oluşumu sırasında makromoleküler zincirlerin değişken sarılmasına bağlı olarak, film oluşturan moleküllerinin çeşitli konfigürasyonları ile sonuçlanabilir. Çatlama direncine ve darbe dayanımına etki eden bu durum, filmin mekanik kuvvetindeki değişiklikler ile ilişkilidir. Bu nedenle, özel kaplama sistemi için çözücülerin seçimi, sadece uygulama yöntemi açısından değil, aynı zamanda mekanik ve teknolojik nedenlerle de sınırlıdır. Bununla birlikte, çözücülerin film oluşturma işlemi ve dolayısıyla kaplamanın özellikleri üzerindeki etkisi bulunmaktadır. Çözücüler boyanın geçici bileşenleri olmasına rağmen, boyanın yüzey özelliklerini, dış görünüşünü ve dayanıklılığını etkilemektedir. Ayrıca, çözücüler tarafından viskozitenin düşürülmesi, daha iyi işlenebilirlik, yani daha iyi püskürtülebilirlik ve kaplanabilirlik

sağlamaktadır. Çözücü bileşimi, süreç boyunca reolojik özellikleri mümkün kılmalı, sızıntı olmadan iyi akış elde edilebilecek şekilde modifiye edilmeli, kurutma ve sertleştirme fazları dahil kabarcıklar ve kraterler olmadan tamamlanmalı, iyi püskürtme sağlanmalı ve aynı zamanda metalik veya sedefli efekt kaplamaları ile optimum bir etki oluşumu elde etmelidir. Çözücü maddenin yüzey üzerindeki etkisi unutulmamalıdır. Örneğin, plastiklerde, substratların şişebilme özelliği nedeniyle, çözücü deşarjı ve bağlanması sırasında görsel olarak bozulması dikkate alınmalıdır. Reçine molekülleri ile etkileşimi ve ilgili buharlaşma hızını koordine etme ihtiyacı nedeniyle, bu çözeltiler sıklıkla kullanılır ve sürekli değişen koşullar altında optimum özelliklerini korumayı garanti etmelidir. Herhangi bir kaplamanın son kullanımı için uygun çözücünün seçilmesinde göz önünde bulundurulması gereken maliyet ve buharlaşma oranı olarak iki performans gereksinimi vardır [4]. Bu temel özellikler uygulama sırasındaki ilk boya viskozitesini, çeşitli kurutma aşamalarında kaplama viskozitesini ve son kaplama görünümünü kontrol eder. Çözücüler, çok fazla artırırsa yüzeyde sarkmalar oluşacaktır, bu sebeple çözücülerin ilk uygulama aşamasında kolaylıkla buharlaşması, daha sonraki zamanlarda buharlaşma hızının yavaşlaması daha iyi sonuçlar doğuracaktır. Son yıllarda, organik çözücüler yerine suyun işlevsel olarak güvenli bir alternatifi ya da toz kaplamalarda olduğu gibi bunların tamamen dağıtılması için önemli çabalar sarf edilmiştir. Çözücüler ayrıca kaplamaların imalatı ve işlenmesinde yer alan kişiler için sağlıklarını tehdit eden tehlikeli kimyasallardır. İş sağlığı ve güvenliği açısından değerlendirildiğinde, son yıllarda çok sayıda toksikolojik çalışma yapılmış ve çözücü maddelerin kullanım tehlikeleri hakkında kapsamlı bilgi sağlamıştır. Kaplamalarda kullanılan çözücülerin doğru sınıflandırılması, etiketlenmesi ve uygun kullanımı kişilerin gördüğü zararı minimize edebilmektedir [10].

Kaplama endüstrisinde kullanılan birçok farklı çözücü vardır. İnceleme ve karşılaştırmalarını kolaylaştırmak için, kimyasal olarak üç genel kategori ile sınıflandırmak mümkündür: Hidrokarbon çözücüler, oksijenli çözücüler ve diğer çözücüler. Solventler ayrıca yaptıkları işleve göre de aktif, gizli ve seyreltici olarak sınıflandırılabilir. Aktif çözücüler, reçine içerisinde önemli rol oynarken, gizli çözücüler tek başına çözünürlük sağlayamazlar, gizli çözücülerin de aktif çözücülerden yardım alması gerekir. Seyreltici çözücü genellikle reçine için çözünabilirliğe sahip değildir,

ancak karışımlarda buna göre tolere edilir. Seyreltme maliyetini ve viskoziteyi düşürmek için seyrelticiler eklenir [4].

Hidrokarbon çözücüler

Hidrojen ve karbon atomlarından oluşan moleküllerden oluşan organik bileşiklerdir. Hidrokarbon çözücülerin bir kısmı bitkisel kaynaklı olmasına rağmen büyük çoğunluğu petrolden elde edilir. Bu nedenle, hidrokarbon çözücüler doğal ürünler olarak kabul edilebilir. Hidrokarbonların çözünürlüğü, oksijenli ve diğer çözücülere kıyasla nispeten zayıftır. Doğal kökenli olan bu ürünler, doğal reçineler ve kurutma yağları, vernikler, alkidler, asfalt, reçine ve petrol reçineleri gibi doğal olarak modifiye edilmiş reçineler için iyi çözücülerdir. Viniller, epoksiler, üretanlar, akrilikler ve nitroselüloz gibi sentetik reçineler ise genellikle çözücü karışımlarında düşük maliyetli seyrelticiler olarak kullanılan hidrokarbon çözücülerdir, diğer ayırt edici özellikleri, düşük özgül ağırlıkları ve su ile karışmıyor olmalarıdır. Hidrokarbon çözücüler ayrıca dört alt kategoride sınıflandırılabilir: alifatikler, aromatikler, naftenler ve terpenler [4].

Alifatik Hidrokarbonlar: Çoğu alifatik hidrokarbon çözücüler, uygun kaynama aralığında ham yağın damıtılması ve ardından koku ve renk stabilitesinin artırılması için uygulanan işlemlerden geçirilerek ile üretilir [43]. Alifatik hidrokarbonların kokusu az, maliyeti ve özgül ağırlığı düşüktür.

Aromatik Hidrokarbonlar: Kaplama endüstrisi tarafından yaygın olarak kullanılan toluen, karışık ksilenler ve iki tip yüksek parlama noktası olan aromatik nafta olmak üzere dört aromatik çözücü vardır. Bu dört aromatik çözücünün buharlaşma oranları hızlıdan çok yavaş doğru değişmektedir. Aromatik solventlerin, hidrokarbon solventlerine göre ayırt edici özellikleri, daha güçlü çözünme ve koku, yüksek özgül ağırlık ve daha yüksek maliyetleridir [43]. Toluen ve ksilenler en çok kullanılan aromatik hidrokarbonlardır, toluen sprey boyalarda, aerosellerde ya da vernik inceltici olarak sıklıkla kullanılırken, ksilen orto-, meta- ve para-ksilen, artı etilbenzen olmak üzere üç izomerin bir karışımıdır. Ksilenler de genel olarak boya çözücü ve inceltici olarak kullanılmaktadır [44]. Yüksek parlama noktası olan aromatik naftalar 2 tip olup, kaplama endüstrisi tarafından en sık kullanılan aromatiklerdir [45].

Naftenik Hidrokarbonlar: Naftenler maliyeti, koku ve özgül ağırlıkları bakımından, alifatikler ve aromatikler arasında orta düzeydedir. Saf naftenik hidrokarbon çözücüler

günümüzde çok sınırlı ticari kullanılabilirliğe sahiptir. Saf bir naftenik hidrokarbon olan sikloheksan, naylon fiber ve mühendislik reçinelerinin, plastikleştiricilerin, poliüretan, polyester ve epoksi reçinelerinin imalatında bir çözücü olarak değil, kimyasal ara madde olarak kullanılır [44].

Terpen Hidrokarbonlar: Terpen çözücüler, çam ağaçlarından elde edilir ve daha az oranda narenciye endüstrisinin bir yan ürünü olarak elde edilen terpen hidrokarbonlar en eski çözücülerdendir [43,46]. Bu gruptaki ana çözücüler terebentin, dipenten (limonen) ve çam yağıdır. Terpen çözücülerin çözünürlükleri alifatik hidrokarbonlarınkinden daha büyük olmasına rağmen, çok daha kısıtlı bir çözünme ve buharlaşma oranına ve daha güçlü bir kokuya sahiptir [44].

Oksijenli çözücüler

İçeriğinde oksijen içeren, hidrokarbon çözücülerden farklı olarak, sentetik olarak üretilen, maliyeti biraz daha yüksek olan çözücülerdir. Saf ve tek bileşenli yapıları olan bu çözücülerin çoğu aktif reçine çözelliği göstermektedir.

Güçlü çözülebilirlikleri, daha geniş bir aralıkta gösterdiği uçuculuk özelliği ile birlikte, kaplama endüstrisi için son derece önemli bir solvent grubu haline getirmektedir [4].

Ketonlar: Keskin kokusu olan ketonlar, çok yönlü bir çözücü grubudur. Bu çok yönlü çözücü sınıfı, çok hızlı buharlaşan aseton dan yavaş buharlaşan izoforona kadar, güçlü bir çözünürlük ve geniş çaplı buharlaşma oranlarına sahiptir. Yüksek saflıklarından dolayı dar damıtma aralıklarına sahiptirler. Aseton tamamen suyla karışabilirken, diğer ketonlar suda farklı derecelerde çözünürlüğe sahiptir [4].

Esterler: Alkil ester, propiyonet, glikol ester gibi türleri olan esterler, benzer uçuculuğa sahip ketonlardan genellikle biraz daha zayıf olmasına rağmen, güçlü çözülebilirliğe sahiptir [4].

Glikol Eterler: Glikol eterleri, hem eter hem de alkol fonksiyonelliğine sahip eter alkollerdir. Bazı etilen glikol eterleri ile ilişkili sağlık tehlikesi endişeleri oluşmuşmasından dolayı, birçok uygulamada propilen oksitten türetilen propilen glikol eterleri ile ikame edilmektedirler [4]. Glikol eterleri, Güçlü çözülme, yavaş buharlaşma hızı, suyun tamamen karışabilirliği, yüksek parlama noktası ve hafif koku gibi birçok

olumlu özelliklerin birleşimine sahiptir. Genellikle cilalarda ve cila incelticilerde küçük yüzdelerde, geciktirici çözücüler olarak kullanılırlar.

Alkoller: Alkoller kimyasal olarak, tek bir hidroksil grubuna (-OH) sahip organik bileşikler olarak tanımlanır. Suda çözünme özelliği olan alkoller ayrıca fiziksel olarak yumuşak, hoş kokulara sahip olmaları ile de karakterize edilir. Etanol, poli (vinil asetat), poli (vinil butirat), bazı fenolikler ve doğal reçineler dışında alkoller kendi başlarına çoğu polimer için çok zayıf çözücüdür veya çözücü değildir. En hızlı buharlaşan alkollerden olan metanol, nitroselüloz için çözücü özelliği olan tek alkoldür. Ahşap alkolü olarak da bilinen metanolün çözücü olarak kullanımı toksik özelliğinden dolayı azalmıştır. Butil alkoller (bütanoller), normal, ikincil, izolat ve üçüncül olan dört izomer arasında uçuculuk ve çözülebilirlik bakımından farklılık gösterir [4].

Diğer Oksijenli Çözücüler: Özel oksijenli çözücüler arasında furan çözücüler ve organik karbonatlar bulunur. Ticari açıdan furan çözücüler arasında furfuril alkol, tetrahidrofuran ve tetrahidrofurfuril alkol bulunur. Bu çözücüler halkalı eter yapısına sahiptir ve özellikle viniller olmak üzere bazı sentetik reçineler için son derece güçlü çözülme ile farklılık sağlarlar [4].

Klorlanmış Hidrokarbonlar: Klorlu solventler, moleküllerde klorin atomları içerir. Bu durum, onlara yanmazlığın benzersiz özelliklerini verir, yani çoğunun parlama noktası yoktur ve çok yüksek özgül ağırlıkları vardır. Metilen klorür, birçok boya sökücünün aktif maddesidir. Sertleşmiş boya filmlerini yumuşatmak ve şişirmek için güçlü bir çözünebilme özelliğine sahiptir ve çok hızlı buharlaşma hızına sahiptir. Trikloretilen, metal yüzeylerde buhar ile yağ giderme işlemlerinde yaygın olarak kullanılır [4].

Nitratlı Hidrokarbon: Ticari olarak temin edilebilen dört nitro parafin çözücü vardır: nitrometan, nitroetan, 1-nitropropan ve 2-nitropropan (2NP). Bunlardan 2NP, kaplama endüstrisi için en çok ilgi çeken çözücüdür [4].

Süperkritik Karbondioksit: Süperkritik sıcaklık ve basınç koşullarındaki bazı gazların çözücü olarak davranabileceği uzun zamandır bilinmektedir. Karbondioksit düşük toksisiteye sahiptir, yanıcı değildir, ucuzdur ve hali hazırda kolaylıkla temin edilebilir. Süperkritik karbon dioksit çoğu kaplama formülasyonunda yüksek çözünürlüğe sahiptir ve polimer çözeltileri için iyi bir viskozite düşürücüdür. Püskürtme işleminde, havasız püskürtme işleminin birçok kusurunu giderebilecek ve böylece yüksek kaliteli kaplamalar

elde edebilen kuvvetli atomizasyon üreten, oldukça uçucu bir çözücü olarak işlev görür [47].

1.1.1.4. Boya içeriğinde kullanılan katkı maddeleri

Katkı maddeleri kaplamanın bazı özelliklerini değiştirmek için küçük (<% 5) miktarlarda ilave edilen içeriklerdir [5]. Çok az miktara eklenmesine rağmen, bunlar kaplama imalatını, işlenmesini, film oluşumunu ve sonuç olarak filmin kendisinin optik, mekanik ve teknolojik özelliklerini etkilerler. Ayrıca, film direncini geliştirebilir ve böylece yaşlanma sürecini geciktirebilirler. Katkı maddeleri çoğu zaman çok işlevlidir ve bu nedenle boyaların ve bitmiş kaplamaların aynı anda birçok özelliğini etkiler. Pigment dispersiyon işlemi için kullanılan ıslatma maddesi ve yardımcı malzemeler, yüzey aktif madde ya da köpük giderici gibi aynen kullanılan ya da modifiye edilmiş formda da bulunabilen maddelerdir. Silikon yağları da kaplama maddesinin akış özelliklerini ve pigmentlerin hareketlerini etkiler, kaplanmış yüzeylerin akışkanlığını azaltır ve dolaylı olarak çizilme direncini artırır. Eş zamanlı olarak alt tabaka ıslanmasını optimize eder ve yüzey gerilimini azaltarak kaplamaları su geçirmez hale getirir [10]. Katkı maddelerinin kullanımı bazı durumlarda olumlu sonuçlar verebildiği gibi çok fazla ve sıklıkla kullanılması istenmeyen etkilere sebebiyet verebilir.

Plastikleştiriciler

Plastikleştiricilerin substrat kaplamalara iyi yapışmanın yanı sıra aynı zamanda yüksek seviyede sertlik ve iyi esnekliğe sahip olması beklenir. Birçok film oluşturuucu madde bu gereklilikleri karşılamamaktadır, çünkü zincir hareketleri moleküler etkileşimle, yani güçlü Van-der Waals kuvvetleriyle sınırlandırılmıştır. Bu nedenle, plastikleştiricinin görevi, bu tür köprü bağlarının oluşumunu azaltmak veya tamamen engellemektir. Bu durum diğer taraftan da elastikleştirici bölümlerin ya da monomerlerin dahil edilmesiyle sağlanabilir. Reçinelerin imalatı sırasında elastikiyeti önceden etkileyen sisteme iç plastikleştirme denir. Elastikleştirilmiş reçinelerin iç plastikleştirilmesi, düşük işlenebilirlik veya iyi olmayan film özelliklerinden dolayı kullanılamıyorsa, sert reçinelerin ikincil elastikleştirilmesi yapılmalıdır. Bunun için sert film oluşturuucu ajan, alifatik polyesterler gibi yüksek elastik reçinelerle seyreltilir veya ftalik ester gibi klasik plastikleştiriciler moleküller arası etkileşimleri durdurmak için ilave edilir. Alifatik polyesterler uçucu değildir ve oligomerik çözücüler olarak az çok işlev görürler. Kolayca

uzaklaşmadıkları için uzun vadeli etkilerin avantajını sunarlar. Bununla birlikte, bu tür plastikleştirici reçineler veya yumuşak reçineler fazla eklenirse, kaplamaya yapışkan bir yüzey kazandırır. Tüm plastikleştirici reçineler sızıntılara ve uçuculuğa karşı iyi bir dirence sahiptir ve kaplamalarda benzine, yağlara, greslere ve sabunlara karşı dirençlerinin bir miktar azalmasına neden olur. UV ışığına dayanıklıdır ve fizyolojik olarak güvenli kabul edilirler [10].

Korozyon önleyici inhibitörler

Her çeşit su bazlı boya, lake tenekte kaplarda paketlenmiş olsalar bile, özellikle iç dikişlerinde ve taşıma kulplarında korozyona neden olma eğilimindedir. Genellikle yaklaşık %1 seviyelerde birlikte kullanılan sodyum nitrit ve sodyum benzoat, arabalarda da antifriz özelliğinden dolayı kullanılan inhibitörlerdir. Ancak, bu tür tuzları kullanmanın olası bir dezavantajı da boya filminin suya duyarlılığı üzerindeki olumsuz etkileridir [14].

Köpük önleyiciler

İncelticisi su olan lateks boyaları, yüzey aktif maddeler ve kolloidler ile stabilize edilir, bu da maalesef üretim sırasında veya uygulama sırasında verilen havayı dengerken stabil bir köpük oluşturur. Bunun yanı sıra, su bazlı olmayan boyalar da köpürme gösterebilir. Köpük önleyiciler her hangi bir boya sınıfına uygun olarak spesifik üretilmiş de olabilir, genel kullanım için de uygun olabilir. Bazı durumlarda üretimin ilk safhasında ve son safhasında olmak üzere iki köpük önleyici kullanılabilir. Genellikle köpük önleyici maddeler köpük yüzeyinde gerçekten çözünür olmamakla birlikte yüksek yüzey etkinliğine ve iyi akışkanlığa sahiptir. Köpük baloncuğu etrafındaki yüzey gerilim enerjisini düşürerek baloncuğun büyümesini sağlar ve stabilizasyonlarını azaltırlar, sonrasında ise kırılmalarını sağlarlar. En basit haliyle, bu katkı maddeleri, çam yağı, dibütil fosfat veya kısa zincirli (C₆- C₁₀) alkollerin çözeltileri olabilir [14].

Çökelme önleyiciler

Boya pigmentinin kurutulmasını geciktirmek ve depolama sırasında katılaşmasını geciktirmek amacıyla, ya da metalik yüzey uygulamalarından sonra kullanılan kimyasal bileşiklerdir. Solvent bazlı bir boya depolandığında pigment çökmesinin önlenmesi gerekmektedir. Ancak iyi dispersiyon parlaklığa ve opaklığa yardımcı olmasının yanı sıra çökelmeyi önlemek için elverişli olmamakla beraber, boyanın içeriğinin dağılımı ve

parlaklığı arasında iyi bir denge oluşturmak gerekmektedir. Örneğin, çökelme önleyici olarak, alüminyum stearat kullanılmaktadır, ancak işletme ölçeğinde bu durum zorlayıcı olduğu için stearat kaplanmış kalsiyum karbonat daha kullanışlı olmaktadır. Çökelmeyi önlemek için kullanılan bir başka aile, modifiye edilmiş hidrojene hint yağıdır [14].

20 °C’de vizkos ve sarı renkte olan hint yağı, poliüretan boyaların sentezlenmesinde farklı bir uygulamaya gerek duymadan doğrudan kullanılmaktadır. İçerisindeki OH grupları vasıtasıyla boya bağlayıcılarla hidrojen bağı kurar ve boyaya tiksotropik bir yapı sağlarlar. Düşük maliyetli olması ve toksik özelliklerinin bulunmaması hint yağının avantajlarından biridir.

Kabuklaşmayı önleyiciler

Oksidatif hava ile kurutma boyalarında yüzey dengesi ve kuruma özelliği açısından oldukça önemlidir. Ne yazık ki, depolanan boyanın yüzeyinde bir kabuk oluşumuna da neden olabilirler. Bu durumu engellemek için genellikle, %1-2 çam yağı ya da dipenten, daha dirençli yüzeyler için ise gayakol (% 0,1'den az) gibi fenolik antioksidanlar kullanılmaktadır. Bunun yanı sıra, kullanımı daha kolay olan oksim gruplarından, butilaldoksim ve özellikle metil etil ketoksim, boya üzerinde yaklaşık %0,2 oranında yaygın olarak kullanılarak kurutma ya da başka kaynaklı oluşan kabuklaşmayı önlemektedir. Uçucu olmaları nedeniyle yüzeyden hızlıca uzaklaşabilseler bir kez açılmış olan bir kabın yeniden kapatılıp depolanmasına izin vermediği için dezavantaj olarak da değerlendirilebilir [14].

Nem alıcı katkı maddeleri

Bazı boyaların, depolama koşullarından dolayı nem seviyesinin düşük tutulması gerekmektedir. Bu katkı maddeleri, boya içerisinde bulunan su buharı ve farklı gazların boyanın yapısına zarar vermesini önlemektedir [14].

Dispersiyon yardımcıları

Optimum boya üretmek için ilk koşullardan biri pigmentlerin homojen dağılmasıdır ve mümkün olduğu koşullarda, bunun katkı maddelerine başvurmadan yapılması gereklidir, ancak bazı bağlayıcılar zayıf ıslatıcılardır ve bazı pigmentlerin ıslanması zordur. Homojen dağılımın sağlanması çok zaman alacaksa, zayıf gizlenme ya da düşük renk varsa dispersiyon yardımcıları gerekli olabilir. Dispersant seçimi birçok özelliğe bağlı

olmakla beraber genellikle formülasyondaki bağlayıcılara, pigmentlere ve solventlere özgüdür [14].

Kurutucular

Kurutucuların kullanımı temelde bir katkı maddesi olarak görülmesi de boya formülasyonunun bir parçasıdır. Bazı metal organik bileşiklerin varlığı ile kurutma işlemi büyük oranda hızlanmaktadır. Katalitik aktivite, metal katyonun kararlı düşük değerlikten daha az kararlı yüksek değerliğe kolayca oksitlenebilme kabiliyetine bağlıdır [14]. Bunlardan:

Kobalt, bugüne kadarki en güçlü kurutucudur. Tek başına kullanıldığında, belirgin bir yüzeyin kuru kalmasını sağlar, kalın filmlerde yüzey pürüzlülüğüne neden olan alt filmi hareketli bırakır.

Kurşun, kurumaya yardımcı olduğu için, geleneksel olarak en yaygın kullanılan metallerden olmasına rağmen, toksik özelliğinden dolayı kullanımı kısıtlanmıştır.

Manganez, renginden dolayı sınırlandırılan manganezin kurutucu olarak fazla miktarlar eklenmesinin bir faydası yoktur.

Demir, daha ziyade zayıf renkte eski bir kurutucudur. Koyu renklerde ucuz fırınlama emayelerinde kullanılmıştır.

Çinko, kurutuculara çinko oksit pigmenti olarak eklenir.

Kalsiyum, birinci sınıf bir kurutucu değildir, bu yüzden kendi başına kullanıldığında çok az etki görülebilir. Kurşun ya da kobalt kurutucu sistemine yardımcı bir kurutucu olarak eklenerek, kurşunun depoya çökmesini önlemeye yardımcı olur.

Seryum, kurşun yerine kullanılmasına rağmen, filmin belirgin sararmasına neden olduğu için kullanımı çok tercih edilmemektedir.

Vanadyum, seryum gibi filmde renk değişikliğine sebebiyet verdiği için kullanımı yaygın değildir.

Baryum, kalsiyum gibi bir yardımcı kurutucudur.

Alüminyum, kurşunsuz üretilen boyanın yerine kullanılan, toksik olmayan, iyi kurutucu ve kuvvetli filmler için faydalıdır.

Elektriksel özelliği düzenleyen katkı maddeleri

Boyalarda iletkenliğı düzenlemek için hidrokarbon çözücülere antistatik katkı maddeleri eklenmesi, elektrostatik birikimden dolayı oluşabilecek kıvılcımı ve yangın riskini önler. Ayrıca bu maddeler, elektrostatik sprey çalışmasında, polar olmayan solvent bazlı boyaların elektrik direncini düşürmek için kullanılır [14].

Ambalaj ve film içi koruyucular

Lateks ve diğer su bazlı boyalar özellikle mikroorganizmalar tarafından bozulmaya meyillidir. Üretim ünitesindeki temizlik, meydana gelebilecek önemli enfeksiyonları önlemek için oldukça önemlidir, ancak kolloidlerin bozulmasını önlemek için koruyuculara ihtiyaç duyulmaktadır. Bakteri, mantar, küf gibi mikroorganizmaları kontrol eden ya da öldüren biyositler ambalaj içi koruyucu madde olarak boya içerisine katılırlar [14].

Böcek öldürücü katkı maddeleri

Boya ve kaplama endüstrisinde bazı durumlarda böcek ve haşere sorunlara karşı uygun mikrobisitler uygun ortamlarda ve uygun koşullarda kullanılmaktadır. Genel olarak, kutu içi ve kuru film için kullanılan 2 çeşit mikrobisit vardır. Bir mikrobisitin hedef alacağı organizma gruplarını bilmek, kullanılacak kimyasal maddenin seçiminde çok önemlidir [4].

Optik beyazlatıcılar

Polimeri daha beyaz ve parlak göstermek için kullanılan optik beyazlatıcılar, kağıt ve deterjan endüstrilerinde de yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak, kısa ömürlü etkinlikleri ve ortaya çıkan maliyetleri nedeniyle yüzey kaplama endüstrisinde çok fazla tercih edilmemektedirler [14].

Koku Maddesi

Lateks boyaların hafif kokusu çoğu insan için kabul edilebilir ve daha az rahatsız edicidir, ancak solvent içerikli boyalarda bu koku daha dikkat çekicidir. Ortaya çıkan koku öncelikle kullanılan çözücülerin buharlaşmasından kaynaklanır, ancak oksidatif boyalarda kurutma reaksiyonlarından kaynaklanan ikincil ve daha kalıcı bir koku oluşur. Daha az kokusu olan çözeltilerin tercih edilmesi ya da endüstriyel parfümlerle kokunun maskelenmesi için koku katkı maddeleri tercih edilebilmektedir [14].

Ultraviyole Emiciler

Radyasyonun ve özellikle ultraviyole ışınların etkisiyle birçok boya pigmentinin rengi zamanla solmaktadır. Yüzeye uygulanan vernik boyayı ultraviyole ışınlarla karşı korusa da pigmentsiz vernik filmler çabuk bozulmaktadır. Yapılan çalışmalar, UV emicilerin (yaklaşık% 1) istenmeyen kısa dalga boylarını ısı enerjisine dönüştürerek koruyucu verniğin performansını arttırdığını göstermiştir [14].

1.1.2. Işığın saçılması

Işığın yansımısını etkileyen en önemli faktörlerden biri yüzeyin düzgünlüğü olup, yüzeyin pürüzlü olması gelen ışığın saçılmasını da tetikleyecektir. Yüksek parlaklık pürüzsüz bir yüzey gerektirir. Kaplanmış yüzeyde pürüzsüzlük; çatlak, kırışıklık, delik veya çıkıntı olmadan uygun bir şekilde kurumasını sağlayan işlemler kullanılarak elde edilebilir. Yüksek pigmentli boyalar genellikle düşük parlaklığa sahiptir, çünkü pigment partikülleri yüzey boyunca uzanır ve pürüzsüzlüğü azaltır [19].

Bir boyanın bir yüzeyi kaplama ve maskeleyme kabiliyetine gizleme gücü denir. Çoğu boyada bağlayıcı bileşen saydam olduğu için, yüzeyin gizlenmesi işi öncelikle pigmente düşer. Pigmentlerin gizleme gücüne olan katkısı, boya filmine giren ışığı yansıtması, kırması veya soğurabilmesi özellikleri ile üç şekilde olur [5,48]. Pigmentlerin renk özellikleri genellikle parçacık büyüklüğü ve parçacık büyüklüğü dağılımından etkilenir; bu durum yüzeydeki pürüzlülüğü ve dolayısıyla ışığın saçılımını da etkilemektedir [49]. Genel olarak, bütün pigmentli sistemlerin mukavemet, şeffaflık, parlaklık, reoloji ve ışığa dayanıklılık gibi renk özellikleri, pigment parçacıklarının dispersiyon içindeki büyüklüğü ve dağılımı ile etkilenir. Örneğin, ftalosiyanın mavisi öncelikle ticari olarak, 25µm parçacık boyutuna getirilir ancak partikül boyutu çok büyüktür. Dolayısıyla, ham hali ile çok az renk değerine sahiptir ve bu nedenle renk özelliklerini geliştirmek için daha küçük, daha ince parçacıklara indirgenmesi gerekir. Parçacık büyüklüğünün azaltılmasından sonra (0,03-0,15 µm), yüksek derecede bir dayanım gücü, şeffaflık ve parlaklık sergileyen mükemmel bir pigment elde edilir [50]. Tanecik boyutuna bağlı olarak, 1 µm'den küçük tanecik boyutlarına sahip olanlar ince taneli pigmentler, boyutları 1 ila 10 µm arasında olanlar orta taneli ve 10 µm'den büyük ebatlara sahip olan pigmentler kaba tanecik yapılı olarak adlandırılır [51]. Organik ve inorganik pigmentler arasında da tanecik büyüklüğü açısından farklılıklar bulunmakta olup, 0,01-0,1 µm ebatlarında olan organik

pigmentlerin tanecik büyüklüğü, inorganik pigmentlerinkinden 10 kat kadar daha küçüktür [10].

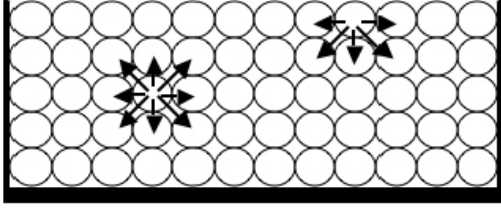
Bir foton pigmentli bir filme girdiğinde, üç olaydan biri oluşabilir:

1. Bir pigment parçacığı tarafından absorbe edilebilir.
2. Bir pigment parçacığı tarafından saçılmış olabilir.
3. Filmden basitçe geçebilir.

Işığın saçılması ve Emilimi pigmentlerin önemli optik özelliklerindendir. Saçılma ile karşılaştırıldığında absorpsiyon çok küçükse, pigment beyaz bir pigmenttir. Eğer absorpsiyon tüm görünür bölgeye saçılardan çok daha yüksekse, pigment siyah pigmenttir. Renkli bir pigmentte, emme (ve genellikle saçılma) seçicidir [52]. Pigment renklerinin yapısal özelliklerinden dolayı öğütme dereceleri değişiklik göstermekte ve bu sebeple tanecik boyutları da farklılık göstermektedir. Bu durum da farklı renk pigmentleri ile hazırlanan boyalar ile kaplanan yüzeylerin pürüzlülüğünde, yüzey gerilim enerjisinde ve dolayısıyla gelen ışığın saçılma oranlarında farklılık gösterecektir.

1.2. Yüzey Gerilimi

Sıvıların içerisindeki moleküller komşu moleküllerle çevrelendiği için her yönden eşit kuvvetle ekilenirler ve vektörel toplamaları sıfır olur. Yüzeydeki moleküller ise tek kuvvet alanının etkisi altında oldukları için sıvının içine doğru çekilirler, böylelikle kohezyon etkileşmelerinin bir kısmını kaybetmiş olurlar, bu sebepten dolayı sıvılar en küçük yüzey alanına sahip olmak isterler. Moleküller Şekil 1.4'te gösterildiği gibi içe doğru bir kuvvete maruz kalır. Bu çekilmenin bir sonucu olarak, sıvı yüzeyinde gerilme olur, bu şekilde yüzey boyunca her yönde ve her noktada eşit olarak etkiyen kuvvet (gerilme) yüzey gerilimi olarak bilinir. Bu durum “Yüzey Gerilim Enerjisi” veya “Yüzey Serbest Enerjisi” (SFE) olarak adlandırılan enerji ile sonuçlanır. SFE, bir maddenin alanını birim miktarında artırmak için gereken çalışma olarak tanımlanır ve mN/m , mJ / m^2 , dynes/cm veya γ/Nm^{-1} birimlerine sahiptir [53].



Şekil 1.4 Sıvı moleküllerin aralarındaki etkileşimli kuvvetler [54]

Sıvılarda olduğu gibi katı yüzeylerde de molekül üzerine etkiyen kuvvetler denkleşmemiş olduğu için yüzey gerilim enerjisi meydana gelir. Sıvılarda yüzey gerilim enerjisi her noktada aynıdır, fakat katı yüzeylerde yüzey gerilim enerjisi her noktada eşit değildir. Katıların yüzey gerilim enerjilerini bilmek, özellikle otomotiv veya havacılık endüstrisi gibi hayati alanlarda polimerik yapı içeren kompozit malzemelerin üretimi için çok önemlidir [55]. Aynı zamanda, katıların çeşitli sıvılar ile ıslanabilirliği, koruyucu kaplamalar yapma, cilalama, yapıştırma ve baskılama gibi birçok endüstriyel işlem için büyük bir öneme sahiptir. Islanabilirlik ve SFE dahil olmak üzere çeşitli malzemelerin yüzey özellikleri üzerine yapılan araştırmalar uzun yıllardır bilimsel araştırmalara konu olmaktadır. Islanabilirlik ve SFE, özellikle fizik, kimya, malzeme mühendisliği ve biyoloji olmak üzere çeşitli alanlarında büyük ilgi görmektedir [56,57]. PU yapılar, çok çeşitli moleküler ağırlıklarından dolayı farklı katı formlarda bulunabilen çok yönlü bir polimerik malzemedir. Endüstride PU malzemeler, katı ve esnek köpükler, yapıştırıcılar, kaplamalar ve kalıplar olarak kullanılır [58,59]. PU kaplamalar ve kalıplar, organik izosiyanatların, yüksek moleküler ağırlıklı poliollerin ve düşük moleküler ağırlıklı zincir uzatma maddelerinin reaksiyonuyla oluşturulur ve genellikle elastomerlerdir [60]. Polimerik yalıtkanların yüzey özellikleri kullanım ömürleri ile ilgili önemli bilgiler sağlamaktadır. Yüzey özelliklerini belirlemede kullanılan yöntemlerden biri de yüzeyin su tutma (hidrofob), su emme (hidrofil) gibi özelliklerinin belirlenmesidir. Polimerik yalıtkanların hidrofob ya da hidrofil olduğunun belirlenmesi temas açısı ölçümü ile mümkün olmaktadır [61,62].

1.2.1. Yüzey gerilimi ölçüm yöntemleri

Yüzey gerilim enerjisini ölçmek için kullanılan yöntemlerden başlıcaları:

1.2.1.1.Kapiler yükselme yöntemi

Bu yöntem, yüzey gerilimi tayini için kullanılan en eski yöntemdir. Sıvı/gaz ara yüzündeki yüzey gerilimi, sıvının genellikle cam malzemeden yapılmış kılcal olan ince bir tüpe doğru hareket etmesi ile ölçülür. Bu amaçla, ince kılcal tüp test edilen sıvıya batırılır. Sıvının kılcal duvarlarla (yapışma) etkileşim kuvvetleri, sıvı moleküller arasındakilerden daha güçlü ise, sıvı duvarları ıslatır ve kılcal içinde belirli bir seviyeye yükselir [63].

1.2.1.2.Damla ağırlığı yöntemi

Stalagmetrik yöntem de denilen damla ağırlığı yöntemi, yüzey gerilimi tayini için kullanılan en yaygın yöntemlerden biridir. Bu yöntemde, yarıçapı bilinen bir pipet kullanılır. Sıvının yüzey geriliminin hesaplanması, pipet ucundaki damlanın kendi ağırlığından dolayı kopması esasına dayanmaktadır [64].

1.2.1.3.Wilhelmy plaka veya halka yöntemi

Ludwig Wilhelmy tarafından geliştirilen bu yöntemde, hava-sıvı ya da sıvı-sıvı ara birimlerinde denge yüzeyini ya da ara yüzey gerilimini ölçmek için (genellikle platin ya da camdan yapılmış) ince bir levha kullanılır. Bu yöntem, elyaflar ve düşük viskoziteli sıvılar arasındaki temas açılarının ölçülmesi için çok hassastır [65].

1.2.1.4.Asılı damla yöntemi

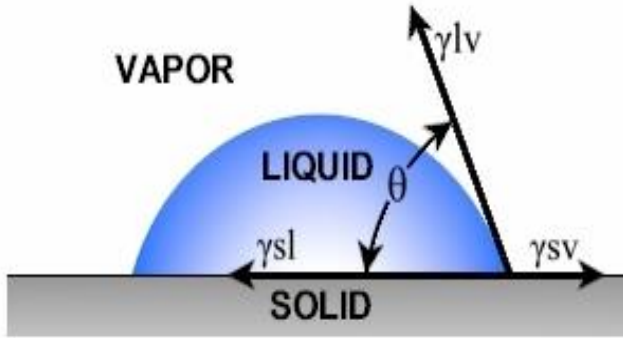
Bu yöntemde sıvı maddenin asılı halde kalmış damlası fotoğraflanır ve grafik kağıdı yardımı ile ara yüzey gerilimi hesaplanır [66,67].

1.2.1.5.Halka koparma (du noüy tansiyometresi) yöntemi

Tansiyometre, sıvı yüzeyinden temiz bir platin halkayı çekmek için gerekli olan kuvveti ölçer. Ayrıca stalagmetre ile ölçülemeyen, iki sıvı arasındaki ara yüzey geriliminin ölçümünde de kullanılır [65].

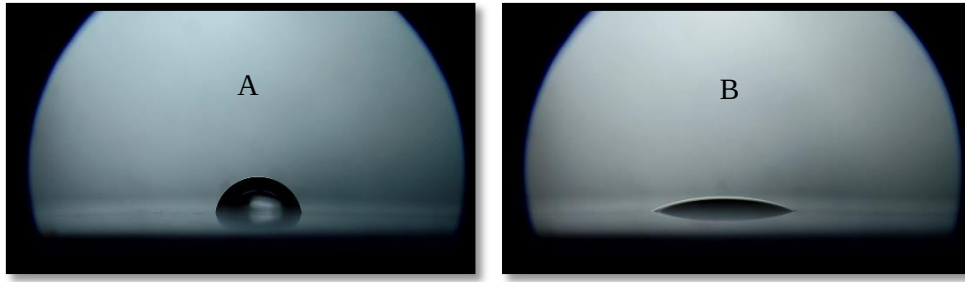
1.2.1.6. Temas (Kontak) açısı yöntemi

Temas açısı ile katıların yüzey gerilimlerinin ölçümü çoğunlukla tercih edilen, kullanışlı bir metottur. Katı yüzeye bırakılan yüzey enerjisi bilinen ve yüzeyin bir kısmı ıslatan sıvı katı-hava, katı-sıvı ve yüzey gerilimleri bilinen sıvı-hava olmak üzere üç ara yüz sahiptir. Kullanılan sıvı ile yüzeyin hidrofilikliği ve hidrofobikliği hakkında bilgi edinilebilir. Bir sıvının temas açısı değeri 0 ile 180 derece arasında değişebilir. Şekil 1.5'te görüldüğü gibi katı ve sıvı arasındaki ara yüzey gerilimi γ_{sl} , sıvı ve hava arasındaki ara yüzey gerilimi γ_{lv} , katı ve hava arasındaki ara yüzey gerilimi γ_{sv} , temas açısı θ ile gösterilmiştir. Katı-hava ara yüzey gerilimi, katı-sıvı yüzey geriliminden büyük ise $\cos\theta$ pozitif olacaktır. Bu durumda sıvı yüzeyi ıslattır ve temas açısının 90° ile 0° arasında olduğunu gösterir. Bu yüzeylere hidrofilik denir. Eğer katı-sıvı ara yüzey gerilimi, katı-hava yüzey geriliminden büyük ise $\cos\theta$ negatif olacaktır. Bu durumda sıvı yüzeyi ıslatmaz ve temas açısının 90° ile 150° arasında olduğunu gösterir. Bu yüzeylere hidrofobik denir.



Şekil 1.5 Katı-sıvı faz arası yüzey gerilimi [68]

Şekil 1.6'da, aynı film ile kaplı 2 farklı yüzeye farklı sıvılar eşit miktarlarda damlatılmıştır. Sıvılardan bir tanesi (sıvı B) diğerine göre daha fazla yayılmış, yani diğer sıvıdan (sıvı A) daha az SFE değeri olduğunu, aynı zamanda daha düşük temas açısına sahip olduğunu göstermiştir. Bu, yüzey molekülleri ile sıvı B molekülleri arasındaki çekim kuvvetlerinin, sıvı A ve yüzey moleküllerininkinden daha yüksek olduğu anlamına gelirken, katı ve sıvının SFE değerleri yaklaştıkça temas açılarının azaldığını göstermektedir.



Şekil 1.6 İki farklı sıvının polimer yüzeydeki davranışı

Temas açısı ölçüleceği zaman, genellikle yüzeyde belirli bir miktarda sıvı damlası biriktirilir. Sıvı damlasının özelliklerinin bilinmesinin yanı sıra yüzeyin pürüzsüz ve homojen olması da çok önemlidir. Kimyasal olarak aynı özelliklere sahip düz yüzeyler ile daha pürüzlü yüzeyler karşılaştırıldığında, yüzeyin malzeme özelliklerini yansıtmayan yanıltıcı, farklı temas açıları vermesi mümkündür [69]. Tablo 1.2’de bazı kimyasalların yüzey gerilimleri verilmiştir.

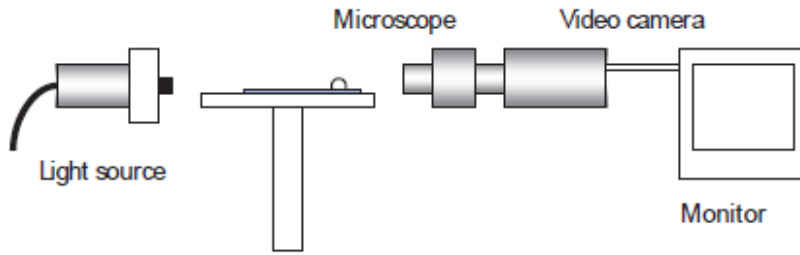
Tablo 1.2 Bazı maddelerin yüzey gerilim enerjileri [70,71]

Madde	Sıcaklık (°C)	Yüzey Gerilim Enerjisi ($10^3\gamma/\text{Nm}^{-1}$)
Platin	2273	1900
Bakır	1404	1100
Alüminyum	700	840
Kurşun	350	453
Cıva	20	472
Aseton	20	23,7
Benzen	20	28,88
Koloroform	20	27,14
Etanol	20	22,8
Metanol	20	22,6
Oksijen	-203	18,3
Nitrojen	-203	10,5
Su	20	72,88
Parafin	20	33,1
Gliserol	20	63,11
Akrilik	20	35-45

Poliüretan	20	36-39
Epoksi	20	30-39

1.2.2. Temas açısı ölçümü

Li ve arkadaşları katı yüzeylerde Eksenel Simetrik Damla Şekli Analiz Profili (ADSA-P) kullanarak temas açısı deneyleri gerçekleştirmişlerdir [71,72]. ADSA-P, sıvı-sıvı ara yüzey gerilimlerini ve temas açılarını sapsız ve sarkıt damlalardan belirleyen bir tekniktir. Li ve arkadaşlarının deneylerinde, motorlu bir şırınga cihazı kullanarak, yüzeyin altından sapsız damlaya test sıvıları verilerek statik temas açıları ölçülmüştür [73]. Katı yüzey üzerindeki sıvı damlanın temas açısı genellikle doğrudan bir gonyometreli teleskopla veya fotoğraf yardımı ile ölçülür [74]. Birçok endüstriyel alanda sıvı ve katıların özelliklerinin tespit edilmesi amacıyla kullanılan gonyometre, Şekil 1.7’de görüldüğü gibi, şırınga pompası ya da pipet, numune alanı, ışık kaynağı ve yüksek hızlı ve çözünürlüklü bir kameradan oluşmaktadır.



Şekil 1.7 Gonyometre[75]

Gonyometre, damla görüntülerini kaydederek zamana bağlı damla şeklini otomatik olarak analiz eder. Damla şekli, sıvının yüzey geriliminin, sıvı ile sıvıyı çevreleyen ortam arasındaki yoğunluk farkının bir fonksiyonudur. Katı yüzeylerde, damla şekli ve temas açısı katının yüzey gerilim enerjisine bağlıdır. Temas açısı, yüzey gerilimi, ara yüzey gerilimi ve yüzey gerilim enerjisi ölçümleri; ıslanabilirlik, sıvı emilimi, sıvıyı yüzeyde tutma, sıvı yayılması, yüzey temizliği, yüzey heterojenliği, emülsiyon kararlılığı vb. gibi malzeme özellikleri hakkında bilgi sağlar. Durağan (sessile), asılı (pendant), eğimli (tilting) damla, sabit kabarcık, menisküs damla tipleri uygulanabilir olmakla beraber, statik temas açıları sıvının ön tarafına ilerleyen “yayılma (advancing) temas açısı” ve sıvının geri tarafına ilerleyen “çekilme (receding) temas açısı” olmak üzere iki şekilde

belirlenir. Katı örnekler için statik ya da dinamik temas açısı ve yüzey gerilim enerjisi, sıvı numuneler için de yüzey gerilimi ölçümleri yapılır.

Yüzey özellikleri bilinmeyen katı numunelerin üzerine şırınga pompa yardımı ile yüzey gerilim enerjileri bilinen numuneler damlatılarak yüksek hızlı kamera yardımı ile görüntüler alınır. Alınan damlacık görüntülerinin temas açılarını ölçmek için birçok program kullanılmakla beraber Image-J en çok kullanılan programdır.

1.2.3. Yüzey gerilim enerjisinin temas açısı yöntemi ile hesaplanması

Temas açısı yönteminin kapsamında kullanılan farklı denklemler ve yaklaşımlar vardır. Farklı yöntemlerin tekil varsayımları vardır dolayısıyla, sonuçlarında belli tutarsızlıkları olabilir.

1.2.3.1. Young denklemi

Katı bir yüzey üzerindeki sıvı damlacık için, temas açısı ölçümü Young's denklemiyle (Denklem 1.1) hesaplanabilir [76,77]:

$$\cos \theta = \frac{\gamma_{sv} - \gamma_{sl}}{\gamma_{lv}} \quad (1.1)$$

γ_{sv} : Katı-hava yüzey gerilimi

γ_{sl} : Katı-sıvı ara yüzey gerilimi

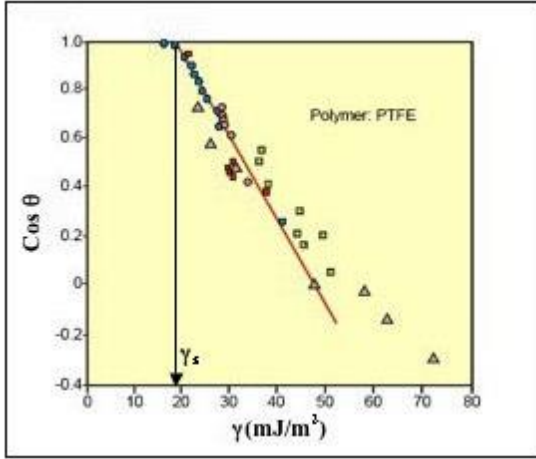
γ_{lv} : Sıvı-hava yüzey gerilimi

θ : Temas açısı

Düşük yüzey enerjileri için, γ_{sv} yerine γ_s , γ_{lv} yerine de γ_l tanımlaması yapılabilir [78]. Bu denklem, temas açısı ölçümü ile polimerik malzemelerin SFE'sini hesaplamak için hala temel olarak kullanılmaktadır. Bununla birlikte, ara yüzde meydana gelen olaylar, özellikle adsorpsiyon, kataliz ve ıslanma olayları üzerine yapılan çalışmalar, yirminci yüzyılın ortalarında olduğu gibi hızlı bir şekilde gelişmeye başlamıştır. Bu çalışmaların sonuçlarının bir parçası olarak, katıların SFE'sinin belirlenmesi için çeşitli metotların teorik ve ampirik temelleri detaylandırılmıştır. Bu yöntemler arasında, temas açısı ölçümlerine dayalı olanlar, ölçümlerin göreceli olarak kolay olması ve elde edilen sonuçların yüksek doğruluğu nedeniyle çok önemlidir [79,80].

1.2.3.2.Zisman plot yöntemi

Zisman Plot yöntemi temas açıları kullanılarak SFE'nin tahmin edildiği en eski hesap yöntemi olarak bilinmektedir [81]. Bu yaklaşımda, çeşitli SFE'ye sahip sıvıların temas açıları (θ) elde edilir ve $\cos \theta$ değerleri sıvıların SFE'sine karşı çizilir (Şekil 1.8.). Katı maddenin kritik SFE'sini elde etmek için, Zisman metodu çeşitli sıvıların yüzey gerilimlerine karşı $\cos \theta$ çizimleri ve $\cos 0=1$ karşılayan ekstra eğri çizimi arasındaki ilişkiyi kullanır [53,82].



Şekil 1.8 Zisman plot [83]

1.2.3.3.Owens ve Wendt / Fowkes modeli

Young denkleminde ek olarak Owens ve Wendt, polimerler gibi düşük yüzey enerjili malzemeler için de uygulanabilecek, katıların yüzey gerilim enerjisini hesaplamak için denklem 1.2'yi önermişlerdir.

$$1 + \cos \theta = 2\sqrt{\gamma_{sv}^d} \left(\frac{\sqrt{\gamma_{lv}^d}}{\gamma_{lv}} \right) + \sqrt{\gamma_{sv}^h} \left(\frac{\sqrt{\gamma_{lv}^h}}{\gamma_{lv}} \right) \quad (1.2)$$

Denklem 1.2'de belirtilen γ_{lv}^d ve γ_{lv}^h sırasıyla, belirli bir sıvının havaya karşı yüzey enerjisinin dispersiyon bileşeni (polar olmayan) ve hidrojen bağlama (polar) bileşenini ifade etmektedir. γ_{sv}^d ve γ_{sv}^h ise katı-hava yüzey gerilim enerjisinin dispersive bileşeni ve hidrojen bileşenini ifade etmektedir. Dispersif bileşen, sıvı ve katı arasındaki dağınık Van der Waals kuvvetleri tarafından sağlanır ve hidrojen bileşeni, polar kuvvetler ve hidrojen bağlama kuvvetleri gibi dağılmaz kuvvetler içerir [84].

Fowkes, esas olarak sadece dispersiyon etkileşimlerinin görüldüğü maddeyi (katı veya sıvı) içeren sistemleri araştırmıştır. Fowkes'e göre, dispersiyon etkileşimleri, elektron dipol dalgalanmalarından kaynaklanan London etkileşimleriyle bağlantılıdır. Owen ve Wendt, denkleminin sağ tarafındaki tüm bileşenlerin γ_{sv}^d dışında polar (γ_{sv}^p) olduğu düşünülebileceğini belirten Fowkes'a göre 1.3 numaralı denklem ortaya çıkmıştır [85]:

$$\gamma_{sl} = \gamma_{sv} + \gamma_{lv} - 2\sqrt{\gamma_{sv}^d \gamma_{lv}^d} - 2\sqrt{\gamma_{sv}^p \gamma_{lv}^p} \quad (1.3)$$

Fowkes denklemi Young denklemi ile entegre edildiğinde ise denklem 1.4 ortaya çıkmaktadır.

$$\sqrt{\gamma_{sv}^d \gamma_{lv}^d} + \sqrt{\gamma_{sv}^p \gamma_{lv}^p} = 0,5\gamma_{lv}(1 + \cos\theta_\gamma) \quad (1.4)$$

Denklem 1.4'te γ_{sv}^d ve γ_{sv}^p iki bilinmeyen olduğu için yüzey gerilim enerjisi bilinen dispersif ve polar bileşenlere sahip iki sıvıya ihtiyaç vardır.

1.2.3.4.Wu modeli

Wu, Owen ve Wendt fikrini kabul etmiş, denklem 1.5'te olduğu gibi geometrik ortalama yerine, harmonik ortalama kullanmıştır [85]:

$$\left[\frac{\gamma_{sv}^d \gamma_{lv}^d}{(\gamma_{sv}^d \gamma_{lv}^d)} + \frac{\gamma_{sv}^p \gamma_{lv}^p}{(\gamma_{sv}^p \gamma_{lv}^p)} \right] = 0,25\gamma_{lv}(1 + \cos\theta_\gamma) \quad (1.5)$$

Owens-Wendt yönteminde olduğu gibi, Wu yönteminde de, en başta iki adet sıvı ve bu sıvılardan bir tanesi esas olarak polar ve bir adet dağıtıcının kullanılmasını gerektirir.

1.2.3.5.Neumann's modeli

Yüzey gerilim enerjisinin belirlenmesi için Zisman Plot, Owens-Wendt ve Wu kullanılan ana yöntemlerdendir [86]. Literatürde detaylı analizi yapılan Neumann's metodu [71,87] birçok araştırmacı tarafından değerlendirilmiş, ilgi çekmiş ancak bunun yanı sıra bazı tartışmalara da yol açmıştır. Bu denklemle ilgili tartışmalar, β sabit niteliğini tanımlamanın imkansız olmasından kaynaklanmaktadır. Bazı bilim insanları için evrensel materyal sabiti olmakla beraber bazıları da bunun sadece denklemin bir parametresi

olduğunu savunmaktadır [88]. Neumann yönteminin formülü denklem 1.6'da gösterilmektedir [71,87].

$$\cos\theta_L = 2\left(\frac{\gamma_S}{\gamma_L}\right)^{0,5} \exp[-\beta(\gamma_L - \gamma_S)^2] - 1 \quad (1.6)$$

$$\beta = 0,0001247$$

1.2.3.6. Van Oss-Good-Chaudhury modeli

Dispersif ve polar bileşenlerin yanı sıra SFE, asidik ve bazik bileşenlere sahiptir. Asit baz yaklaşımı Van Oss-Good-Chaudhury [78] tarafından önerilmiş olup, bu metoda göre Owen ve Wendth metodu baz alınır fakat polar kısım elektron yakalayıcı ve elektron verici olarak ikiye ayrılır. Bu yönteme örnek olarak şu durum verilebilir; Lewis baz kısımları sadece asit kısımla etkileşime girer, bazik kısımla etkileşime girmez. Van Oss-Good-Chaudhury modeli (Denklem 1.7) genellikle inorganik, organometalik ve iyon içeren yüzeylerde kullanılır [85].

$$\sqrt{\gamma_{sv}^d \gamma_{lv}^d} + \sqrt{\gamma_{sv}^{asit} \gamma_{lv}^{baz}} + \sqrt{\gamma_{sv}^{baz} \gamma_{lv}^{asit}} = 0,5\gamma_{lv}(1 + \cos\theta) \quad (1.7)$$

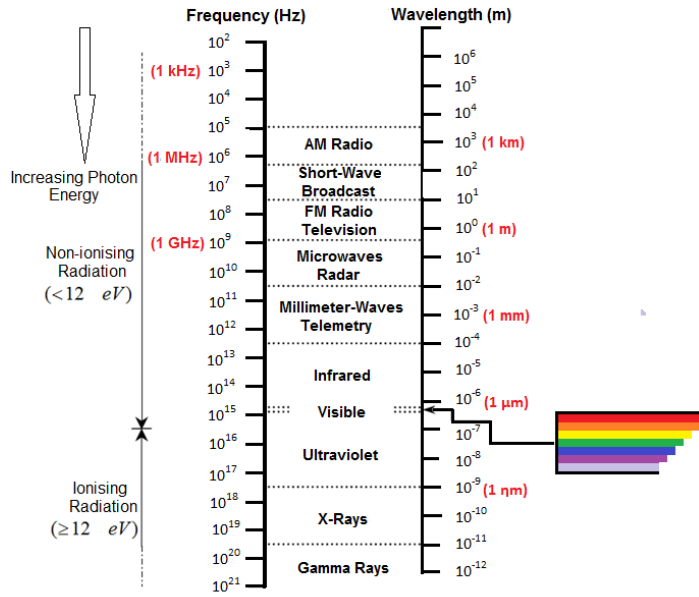
1.3. Elektromanyetik Spektrum

Radyasyon, uzayda enerjinin dalgalar veya parçacıklar halinde yayılmasıdır. Elektromanyetik radyasyon, bir vakum boyunca ışık hızında yayılan elektriksel ve manyetik alanların senkronize salınımları olan elektromanyetik dalgalardan oluşur. Maxwell'in teorik olarak ispatladığı dalgaların varlığını, 1887 yılında Hertz bir indüksiyon bobini kullanarak ispatlamıştır [89]. Elektromanyetik radyasyon, ışık hızında yani yaklaşık 3×10^8 m/s hızında hareket eder. Bilim insanları elektromanyetik bir dalganın veya ışık dalgasının rengini, dalga boyu, sıklığı veya enerjisi açısından tanımlar [90]. Bir ışık dalgasının frekansı, saniye başına elektromanyetik alanın salınımlarının sayısı olarak tanımlanmaktadır. Bir elektromanyetik dalganın dalga boyu ve frekansı denklem 1.8'deki gibi ilişkili olup, c ışığın hızı, λ dalga boyu ve ν frekans olarak tanımlanmıştır.

$$c = \lambda\nu \quad (1.8)$$

Işık dalgasının frekansı arttıkça dalga boyu kısalmaktadır. Kuantum teorisi, ışık dalgalarının enerjiyi maddeye aktardığını ve bunun foton olarak adlandırılan ayrık demetlerle yapıldığını ifade eder. Bir ışık dalgasının içindeki bir fotonun enerjisi, $E = h\nu$ denklemi ile ifade edilirken, denklemde belirtilen ν , saniyedeki devir cinsinden frekanstır ve h Planck sabitidir. Işık dalgalarını tanımlamak için kullanılan dalga boyu, frekans ve enerji elektromanyetik spektrum olarak adlandırılır.

Elektromanyetik radyasyon formunda enerji veren fiziksel ajanlar, kısa dalga ve mikrodalga aralıklarında çeşitli görünür ve görünmez ışık ve radyasyon formları içerir. Görme gücü, insan duyuları hiyerarşisinde en üst sırada yer almakta olup, insanların dünyaya olan algısını çok büyük ölçüde etkilemektedir. Gözün ve beynin kimyasal ve elektriksel özellikleri, insanın görsel algısına hız sınırlamaları getirir. Ancak insan gözü ışığa yalnızca dar bir renk aralığında duyarlıdır örneğin, mum ışığına bakıldığında, alev tarafından yayılan ışığın sadece bir kısmını görür [91]. Elektromanyetik spektrumda insan gözü tarafından algılanabilen bu ışın dalgalarına görünür bölge adı verilmektedir. Görünür ışık, kırmızıdan mor renge kadar, gökkuşağının bütün renklerini içermektedir. Bu renk aralığının dışında kalan ışık insanlarda görsel bir his yaratmadığı için bu aralığa görünmez bölge denilmektedir. Bu bölgedeki ışığı insan gözü göremediği için renk ile de ifade edememektedir. Görünür bölgedeki farklı renklerdeki ışıkların ölçümü daha kolay olduğu için dalga boyu olarak tarif edilirler. Örneğin, kırmızı lazer ışık kaynağı 635 nm dalga boyunda ışık yayar. Çok yüksek enerjilerde ışığın dalga boyu kısaldığı için elektromanyetik spektrumun sınır değerlerinde olan bir ışın için, dalga boyu kullanımı çok elverişli değildir. Bu nedenle bir ışık dalgasını, madde ile çarpışmada aktardığı enerji miktarıyla yani foton enerjisi ile de ölçülmektedir. Şekil 1.9’da elektromanyetik spektrumun diyagramı verilmiştir [91].



Şekil 1.9 Elektromanyetik spektrum [92]

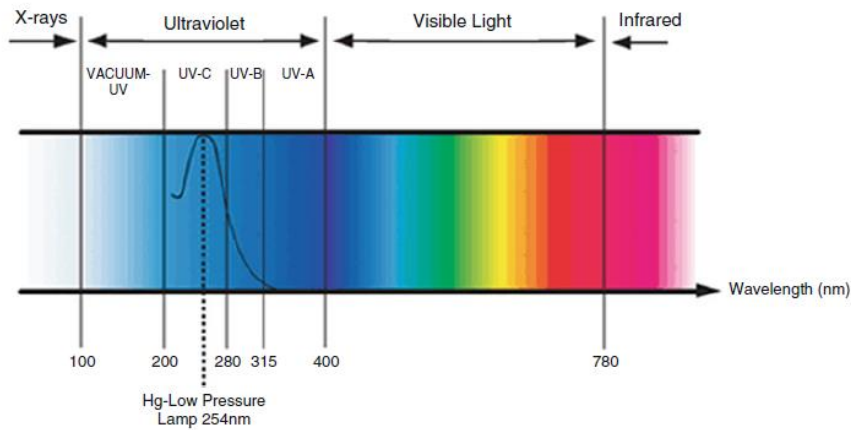
Elektromanyetik spektrum, yüksek enerjili gama ışınlarından, radyo dalgası gibi son derece düşük frekans alanlarını kapsar. Literatürdeki genel kabullere göre, radyo frekans spektrumunda 300 GHz'in altı iyonlaştırıcı olmayan, üstü ise iyonlaştırıcı olarak tanımlanmaktadır [93].

Işık, uygulamaya bağlı olarak birçok farklı anlama sahiptir. Optik radyasyonu geniş bir şekilde tanımlamak gerektiğinde, dalga boyu yaklaşık 10 nm ile 1 mm arasında olan alana elektromanyetik radyasyon denilebilir. Görünür bölge ise, insan görsel sistemini uyarma kabiliyeti açısından değerlendirilen radyasyondur, yani görünür bölge yaklaşık 380 ile 780 nm dalga boyu arasındaki elektromanyetik radyasyonla sınırlıdır [94]. Tablo 1.3'te görüldüğü gibi bu durumda yalnızca 10^{14} ile 10^{15} (s^{-1}) frekansları ile spektrumun görünür kısmındaki ışık, insan gözündeki görsel reseptörleri uyarabilir.

Tablo 1.3 Elektromanyetik spektrum bölgeleri [95]

<i>Dalga Boyu (nm)</i>	<i>Frekans (s⁻¹)</i>	<i>Bölge</i>
< 0,1 nm	10 ²⁰ -10 ²³	Gama Işınları
0,1-10 nm	10 ¹⁷ -10 ²⁰	X Işınları
10-400 nm	10 ¹⁵ -10 ¹⁷	Ultraviyole Işın
400-700 nm	10 ¹⁴ -10 ¹⁵	Görünür Bölge
700 nm-1 mm	10 ¹¹ -10 ¹⁴	İnfrared (Kızılötesi) Işın
1 mm-1 cm	10 ¹⁰ -10 ¹¹	Mikrodalga Işınları
1 cm-100 km	10 ³ -10 ¹⁰	Radyo Dalgaları
100–1000 km	10 ² -10 ³	Alçak Frekans

Işık terimi bazen sadece ultraviyole, görünür ve kızılötesi menzili değil, aynı zamanda X-ışını ve gama ışını aralıklarını ve radyo aralığını da kapsayan elektromanyetik radyasyonun eş anlamlısı olarak kullanılır. Işık madde ile etkileşime girdiğinde, ışığın dalga boyu ile etkileşime giren maddenin fiziksel boyutu (rezonans frekansları) arasındaki ilişkiye bağlı olarak farklı olaylar ortaya çıkabilir [96]. Bu dalga boyu aralığı pratik olarak sıfır ile yakın sonsuzluk arası uzanır ve geniş ölçüde, Tablo 1.3'te gösterildiği gibi radyo dalgaları, kızılötesi, görünür, ultraviyole, X ışınları ve gama ışınlarını içeren bölgelere ayrılabilir. Şekil 1.10'da şematik olarak gösterildiği gibi bir bölgeden diğerine kademeli bir geçiş olduğundan bu bölünme kesin değildir.



Şekil 1.10 Elektromanyetik spektrum bölgelerinde görünür ve ultraviyole bölgeleri içeren optik spektrumu [96]

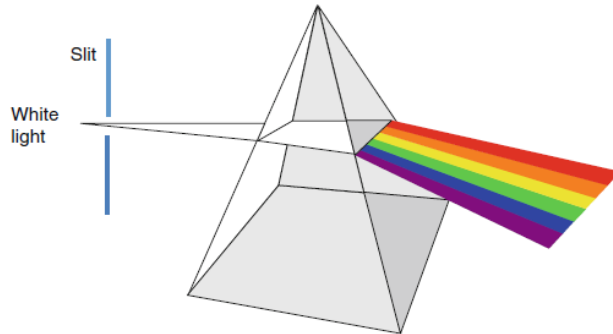
1.3.1. Görünür bölge

Görünür bölgede farklı dalga boylarının farklı renkleri temsil ettiğini söylemek mümkündür. Lazerler ve bazı özel lambalar dışında, çoğu optik radyasyon kaynağı, geniş bir dalga boyu bölgesinde enerji yayar. Her dalga boyunda gücü tanımlayan eğri, spektral güç dağılımı (SPD) olarak adlandırılır. Tablo 1.4’te dalga boyları listelenen renklerin, tonları ya da karışımları da görünür bölge spektrumundaki bir dalga boyuna göre değişen spektral güç dağılımına sahiptir.

Tablo 1.4 Dalga boyu ve renk arasındaki ilişki

Dalga Boyu Aralığı (nm)	Renk
400-430 nm	Mor
430-480 nm	Mavi
480-560 nm	Yeşil
560-590 nm	Sarı
590-620 nm	Turuncu
620-700 nm	Kırmızı

Görünür bölgedeki renklerin varlığı, beyaz ışığın cam prizmadan geçirilmesi ile gösterilir. (Şekil 1.11.) Bununla birlikte, beyaz ışık ayrı ayrı monokromatik ışıkların (tek bir dalga boyunun radyasyonu) üst üste binmesiyle de üretilebilir. Örneğin, kırmızı, mavi ve yeşil ışıkları belirli oranlarda üst üste bindirerek beyaz ışık üretilebilir. Bu deneysel bulgu ilk olarak, Thomas Young tarafından insan gözünde üç farklı renk reseptörü olduğunu ifade eden trikromatik teorisi ile ortaya çıkarılmıştır [97]. Bu üçlü hassasiyet nedeniyle, beyaz ışık birçok farklı SPD tarafından üretilebilir.



Şekil 1.11 Prizma ile beyaz ışığın oluşturduğu renk yelpazesi [96]

1.3.2. Boyalı yüzeylerde ışığın absorpsiyonu

Radyasyonun emisyonu veya absorpsiyonu, enerji seviyeleri farklı atomlar arasındaki belirli çiftlerin elektron geçişinden kaynaklanır. Hangi geçişin mümkün olduğu, kuantum mekaniğine dayanan spektroskopik seçim kuralları ile tahmin edilebilir. Yayılan veya absorbe edilen enerji miktarı (spektral çizgilerin göreceli yoğunlukları), spektral çizgilerin pozisyonlarıyla birlikte kuantum teorisi ile de tahmin edilebilir [98]. Hemen hemen tüm kaplamalarda renk, ışığın çeşitli dalga boylarının diferansiyel absorpsiyonundan etkilenir. Renklendiriciler, boyalar, pigmentler ve bazı reçineler, ışığın bazı dalga boylarını diğerlerinden daha güçlü emer. Bu absorpsiyonlar, renklendiricilerin kimyasal yapıları tarafından kontrol edilir. Absorpsiyon derecesi kimyasal bileşim, dalga boyu, partikül boyutu, optik yol uzunluğu (film kalınlığı), konsantrasyon ve ortam renklendirici etkileşimlerine bağlıdır. Her renklendirici, çeşitli dalga boylarında ışık emilimini kontrol eden bir emilim spektrumuna sahiptir. Parçacık boyutu ne kadar küçükse, aynı miktarda renklendirici tarafından absorbe edilen ışığın oranı da o kadar büyük olur ve çözeltideki moleküller tarafından en yüksek molar emicilik sergilenir. Pigmentler söz konusu olduğunda da, bir pigmentin partikül boyutu ne kadar küçük olursa, enerjinin emilimi o kadar fazla olacaktır. 0° 'de bir ışığın aktarımında film kalınlığı optik yol uzunluğu ile aynıdır ve optik yol ne kadar uzunsa yani film ne kadar kalınsa ışığın absorpsiyonu o kadar fazla olacaktır. Işığın absorbans, geçirgenlik, absorbtivite hesapları için kullanılan terimler Tablo 1.5'te gösterilmiştir.

Tablo 1.5 Absorpsiyon ölçümü için önemli terimler ve semboller

Terim / Sembol	Tanımı	Diğer İsim
Işın Gücü (P, P₀)	Dedektörün 1 cm ² 'lik alanına bir saniyede düşen ışının enerjisi (erg)	Işın Şiddeti
Absorbans (A)	$\log \frac{P_0}{P}$	Optik Yoğunluk Ekstinksiyon
Geçirgenlik	$\frac{P_0}{P}$	Transmittans
Absorbtivite	$\frac{A}{xc}$	Absorbsiyon katsayısı
Molar Absorbtivite	$\frac{A}{xc}$	Molar absorbsiyon katsayısı

1.4.Ses

Ses, iletim için bir ortam, kaynak ve bir alıcı gerektirir. Kaynak sadece dış enerji kaynakları tarafından titreşime neden olan bir nesnedir. Ortam, ses enerjisini bir yerden bir yere taşıyan madde olarak değerlendirilirken çoğu zaman, ortam genellikle hava olacaktır, ancak su gibi sıvı ya da metal gibi herhangi bir katı madde de olabilir. Ses enerjisi, ses kaynağının titreşimi ile aynı düzende ileri ve geri iletilir. Oluşan bu titreşimler ses dalgası oluşturarak havadaki molekülleri etkileşime alır ve aktarımını sağlar. Havadaki moleküller yanlarındaki moleküllere iletim sağlamaya çalışırken basınç oluşturur. Basıncıdaki bu küçük artış, art arda nesneden uzakta olan moleküllere doğru iletilir. Nesne ileri geri hareket ettikçe art arda ses dalgasını oluşturmak için basit bir basınç ve ardından bir sıkıştırma gönderir. Alıcı olarak görev yapan kulak, havadaki hafif basınç değişikliklerine tepki verir ve bir dizi enerji dönüşümü ile beyin enerji dalgalanmalarını ses olarak yorumlar. Ses ile ilgili genel tanımlar Tablo 1.6'da yapılmıştır.

Tablo 1.6 Ses ile ilgili genel tanımlar [99]

Terim	Açıklama
Desibel (dB)	Bir referans basınca karşı ses basıncı seviyesinin logaritmik oranı olarak hesaplanan, ses seviyesini ifade etmek için kullanılan bir ölçü birimidir.
dB(A)	İnsan kulağının duyacağı sesler için kullanılan ses basınç seviyesidir.
Genlik	Bir dalga tarafından taşınan enerjinin ölçümü, dalganın genliği ne kadar büyük olursa, taşınan enerji seviyesi o kadar yüksek olur; bir ses dalgası için, genlik arttıkça, ses de artar.
Duyuma Eşiği	Frekans spektrumu boyunca asgari ses seviyesidir, insan kulağının duyduğu minimum ses basınç seviyesidir. (0 dB(A))
Çevresel Gürültü	İnsan aktivitesi tarafından oluşturulan istenmeyen dış gürültüyü tanımlamak için kullanılan terimdir.
Frekans (hertz, Hz)	Saniyede belirli bir noktadan geçen ses dalgalarının veya döngülerin sayısı; Saniyede 1 döngü = 1 hertz (Hz).
Gürültü	İstenmeyen ses veya istenmeyen sesler kombinasyonu.
Ses	Mekanik titreşimler halinde yayılan dalgaların bir ortamdan iletilen ve bir alıcı tarafından alınan enerji şekli.
Ses Frekans Aralıkları (İnsan kulağı için)	Infrases (duyulamayan) < 20 Hz Düşük frekanslı ses 20 – 200 Hz Orta frekanslı ses 200 – 2000 Hz Yüksek frekanslı ses 2000 – 20.000 Hz

Ses Yoğunluğu	Bir ses dalgasının birim alandaki ses gücünün ölçüsüdür.
Ses Gücü	Birim zamanda yayılan ses enerjisinin tümü.
Ses Basıncı	Atmosferik basınçtan kaynaklanan bir ses dalgası nedeniyle oluşan basınç sapmasıdır.

Havadaki basınç dalgalanmalarını ölçen mikrofona, osiloskopa bağlandığında, ses basıncının zamanla sinüzoidal şekilde değiştiği görülür. Basınç değişimi periyodiktir ve basınçtaki bir tam değişim döngü olarak adlandırılır. Basınç titreşiminin yarattığı her döngü T (birim zamandaki döngü sayısı) olarak, basınç değişim frekansı f olarak adlandırılır, saniye başına devir veya Hertz, Hz olarak kısaltılır [100].

$$f = \frac{1}{T} \quad (1.18)$$

Zaman bağılı olarak basınç değişimleri denklem 1.19 ile gösterilir.

$$P(t) = P_A \sin(\omega t + \phi) \quad (1.19)$$

P_A : Basınç dalgalanmasının genliği

ω : Basınç dalgalanma sıklığı, $rad/dak = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f$

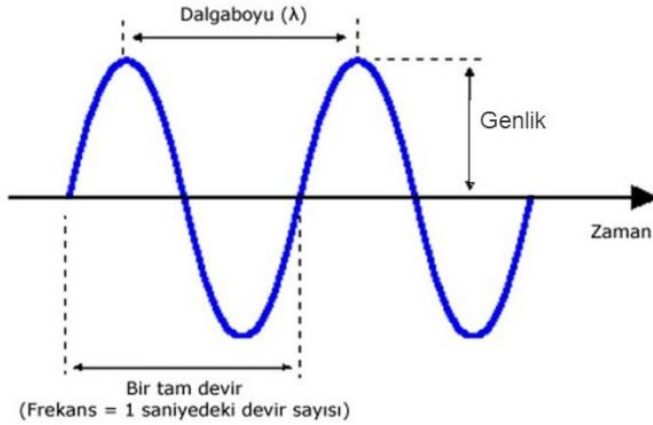
ϕ : Referansa göre ölçülen ses sinyalinin fazı

Sesin yayılma hızı (c) hesaplanırken, Δt zaman aralığında, Δx boyunca aldığı mesafe dikkate alınır (Denklem 1.20).

$$c = \frac{\Delta x}{\Delta t} \quad (1.20)$$

Periyodik ses basıncının oluşturduğu dalga, sesin T süresi boyunca yayıldığı mesafe olarak tanımlanır. Şekil 1.12’de görüldüğü gibi ses basıncının bir salınımı için gerekli olan T süresi boyunca, basınç bir dalga boyu (λ) hareket eder (Denklem 1.21).

$$\lambda = cT = \frac{c}{f} \quad (1.21)$$



Şekil 1.12 Dalga boyu, genlik, frekans arasındaki ilişki [100]

Ses basıncı, ses genliğinin temel ölçüsü olarak kullanılır, çünkü ses gücü (birim zaman başına düşen enerji) veya ses yoğunluğu (birim alandaki enerji) doğrudan ekipmanlar tarafından ölçülemez. Bununla birlikte, ses dalgalarının enerjisini ve basınç değişikliklerini ilişkilendiren matematiksel ilişkiler vardır.

Çoğu enstrümantasyonda ses basıncı, ses basıncı seviyesinin (L_p) karekök ortalaması (rms), desibel (dB) olarak okunmasıyla ölçülür. Mutlak basıncın ölçülmesinde, havadaki ses ölçümü için referans basınç kullanılır:

- $0,00002 \text{ N/m}^2$
- $20 \text{ } \mu\text{N/m}^2$
- $0,0002 \text{ d/cm}^2$
- $0,0002 \text{ } \mu\text{bar}$

Normal işitme eşiği, 1000 Hz frekans olarak seçilerek, ses basıncı seviyesi denklem 1.22 ile ölçülür:

$$L_p = 10 \log \frac{(PI)^2}{(Pr)^2} \quad (1.22)$$

L_p : Ses Basınç Seviyesi, dB

PI : Ses Basıncı rms, (N/m^2)

Pr : Referans Ses Basıncı, (N/m^2)

Sesin kulak tarafından duyulan yüksekliğine ise sesin şiddeti denir ve genellikle Watt/m^2 ile ifade edilir.

1.4.1. Ses seviyesi ölçümü

Gürültüyü ölçmek için kullanılan birçok yöntem olmakla beraber bu yöntemler, basit bir ses seviyesi ölçüm aletinden, gelişmiş bir sinyal analiz sistemine kadar değişiklik gösterir. Bir kişinin duyduğu ses genellikle hava yoluyla kulağa iletilir ve ölçüm yapılacağı zaman sadece ortamdaki sesin değil ses kaynağının titreşiminin de ölçülmesi gerekebilir [100]. Ses veya titreşim enerjisini işlenebilecek bir elektrik sinyaline dönüştürdükleri için, ölçüm sırasında kullanılan mikrofonlara ve titreşim ölçüm cihazlarına dönüştürücüler denir. Ses ölçümleri için kullanılan birçok mikrofon vardır, bunlardan seramik mikrofon, basınç alanının varlığında veya kristal parça üzerine bir kuvvet uygulandığında elektrik sinyali üreten bir piezoelektrik kristal parça içerir. Bu tür mikrofonlar, kulak zarı ve orta kulak arasındaki mekanik bağlantı ile aynı prensipte çalışır. Kristal veya seramik mikrofon, ses ölçümlerinde eskiden yaygın olarak kullanılan ve güvenilir mikrofonlardan biridir. Kondenser mikrofonun seramik mikrofonlardan farkı yüksek frekanslara karşı olan hassasiyeti olup bu hassasiyet, dolaylı olarak ölçülebilen düşük gürültü seviyesinin sınırını belirler. Hassasiyeti ile avantaj sağlayan bu tip mikrofonlar neme karşı dirençsiz olmaları ve elektriksel dirençlerinin düşük olması sebebiyle bazı olumsuzlukları da beraberinde getirmektedir. Elektret kondansatör mikrofonların ise ses ölçümleri çok iyi olup, yapısı gerilmiş metal diyaframı kullanan standart kondenser mikrofona benzer şekildedir. Bununla birlikte, elektret kondansatörlü mikrofon, dış yüzeyinde metalize kaplamalı plastik bir diyafram kullanır. Elektret kondansatörlü mikrofonun avantajı ise, yapım basitliği, sağlamlığı ve yüksek neme bağlı bağımsızlığıdır [101]. Tüm güç çeviriciler, ister mikrofon olsun ister titreşim alıcı olsun, bir çeşit sinyal yükseltmeye ihtiyaç duyarlar. Eşdeğer gürültü seviyesi (Leq), tanımlı bir zaman diliminde, seviyesinde farklılık gösteren seslerin enerji olarak seviyesini gösterir (Denklem 1.23) [102].

$$Leq = 10 \log \frac{1}{10} \sum_{i=1}^n 10^{Li/10}, dBA \quad (1.23)$$

n: Gürültü Sayısı

Li: Gürültü Düzeyleri, dBA

Bir sese atfedilen ses yüksekliği sadece ses basıncıyla değil aynı zamanda sesin frekansı (veya ses seviyesi) ile de değişir. Ek olarak, frekansa göre değişme şekli ses basıncına

Bu tür farklı enstrümanlar arasında makul bir eşitlik elde edilmesine yardımcı olmak için, Uluslararası Standartlar Örgütü ve Amerikan Ulusal Standartlar Enstitüsü, bilimsel ve mühendislik topluluklarıyla işbirliği içinde standart gürlük eğrileri kurmuştur. Ses ölçümü yapılırken ortamdaki ses basınç seviyesini ölçüm sistemleri ile insan kulağı gibi değerlendirebilmek için, farklı ses seviyelerinde amacına uygun filtreler kullanılmalıdır. Bunlardan dB(A) 1 kHz frekans da 40dB lik eşses eğrisinin tersine karşılık gelen ve en çok kullanılan filtredir [103]. 1 kHz frekansta belirlenmiş olduğu için çok yüksek ve çok düşük frekanslardaki seslere duyarlı değildir ve bu frekanslardaki sesler için kullanılmaz. Ancak insan kulağının duyarlı olduğu ses frekansları 20 Hz ve 20 kHz aralığında olduğu için en uygun ölçüm yöntemi A tipi filtreler ile yapılan ölçümlerdir. B tipi ve C tipi filtreler ise daha yüksek ses frekanslarında kullanılırlar [100]. Gürültü ölçümünde, ses seviyesi ölçerler, dozimetreler, ses basıncını ölçen cihazlar, oktav bant filtreleri, akustik analiz cihazları, ses gücü ölçümü gibi teknikler kullanılmaktadır [104].

Günümüzde endüstriyel gürültü olarak adlandırılan çalışma ortamında çalışana fiziksel, fizyolojik ve psikolojik olarak zarar veren bu sesler için yasal düzenlemeler ile sınırlamalar getirilmiştir. 1969 tarihli Walsh-Healey Kamu Sözleşmeleri Yasası uyarınca, devlet sözleşmeleri 10.000 doları aşan endüstriler için geçerli olan ulusal mesleki gürültü

seviyeleri belirlenmiştir. Bununla birlikte, bu standartlar, İş Güvenliği ve Sağlığı Yasası (OSHA) yürürlüğe girdiğinde uluslararası ticaret yapan tüm şirketlerin çalışanlarına da genişletilmiştir [105]. Amerika Birleşik Devletleri'den sonra dünyada birçok ülke gürültüye karşı sınır değerler getirmiş, ülkemizde de 6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu kapsamında çıkarılan Çalışanların Gürültü ile İlgili Risklerden Korunmalarına Dair Yönetmelik ile gürültüye maruziyet eylem ve sınır değerleri belirlenmiştir [103]:

En düşük maruziyet eylem değerleri: ($L_{EX, 8\text{saat}}$ = Günlük gürültü maruziyet düzeyi) = 80 dB(A) veya (P_{tepe} = En yüksek ses basıncı) = 112 Pa [135 dB(C) re. 20 μ Pa](20 μ Pa referans alındığında 135 dB (C) olarak hesaplanan değer)

En yüksek maruziyet eylem değerleri: ($L_{EX, 8\text{saat}}$) = 85 dB(A) veya (P_{tepe}) = 140 Pa [137 dB(C) re. 20 μ Pa]

Maruziyet sınır değerleri: ($L_{EX, 8\text{saat}}$) = 87 dB(A) veya (P_{tepe}) = 200 Pa [140 dB(C) re. 20 μ Pa]

Yönetmelik kapsamında en düşük maruziyet eylem değeri aşıldığında kulak koruyucu donanımları çalışanların kullanımına hazır halde bulundurulmak, en yüksek maruziyet eylem değeri aşıldığında ise bu kişisel koruyucu donanımların kullanılması zorunlu hale getirilmiştir. Aynı zamanda haftalık gürültü maruziyet düzeyinin hiçbir koşulda 87 dB(A) değerini geçemeyeceği belirtilmiştir. Amerikan Ulusal Mesleki Güvenlik ve Sağlık Enstitüsü (NIOSH-The National Institute for Occupational Safety and Health) ise 85 dB(A) gürültü seviyesinde çalışılabilecek maksimum süreyi 8 saat olarak belirlemiştir [106].

1.4.3. Gürültünün insan sağlığı üzerine etkileri

Gürültünün sağlığa etkileri konusunda İskandinavya, Avrupa ve Amerika Birleşik Devletlerin'de ve aynı zamanda Avustralya'da, önce iş sağlığı ve ardından çevre sağlığı çerçevesinde araştırmalar yapılmıştır. Son yıllarda ülkemizde de çevresel gürültü giderek daha önemli bir konu haline gelmiş ve gürültünün sağlığa etkileri konusunda daha birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmaların odak noktası, gürültünün işitme ve kardiyovasküler sağlık üzerindeki etkisinden refah, yaşam kalitesi ve rahatlık üzerindeki geniş etkisine doğru kaymıştır. Çevresel gürültü genel olarak bir sorun olarak kabul edilirken, özellikle subjektif önlemlerin kullanıldığı yerlerde gürültünün sağlığı olumsuz etkileme derecesi sürekli tartışma konusudur [107].

İşitme Kaybı

Gürültüye maruz kalmak vücudun en hayati organlarından biri olan kulağa zarar verirken bu durum sesin şiddetine ve maruziyet süresine bağlıdır. Gürültü kirliliği nedeniyle duyma bozukluğu geçici veya kalıcı olabilir [108]. 80 dB(A) üzerindeki gürültü seviyeleri kulağa zarar veren etkiler getirirken, kulak uzun süre yüksek gürültüye (100 dB(A) üzerinde) maruz kaldığında akut ve kronik olarak bir hasara neden olabilir ve kalıcı işitme kaybı ortaya çıkabilir [109].

Zayıf Bilişsel İşlev

Düzenli olarak yüksek gürültüye maruz kalan kişilerin okuma, öğrenme ve anlama yeteneğinin zamanla azaldığı, problem çözme yeteneklerinin ve hatırlama yeteneklerinin de bu durumdan etkilendiği söylenmektedir. Dolayısıyla, bu durum çalışanların işyerinde güvensiz davranış sergilemesine ve iş verimliliğinin düşmesine sebebiyet verir. Çocuklar üzerinde yapılan araştırmalar da gürültülü ortamlarda eğitim alanların diğerlerine göre düşük bilişsel işlev gösterme eğiliminde olduğunu kanıtlamıştır [109].

Kardiyovasküler Sorunlar

Gürültülü bir ortam kalp ile ilgili problemlerin kaynağı olabilir. Araştırmalar, yüksek yoğunluklu sesin kan basıncında ciddi bir artışa neden olduğunu, gürültü seviyelerinin arterleri daraltıp kan akışını bozduğunu göstermiştir. Kandaki bu ani anormal değişiklikler, uzun vadede kardiyovasküler hastalık olasılığını arttırmaktadır [109]. Bunların yanı sıra, kolesterolün artmasına, solunumun hızlanmasına, sindirim sistemi rahatsızlıklarına ve bağışıklık sisteminde sorunlara neden olabileceği ortaya çıkmıştır [110].

Uyku bozuklukları

Gün içerisinde yüksek sese maruz kalmaktan dolayı çalışanlar mental yorgunluk sebebiyle uyumakta zorluk çekebilmektedir. Bu durum, bir kişinin verimli çalışma yeteneğini önemli ölçüde azaltmanın yanı sıra çalışma ortamında dikkatsiz davranmasına sebebiyet vermektedir [109].

İletişim Problemleri

50-60 dB(A)'den daha fazla ses şiddeti olan bir ortam, kişilerin sağlıklı bir şekilde iletişim kurmasına izin vermemektedir ve bu durum konuşmanın anlaşılmasını zorlaştırırken kişileri bağırarak konuşmaya yöneltmektedir [109].

Mental Problemler

Yüksek sese maruz kalmak, şiddet içerikli davranışları teşvik etmenin yanı sıra baş ağrısını tetikleyebilir, insanları gergin ve endişeli yapabilir ve duygusal dengeyi bozabilir [109].

1.4.4. İş sağlığı ve güvenliğinde gürültüden korunma yolları

Gürültü kontrol yöntemlerinde uygulanan genel prensipler oldukça iyi belirlenmiş olsa da, gürültü azaltma tekniklerinin sonuçlarını tahmin etmek her zaman mümkün değildir. Bununla birlikte, belirli bir gürültünün kontrol altına alınabilmesi için ses enerjisini yayan kaynak, sesin geçtiği yol ve alıcı iyi değerlendirilmelidir [101]. Bu noktada önemli olan alıcı için yani insan kulağı için gürültüyü azaltmak olduğunu unutmamak gerekir. Bu aşamada teknik ve tıbbi önlemler alınmaktadır.

Teknik önlemler alınırken öncelikle tehlike kaynağı yani gürültünün kaynağında önlemler alınmalıdır. Kaynakta alınan önlemler yeterli olmadığı takdirde ortamda ve kişide önlemler alınmalıdır. Kaynakta alınan önlemlerin başında ikame yöntemi gelmekte olup, bu yöntem gürültüye sebebiyet vermeyen ya da daha az gürültü çıkaran ekipmanlar ile mevcut ekipmanların değiştirilmesini hedefler. Gürültü kaynağının izole edilmesi de aynı şekilde insanların sağlığının olumsuz etkilenmesini önleyecektir. Kaynakta alınan önlemlerin yanı sıra ortamda da bazı önlemler alınmaktadır. Bu kapsamda, gürültü kaynağı ekipmanların bulunduğu ortamların ses absorbe edici özelliğinin olması, ortamın ses emici özelliği olan malzemeler ile kaplanması ya da gürültü kaynağı ile çalışanlar arasındaki mesafeyi arttırmak gibi çözümler sunulmaktadır. Kaynakta ve ortamda alınan önlemlerin yeterli olmaması koşulunda çalışanlar üzerinde de önlemler alınmaktadır. Bu önlemlerde, kişisel koruyucu donanımlar ile kişilerin kulak sağlığının korunması ya da çalışma sürelerinin sınırlandırılması önde gelmektedir [111].

Tıbbi önlemler, işe girişte yapılan muayeneler ve periyodik muayeneler olarak 2'ye ayrılmaktadır. İşe giriş muayenelerinde odyometri testi ile kişinin işitme kontrolleri

yapılarak, işe uygunluğu kontrol edilmektedir. Periyodik muayenelerde ise, çalışanın işitme sağlığı işyeri hekimi tarafından takip edilmektedir [112].

Teknik ve tıbbi önlemlerin yanı sıra çalışanların gürültünün zararları ve alınan önlemlerle ilgili eğitimlere tabi tutulmaları, çalışanların bilincini arttırmakta ve güvensiz davranış sergilemelerini önlemektedir.



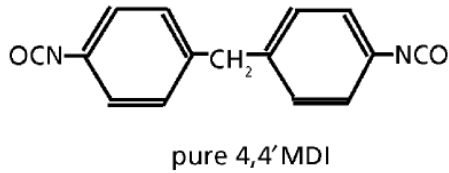
BÖLÜM 2- MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Materyaller

Bu çalışmada, laboratuvar ortamında belirli oranlarda hint yağı ile kompozit yapının polimerik bağlayıcı kısmını oluşturan MDI çapraz bağlayıcısı ve kırmızı, sarı, turuncu ve yeşil olarak 4 farklı pigment birleştirilerek poliüretan bazlı boyalar %5, %7 ve %9 olarak üç farklı konsantrasyonda hazırlanmıştır.

Hint Yağı: -OH grupları üzerinden boya bağlayıcılarıyla hidrojen bağları kurmak için kullanılan hint yağı, Likit Kimya firmasından satın alınmıştır.

MDI: Metilen difenil diizosiyanat bir aromatik diizosiyanattır ve Merck'ten satın alınmıştır (Şekil 2.1).



Şekil 2.1 4,4-MDI'nın kimyasal yapısı [113]

Kullanılan kimyasalların genel özellikleri Tablo 2.1'de gösterilmiştir.

Tablo 2.1 Kimyasalların genel özellikleri

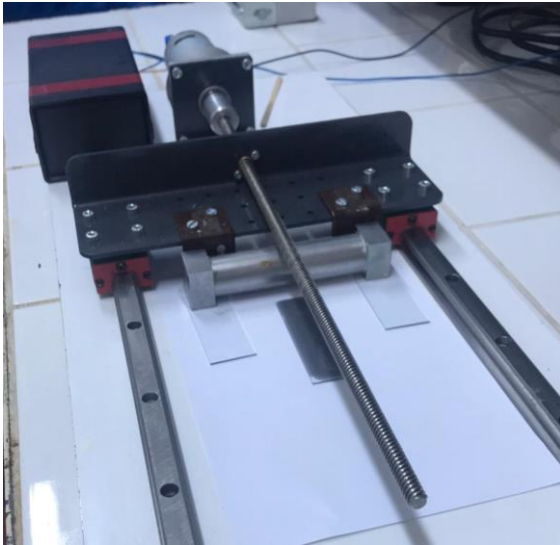
	Tür	20°C' de yoğunluğu (g/cm ³)	Moleküler Formül	Moleküler Ağırlığı (g/mol)
Hint Yağı	Polyester Poliol	0,961	C ₅₇ H ₁₀₄ O ₉	946
MDI	Diizosiyanat	1.23	C ₁₅ H ₁₀ N ₂ O ₂	250,25

Renk Pigmenti: Poliüretan sistemler için üretilen sarı, kırmızı, yeşil ve turuncu renk pigment pastaları Canplast firmasından alınmıştır.

2.2. Yöntem

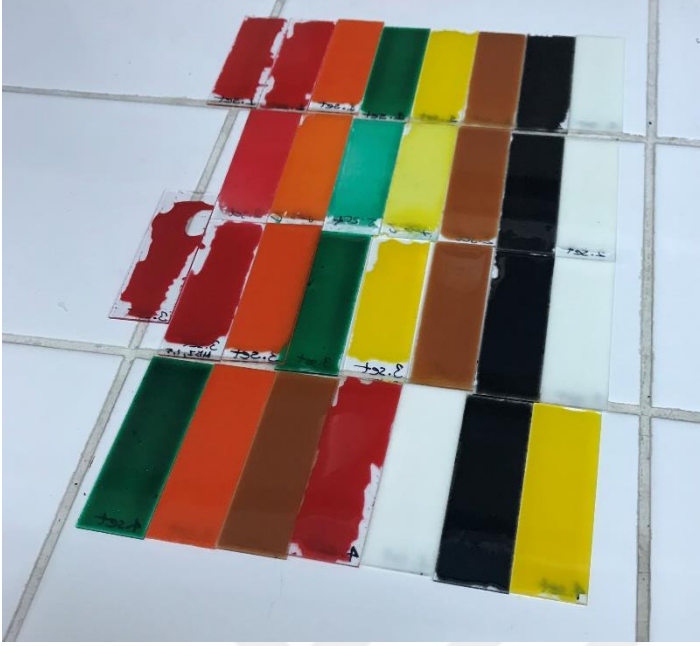
2.2.1. Boyanın hazırlanması ve yüzeye uygulanması

Boyanın hazırlanma işlemi laboratuvar ortamında tasarlanmış olup, en iyi karışımı elde edebilmek için ultrasonik karıştırıcı kullanılarak homojenize edilmiş 4 farklı renkte pigment pastası kullanılmıştır. Ağırlıkça %70 hint yağı ve %30 MDI içeren karışıma 0,5 gr. pigment pastası eklenerek başlayan deney setleri ağırlıkça pigment oranları arttırılarak, %5, %7 ve %9 konsantrasyonlarında boyalar hazırlanmıştır. Yapılan çalışmalarda, poliol grubu olan hint yağı MDI çapraz bağlayıcısı ile kompozit yapının polimerik bağlayıcı kısmını oluşturmuştur. Deney sırasında hint yağı içerisine öncelikle pigment pastasının karıştırılması daha sonra MDI'in karışıma eklenmesi, izosiyonat fonksiyonel grubunun hidroksi fonksiyonel grubu ile reaksiyona girmesi sonucu poliüretan reaksiyonu başlatacağı için, büyük önem taşımaktadır. Sabit miktarlarda farklı renk pigmentleri ile hazırlanan boya karışımları 10 dakika boyunca ultrasonik karıştırıcıda karıştırılmıştır. Poliüretan kaplamalar genellikle işlem görmemiş yüzeylere uygulanır. Çalışmada kullanılan 12 cm x 5 cm x 0,3 cm ebatlarında olan alüminyum ve 76 mm x 26 mm x 1 mm ebatlarında cam substratlar kullanılmadan önce sırayla, 10 kere seyreltik asit ve deiyonize su ile temizlenmiştir. Daha sonra, alüminyum ve cam yüzeyler, uygun basınç altında ve uygun motor gücü ile film aplikatörü Dr. Blade kullanılarak hazırlanan boyalarla kaplanmıştır. Şekil 2.2'de gösterilen, sabit hızda ilerlemesi için laboratuvar ortamında tasarlanan deney düzeneğine entegre edilen Dr. Blade, boya karışımının yüzeye 100 µm kalınlığında homojen olarak uygulanması için kullanılmıştır.



Şekil 2.2 Dr. Blade uygulama görüntüsü

25 °C, 1 atm altında, laboratuvar ortamında hazırlanan boya kaplı yüzeyler 1 hafta süre ile polimerizasyon reaksiyonu için kurumaya bırakılmıştır (Şekil 2.3.).



Şekil 2.3 Boya ile kaplanmış cam yüzeyler

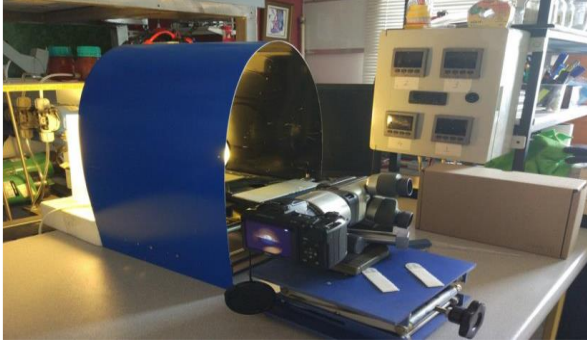
2.2.2. Yüzey gerilim enerjisi ölçümü

Temas açısı ölçümünün önemi, kaplamaların hidrofobik ve hidrofilik davranışlarını, diğer bir deyişle ıslanabilirlik özelliklerini görmektir. Yüzey gerilim enerjisi bilinen (Tablo 1.2.), 3 farklı prop sıvısı (saf su, parafin ve gliserol) 10µL damla halinde yüzeye bırakılmış ve fotoğrafları laboratuvarda tasarlanan bir gonyometre yardımıyla çekilmiştir (Şekil 2.4.).



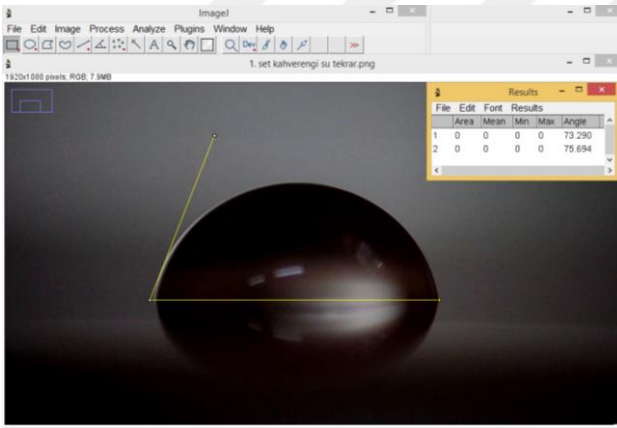
Şekil 2.4 Yüzeye bırakılan damla görüntüsü (Sırasıyla: Su, Parafin, Gliserol)

Laboratuvar yapımı temas açısı gonyometresi bir ışık kaynağı, optik mikroskop ve kamera kullanılarak tasarlanmıştır (Şekil 2.5.).



Şekil 2.5 Laboratuvar ortamında tasarlanan gonyometre

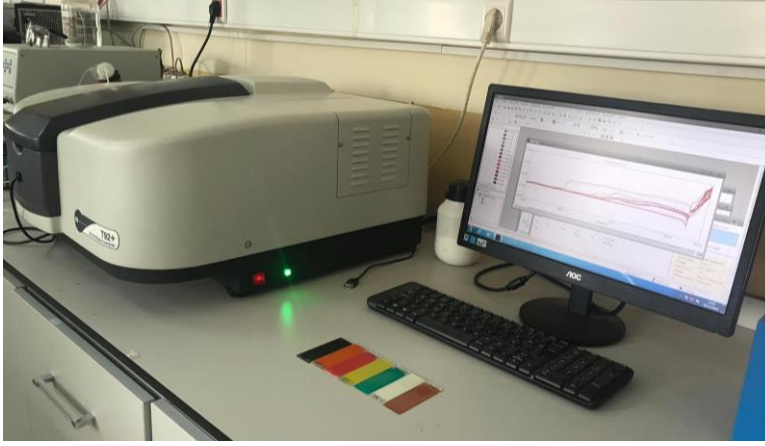
Polimer substratların ıslanabilirlik özelliklerini tam olarak ölçmek için ImageJ programı (Şekil 2.6.) kullanılarak temas açıları değerleri hesaplanmıştır. Her temas açısı, damla (10 μ L) fotoğrafının sol ve sağ tarafından ölçülen açının ortalama değeri olup, her fotoğraf damlalar nihai statik durumuna ulaştıktan sonra çekilmiştir. Ayrıca, ölçümler 25°C ortam sıcaklığında, düz ve temizlenen yüzeylerin 3 farklı noktasından alınarak yapılmıştır. Yüzey gerilim enerjileri Owens-Wendt/Fowkes, Wu, Neumann yöntemleri kullanılarak, ek olarak Zisman Plot yöntemi kullanılarak Kritik Yüzey Enerjileri belirlenmiştir [114,115-116].



Şekil 2.6 ImageJ programı örnek görüntü

2.2.3. Absorbsiyon ve reflektans ölçümleri

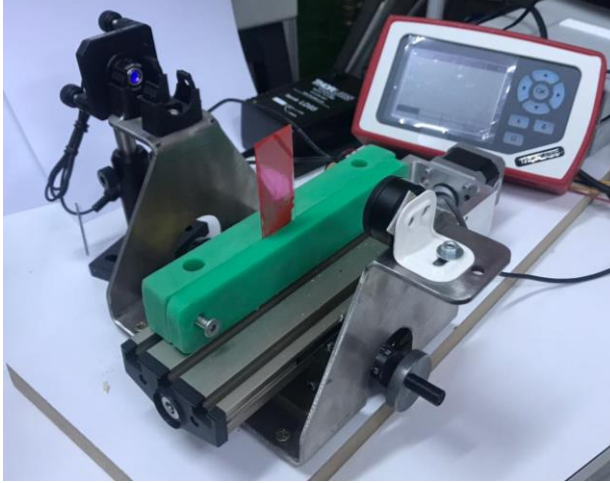
Kaplanmış yüzeylerin yansıma yüzdesini ve absorbans değerlerini belirlemek için 400-800 nm arasında Şekil 2.7’de gösterilen UV-Vis Spektrofotometre (T92, PG Instruments, İngiltere) ile ölçüm yapıldı. Ağırlıkça farklı pigment konsantrasyonları ile hazırlanan boya kaplı yüzeylerin renklere göre absorpsiyonlarındaki farklılıklar ve reflektans yüzdeleri değerlendirilmiştir.



Şekil 2.7 UV-Vis spektrofotometre

2.2.4. Geçirgenlik testleri

Şekil 2.8’de gösterilen laboratuvar ortamında tasarlanmış hareketli düzenek yardımı ile 180 farklı noktadan geçirgenlik testleri yapılmıştır. 4.5 mW gücünde 676,4 nm dalga boyunda lazer diyot kullanılarak gönderilen ışınların boya kaplı cam yüzeylerden geçtikten sonraki değerleri kaydedilmiştir. Düzenekte boya kaplı plakanın sabit hızla hareketi sağlanarak yüzeyden geçen ışının reseptör ile ölçümü yapılmıştır.



Şekil 2.8 Geçirgenlik ölçümü düzenneği

2.2.5. Yüzey pürüzlülük ölçümü

Yüzeylerin karakterizasyonunu belirlemek için, yüzey pürüzlülüğünün renklere göre farklılıkları incelenmiştir. Pürüzlülük ölçümlerinde, konfokal mikroskobu, led ışık kaynağı, çok delikli dönen disk, hareketli objektif ve ışık sensörünün etkileşimli çalışması ile gönderdiği ışığın yüzeye çarpması ile dönen ışık demetini toplayarak ölçüm

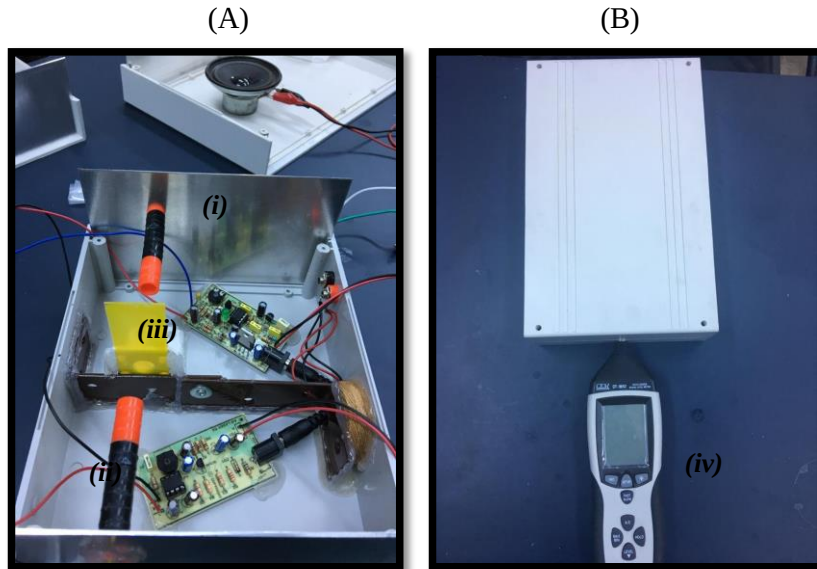
gerçekleştiren μ Surf Profilometer (NanoFocus AG, Oberhausen, Almanya) cihazı (Şekil 2.9.) kullanılarak yapılmıştır. İki boyutlu ve üç boyutlu olarak 1 mm x 1 mm alan için tarama yapan cihaz ortalama değerleri μ m ölçü birimi ile vermektedir.



Şekil 2.9 Nanofocus cihazı

2.2.6. Ses emisyonu ölçme

Laboratuvar ortamında tasarlanan Şekil 2.10'da gösterilen düzenek ile görünür bölgede ışık veren 676.4 nm dalga boyundaki kırmızı lazer, ses sinyaliyle modüle edilmiş ve 1000 Hz, 5000 Hz ve 10000 Hz frekans ile 82 dB(A) şiddetinde ses gönderilmiştir. Ses yüzeyden geçtikten sonra çıkan ses şiddeti desibel ölçer ile (Cem DT-8850) ölçülmüştür.



Şekil 2.10 (A) Lazer ile modifiye edilmiş sesin gönderildiği alan, (B) Yüzeyden geçen sesin ölçüldüğü alan (i: Hoparlör, ii: Mikrofon, iii: Boyalı Yüzey, iv: Ses Ölçer)

BÖLÜM 3 - BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Yüzey Gerilim Enerjisi (SFE) Sonuçları

Gonyometre kullanılarak yapılan çalışmada, video kamera kayıt yaparken, hafifçe katı yüzeye yerleştirilmiş 10 μ L damlacıklarının görüntüleri alınmış ve İmageJ programı kullanılarak temas açıları sağ ve sol taraftan ölçülmüş ve ortalamaları alınmıştır. 3 farklı konsantrasyon ve 4 farklı renk için yapılan işlemler tekrarlanmıştır. Tablo 3.1’de temas açıları ölçüm sonuçları verilmiştir.

Tablo 3.1 Renklere ve konsantrasyonlara göre ölçülen temas açıları değerleri

Renkler	Prop Sıvısı	%5	%7	%9
Sarı	Su	76,25	71,6715	61,6845
	Gliserol	67,855	66,9015	61,134
	Parafin	13,875	11,588	16,5505
Turuncu	Su	71,069	68,1235	71,6855
	Gliserol	64,404	64,778	61,528
	Parafin	23,139	22,1545	16,267
Kırmızı	Su	57,948	74,098	76,251
	Gliserol	65,354	64,264	61,741
	Parafin	18,2375	20,2695	17,608
Yeşil	Su	54,987	58,4955	74,594
	Gliserol	62,8385	64,6335	65,9775
	Parafin	17,0685	20,8025	23,6305

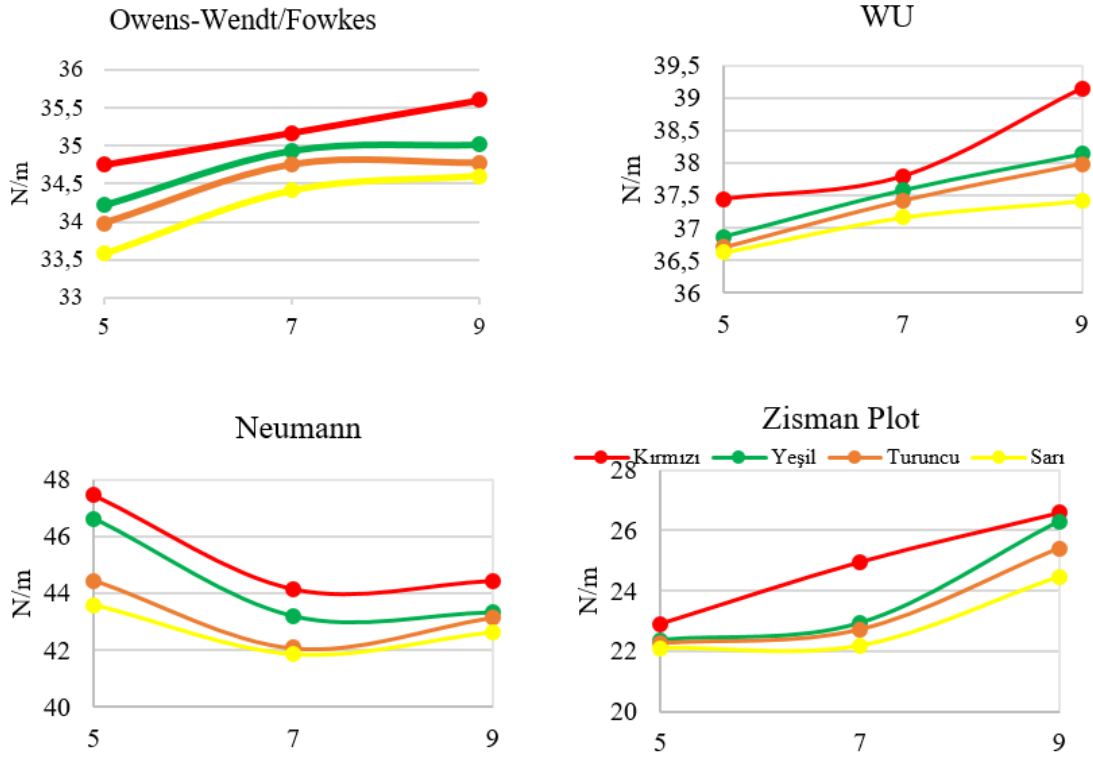
Poliüretan bazlı boyaların yüzey karakterizasyonu için, Owens-Wendt/Fowkes, Wu, Neumann ve Zisman Plot yöntemleri kullanılmıştır. SFE hesaplamaları, laboratuvarımızda Matlab’da oluşturulan bir bilgisayar programı ile yapılmıştır. Bu programda, her SFE hesaplama yöntemi için kendi metodolojisine uyumlu çeşitli sayısal yöntemler kullanılmıştır. Owens-Wendt yöntemi ile SFE değerlendirmesi için, iki bilinmeyenli parametrelerle oluşturulan iki doğrusal denklemden faydalanılmıştır. Programda doğrusal denklem sistemlerini çözmek için Gauss-Jordan Eliminasyon

Yöntemi kullanılmıştır. Program öncelikle, ölçülen temas açıları ve SFE değeri bilinen sıvıları içeren bir matris oluşturur. Sonra da bu matrisi indirgenmiş eşolon formuna dönüştürür ve katı yüzeyin SFE değerini bulur. SFE'yi Neumann Metodu ile hesaplamak için doğrusal olmayan bir denklem çözücü kullanılır. İlk olarak, Neumann'ın denklemi sıfıra eşit olacak şekilde düzenlenir, daha sonra SFE'ler Newton-Raphson Metodu ile hesaplanır. Zisman Plot yönteminde, doğrusal regresyon analizi kritik SFE'yi hesaplamak için kullanılır. Bu yöntemde ise, temas açılarının kosinüs değerlerine karşılık gelen y eksenini ve uygulanan sıvıların SFE değerlerine ilişkin x eksenini ile ilgili bir koordinat sistemi oluşturulur. Ardından doğrusal regresyon uygulanır ve doğrusal model oluşturulur. SFE değerleri, tüm metotlar kullanılarak ve deney bölümünde belirtilen tüm prob sıvıları ve bileşenleri ile hesaplanmış, %5 konsantrasyonda kırmızı boya ile kaplı yüzey 47,44 N/m değeri ile Neumann yönteminde en yüksek yüzey gerilimine sahip olarak çıkmıştır. Wu ve Neumann yöntemi ile elde edilen sonuçlar Zisman ve Owens-Wendt/Fowkes yöntemine göre daha yüksek çıkmış ancak renkler arasındaki sıralama değişmemiştir. Tablo 3.2'de setlere ve kırmızı, yeşil, turuncu ve sarı renklere göre ölçülen SFE değerleri verilmiştir.

Tablo 3.2 Farklı renkler ile kaplanan yüzeylerin SFE sonuçları

Yöntem	Konsantrasyon (%)	Kırmızı (N/m)	Yeşil (N/m)	Turuncu (N/m)	Sarı (N/m)
Owens- Wendt/Fowkes	5	34,75	34,22	33,98	33,58
	7	35,17	34,94	34,76	34,41
	9	35,6	35,02	34,78	34,6
Wu	5	37,44	36,86	36,71	36,62
	7	37,79	37,58	37,42	37,16
	9	39,14	38,14	37,98	37,41
Neumann	5	47,44	46,62	44,43	43,59
	7	44,14	43,21	42,08	41,88
	9	44,43	43,34	43,14	42,64
Zisman Plot	5	22,9	22,37	22,28	22,1
	7	24,96	22,93	22,73	22,17
	9	26,6	26,3	25,4	24,47

Farklı renk ile kaplı yüzeylerin farklı yöntemlerle hesaplanan SFE değerleri değerlendirildiğinde, kırmızı renk ile kaplı yüzeyin SFE değerinin Owens-Wendt/Fowkes, Wu, Neumann ve Zisman yöntemine göre diğer renklerden daha yüksek olduğu, sırasıyla yeşil, turuncu ve sarı renkli yüzeylerin takip ettiği ortaya çıkmaktadır. SFE değerlerinin farklı renklerdeki yüzeylere göre değişimi Şekil 3.1’de grafiksel olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.1 Owens-Wendt/Fowkes, Wu, Neumann ve Zisman yöntemlerine göre %5 %7 ve %9'luk konsantrasyonlar ve farklı renklerle kaplı yüzeylerin yüzey gerilim enerjileri

3.2. Absorbsiyon, Reflektans ve Geçirgenlik Sonuçları

Absorbsiyon ve Reflektans Sonuçları:

Kırmızı, turuncu, yeşil ve sarı renk boya ile kaplanmış 4 farklı yüzeyin absorpsiyon ve reflektans ölçümleri ses iletim kaybı ölçümü için kullanılan diyotun dalga boyu olan 676.4 nm dalga boyu için ölçülmüş, değerler Tablo 3.3'te verilmiştir.

Tablo 3.3 676.4 nm dalga boyunda UV-Vis spektrofotometre ile farklı konsantrasyon ve renklere göre ölçülen reflektans yüzdeleri ve absorbens değerleri

Renk	Konsantrasyon %	Reflektans%	Absorbans
Kırmızı	5	13,9	1,105
	7	8,4	1,043
	9	7,4	0,905
Sarı	5	1,9	1,121
	7	1,4	1,007
	9	0,4	1,05
Turuncu	5	15,8	0,761
	7	13,3	0,675
	9	11,7	0,637
Yeşil	5	1,5	9,999
	7	1,3	9,999
	9	0,6	9,999

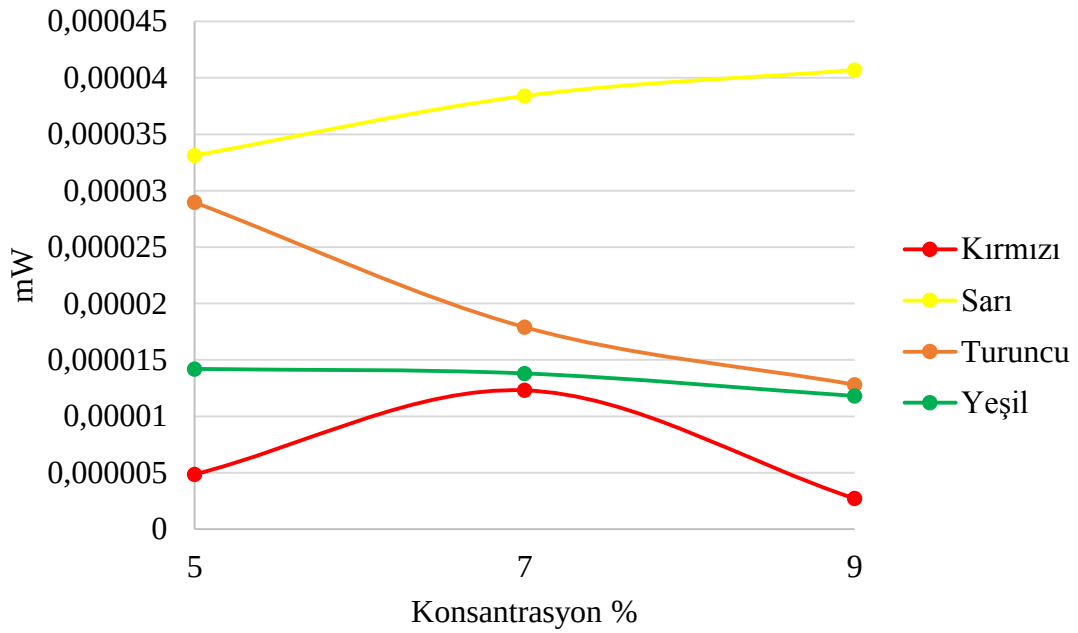
Geçirgenlik Sonuçları:

Poliüretan bazlı boya ile kaplanmış cam yüzeylerin farklı dalga boylarındaki geçirgenlik davranışları 676,4 nm dalga boyuna göre laboratuvar ortamında tasarlanan düzenek yardımı ile ölçülmüştür. Tablo 3.4'te farklı dalga boylarında gönderilen ışınların geçirgenlik sonuçları güç değeri olarak verilmiştir.

Tablo 3.4 Farklı konsantrasyonlardaki farklı renklerin geçirgenlik testi sonuçları

Renkler	% 5 Konsantrasyon (mW)	% 7 Konsantrasyon (mW)	%9 Konsantrasyon (mW)
Kırmızı	4,85E-06	1,23E-05	2,71E-06
Sarı	3,312E-05	3,84E-05	4,07E-05
Turuncu	2,896E-05	1,79E-05	1,28E-05
Yeşil	1,42E-05	1,38E-05	1,18E-05

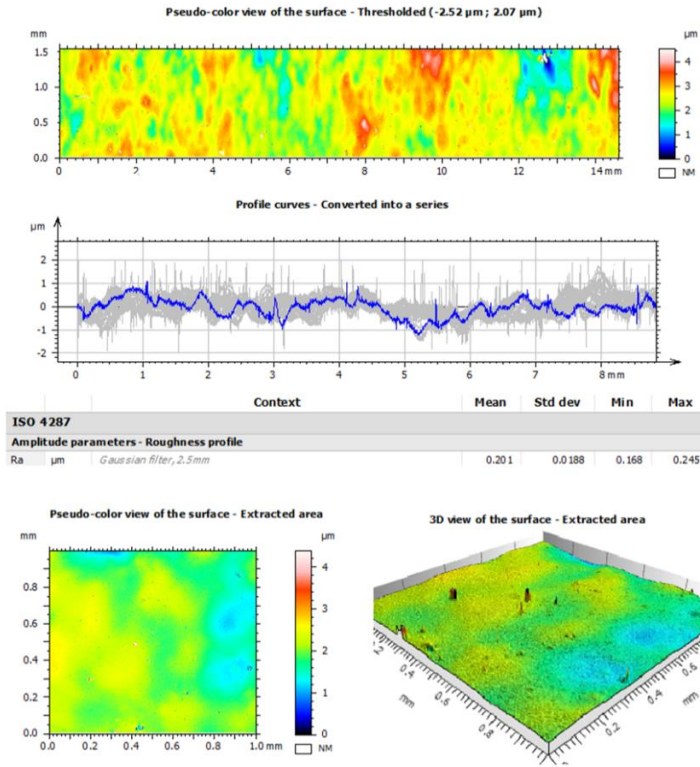
Kırmızı renk ile kaplı yüzeyin geçirgenlik değerleri 3 farklı konsantrasyon için, diğer renklere göre daha düşük çıkarken, en düşük geçirgenlik ölçümü sonucu %9'luk konsantrasyonda $2,71E-06$ mW olarak ölçülmüştür. Tüm dalga boylarında sarı renk ile kaplı cam yüzeylerin geçirgenliği ise diğer renklere göre daha yüksek çıkmıştır. En yüksek geçirgenlik değeri ise %9'luk konsantrasyonda $4,07E-05$ mW olarak ölçülmüştür. Renkler arasındaki geçirgenlik ölçümü sıralaması ise en yüksekten en düşüğe doğru, sarı, turuncu, yeşil ve kırmızı olarak tespit edilmiştir (Şekil 3.2).



Şekil 3.2 Görünür bölgede olan renklerin geçirgenlik deneyi sonuçları

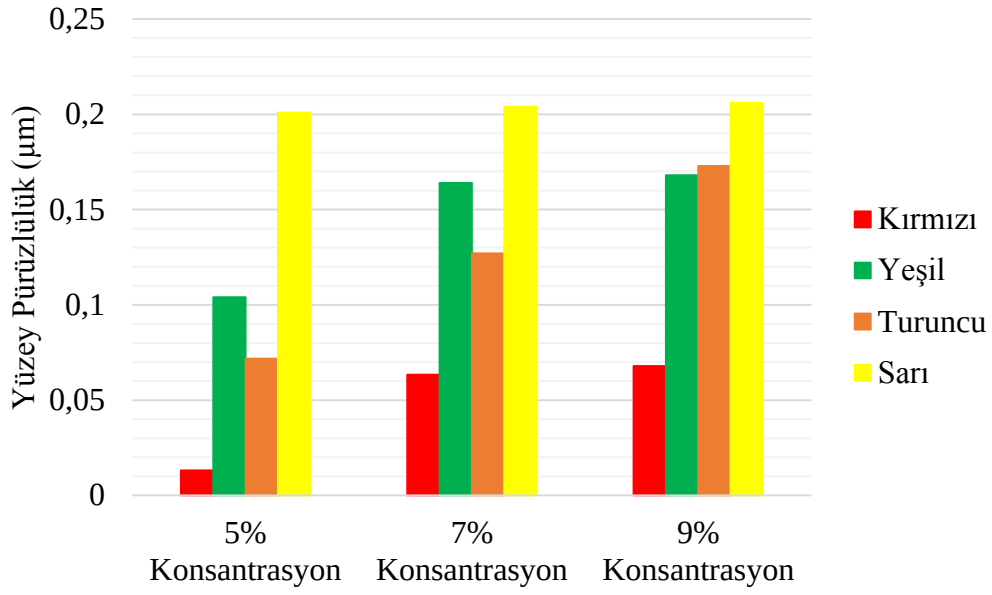
3.3. Yüzey Pürüzlülük Ölçümü Sonuçları

Nanofocus cihazı ile farklı konsantrasyonlarda olan kırmızı, sarı, turuncu ve yeşil renk ile kaplı yüzeylerin pürüzlülükleri ölçülmüştür. Şekil 3.3'te yüzey ölçüm sonucu örneği verilmiş olup, diğer renklerin konsantrasyonlara göre elde edilen sonuçları Appendix kısmında verilmiştir.



Şekil 3.3 Yüzey pürüzlülük ölçümü örnek sonucu

Şekil 3.4'te, yüzey pürüzlülüğü sonuçları 3 farklı konsantrasyon ve 4 farklı renk açısından incelenmiştir. 100 µm kalınlığında uygulanan filmlerde en yüksek pürüzlülük sarı renk ile kaplanmış yüzeylerde ölçülürken, sarı rengi turuncu, yeşil ve kırmızı renk takip etmiştir. Ayrıca pigmentsiz hazırlanan boya ile kaplanan yüzeyin pürüzlülüğü incelendiğinde ortalama değer 0,0102 µm olarak ölçülmüştür.



Şekil 3.4 Yüzey pürüzlülük ölçüm sonuçları

3.4. Ses İletim Kaybı Sonuçları

Ses emisyonu ölçümleri için laboratuvar ortamında tasarlanan ekipman ile ölçümler yapılırken ortamdaki ses düzeyi ayrıca ölçülmüş ve değerlendirmelerde dikkate alınmıştır. Cam yüzeylere 1000 Hz, 5000 Hz ve 10000 Hz frekans ile 82 dB(A) şiddetinde ses gönderilmeden önce, kaplanmamış cam ile deneme yapılmış ve 0,9 dB(A) şiddetindeki sesin cam tarafından absorbe edildiği tespit edilmiştir. Cam yüzeyde absorbe olan ses şiddeti çıkarıldığında farklı konsantrasyonlar ve farklı renklerle kaplanan yüzeyler tarafından ölçülen ses şiddeti kaybı sonuçları Tablo 3.5'te verilmiştir.

Tablo 3.5 1000 Hz, 5000 Hz ve 10000 Hz frekanslarında gönderilen sesin farklı konsantrasyon ve renklerle kaplı yüzeylerde oluşan kayıp dB(A) değerleri

Frekans	Konsantrasyon	Sarı dB(A)	Kırmızı dB(A)	Turuncu dB(A)	Yeşil dB(A)
1000 Hz	% 5	3,9	4,9	6,2	6,5
	%7	4,8	5,8	6,6	6,6
	%9	5,0	5,9	6,7	6,7
5000 Hz	% 5	3,8	4,8	5,4	5,4
	%7	4,7	5,3	5,3	5,3
	%9	4,2	5,3	5,3	5,4
10000 Hz	% 5	2,8	4,2	4,6	4,7
	%7	4,4	4,7	4,7	4,8
	%9	4,5	4,8	4,8	4,9

Ölçümler sonucunda en çok ses kaybının yeşil renk ile kaplı yüzeyde olduğu, yeşil rengi turuncu, kırmızı ve sarı renklerin takip ettiği ortaya çıkmaktadır. Bunun yanı sıra, yüzeye gönderilen sesin frekans değeri ve yüzeyin konsantrasyonu arttıkça ses kaybının da farklı renklerle kaplı yüzeylerin tümünde arttığı tespit edilmiştir.

3.5. LAB Sonuçları

LAB değerleri, insan gözüne dayanan renk evren modellerinde kullanılır ve sayısal değerler kullanılarak herhangi bir rengi belirtebileceğiniz global bir renk modelidir. Bu nedenle pigmentin rengi esas olarak LAB değerlerine bağlıdır [117,118]. Bu çalışmada, kaplı yüzeylerin görüntüleri gün ışığında sabit bir açıyla aynı koşullar altında çekilmiş ve Adobe Photoshop programının renk seçici özelliği kullanılmıştır. Tablo 3.6'da yüzeylerin LAB değerleri verilmiştir.

Tablo 3.6 Farklı konsantrasyonlardaki renklerin LAB değerleri

Renk	Konsantrasyon (%)	L	A	B
Kırmızı	5	47,6	52,3	26,1
	7	48,2	51,5	25,8
	9	47,9	52,8	27,8
Sarı	5	70,3	-1,6	64,3
	7	69,1	0,9	63,5
	9	68,3	3,1	62,2
Turuncu	5	52,3	53,6	53,1
	7	52,7	53,5	53,1
	9	53,2	53,1	53,1
Yeşil	5	66,9	-59,1	33,1
	7	66,5	-58,8	33,2
	9	66,32	-57,25	31,6

3.6. Ses Kaybı Performanslarının Matematiksel Modellemesi

Bu çalışmada, farklı renklerin LAB değerleri, yüzey pürüzlülük değerleri, reflektans yüzdeleri, pigment konsantrasyonları ve ses iletim kaybı arasındaki ilişkiyi belirlemek için, SPSS 22 (Statistical Package for the Social Sciences) programı ile Tablo 3.7'de gösterilen değerlere çok değişkenli lineer regresyon uygulanmıştır.

Tablo 3.7 Ses İletim Kaybı (STL), LAB değerleri, konsantrasyon (C), yüzey gerilimi enerjisi (SFE), yüzey pürüzlülüğü (SR) ve yansıtma yüzdesi (R%) değerleri

Renk	STL (dB (A))	L	A	B	C (%)	SFE (N/m)	SR (μm)	R%
Kırmızı	4,9	47,6	52,3	26,1	5	34,75	0,0131	13,9
	5,8	48,2	51,5	25,8	7	35,17	0,0633	8,4
	5,9	47,9	52,8	27,8	9	35,6	0,0679	7,4
Sarı	3,9	70,3	-1,6	64,3	5	33,58	0,201	1,9
	4,8	69,1	0,9	63,5	7	34,41	0,204	1,4
	5,0	68,3	3,1	62,2	9	34,6	0,206	0,4
Turuncu	6,2	52,3	53,6	53,1	5	33,98	0,0717	15,8
	6,6	52,7	53,5	53,1	7	34,76	0,127	13,3
	6,7	53,2	53,1	53,1	9	34,78	0,1728	11,7
Yeşil	6,5	66,9	-59,1	33,1	5	34,22	0,104	1,5
	6,6	66,5	-58,8	33,2	7	34,94	0,164	1,3
	6,7	66,32	-57,25	31,6	9	35,02	0,168	0,6

Tablo 3.8'de gösterildiği gibi, SPSS 22 programı ile yapılan çok değişkenli regresyon sonuçlarına göre ses iletim kaybı değerleri ile LAB renk kodları, konsantrasyon, yüzey gerilimi enerjisi, yüzey pürüzlülük ve reflektans yüzdelerinin değerleri arasında ($R^2: 0,96$) pozitif bir ilişki olduğu ortaya çıkmaktadır. p-değeri 0,05'ten küçük çıkan L,A,B renk kodlarının ses iletim kaybını önemli ölçüde etkilediği ortaya çıkmaktadır.

Tablo 3.8 SPSS programı matematik modelleme sonuçları

Model	B	Std. Hata	p- değeri	Anlamlılık
(Sabit)	29,1	23,74	0,28	
L	-,713	,176	0,01	Anlamlı
A	-,101	,018	0,005	Anlamlı
B	,200	,005	0,01	Anlamlı
C	-,129	,184	0,52	
SFE	,378	,603	0,56	
SR	1,832	5,98	0,77	
R %	-,199	,11	0,15	

Yapılan çalışma sonucunda ortaya çıkarılan bu ilişki için çoklu doğrusal regresyon formülü denklem 3.1’de verilmiştir.

$$\text{STL} = -0,713 \cdot L - 0,101 \cdot A + 0,200 \cdot B - 0,129 \cdot C + 0,378 \cdot \text{STE} + 1,832 \cdot \text{SR} - 0,199 \cdot R\% + 29,1 \quad (3.1)$$

Regresyon analizi sonunda, denklem 3.1’in doğruluğunun değerlendirilmesi için, ağırlıkça % 6 konsantrasyonda kırmızı, sarı, turuncu ve yeşil renk pigmentlerle boyalar hazırlanmıştır. Hazırlanan boya kaplı yüzeylerin L,A,B değerleri ölçülmüş ve sonrasında yüzey pürüzlülük, reflektans, yüzey gerilim enerjisi, ses iletim kaybı ölçümleri yapılmıştır. Yapılan çalışmalar sonrasında elde edilen veriler, syeni denklemde hesaplanarak ölçülen değer ile hesaplanan arasındaki ses iletim kaybı sonuçları ve 1 sapmalar incelenmiştir. Tablo 3. 9 da görüldüğü gibi, system üzerinden ölçülen ve denklem üzerinden hesaplanan değerler arasında uyumluluk tespit edilmiştir.

Tablo 3.8 SPSS programı matematik modelleme sonuçları

	L	A	B	C	SFE	SR	R%	STL (Ölçülen)	STL (Denklem Sonucu)	Sapma %
Kırmızı	46	52	26	6	33.58	0.060	11.7	5.9	6.1	3%
Sarı	68	0.5	64	6	35.15	0.193	0.4	6.2	6.4	3%
Turuncu	53	61	38	6	38.46	0.101	14.3	3.6	3.9	10%
Yeşil	68	-51	25	6	37.47	0.169	-0.7	4.4	4.7	6%

BÖLÜM 4- SONUÇLAR

Bu çalışmada, 4 farklı renkte pigment içeren çift komponentli polimerik boyalar ağırlıkça %5, %7 ve %9 pigment olmak üzere, 3 farklı konsantrasyonda hazırlanmış, cam ve alüminyum yüzeylere uygulanmıştır. Yapılan çalışmada, farklı pigment renkleri ve farklı pigment konsantrasyonları içeren yüzeylerin SFE değerleri farklılık göstermiş, bu durum rengin SFE üzerinde önemli bir etkisi olduğunu açığa çıkarmıştır. Deneyler sonucunda en yüksek SFE kırmızı renk ile kaplı yüzeylerde çıkarken, yüksekten düşüğe doğru yeşil, turuncu ve sarı renk olarak devam etmiştir.

Görme spektrumunda kırmızı-turuncu renk olarak ölçülen 676.4 nm dalga boyunda yapılan reflektans yüzdesi ölçümünde, en yüksek değerler turuncu ve kırmızı renklerde tespit edilmiş, konsantrasyon arttıkça değerlerin azaldığı ortaya çıkmıştır. Bu durum, yüzeye gönderilen sesin modüle edildiği ışının dalga boyunun yansıtma özelliğinde en önemli parametre olduğunu göstermiştir.

Çalışmada, laboratuvar ortamında tasarlanan düzenek ile 676.4 nm dalga boyunda gönderilen ışının geçirgenlik sonuçlarına göre, en çok sarı renk, daha sonra ise sırasıyla turuncu, yeşil ve kırmızı renk ile kaplı cam yüzeylerde geçirgenlik özelliğinin olduğu ortaya çıkmıştır. Nanofocus cihazı ile yapılan pürüzlülük ölçümü sonuçları ise geçirgenlik deneyi sonuçları ile benzerlik göstermiş, sarı renk boya ile kaplı yüzey en pürüzlü olarak tespit edilirken, kırmızı renk boya ile kaplı yüzeylerin pürüzlülüğü en az çıkmış, konsantrasyon arttıkça da pürüzlüğün arttığı ortaya çıkmıştır. Bu durum, kaplı yüzeylerin geçirgenlik özelliklerinin pigmentlerdeki partikül boyutları ile ilgili olduğunu, aynı zamanda yüzey pürüzlülüğü arttıkça yüzey geçirgenliğinin de arttığını göstermektedir.

Ses iletim kaybı ölçüm sonuçlarının renklere göre olan ortalamaları incelendiğinde, en çok yeşil renkte (6,6 dB(A)) ses iletim kaybı olduğu, sırasıyla turuncu (6,5 dB(A)), kırmızı (5,6 dB(A)) ve sarı renk (4,6 dB(A)) olarak devam ederken, gönderilen sesin frekansı ve kaplı yüzeyin pigment konsantrasyonları arttıkça ses iletim kaybının da arttığı tespit edilmiştir.

Sonuç olarak, boya kaplı yüzeylerin SFE, yüzey pürüzlülüğü, reflektans yüzdesi, LAB renk kodları ve konsantrasyon gibi farklı yüzey özellikleri ile ses iletim kayıpları arasında anlamlı bir farklılık olup olmadığını değerlendirmek amacı ile matematiksel modelleme

yapılmıştır. Yapılan modellemede değerlere çok değişkenli lineer regresyon uygulanmış, R^2 değeri 0,96 olarak bulunmuş ve ses iletim kaybı ile yüzey özellikleri gibi değişkenler arasında yeni bir denklem elde edilmiştir. Bu çalışmada, farklı renkler ve konsantrasyonlarla kaplı yüzeylerin morfolojik özelliklerinin farklılık gösterdiği ve matematiksel modelleme sonucunda LAB renk kodlarının ses iletim kaybı üzerinde ciddi bir etkisinin olduğu ortaya çıkmıştır.

Sanayinin gelişmesi ve yeni iş kollarının ortaya çıkması ile endüstriyel gürültünün de çalışanlara verdiği zarar artmaktadır. Çalışanlarda geçici ya da kalıcı işitme kayıplarına, psikolojik sorunlara, kardiyovasküler sorunlara, iletişim bozukluklarına, performans düşüklüğü gibi olumsuzluklara yol açmaktadır. Ayrıca, endüstriyel gürültü kaynaklı yaşanan iş kazaları ve meslek hastalıkları da artmakta ve maddi ve manevi kayıplara sebebiyet vermektedir. İnşaat sektöründe kullanılan iş ekipmanları, tarım sektöründe kullanılan traktörler, biçerdöverler, testerele gibi birçok potansiyel gürültü kaynakları, madencilik sektöründe kullanılan ekipmanlar, tersanelerdeki çalışma alanlarının ayrılmaması ve gürültü kaynakları ile çalışanların aynı ortamda bulunması gibi farklı sektörlerdeki olumsuzluklar, gürültünün insan sağlığına verdiği zararı da ortaya koymaktadır. Bu çalışmada elde edilen sonuçlarla, gürültü kaynağının doğru renk ve boya ile kaplanması sonucu ses iletim kaybının sağlanabileceği ortaya çıkmaktadır. İş sağlığı ve güvenliğinde, gürültünün kaynağında kontrol edilmesi öncelikli olup, kaynaktan kontrol ile kişisel koruyucu donanım kullanımının da azaltılması ve aynı şekilde çalışanların gürültü maruziyetlerinin azaltılması önceliklidir.

KAYNAKÇA

1. Gündüz, G., (2015) Boya Bilgisi, Kimya Mühendisleri Odası.
2. D. Allport, D. Gilbert, S.M. Outterside (2003) MDI and TDI: Safety, Health and the Environment ; a Source Book and Practical Guide, Reprint; Wiley: Chichester, England.
3. Francis, M.H, (1964-1971) Encyclopedia of Polymer Science and Technology, NY, Interscience Publishers.
4. Koleske, Joseph V. Eds. Paint and Coating Testing Manual, Fifteenth Edition of the Gardner, Sward Handbook.
5. Arthur A. Tracton, 2006, Coatings Technology Handbook Taylor & Francis Group, s: 405-409.
6. Z.W. Wicks, F.N. Jones, S.P. Pappas, D.A. Wicks (2007) Organic Coatings: Science and Technology, 3. ed., Wiley-Interscience: Hoboken, NY.
7. Mark, H.F., Othmer, D.F., Overberger, C.G., Seaborg, G.T. (Ed.), (1979) Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology, Third Edition, John Wiley & Sons, New York.
8. Yeganeh, H., Talemi, P.H., (2006) Preparation and properties of novel biodegradable polyurethane networks based on castor oil and poly(ethylene glycol), Polymer Degradation and Stability.
9. Herman, F.M., (1980) Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology, Third Edition, Wiley Interscience Publishers, John Wiley and Sons Inc., New York.
10. Goldschmidt, A., Streitberger, H.J., (2007) BASF Handbook on Basics of Coating Technology (American Coatings Literature), Vincentz.
11. CIE Proceedings, (1932) Cambridge University.
12. MacAdam, D. L., (1985) Color Measurement Theme and Variations, 2nd edition, Springer Verlag Berlin Heidelberg.
13. Meschede, D., (2004) Optics, Light and Lasers, First Edition, Wiley-VCH.
14. Lambourne, R., Strivens, T.A., (1999) Paint and Surface Coatings Theory and Practice, Woodhead Publishing, s: 628.
15. Faulkner, L. L., (1976) Handbook of Industrial Noise Control, Industrial Press, New York, s: 199.

16. Dyke, J.C., (1919) Colloge Histories of Art, Longmans Green and Co., s:3-12.
17. Bahn, P.G., (1998) The Cambridge Illustrated History of Prehistoric Art. Cambridge Illustrated History. Cambridge: Cambridge Univ. Press.
18. Myers, R.R., (1981) History of Coatings Science and Technology, Journal of Macromolecular Science: Part A - Chemistry, 15:6, s:1133-1149.
19. Talbert, R., (2007) Paint Technology Handbook, CRC Press (2007), P:55-60.
20. https://www.merckmillipore.com/TR/tr/product/msds/MDA_CHEM-820797?Origin=PDP (Eriřim tarihi: 25.05.2020)
21. Paul, S., (1996) Surface Coatings Science and Technology, 2nd Ed, Wiley.
22. Braun, J. H., (1995) White Pigments, Federation of Societies for Coatings Technology, Blue Bell, PA.
23. <https://www.census.gov/prod/ec97/97m3255a.pdf> (Eriřim Tarihi: 25.05.2020)
24. Braun, J. H. Ve ark. (1992) Progressin Organic Coatings, 20, 105.
25. Challenger, C., (2005) JCT Coat. Tech., 2(18), 44.
26. Lewis, P. A., (1995) Organic Pigments, Federation of Societies for Coatings Technology, Blue Bell, PA.
27. Fields, D. P.; et al., (1993) Surf. Coat. Int., 76, 87.
28. Bugnon, P., (1996) Prog. Org. Coat., 29, 39.
29. Jaffe, E. E.; et al., (1994) J. Coat. Technol., 66(832), 47.
30. Patton, T. C., Ed., (1973) Pigment Handbook, 3 vols., Wiley-Interscience, New York.
31. Herbst, W.; Hunger, K., (1997) Industrial Organic Pigments, VCH, New York.
32. Iden, R., (1995) J. Coat. Technol., 67(843), 57.
33. Muller, B., (1995) J. Coat. Technol., 67(846), 59.
34. Ferguson, R. L., (2004) JCT Coat. Tech., 1(7), 42.
35. Greenstein, L. M., (1988) In Pigment Handbook, 2nd ed., Lewis, P. A., Ed., Wiley-Interscience, New York, s: 829–858.
36. Chapman, D. P., (1996) J. Coat. Technol., 68(862), 19.
37. Lewis, P. A., Ed., (1988) Pigment Handbook, 2nd ed., Vol. I, Wiley-Interscience, New York.
38. Solomon, D. H., Hawthorne, D. G., (1983) Chemistry of Pigments and Fillers, Wiley-Interscience, New York.

39. Christian, H.-D., (2004) Proc. Waterborne High-Solids Powder Coat. Symp., New Orleans, LA.
40. Fernando, R., (2004) JCT Coat. Tech., 1(5), 32.
41. Perera, D. Y., (2004) Prog. Org. Coat., 50, 247.
42. Vanier, N. R.; et al., (2005) U.S. patent 6,875,800.
43. Ellis, W. H., (1986) Solvents, Federation Series on Coatings Technology, Federation of Societies for Coatings Technology, Philadelphia.
44. Thomas, A. M., Jr., (1962) The Viscosity Reduction Power of the Xylenes, Official Digest.
45. Annual Book of ASTM Standards, (2000) Vol. 06.04, ASTM International, West Conshohocken, PA.
46. Mellan, I., (1950) Industrial Solvents, 2nd ed., Reinhold, New York.
47. Busby, D. C., Glancy, C. W., Hoy, K. L., Kuo, A. C., Lee, C., and Nielson, K. A., (1990) Supercritical Fluid Spray Application Technology: A Pollution Prevention Technology for the Future, presented at the WaterBorne and Higher Solids Coatings Symposium, sponsored by the University of Southern Mississippi and Southern Society for Coatings Technology, New Orleans, 21–23 February.
48. Smith, H. M., (1985) Polymer Paint Color, 175, 660.
49. Vernardakis, T. G., (1984) Am. Ink Maker, 62(2), 24.
50. Patterson D., (1967) Pigments an introduction to their physical chemistry, Patterson D, Editor, Elsevier, s: 50–65.
51. Gueli, A.M., Bonfiglio, G., Pasquale, S., & Troja, S.O. (2017) Effect of particle size on pigments colour, Color Research and Application, 42, 236-243.
52. Buxbaum, G., Pfaff, G., (2005) Industrial Inorganic Pigments, 3rd edition, Wiley-VCH.
53. Combe, E.C., Owen, B.A., Hodges, J.S. (2004) A protocol for determining the surface free energy of dental materials, Dental Materials, s:262–268.
54. K.S. Birdi, (2003) Handbook of surface and colloid chemistry, CRC Press, Second edition, s:103.

55. Dobrzanski, L.A., (2006) Engineering Materials and Materials Design, Fundamentals of Materials Science and Physical Metallurgy, WNT, Warsaw.
56. Berg, J.C., (1993) Wettability, Marcel Dekker, New York, 2-11.
57. Burakowski, T., Wierzcho, T., (1995) Surface engineering of metals, WNT, Warsaw, 14-18.
58. Randall D., Lee S., (2002) The polyurethanes book, John Wiley & Sons, New York.
59. Lee, J.H., Kim, C.H., Ho, K.M., Constant, K. (2005) Two-polymer microtransfer molding for highly layered microstructures, *Advanced Materials*, 17(20): 2481–2485.
60. Muller, J. P., Mitzner, E., Goering, H., Gahde, J., (1998) Surface modification of polyurethanes by multicomponent polyaddition reaction. *Journal of Materials Science Letters*, 17(2): 115–118.
61. Shastry, A., Epilepsia, A., Case, M. J., Abbasi, S., Böhringer, K. F., (2006) Bounds on contact angle hysteresis of textured super-hydrophobic surfaces, in *Proc. MicroTAS*, s:122–124.
62. Waluyo, Pakpahan, P. M., Suwarno, (2006) Influences of water droplet size and contact angle on the electric field and potential distributions on an insulator surface, 8th International Conference on Properties and applications of Dielectric Materials, s:889-892.
63. Sugden, S. J., (1921) *Chem. Soc.*, 120, 1483.
64. Hartland, S., (2004) *Surface and Interfacial Tension: Measurement, Theory, and Applications*, Surfactant Science Series, Vol. 119, CRC Press.
65. Neumann, A.W., Tanner, W., (1968) *Proceedings of the Vth Int. Congress on Surface Active Substances*, Barcelona, Vol. 2, 727–733.
66. Svitova, T., Smirnova, Y., Yakubov, G., (1995) *Colloids Surfaces*, 101, 251.
67. Miller, R., Hoffmann, R., Hartmann, R., Schano, K.H., Halbig, A., (1992) *Advanced Materials*, 4, 370.
68. von Fraunhofer, J., (2012) *Adhesion and Cohesion*, International journal of dentistry.
69. Kwok, D. Y., Leung, A., Lam, C. N. C., Li, A., Wu, R., Neumann, A. W., (1998) Low-rate dynamic contact angles on poly(methyl methacrylate) and the

- determination of solid surface tensions, *Journal of Colloid and Interface Science* 206, 44 –51.
70. Shimizu, R.N., Demarquette, N.R., (2000) Evaluation of Surface Energy of Solid Polymers Using Different Models, *Journal of Applied Polymer Science*, 76, 1831-1845.
 71. Li D., Neumann A.W., (1992) Equation of state for interfacial tensions of solid-liquid systems, Department of Mechanical Engineering, University of Toronto Toronto.
 72. Li, D., Xie, M., Neumann, A.W., (1993) *Colloid Polymer Science*.
 73. Kwok, D.Y., Neumann, A.W., (1999) Contact angle measurement and contact angle interpretation, *Advances in Colloid and Interface Science*, 81, 167-249.
 74. Fox, H.W., Zisman, W.A., (1950) *J. Colloid Science*, 5, 520.
 75. Kuang, P., Constant, K.P., (2015) Increased Wettability and Surface Free Energy of Polyurethane by Ultraviolet Ozone Treatment, *Materials Science and Engineering*, 85-103.
 76. Said, A., Mavon, A., Makki, S., Humbert, Ph., Millet, J., (1997) Wettability of psoralen powders: influence of bile salts on their contact angles and surface free energy components, *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 8, 227 - 237.
 77. Chibowski, E., Carpio, R.P., (2002) Problems of contact angle and solid surface free energy determination, *Advances in Colloid and Interface Science*, 98, 245-264.
 78. Cantin, S., Bouteau, M., Benhabib, F., Perrot, F., (2005) Surface free energy evaluation of well-ordered Langmuir–Blodgett surfaces, Comparison of different approaches, *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 276, 107-115.
 79. Berg, J.C., (1993) A review of Wettability, New York, 2-11.
 80. Garbassi, F., Morra, M., Occhiello, E., (1998) *Polymer Surfaces, From Physics to Technology*, John Wiley, Chichester, 3-48.
 81. Zisman, W.A., (1964) Relation of the Equilibrium Contact Angle to Liquid and Solid Constitution, *Advances in Chemistry*, 43, 1- 51.
 82. Krüss, (2004) *Drop Shape Analysis*, Krüss GmbH, Hamburg.

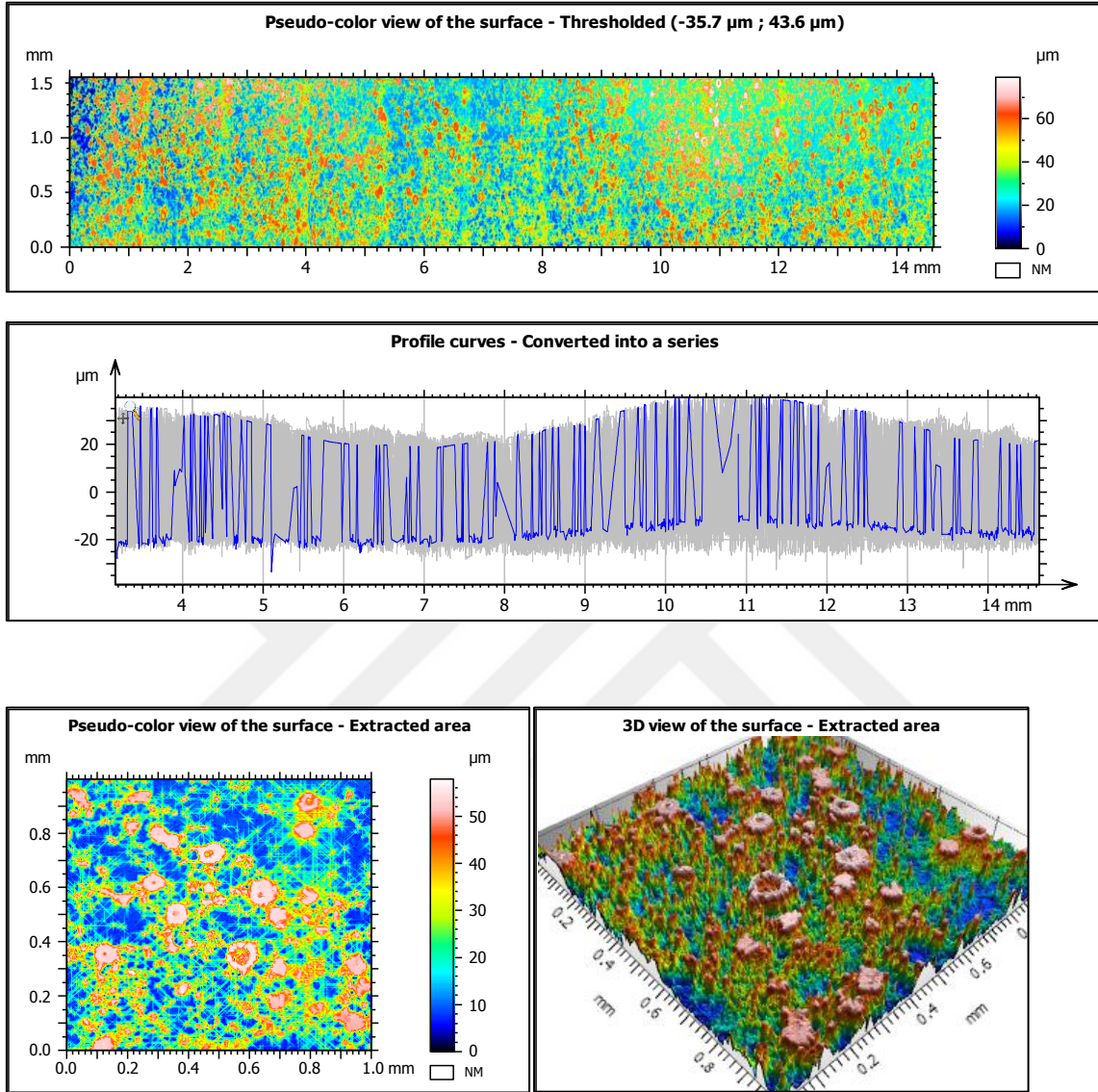
83. Hansen, F.K., (2006) The Measurement of surface energy of polymer by means of contact angles of liquids on solid surfaces, A short overview of frequently used methods by Finn Knut Hansen, Department of Chemistry, University of Oslo.
84. Owens D. K., Wendt R., (1969) Estimation of the surface free energy of polymers. *Journal of Applied Polymer Science*, 13(8): 1741–1747.
85. Erbil, H.Y., (2014) The debate on the dependence of apparent contact angles on drop contact area or three-phase contact line: A review, *Surface Sciences Reports* 69, 325-365.
86. Zenkiewicz M., (2000) Adhesion and modification of surface layer of macromolecular materials, WNT, Warsaw.
87. Neumann A. W., Good R. J., Hope C. J., Sejpal M., (1974) *J. Colloid Interface Sci.*, 49, 291.
88. Della, V.C., Maniglio, D., Brugnara, M., Siboni, S., Morra, M., (2004) *J. Colloid Interface Sci.*, 271, 434
89. Maxwell J. C., (1864), A dynamical theory of the electromagnetic field, 1st Edition, *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*.
90. Kimura, W.D., (2019) *Electromagnetic Waves and Lasers*, IOP Concise Physics.
91. Richards, A.A., (2011) *Exploring the Electromagnetic Spectrum with Imaging Technology*, SPIE Press, 2nd edition.
92. Jin J. M., (2011) *Theory and computation of electromagnetic fields*, 2nd Edition, John Wiley & Sons Inc.
93. Nicolaide A., (2012), *Electromagnetics, General Theory of the Electromagnetic Field, Classical and Relativistic Approaches*, 3rd Edition, Transilvania University Press.
94. CIE S 017/E: ILV, (2011) *International Lighting Vocabulary*. CIE Central Bureau, Vienna.
95. Williamson, S.J., Cummins, H., (1983) *Light and Color in Nature and Art*, Wiley, New York.
96. Zwinkels, J., (2015) *Light, Electromagnetic Spectrum*, National Research Council Canada, Ottawa.
97. Overheim, R.D., Wagner, D.L., (1982) *Light and Color*. Wiley, New York.

98. Lajunen, L.H.J., (1997) Spectrochemical analysis by atomic absorption and emission, Royal Society of Chemistry.
99. Clark, C.; Crumpler, C. (2020) Evidence for Environmental Noise Effects on Health for the United Kingdom Policy Context: A Systematic Review of the Effects of Environmental Noise on Mental Health, Wellbeing, Quality of Life, Cancer, Dementia, Birth, Reproductive Outcomes, and Cognition. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 17, 393.
100. Foreman, J., (1990) Sound Analysis and Noise Control, Springer, US.
101. Cheremisinoff, N.P., (1997) Noise Control in Industry A Practical Guide, William Andrew.
102. Kürklü, G., Gürkan, G., Burgan H.İ., (2013) Çalışma hayatında gürültünün etkisi ve inşaat teknolojileri eğitimi açısından değerlendirilmesi, *SDU International Journal of Technologic Sciences*, 5(1): 22-35.
103. Belgin, E., Çalışkan, M., (2004) Çalışma Yaşamında Gürültü ve İşitmenin Korunması, Türk Tabipleri Birliği Yayınları.
104. Barron, R.F., (2002) Industrial Noise Control and Acoustics, CRC Press.
105. The Occupational Safety and Health Act of 1970, S. 2193, Congressional Record (U.S.).
106. NIOSH (2016) Noise and Hearing Loss Prevention, CDC (Centers for Disease Control and Prevention).
107. Babisch, W. (2011) Cardiovascular effects of noise. *Noise and Health*, 13(52), 201.
108. Anual, R., Annuale, R. (2005) European Agency for Safety and Health at Work.
109. Sravani, P. A. P. M., Sowmya, M. A. K. P., Manasa, P. N. S. G. (2016) Noise Pollution and Its Impact on Human Health and Social Behavior using Systems Approach-A Case Study in Kurnool City. *order*, 8(7).
110. Lusk, S.L., Hagerty, B.M., (2004) Acute effects of noise on blood pressure and heart rate. *Archives of Environmental Health: An International*, 59(8): 392-399.
111. Babalık, F. C. (2011) Mühendisler İçin Ergonomi, İşbilim, 3. Baskı, Dora Yayıncılık, Bursa, s.182.

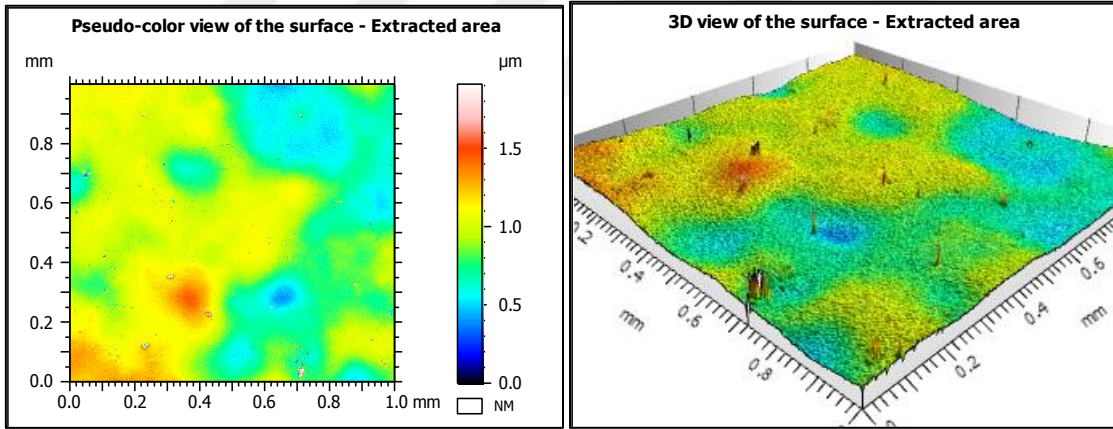
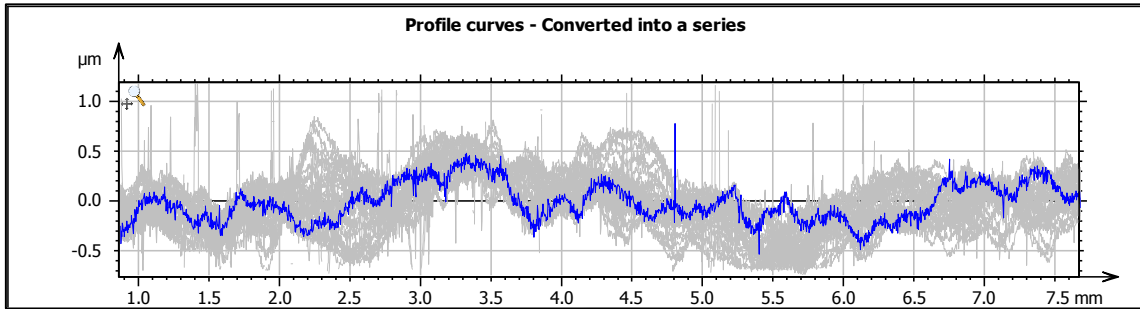
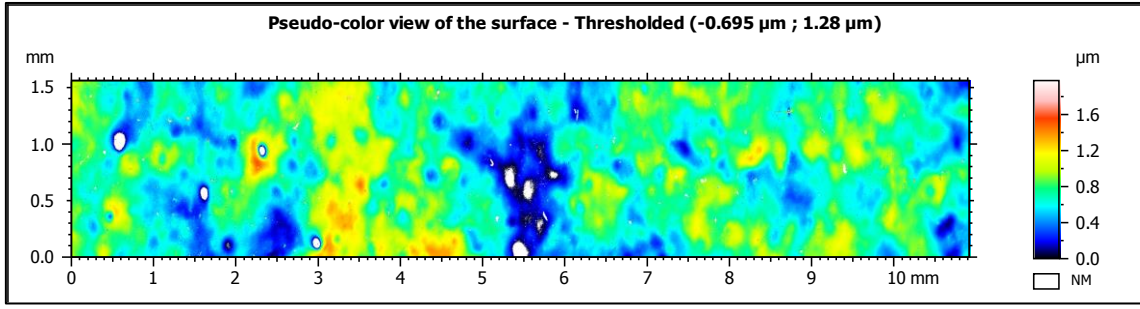
112. Güler, Ç., Çobanoğlu, Z., (1994) Gürültü, Çevre Sağlığı Temel Kaynak Dizisi, Sayı 19, Sağlık Bakanlığı, Ankara.
113. Ionescu, M., (2005) Chemistry and Technology of Polyols for Polyurethanes, Rapra Technology Limited, Shropshire, UK.
114. Mittal, K. L., (1993) Contact Angle, Wettability and Adhesion, Utrecht, Netherlands.
115. Law, K. Y., Zhao, H., (2016) Surface Wetting: Characterization, Contact Angle, and Fundamentals, Springer.
116. Deniz, Ş., Arca, M., Eroğlu, M. S., Arca, E., (2016) Creating low energy paint surface using hollow sub-micron-latexparticles, Progress in Organic Coatings 98, 14–17.
117. MacAdam, D. L., (1985) Color measurement: theme and variations. 2. ed.; Springer-Verlag Berlin Heidelberg: New York.
118. Leon, K., Mery, D., Pedreschi, F., Leon, J., (2006) Color measurement in L* a* b* units from RGB digital images. Int., 39(10), 1084-1091.

EK 1

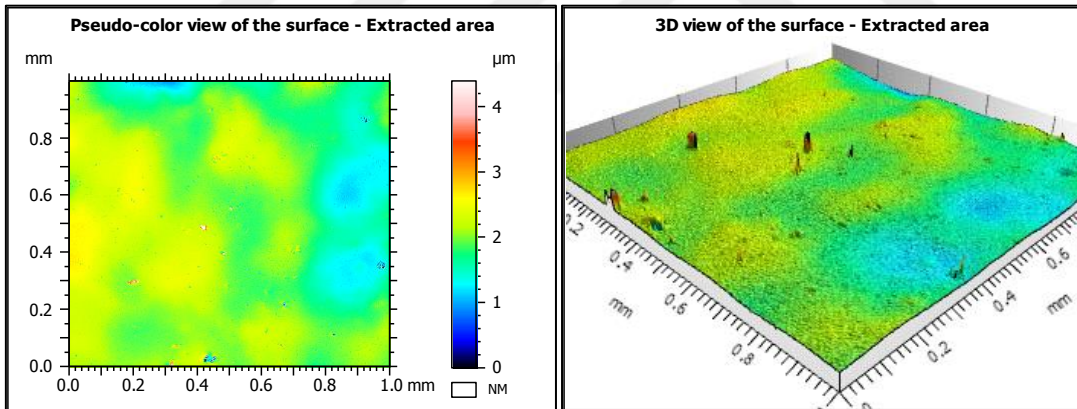
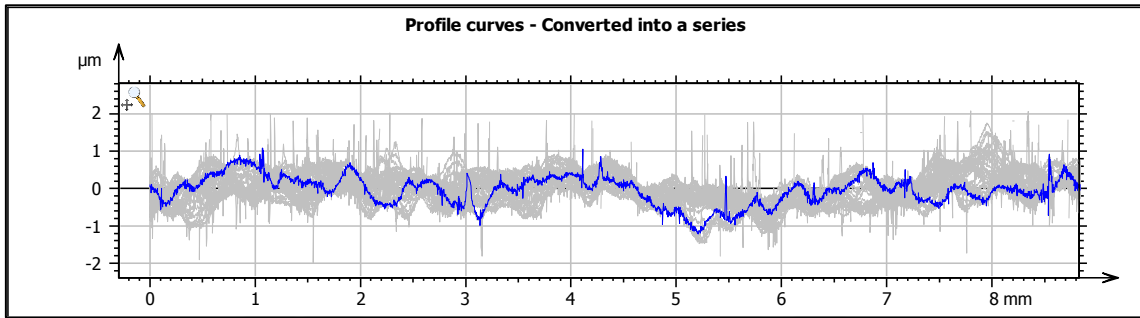
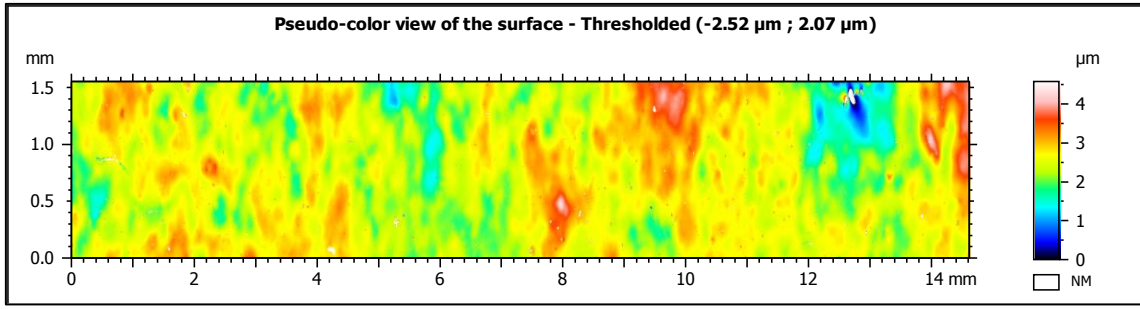
PROFİLOMETRE İNCELEME RAPORU SONUÇLARI



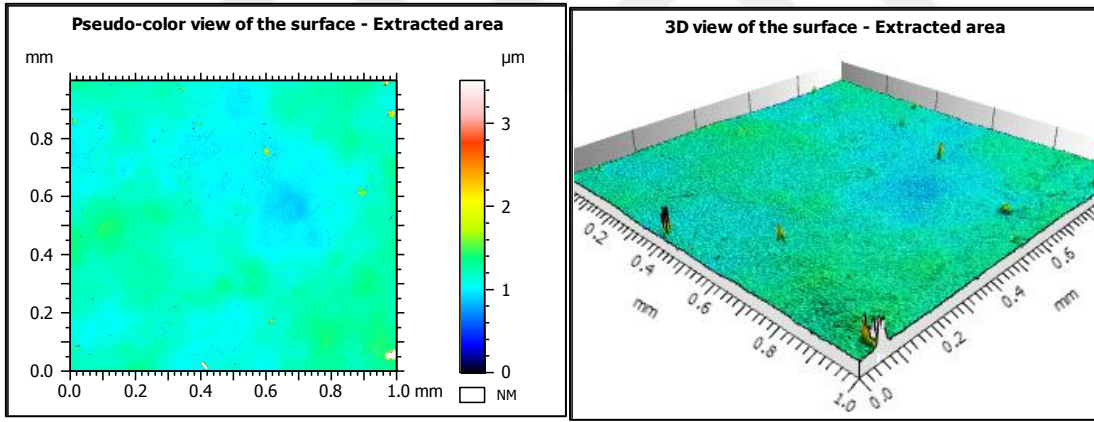
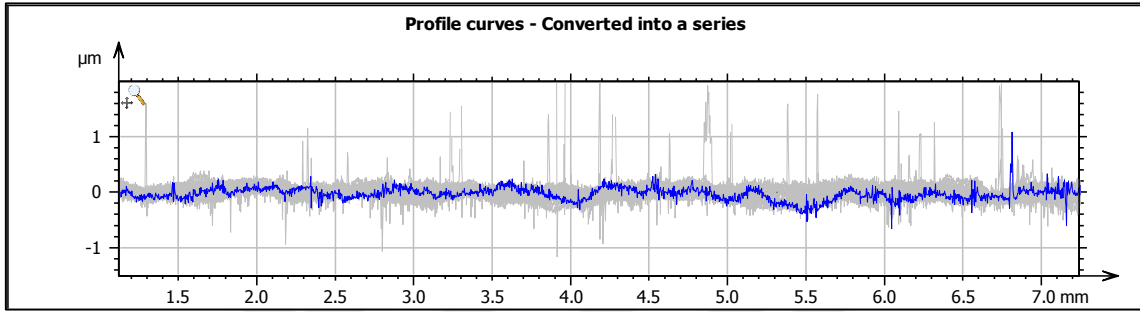
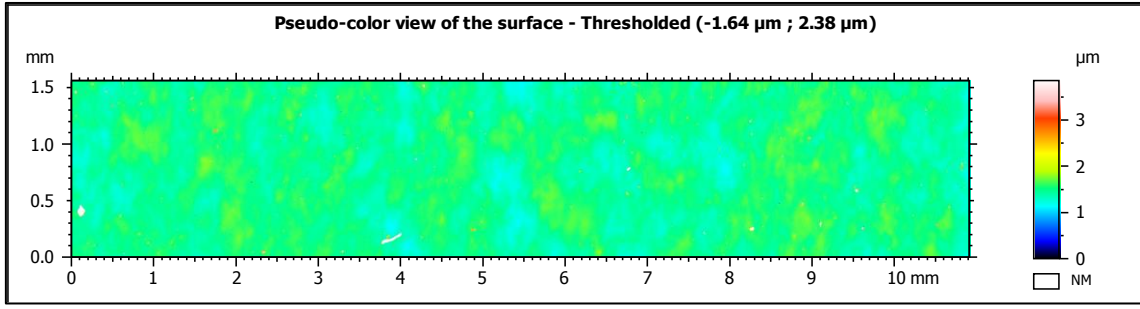
EK 1- Şekil 14 Pigment içermeyen poliüretan boya kaplı yüzey



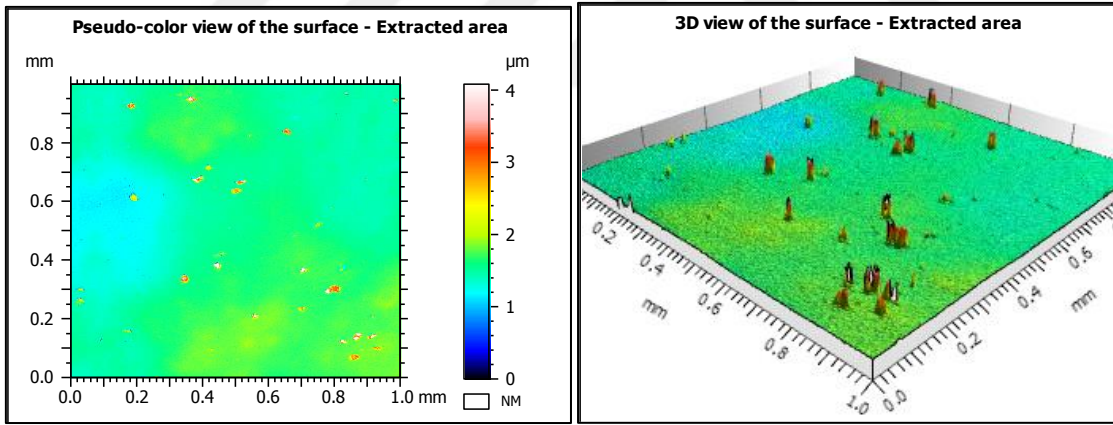
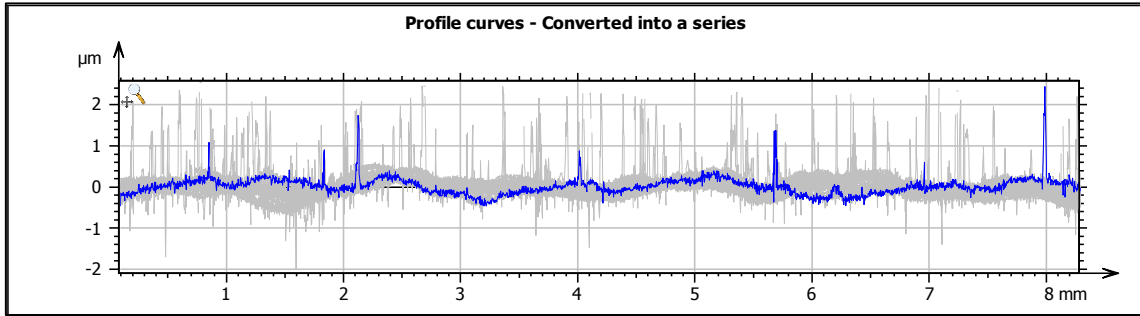
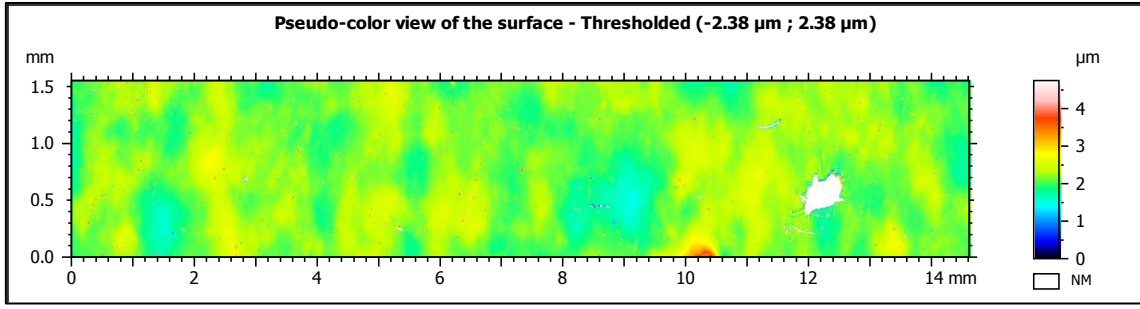
EK 1- Şekil 15 1. Set Kırmızı (%5 Konsantrasyon)



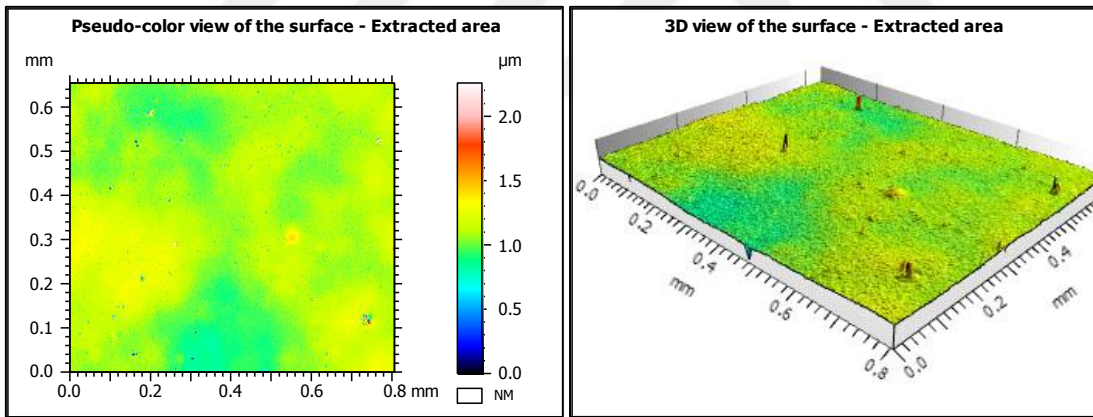
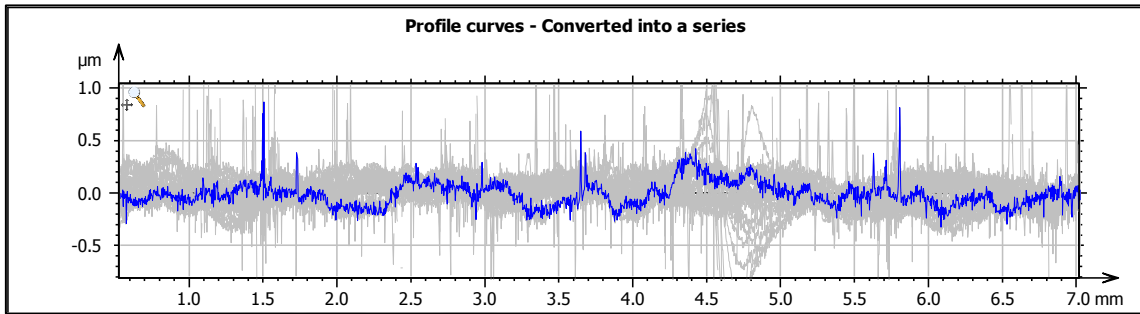
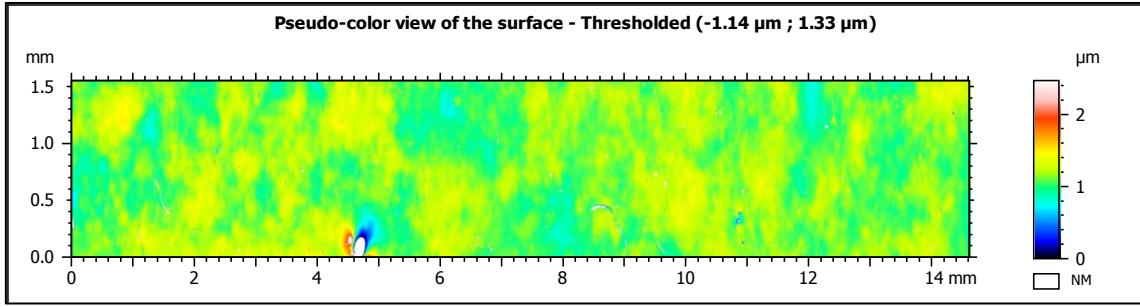
EK 1- Şekil 16 1. Set Sarı (%5 Konsantrasyon)



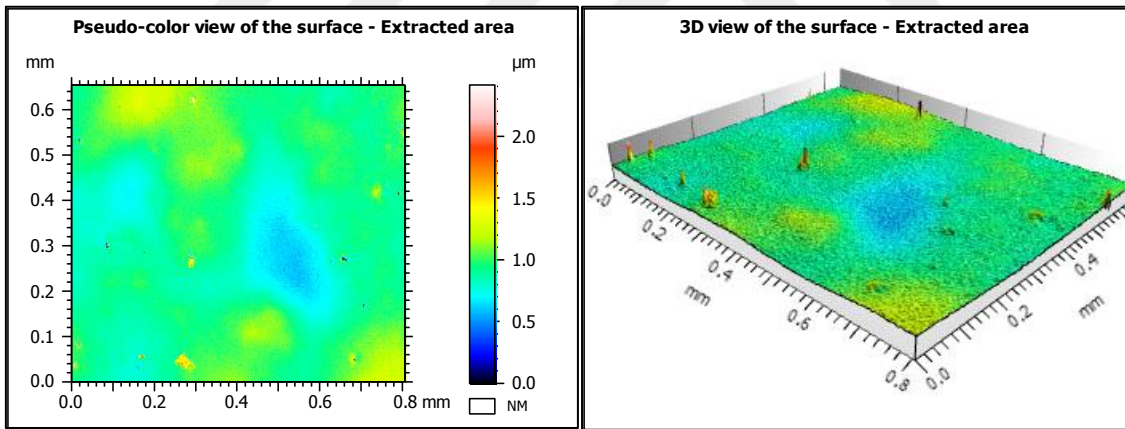
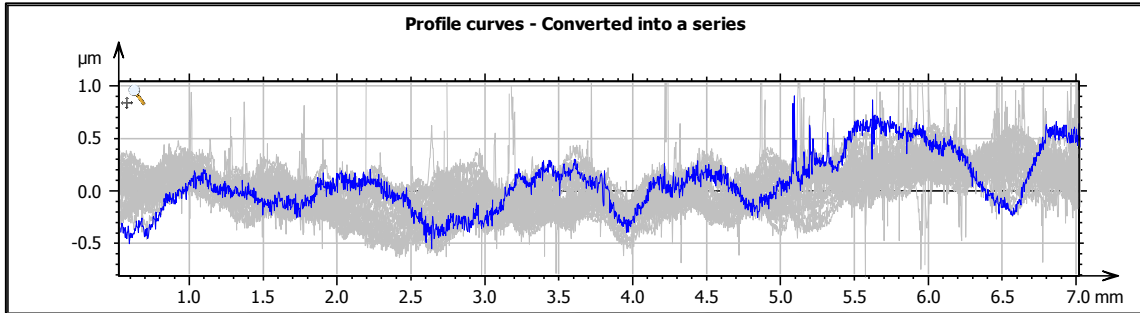
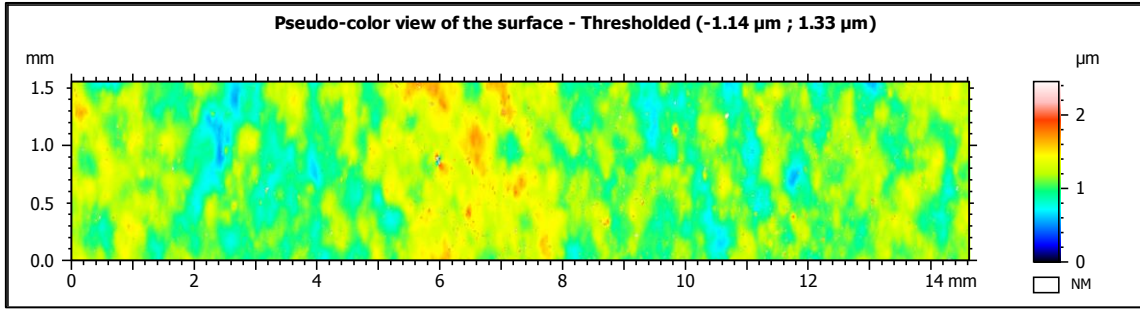
EK 1- Şekil 17 1. Set Turuncu (%5 Konsantrasyon)



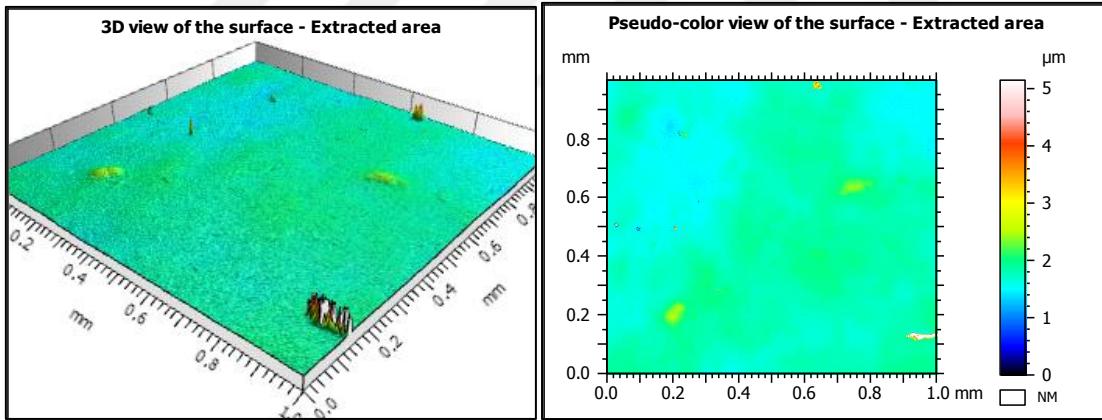
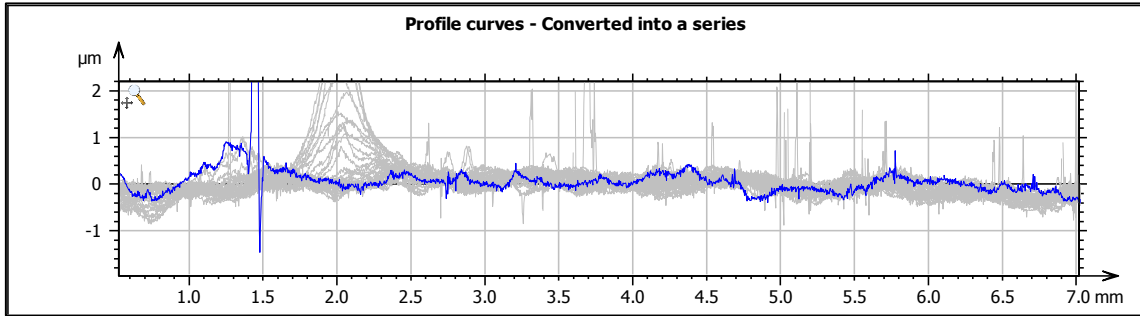
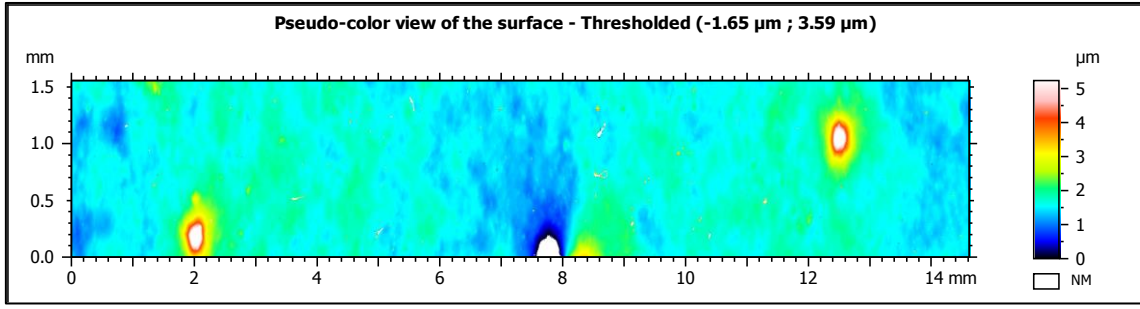
EK 1- Şekil 18 1. Set Yeşil (%5 Konsantrasyon)



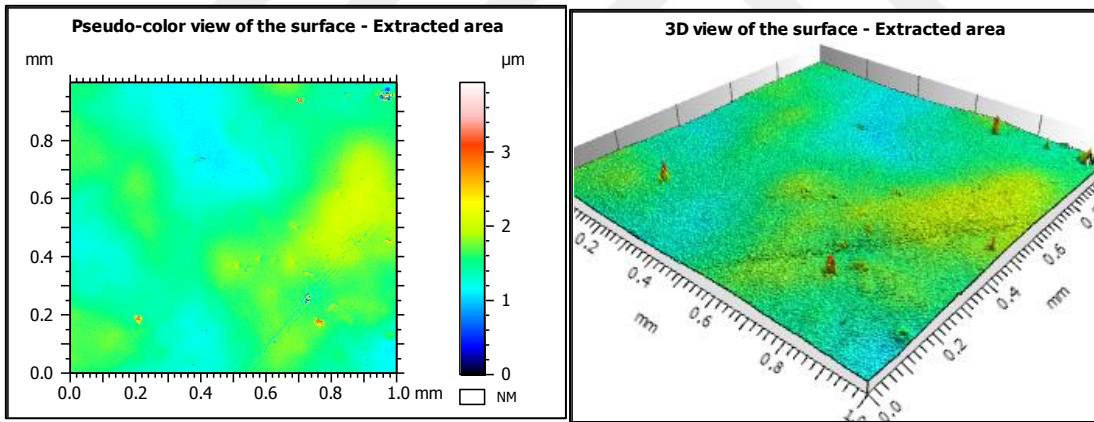
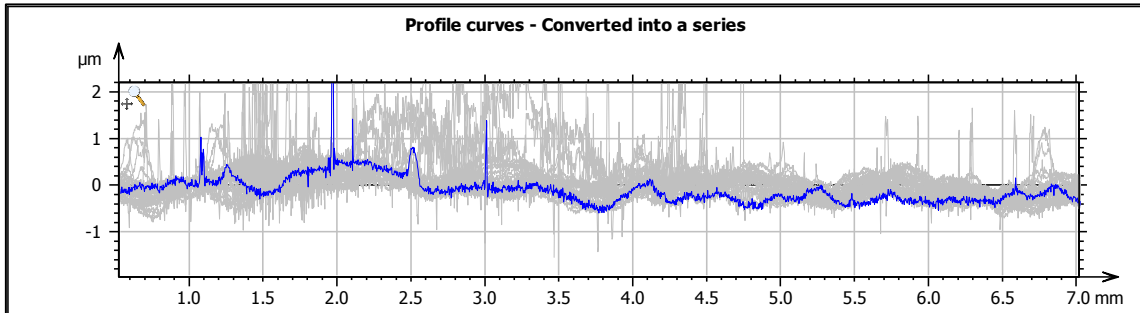
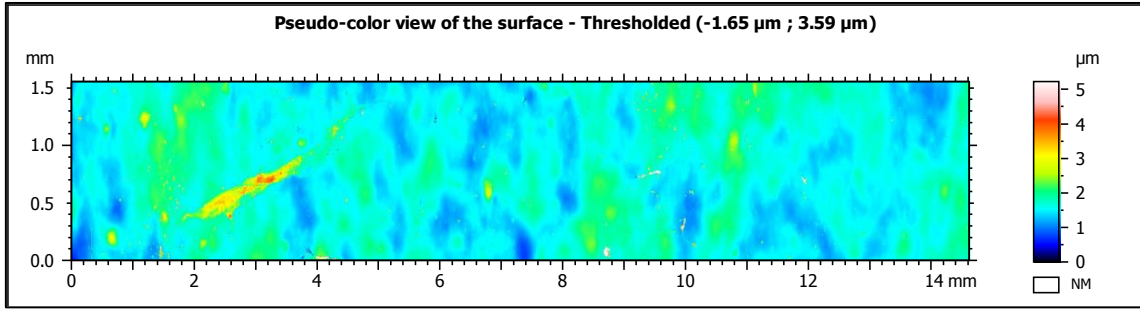
EK 1- Şekil 19 2. Set Kırmızı (%7 Konsantrasyon)



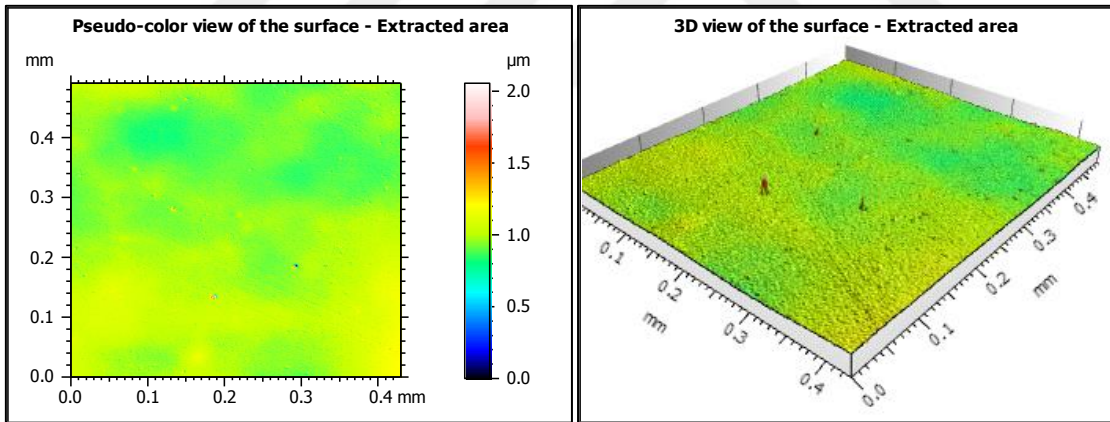
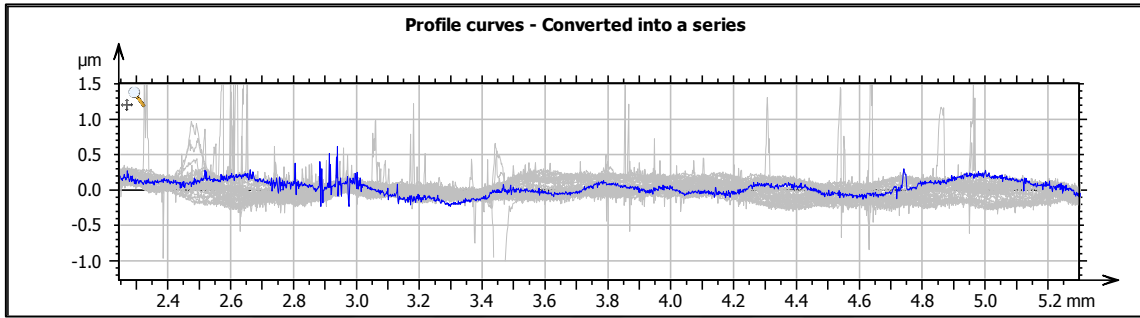
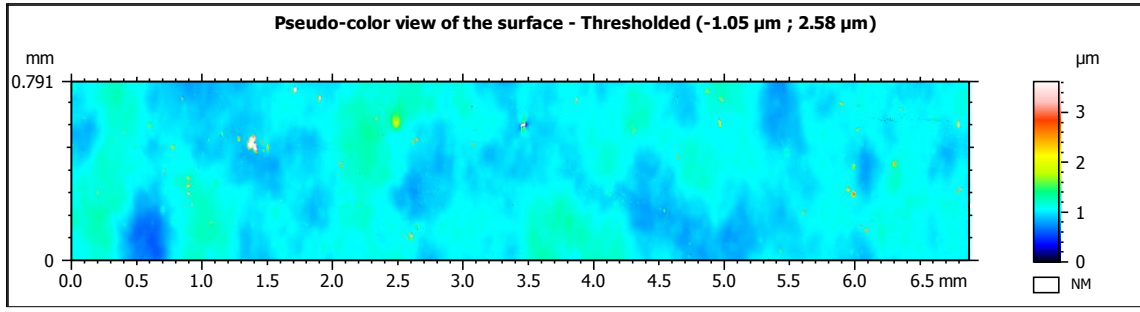
EK 1- Şekil 20 2. Set Sarı (%7 Konsantrasyon)



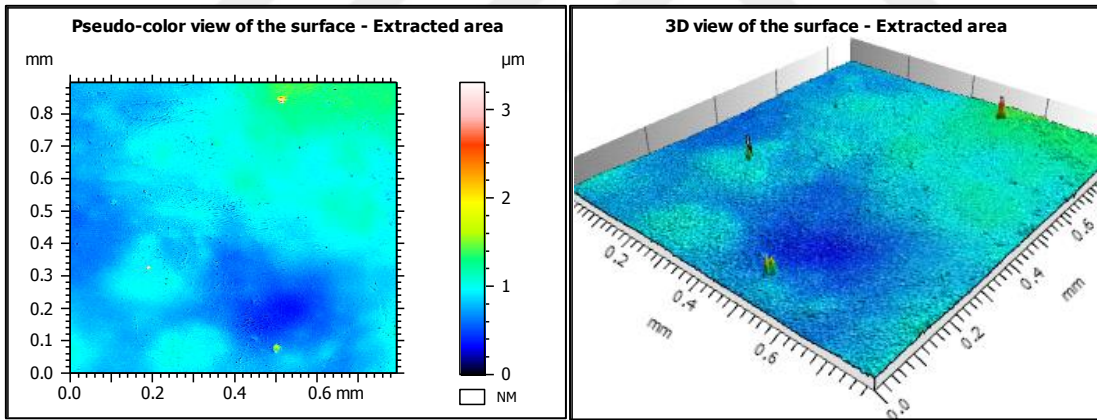
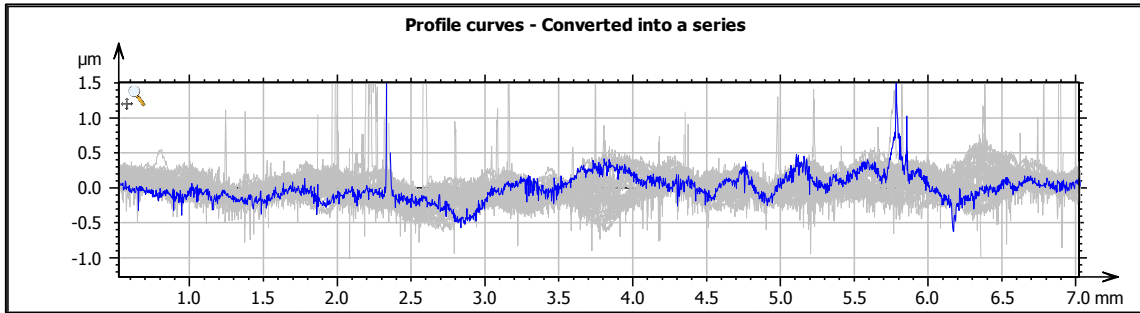
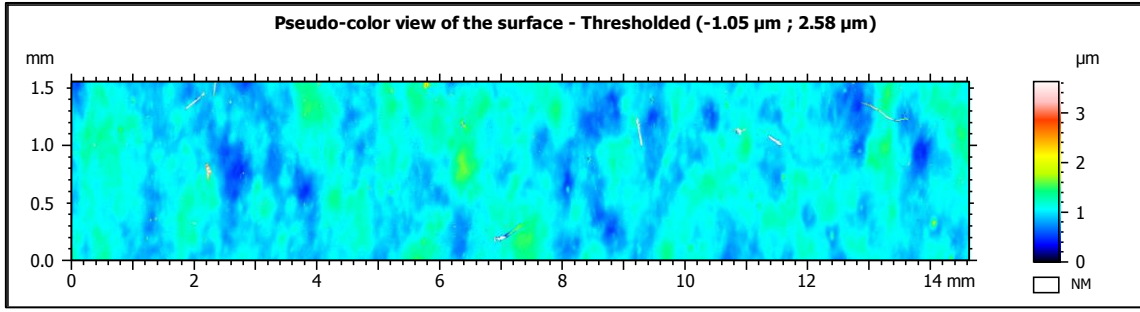
EK 1- Şekil 21 2. Set Turuncu (%7 Konsantrasyon)



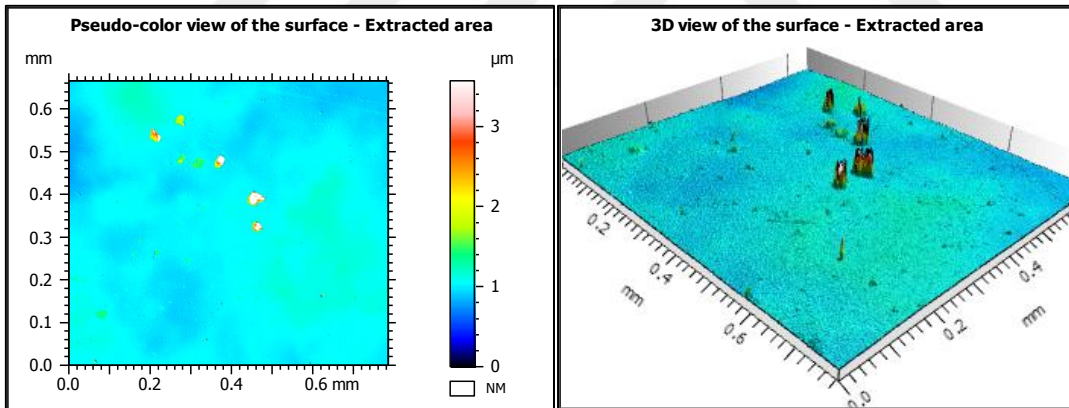
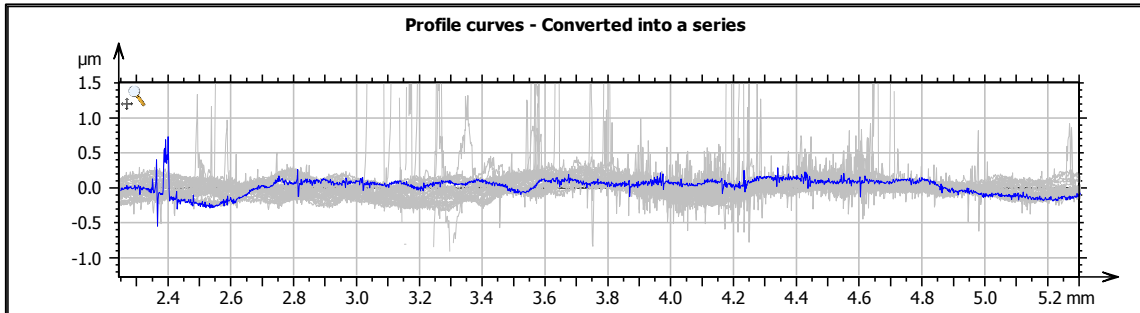
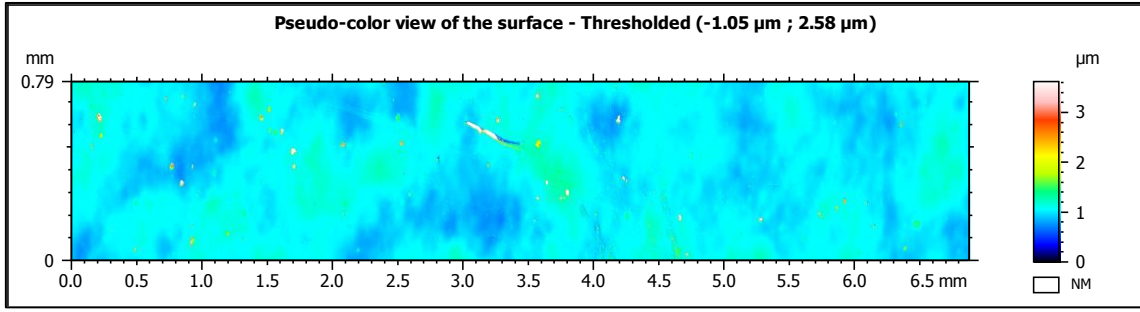
EK 1- Şekil 22 2. Set Yeşil (%7 Konsantrasyon)



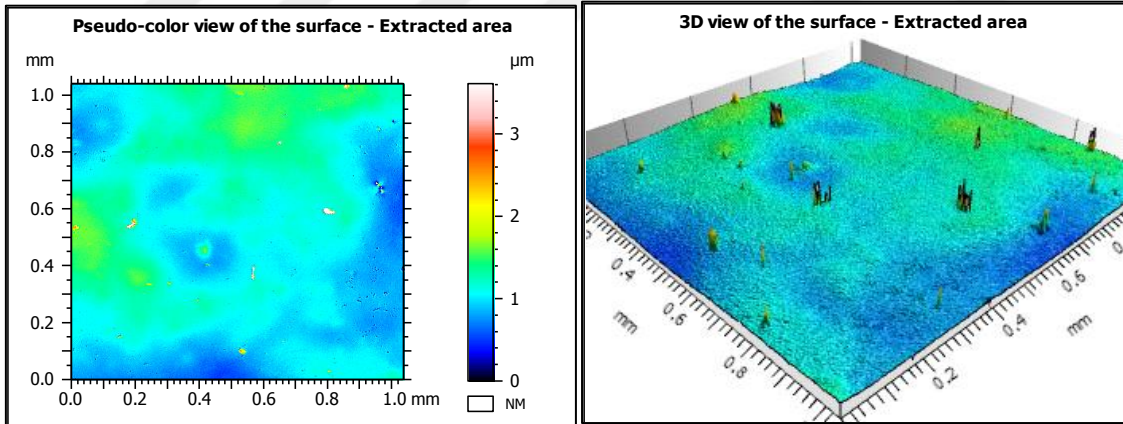
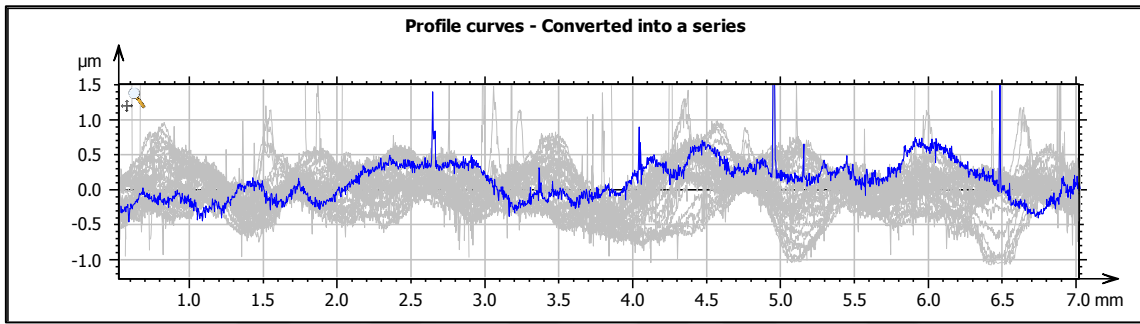
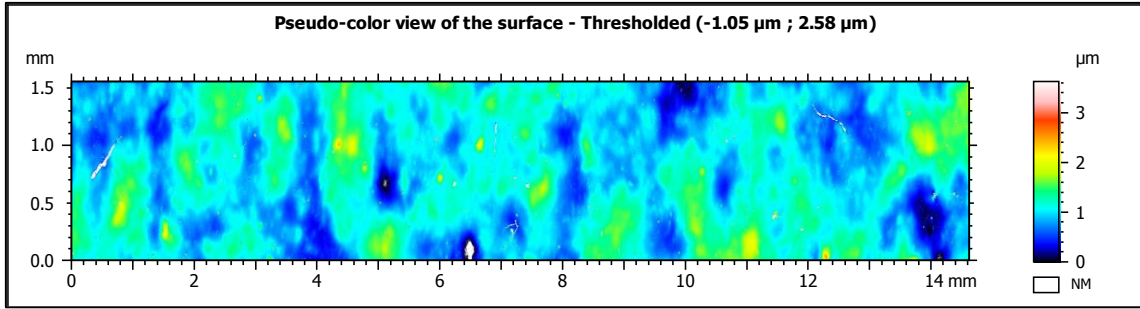
EK 1- Şekil 23 3. Set Kırmızı (%9 Konsantrasyon)



EK 1- Şekil 24 3. Set Sarı (%9 Konsantrasyon)



EK 1- Şekil 25 3. Set Turuncu (%9 Konsantrasyon)



EK 1- Şekil 26 3. Set Yeşil (%9 Konsantrasyon)

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Hande ERGİN ESEN

Doğum Tarihi : 17.02.1987

Doğum Yeri : İstanbul

Eğitim Düzeyi

Derece	Alan	Üniversite	Yıl
Doktora	İş Güvenliği	Marmara Üniversitesi	Devam
Yüksek Lisans	İş Güvenliği	Marmara Üniversitesi	2016
Lisans	Kimya Mühendisliği	Ege Üniversitesi	2010

Yabancı Dilleri	Okuduğunu Anlama	Konuşma	Yazma	Puanı
İngilizce	İyi	İyi	İyi	81,25 (YDS)

İş Deneyimi

Görevi	Kurum	Süre
Öğretim Görevlisi	Biruni Üniversitesi	2015-Halen
İş Güvenliği Uzmanı	DB Schenker Arkas	2014-2015
İş Güvenliği Uzmanı	Borusan Lojistik	2010-2014

Yazılan uluslararası kitaplar veya kitaplarda bölümler

- Yagimli M., Tozan H., Ergin Esen H., Arca E. (2018) A Polyurethane/Carbon Black Composite Absorber for Low Frequency Waves. In: Hloch S., Klichová D., Krolczyk G., Chattopadhyaya S., Ruppenthalová L. (eds) Advances in Manufacturing Engineering and Materials. Lecture Notes in Mechanical

Engineering. Springer, Cham, 407-412.. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-99353-9_43

Uluslararası bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitabında (Proceeding) basılan bildiriler

- Yağımlı Mustafa, Tozan Hakan, Ergin Hande, Arca Emin (2018). A Polyurethane/Carbon Black Composite Absorber for Low Frequency Waves. International Conference on Manufacturing Engineering and Materials ICMEM 2018 (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum) (Yayın No:430 284)
- Ergin Esen H., Yagimli M., Bulut H. (2019) Assessment of Occupational Safety Awareness of Health University Employees, 8th International Vocational Schools Symposium (UMYOS-2019), 11-13 June 2019, Sinop, Türkiye. (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum)
- Ergin Esen H., Mergen A. (2019) Evaluation of Occupational Accidents in the Apparel Retail Sector: Case Study, 8th International Vocational Schools Symposium (UMYOS-2019), 11-13 June 2019, Sinop, Türkiye. (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum)
- Ergin Esen H., Arga K.Y. (2019) Review of the Occupational Health and Safety in the Metal Sector in Turkey, 8th International Vocational Schools Symposium (UMYOS-2019), 11-13 June 2019, Sinop, Türkiye. (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum)

Ulusal hakemli dergilerde yayımlanan makaleler

- Yagimli M., Ergin H. (2018). Türkiye’de İş Kazalarının Üssel Düzeltme Metodu ile Tahmin Edilmesi. Marmara Fen Bilimleri Dergisi, 29 (4), 118-123. DOI: 10.7240/marufbd.305236 (Kontrol No: 3766788)
- Ergin H., Mergen A. (2017). Hazır Giyim Mağazacılık Sektöründe İş Kazaları ve Çözüm Önerileri: Örnek Bir Uygulama. Marmara Fen Bilimleri Dergisi, 29 (1), 29-38. DOI: 10.7240/marufbd.308547