



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



DOKTORA TEZİ

**TOZ BOYAMA SİSTEMLERİNİN AHŞAP KOMPOZİT
LEVHALARA UYGULANMASI VE PERFORMANS
ÖZELLİKLERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

Memiş AKKUŞ

Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Odun Mekaniği ve Teknolojisi Programı

**DANIŞMAN
Prof. Dr. Turgay AKBULUT**

Mayıs, 2018

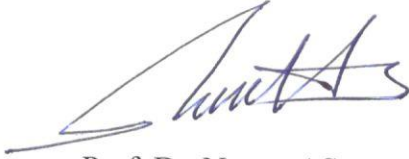
İSTANBUL

Bu çalışma, 17.05.2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Odun Mekaniği ve Teknolojisi Programında Doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi



Prof. Dr. Turgay AKBULUT(Danışman)
İstanbul Üniversitesi
Orman Fakültesi



Prof. Dr. Nusret AS
İstanbul Üniversitesi
Orman Fakültesi



Prof. Dr. Mehmet BUDAKÇI
Düzce Üniversitesi
Teknoloji Fakültesi



Prof. Dr. Tuncer DİLİK
İstanbul Üniversitesi
Orman Fakültesi



Doç. Dr. Ümit BÜYÜKSARI
Düzce Üniversitesi
Orman Fakültesi



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

Bu tez, İstanbul Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yürütücü Sekreterliğinin 22263 numaralı projesi ile desteklenmiştir.

Bu tez, 115O604 numaralı TÜBİTAK projesi ile desteklenmiştir.

ÖNSÖZ

“Toz Boyama Sistemlerinin Ahşap Kompozit Levhalara Uygulanması Ve Performans Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi” isimli bu çalışma İstanbul Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Odun Mekaniği ve Teknolojisi Programı’nda Doktora Tezi olarak hazırlanmıştır.

Doktora öğrenimim ve tez çalışmalarım boyunca, maddi ve manevi her konuda desteğini esirgemeyen, bilgi ve tecrübesini bana aktaran, önerileriyle çalışmalarımı yönlendiren danışmanım, değerli hocam Sayın Prof. Dr. Turgay AKBULUT’a ve çalışmalarım sırasında değerli bilgi ve tecrübelerini bana aktaran, önerileriyle çalışmalarımı yönlendiren değerli hocalarım Sayın, Prof. Dr. Nusret AS ve Sayın Prof. Dr. Mehmet BUDAKÇI’ya tüm ilgi ve alakalarından dolayı teşekkür ederim. Çalışmalarım esnasında bilgi ve tecrübelerini paylaşan Sayın Doç. Dr. Zeki CANDAN’a ve Anabilim Dalımızda bulunan tüm akademisyenlere teşekkürlerimi sunarım.

Yanma performansı testi İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, Orman Biyolojisi ve Odun Koruma Teknolojisi Anabilim Dalı Yanma ve Termal Analiz Test Laboratuvarı’nda yapılmıştır. Bu testin yapımında emeği geçen ve yardımlarını esirgemeyen Prof. Dr. S. Nami KARTAL ve Yard. Doç. Dr. Evren TERZİ’ye çok teşekkür ederim. Yapışma testi gerçekleştirilmesinde önemli katkıları olan Araş. Gör. Ender HAZIR’a teşekkürlerimi sunarım.

MDF ve yongalevhaların temin edilmesi, levha yüzeylerin sıvı esaslı su bazlı boya uygulamasının gerçekleştirilmesi ve formaldehit emisyon testinin yapılmasında önemli katkılar sağlayan, dünyanın önde gelen sayılı ahşap esaslı levha üreticisi KASTAMONU ENTEGRE AĞAÇ SAN. VE TİC. A.Ş.’nin Genel Müdürü Sayın Yusuf İLERİ, kalite yöneticisi Sayın Mediha VICİL, kalite mühendisi Sayın Hakan KOCA, İşletme mühendisi Sayın Emre AKKUŞ’a teşekkürlerimi sunarım. Kontrplakların temin edilmesinde önemli katkıları olan, Pelit Arslan Kontrplak Tesisi çalışanları ve Turanlar Grubuna teşekkürlerimi sunarım.

Toz boya üretiminde ülkemizin önde gelen firmaları arasında yer alan ve ahşap esaslı levhalar üzerinde elektrostatik toz boya araştırma geliştirme faaliyetlerine önemli katkılar sağlayan PULVER KİMYA SAN. ve TİC. AŞ.’nin değerli çalışanları AR-GE proje müdürü Sayın Ahmet ÖZCAN, proje koordinatörü Sayın Recep PİYADE, ve Satış temsilcisi Sayın İlhan GÜVEM’e içten teşekkür etmeyi borç bilirim.

Tez çalışmam esnasında her yönden desteklerini gördüğüm çok değerli mesai arkadaşlarım Yard. Doç. Dr. Alperen KAYMAKÇI, Araş. Gör. H. Volkan GÖRGÜN, Araş. Gör. Akın ŞENDAĞ ve Uzman Hüseyin AKKILIÇ’a teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım boyunca desteğini ve yardımlarını hiç esirgemeyen, varlığını hep yanımda hissettiğim sevgili aileme sonsuz şükranlarımı sunarım.

Mayıs 2018

Memiş AKKUŞ

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ	iv
İÇİNDEKİLER.....	v
ŞEKİL LİSTESİ	ix
TABLO LİSTESİ.....	xiv
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ.....	xxi
SUMMARY	xxiv
1. GİRİŞ	1
2. GENEL KISIMLAR.....	5
2.1. AHŞAP ESASLI LEVHALAR.....	6
2.1.1. NORMAL (STANDART) YONGALEVHA.....	6
2.1.2. ORTA YOĞUNLUKTA LİFLEVHALAR (MDF)	9
2.1.3. KONTRPLAK.....	12
2.2. LİFLEVHA VE YONGALEVHA YÜZEYLERİNİN KAPLANMASI	14
2.2.1. Katı Yüzey Kaplama Malzemelerinin Sınıflandırılması	15
2.2.1.1. Levha Yüzeyine Doğrudan Yapışan Lamine Levhalar.....	15
2.2.1.2. Levha Yüzeyine Tutkal ile Yapıştırılan Laminat veya Folyolar.....	15
2.2.1.3. Lamine levhalar	16
2.2.1.4. Laminatlar.....	16
2.2.2. Sıvı Yüzey Kaplama Malzemelerinin Sınıflandırılması.....	17
2.2.2.1. Lake boya yapma	18
2.2.2.2. Desen baskı işlemleri	18
2.3. KONTRPLAK LEVHALARIN KAPLANMASI.....	25
2.3.1. Fenolik Film İle Kaplama.....	25
2.3.2. Tekstürlü Fenolik Film Kaplama.....	25
2.3.3. Boyanabilir Film İle Kaplama	26
2.3.4. Melamin Film İle Kaplama	26
2.3.5. Diğer Kaplamalar	26

2.4. BAŞARILI BİR ÜSTYÜZEY İŞLEMİ İÇİN LEVHALARDA BULUNMASI GEREKEN ÖZELLİKLER	27
2.5. YÜZEYİ KAPLANMIŞ LEVHALARIN KULLANIM ALANLARI	27
2.6. SU ÇÖZÜCÜLÜ SİSTEMLER	28
2.6.1. Su Çözücülü Boya / Verniklerin Genel Özellikleri	33
2.6.2. Su Çözücülü Verniklerin Avantajları	37
2.6.3. Su Çözücülü Verniklerinin Dezavantajları	37
2.7. PANEL HATTI ÜSTYÜZEY İŞLEMLERİ	37
2.8. ELEKTROSTATİK TOZ BOYA	39
2.8.1. Toz Boya Kullanım Nedenleri	40
2.8.2. Toz Boya Üretim Aşaması	41
2.8.3. Termoplastik Esaslı Toz Boya Reçineleri	44
2.8.3.1. <i>Polietilen Reçineler</i>	44
2.8.3.2. <i>Poliamid Reçineler</i>	44
2.8.3.3. <i>PVC Reçineler</i>	45
2.8.3.4. <i>Etilen – Vinil Alkol Kopolimerler Reçineler</i>	45
2.8.4. Termoset Esaslı Toz Boya Reçineleri	45
2.8.4.1. <i>Epoksi Reçineler</i>	45
2.8.4.2. <i>Polyester Reçine</i>	45
2.8.4.3. <i>Epoksi / Polyester Reçine Sistemleri (Hibrit)</i>	47
2.8.4.4. <i>Akrilik Reçine</i>	48
2.8.4.5. <i>Epoksi / Akrilik Reçineler</i>	49
2.8.4.6. <i>Poliüretan Reçineler</i>	51
2.8.5. Termoset Toz Boyaların Genel Formülasyonu	51
2.9. ELEKTROSTATİK TOZ BOYA UYGULAMA YÖNTEMLERİ	54
2.9.1. Akışkan Yatak Yöntemi	54
2.9.2. Elektrostatik Toz Boya Püskürtme Yöntemi	55
2.9.3. Elektrostatik Toz Boyayı Fırınlama	63
2.9.4. Toz Boyada Film Oluşumu	66
2.9.5. Elektrostatik Toz Boya Kontrolü	67
3. MALZEME VE YÖNTEM	99
3.1. KULLANILAN LEVHA TİPLERİ	99
3.1.1. Orta Yoğunlukta Liflevha (MDF)	99

3.1.2. Yongalevha.....	99
3.1.3. Kontrplak.....	100
3.2 KULLANILAN TOZ BOYALAR.....	101
3.2.1 Epoksi Esaslı Toz Boya.....	101
3.2.2. Polyester Esaslı Toz Boya.....	101
3.2.3 Epoksi-Polyester (Hibrit) Toz Boya.....	102
3.3. TOZ BOYA İŞLEMİNİN UYGULANMASI	102
3.4. SU BAZLI BOYA UYGULAMASI.....	104
3.5. LEVHALARA UYGULANAN TEST YÖNTEMLERİ	106
3.5.1. Yanma Direncinin Belirlenmesi	106
3.5.2. Kalınlığına Şişme Miktarının Belirlenmesi.....	109
3.5.3. Su Alma Miktarı	110
3.5.4. Formaldehit Emisyon Miktarının Belirlenmesi.....	111
3.5.5. Çizilme Direncinin Belirlenmesi	113
3.5.6. Aşınma Direncinin Belirlenmesi	115
3.5.7. Yapışma Direnç Değerinin Tespit Edilmesi.....	117
3.5.8. Kuru Film Kalınlığının Ölçülmesi.....	119
3.5.9. Yaşlandırma Testi.....	120
3.5.10. Renk Ölçümü.....	123
3.5.11. Parlaklık Ölçümü.....	124
3.5.12. Verilerin Değerlendirilmesi.....	125
4. BULGULAR.....	126
4.1. KURU FİLM KALINLIKLARI	126
4.2. KALINLIĞINA ŞİŞME.....	127
4.3. SU ALMA MİKTARI.....	134
4.4. YAPIŞMA DİRENCİ.....	140
4.5. AŞINMA DİRENCİ.....	146
4.6. ÇİZİLME DİRENCİ	152
4.7. YANMA PERFORMANSI.....	157
4.8. FORMALDEHİT MİKTARI	173
4.9. YAŞLANDIRILMIŞ ÖRNEKLERDE TOPLAM RENK DEĞİŞİMİ.....	179
4.10. YAŞLANDIRILMIŞ ÖRNEKLERDE PARLAKLIK DEĞİŞİMİ	184

5. TARTIŞMA VE SONUÇ	192
5.1. KURU FİLM KALINLIK DEĞERİ	192
5.2. KALINLIĞINA ŞİŞME	193
5.3. SU ALMA MİKTARI	195
5.4. BOYALARIN YAPIŞMA DİRENCİ	197
5.5. AŞINMA DİRENCİ	199
5.6. ÇİZİLME DİRENCİ	201
5.7. YANMA DİRENCİ	203
5.8. FORMALDEHİT MİKTARI	208
5.9. YAŞLANDIRILMIŞ ÖRNEKLERDE RENK DEĞİŞİMİ	209
5.10 YAŞLANDIRILMIŞ ÖRNEKLERDE PARLAKLIK DEĞİŞİMİ	211
KAYNAKLAR	214
ÖZGEÇMİŞ	223

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 1.1: Ahşap ve ahşap esaslı levhalarda uygulanan farklı boyama teknolojilerinin zamana göre ürün kullanım döngüsü.....	3
Şekil 2.1: Yongalevha üretiminde kullanılan çeşitli tip yongalar	7
Şekil 2.2: Yongalevha üretim safaları	8
Şekil 2.3: Kuru yöntemle orta yoğunlukta liflevha üretim süreci	10
Şekil 2.4: Kontrplak üretim aşaması	13
Şekil 2.5: Yongalevha yüzeylerine uygulanan lake boya işlem basamakları.	18
Şekil 2.6: Yongalevha üzerine desen baskı işleminin iş akışı.....	19
Şekil 2.7: Isı transfer folyosunun yapısı.....	21
Şekil 2.8: HPL laminatın tipik tabaka yapısı	22
Şekil 2.9: CPL laminat üretimi için çift bantlı pres	23
Şekil 2.10: Çeşitli renk desende kaplanış kontrplak levhalar.	26
Şekil 2.11: Emülsiyon polimerizasyonunun aşamaları (a) başlamadan önce (b) polimerizasyonun başlaması (c) polimerizasyonun sürdürülmesi tüm miseller tükenmiş (d) monomer damlaları tükenmiş (e) polimerizasyonun sonlanması.....	31
Şekil 2.12: Emülsiyon polimerizasyonunda yaş ve kuru filmde molekül dizilişleri.....	33
Şekil 2.13: a. Ekstruder Aşaması b. Soğutma Merdaneleri ve Bandı c. Cips Haline getirme	41
Şekil 2.14: Değirmende öğütme ve sınıflandırma	42
Şekil 2.15: Elekten geçme, tartılma ve paketlenme	43
Şekil 2.16: Toz boya üretim aşamalarının gösterimi	43
Şekil 2.17: Toz boyada kullanılan glisidil esterlerinin moleküler yapısı.....	46
Şekil 2.18: Tetrakis – 2 – hydroxyalkyl adipic amidlerin moleküler yapısı	47
Şekil 2.19: Epoksi ve serbest karboksil grubu içeren polyester reçinelerinin çapraz bağlanma reaksiyonu	48

Şekil 2.20: Glisidil metakrilat monomerinin moleküler yapısı	50
Şekil 2.21: Epoksi akrilik reçinesinin çapraz bağlanma reaksiyonu	51
Şekil 2.22: Akışkan yatak toz boya uygulamaları	55
Şekil 2.23: Elektrostatik tabanca ile malzeme yüzeyinin kaplaması.	56
Şekil 2.24: Korona püskürtmeli tabancanın çalışma prensibi (Sağda) ve Korona tipi toz boyama tabancası (Solda).	57
Şekil 2.25: Faraday etkisinin oluşumu	58
Şekil 2.26: Korona tipi elektrostatik toz boya cihazının bağlantı noktaları	58
Şekil 2.27: Korona tipi elektrostatik toz boya cihazının pnömatik kumanda bölümü	58
Şekil 2.28: Tribo tipi tabancaların çalışma prensibi (Sağda) Tribo tipi boya tabancası	60
Şekil 2.29: Toz boyama kabinleri	62
Şekil 2.30: Toz boyama kabinin bölümleri	62
Şekil 2.31: Elektrostatik boya fırını ve kısımları	63
Şekil 2.32: Direkt ve Endirekt fırınlarının çalışma mekanizması	64
Şekil 2.33: Konveyör sistemli otomatik elektrostatik toz boyama hattı	64
Şekil 2.34: Toz boya film oluşum mekanizması	66
Şekil 2.35: Toz boya uygulaması sonucu yüzeyde krater oluşumu	67
Şekil 2.36: Toz boya uygulaması sonucunda yüzeyde meydana gelen iğne delikleri.	68
Şekil 2.37: Yetersiz film kalınlığı sonucu zayıf örtücülük	68
Şekil 2.38: Toz boya uygulaması sonucunda meydana gelen portakal görüntüsü.....	69
Şekil 2.39: Toz boya uygulaması sonucunda meydana gelen renk farklılığı.....	70
Şekil 2.40: toz boya uygulaması sonucu puslanma kusuru.....	70
Şekil 2.41: Düşük mekanik dayanım gösteren toz boya uygulaması.....	71
Şekil 2.42: Korozyon dayanımı yetersiz toz boya uygulaması	71
Şekil 2.43: Toz boyama işlem safaları	78
Şekil 2.44: 25 mm kalınlığında MDF levhanın ön ısıtma işlemi esnasında yüzey ve orta tabaka sıcaklık değişimi	80

Şekil 2.45: Ön ısıtma işlemi öncesinde 23 °C ve %40 bağıl nem şartlarında denge rutubetindeki MDF'nin, ön sıtma işlemi esnasında yüzey ve orta tabaka elektriksel direnç değişimi	80
Şekil 2.46: Ksenon ark ışığı altında farklı formülasyonda hazırlanan polyester esaslı toz boyaların parlaklık kayıplarının karşılaştırılması [95].	82
Şekil 2.47: MDF yüzey elektrik direncine bağlı olarak kenar elektrostatik toz boya film kalınlıkları.....	83
Şekil 2.48: MDF rutubet içeriğinin elektrostatik toz boya uygulanmış MDF kenarlarında muhtemel çatlak oluşumuna etkisi	84
Şekil 2.49: Iroko (a) ve sahil çamı (b) malzeme yüzeylerine uygulanmış farklı formülasyondaki akrilik esaslı su bazlı vernikli ve verniksiz örneklerin QUV yaşlandırma işlemi esnasında zamana bağlı meydana gelen toplam renk değişimi	89
Şekil 2.50: a) Iroko (a) ve sahil çamı (b) malzeme yüzeylerine uygulanmış farklı formülasyondaki akrilik esaslı su bazlı vernikli ve verniksiz örneklerin QUV yaşlandırma işlemi esnasında zamana bağlı meydana gelen parlaklık değişimi	89
Şekil 2.51: Toz boyalarda kullanılan bazı kürlenme ajanları.....	90
Şekil 2.52: Kürlenme esnasında film oluşum davranışı.....	91
Şekil 2.53: Transparan elektrostatik toz boya ile verniklenmiş ahşap kaplamalı yongalevhalar	93
Şekil 2.54: Ön Soğutma işlemi uygulanarak malzeme yüzeyine elektrostatik toz boya ile kaplanması (1: Malzeme, 2: Çiy tabakası, 3: Su buharı, 4: Elektrostatik toz boya, 5: Isıtıcı).....	95
Şekil 2.55: Termal kürlenme işlemi ile elektrostatik toz boya uygulama basamakları	96
Şekil 2.56: UV kürlenme işlemi ile elektrostatik toz boya uygulama basamakları	97
Şekil 2.57: UV kürlenme işlemi ile elektrostatik toz boya uygulanması.....	97
Şekil 2.58: Elektrostatik toz boya uygulanmış MDF örnekleri	98
Şekil 3.1: Levhaların daire testerede ebatlama işlemi.....	101
Şekil 3.2: Boyama kabini içerisinde 25×35 cm ebatlarında örneklere toz boya işleminin gerçekleştirilmesi.....	103
Şekil 3.3: Korona tipi elektrostatik toz boyama tabancası ve kızılötesi etüv.....	103
Şekil 3.4: Toz boyama işlem basamakları.....	104
Şekil 3.5: Boyanmış örneklerin test standartlarına göre ebatlandırılması.....	104

Şekil 3.6: Levha yüzeylerine UV kurumalı su bazlı boya işleminin gerçekleştirildiği hat	105
Şekil 3.7: Levha yüzeylerine su bazlı boya uygulama işlem basamakları.	106
Şekil 3.8: ISO 13927 Standardına göre yanma deney düzeneği şeması	107
Şekil 3.9: Yanma deneyi örneklerinin alüminyum folyo ile kaplanması.....	108
Şekil 3.10: Levhaların yanma deneyinin yapılışı.	109
Şekil 3.11: Deney örneklerinin kalınlığının ölçülmesi ve termostatl su banyosu.....	109
Şekil 3.12: Deney örneklerinin dijital terazi ile ağırlıklarının ölçülmesi.....	110
Şekil 3.13: Formaldehit emisyonu için hazırlanan örneklerin kenarlarının kaplanması.....	112
Şekil 3.14: İçerisinde saf su bulunan gaz yıkama şişeleri ve numunelerin cihaza yerleştirilmesi.	113
Şekil 3.15: Taber çizilme test cihazı.	114
Şekil 3.16: Çizilme direncinin belirlenmesinde kullanılan kalıp.	114
Şekil 3.17: Aşınma direnci için numunelerin hazırlama işlemi.	115
Şekil 3.18: Aşınma direnci deneyinin yapılışı.	116
Şekil 3.19: Aşınma deneyi tamamlanmış bir örneğin yüzeyi.	117
Şekil 3.20: PosiTest AT-A otomatik yapışma test cihazı.	118
Şekil 3.21: Çelik silindir yapıştırılmış yapışma direnci deneyi numuneleri.	118
Şekil 3.22: Levha yüzeyine yapıştırılmış çelik silindir çapının etrafının kesilmesi.	119
Şekil 3.23: Örneklerin test cihazına yerleştirilmesi ve çekme işleminin gerçekleştirilmesi.....	119
Şekil 3.24: Positector marka ultrasonik kuru film kalınlık ölçüm cihazı.....	120
Şekil 3.25: QUV Hızlandırılmış yaşlandırma testi.	121
Şekil 3.26: Yaşlandırma cihazı numune yerleştirme panelleri.....	121
Şekil 3.27: Örneklerin QUV cihazına yerleştirilmesi.	122
Şekil 3.28: Cihaza yerleştirilmiş UVB – 313 EL tipi lamba.....	122
Şekil 3.29: X-rite renk ölçüm cihazı.	123
Şekil 3.30: CIEL *a* b* renk alanı	124

Şekil 3.31: BYK Gardner parlaklık ölçüm cihazı.	124
Şekil 4.1: Ahşap esaslı levhalara uygulanan Epoksi, polyester, hibrit esaslı toz boyalar ve su bazlı sıvı boya gruplarına ait kuru film kalınlıklarının karşılaştırılması.	127
Şekil 4.2: Boyalı tüm levha gruplarına ait kalınlığına şişme oranları.	133
Şekil 4.3: Toz boya ve su bazlı boya uygulaması yapılmış levha gruplarına ait su alma oranları.	140
Şekil 4.4: Çeşitli boya uygulaması gerçekleştirilmiş levha gruplarına ait yapışma direnç değerlerinin karşılaştırılması.	145
Şekil 4.5: Toz boya ve su bazlı boya uygulaması gerçekleştirilmiş levha gruplarına ait aşınma direnç değerlerinin karşılaştırılması.	151
Şekil 4.6: Ahşap esaslı levhalara uygulanan epoksi, polyester, hibrit esaslı toz boyalar ve su bazlı sıvı boya gruplarına ait çizilme direnç değerlerinin karşılaştırılması.	157
Şekil 4.7: Su bazlı ve çeşitli toz boya ile kaplanmış MDF, yongalevha ve kontrplak levhalarına ait tutuşma sürelerinin karşılaştırılması.	162
Şekil 4.8: Su bazlı ve çeşitli toz boya ile kaplanmış MDF, yongalevha ve kontrplak levhalarına ait ısı yayılma hızının karşılaştırılması.	166
Şekil 4.9: Su bazlı ve çeşitli toz boya ile kaplanmış MDF, yongalevha ve kontrplak levhalarına ait etkili yanma ısısının karşılaştırılması.	170
Şekil 4.10: Yanma analizi sonucunda boyanmış yongalevha gruplarına ait süreye bağlı ağırlık kaybı oranları (%).	171
Şekil 4.11: Yanma analizi sonucunda boyanmış MDF gruplarına ait süre bağlı ağırlık kaybı oranları (%).	172
Şekil 4.12: Yanma analizi sonucunda boyanmış kontrplak levha gruplarına ait süre bağlı ağırlık kaybı oranları (%).	172
Şekil 4.13: Çeşitli boya uygulaması gerçekleştirilmiş levha gruplarına ait formaldehit salınım değerlerinin karşılaştırılması.	178
Şekil 4.14: 144 saat yaşlandırma sonucunda boyanmış levha yüzeylerinde meydana gelen toplam renk değişim değerlerinin karşılaştırılması.	184
Şekil 4.15: 144 saat yaşlandırma sonucunda boyanmış levha yüzeylerinde meydana gelen parlaklık kaybı değerlerinin karşılaştırılması.	190

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 2.1: Genel amaçlar için üretilen yatık yongalı levhaların ortalama değerler olarak fiziksel ve mekanik özellikleri.....	9
Tablo 2.2: Termoset toz boyaların performans özelliklerinin karşılaştırılması.....	53
Tablo 2.3: Korona ve tribo tipi elektrostatik tabancaların karşılaştırılması	60
Tablo 2.4: Toz boya besleme problemlerinin olası nedenleri ve çözüm önerileri.....	73
Tablo 2.5: Toz boya kabini ve geri kazanım sistemi problemlerinin olası nedenleri ve çözüm önerileri.....	74
Tablo 2.6: Ahşap endüstrisinde kullanılan hava püskürtmeli tabanca ile uygulanan çeşitli boyaların, toz boya ile karşılaştırılması	75
Tablo 2.7: Çeşitli tip boyaların VOC değerlerinin karşılaştırılması.....	76
Tablo 2.8: Boyalarda kullanılan doymuş polyester reçinelerinin sınıflandırılması.....	85
Tablo 2.9: En önemli epoksi reçine – kürleme ajanı kombinasyonları ve kullanım alanları	87
Tablo 3.1: Çalışmada kullanılan MDF levhaların teknik özellikleri.	99
Tablo 3.2: Çalışmada kullanılan yongalevhaların teknik özellikleri.....	100
Tablo 3.3: Kullanılan kontrplak levhaların bazı teknik özellikleri.....	100
Tablo 3.4: Epoksi esaslı toz boyanın teknik özellikleri.....	101
Tablo 3.5: Polyester esaslı toz boyanın teknik özellikleri.	102
Tablo 3.6: Hibrit esaslı toz boyanın teknik özellikleri.	102
Tablo 3.7: Su bazlı boyaların bazı özellikleri.....	105
Tablo 3.8: Çalışma deneme deseni.	106
Tablo 3.9: Formaldehit emisyonu için belirlenen deney şartları.	112
Tablo 4.1: Üstyüzey işlemi yapılmış levhaların kuru boya film kalınlıklarına ait tanımlayıcı istatistik değerler.	126
Tablo 4.2: Üstyüzey işlemi uygulanmış MDF, yongalevha ve kontrplak gruplarının kalınlığına şişme miktarına ait tanımlayıcı istatistik değerleri.....	128

Tablo 4.3: Üstyüzey işlemi uygulanmış levha gruplarının kalınlığında şişme değerlerine ait çoklu varyans analizi.	128
Tablo 4.4: Üstyüzey işlemi uygulanmış MDF gruplarına ait Duncan testi karşılaştırma sonucu (%).	129
Tablo 4.5: Üstyüzey işlemi uygulanmış yongalevha grublarına ait Duncan testi karşılaştırma sonucu (%).	129
Tablo 4.6: Üstyüzey işlemi uygulanmış kontrplak grublarına ait Duncan testi karşılaştırma sonucu (%).	130
Tablo 4.7: Su bazlı boya uygulanmış levha gruplarının kalınlığında şişme değerlerine ait Duncan testi karşılaştırma sonucu (%).	131
Tablo 4.8: Hibrit esaslı toz boya uygulanmış levha gruplarının kalınlığında şişme değerlerine ait Duncan testi karşılaştırma sonucu (%).	131
Tablo 4.9: Epoksi esaslı toz boya uygulanmış levha gruplarının kalınlığında şişme değerlerine ait Duncan testi karşılaştırma sonucu (%).	132
Tablo 4.10: Polyester esaslı toz boya uygulanmış levha gruplarının kalınlığında şişme değerlerine ait Duncan testi karşılaştırma sonucu (%).	132
Tablo 4.11: Levha türü ve boya çeşidi etkileşiminin kalınlığında şişme değerlerine ait Duncan testi karşılaştırma sonuçları (%).	133
Tablo 4.12: Boyanmış MDF, yongalevha ve kontrplak gruplarının su alma miktarına ait tanımlayıcı istatistik değerler.	134
Tablo 4.13: Üstyüzey işlemi uygulanmış levha gruplarının su alma değerlerine ait çoklu varyans analizi	135
Tablo 4.14: Üstyüzey işlemi uygulanmış MDF gruplarına ait Duncan testi karşılaştırma sonucu (%).	135
Tablo 4.15: Üstyüzey işlemi uygulanmış yongalevha gruplarına ait Duncan testi karşılaştırma sonucu (%).	136
Tablo 4.16: Toz boya ve su bazlı boya uygulaması gerçekleştirilmiş kontrplak levha gruplarına ait Duncan testi karşılaştırma sonucu (%).	136
Tablo 4.17: Su bazlı boya uygulanmış levha gruplarının su alma değerlerine ait Duncan testi karşılaştırma sonucu (%).	137
Tablo 4.18: Hibrit esaslı toz boya uygulanmış levha gruplarının su alma değerlerine ait Duncan testi karşılaştırma sonucu (%).	137
Tablo 4.19: Epoksi esaslı toz boya uygulanmış levha gruplarının su alma değerlerine ait Duncan testi karşılaştırma sonucu (%).	138

Tablo 4.20: Polyester esaslı toz boya uygulanmış levha gruplarının su alma değerlerine ait Duncan testi karşılaştırma sonucu (%).	138
Tablo 4.21: Levha türü ve boya çeşidi etkileşiminin su alma oranına ait Duncan testi karşılaştırma sonuçları (%).	139
Tablo 4.22: MDF, yongalevha ve kontrplak levhaların yüzeylerine uygulanan boyaların yapışma direncine ait tanımlayıcı istatistik değerler.	140
Tablo 4.23: MDF, yongalevha ve kontrplak levha yüzeylerine uygulanan boyaların yapışma direncine ait çoklu varyans analizi.	141
Tablo 4.24: MDF levha yüzeylerine uygulanan boya gruplarının yapışma direnç değerlerine ait Duncan test sonucu (MPa).	141
Tablo 4.25: Yongalevha yüzeylerine uygulanan boya gruplarının yapışma direnç değerlerine ait Duncan test sonucu (MPa).	142
Tablo 4.26: Kontrplak yüzeylerine uygulanan boya gruplarının yapışma direnç değerlerine ait Duncan test sonucu (MPa).	142
Tablo 4.27: Levha yüzeylerine uygulanan su bazlı boyanın yapışma direnç değerlerine ait Duncan testi karşılaştırma sonucu (MPa).	143
Tablo 4.28: Levha yüzeylerine uygulanan hibrit esaslı toz boyanın yapışma direnç değerlerine ait Duncan testi karşılaştırma sonucu (MPa).	143
Tablo 4.29: Levha yüzeylerine uygulanan epoksi esaslı toz boyanın yapışma direnç değerlerine ait Duncan testi karşılaştırma sonucu (MPa).	144
Tablo 4.30: Levha yüzeylerine uygulanan polyester esaslı toz boyanın yapışma direnç değerlerine ait Duncan testi karşılaştırma sonucu (MPa).	144
Tablo 4.31: Levha türü ve boya çeşidi etkileşiminin yapışma direnç değerlerine ait Duncan testi karşılaştırma sonuçları (MPa).	145
Tablo 4.32: MDF ve yongalevha yüzeylerine uygulanan boyaların aşınma direncine ait tanımlayıcı istatistik değerler.	146
Tablo 4.33: MDF, yongalevha ve kontrplak yüzeylerine uygulanan boyaların aşınma direncine ait çoklu varyans analizi.	147
Tablo 4.34: MDF levha yüzeylerine uygulanan boya gruplarının aşınma direnç değerlerine ait Duncan test sonucu (devir).	147
Tablo 4.35: Yongalevha yüzeylerine uygulanan boya gruplarının aşınma direnç değerlerine ait Duncan test sonucu (devir).	148
Tablo 4.36: Kontrplak levha yüzeylerine uygulanan boya gruplarının aşınma direnç değerlerine ait Duncan test sonucu (Devir).	148

Tablo 4.37: Levha yüzeylerine uygulanan su bazlı boyanın aşınma direnç değerlerine ait Duncan testi karşılaştırma sonucu (devir).	149
Tablo 4.38: Levha yüzeylerine uygulanan hibrit esaslı toz boyanın aşınma direnç değerlerine ait Duncan testi karşılaştırma sonucu (devir).	149
Tablo 4.39: Levha yüzeylerine uygulanan epoksi esaslı toz boyanın aşınma direnç değerlerine ait Duncan testi karşılaştırma sonucu (devir).	150
Tablo 4.40: Levha yüzeylerine uygulanan polyester esaslı toz boyanın aşınma direnç değerlerine ait Duncan testi karşılaştırma sonucu (devir).	150
Tablo 4.41: Levha türü ve boya çeşidi etkileşiminin aşınma direnç değerlerine ait Duncan testi karşılaştırma sonuçları (devir).	151
Tablo 4.42: MDF, yongalevha ve kontrplak yüzeylerine uygulanan boyaların çizilme direncine ait tanımlayıcı istatistik değerler.	152
Tablo 4.43: MDF, yongalevha ve kontrplak levha yüzeylerine uygulanan boyaların çizilme direncine ait çoklu varyans analizi	153
Tablo 4.44: MDF levha yüzeylerine uygulanan boya gruplarının çizilme direnç değerlerine ait Duncan test sonucu (N).	153
Tablo 4.45: Yongalevha yüzeylerine uygulanan boya gruplarının çizilme direnç değerlerine ait Duncan test sonucu (N).	154
Tablo 4.46: Kontrplak levha yüzeylerine uygulanan boya gruplarının çizilme direnç değerlerine ait Duncan test sonucu (N).	154
Tablo 4.47: Levha yüzeylerine uygulanan hibrit esaslı toz boya ve su bazlı boyaların çizilme direnç değerlerine ait Duncan testi karşılaştırma sonucu (N).	155
Tablo 4.48: Levha yüzeylerine uygulanan epoksi ve polyester esaslı toz boyanın çizilme direnç değerlerine ait Duncan testi karşılaştırma sonucu (N).	155
Tablo 4.49: Levha türü ve boya çeşidi etkileşiminin çizilme direnç değerlerine ait Duncan testi karşılaştırma sonuçları (Newton).	156
Tablo 4.50: Boya uygulaması yapılmış levha gruplarına ait tutuşma süresi ve ısı yayılma hızı değerleri.	157
Tablo 4.51: Çeşitli toz boya ve sıvı su bazlı boya uygulanmış MDF, yongalevha ve kontrplak levhaların tutuşma süresine ait çoklu varyans analizi.	158
Tablo 4.52: Çeşitli toz boya ve sıvı su bazlı boya uygulanmış MDF levhaların tutuşma süresine ait Duncan test sonucu (sn).	158
Tablo 4.53: Çeşitli toz boya ve sıvı su bazlı boya uygulanmış yongalevhaların tutuşma süresine ait Duncan test sonucu (sn).	159

Tablo 4.54: Çeşitli toz boya ve su bazlı boya uygulanmış kontrplak levhaların tutuşma süresine ait Duncan test sonucu (sn).	159
Tablo 4.55: Su bazlı boya uygulanmış levhaların tutuşma süresine ait Duncan testi karşılaştırma sonucu (sn).	160
Tablo 4.56: Polyester esaslı toz boya uygulanmış levhaların tutuşma süresine ait Duncan testi karşılaştırma sonucu (sn).	161
Tablo 4.57: Epoksi esaslı toz boya uygulanmış levhaların tutuşma süresine ait Duncan testi karşılaştırma sonucu (sn).	161
Tablo 4.58: Levha türü ve boya çeşidi etkileşiminin tutuşma süresi değerlerine ait Duncan testi karşılaştırma sonuçları (sn).	162
Tablo 4.59: Çeşitli toz boya ve sıvı su bazlı boya uygulanmış MDF, yongalevha ve kontrplak levhaların ısı yayılma hızına ait çoklu varyans analizi.	163
Tablo 4.60: Çeşitli toz boya ve sıvı su bazlı boya uygulanmış MDF, yongalevha ve kontrplak levhaların ısı yayılma hızına ait Duncan test sonucu (kW/m ²).	163
Tablo 4.61: Epoksi, polyester, hibrit esaslı toz boya ve su bazlı boyalar uygulanmış levhaların ısı yayılma hızına ait Duncan testi karşılaştırma sonucu (kW/m ²).	164
Tablo 4.62: Levha türü ve boya çeşidi etkileşiminin ısı yayılma hızı değerlerine ait Duncan testi karşılaştırma sonuçları (kW/m ²).	165
Tablo 4.63: Boya uygulaması yapılmış levha gruplarına ait etkili yanma ısı ve süreye bağlı toplam ağırlık kaybı değerleri.	166
Tablo 4.64: Çeşitli toz boya ve su bazlı boya uygulanmış MDF, yongalevha ve kontrplak levhaların etkili yanma ısılarına ait çoklu varyans analizi.	167
Tablo 4.65: Çeşitli toz boya ve sıvı su bazlı boya uygulanmış MDF, yongalevha ve kontrplak levhaların etkili yanma ısılarına ait Duncan test sonucu (MJ/kg).	168
Tablo 4.66: Epoksi, polyester, hibrit esaslı toz boya ve su bazlı boyalar uygulanmış levhaların etkili yanma ısılarına ait Duncan testi karşılaştırma sonucu (MJ/kg).	169
Tablo 4.67: Levha türü ve boya çeşidi etkileşiminin etkili yanma ısı değerlerine ait Duncan testi karşılaştırma sonuçları (MJ/kg).	170
Tablo 4.68: Boyanmış MDF, yongalevha ve kontrplak gruplarının formaldehit emisyon miktarına ait tanımlayıcı istatistik değerler.	173
Tablo 4.69: Boyanmış MDF, yongalevha ve kontrplak levhaların formaldehit emisyon miktarına ait çoklu varyans analizi.	174
Tablo 4.70: Boyanmış MDF levhaların formaldehit emisyon değerlerine ait Duncan test sonucu (mg/m ² h).	174

Tablo 4.71: Boyanmış yongalevhaların formaldehit emisyon değerlerine ait Duncan test sonucu ($\text{mg}/\text{m}^2\text{h}$).....	175
Tablo 4.72: Boyanmış kontrplak levhaların formaldehit emisyon değerlerine ait Duncan test sonucu ($\text{mg}/\text{m}^2\text{h}$).....	175
Tablo 4.73: Su bazlı boya uygulanmış levhaların formaldehit salınım değerlerine ait Duncan testi karşılaştırma sonucu ($\text{mg}/\text{m}^2\text{h}$).....	176
Tablo 4.74: Polyester esaslı toz boya uygulanmış levhaların formaldehit salınım değerlerine ait Duncan testi karşılaştırma sonucu ($\text{mg}/\text{m}^2\text{h}$).....	176
Tablo 4.75: Epoksi esaslı toz boya uygulanmış levhaların formaldehit salınım değerlerine ait Duncan testi karşılaştırma sonucu ($\text{mg}/\text{m}^2\text{h}$).....	177
Tablo 4.76: Hibrit esaslı toz boya uygulanmış levhaların formaldehit salınım değerlerine ait Duncan testi karşılaştırma sonucu ($\text{mg}/\text{m}^2\text{h}$).....	177
Tablo 4.77: Levha türü ve boya çeşidi etkileşiminin formaldehit salınım değerlerine ait Duncan testi karşılaştırma sonuçları ($\text{mg}/\text{m}^2\text{h}$).....	178
Tablo 4.78: Toz boya ve su bazlı sıvı boya uygulanmış MDF. yongalevle ve kontrplak levhalarda yaşlandırma sonucu meydana gelen renk değişimine ilişkin tanımlayıcı istatistik değerler.	179
Tablo 4.79: 144 saat yaşlandırma sonucunda renk değişim değerlerine ait varyans analizi sonuçları.....	180
Tablo 4.80: Boyanmış MDF levhaların yaşlandırma sonucunda oluşan toplam renk değişim değerlerine ait Duncan test sonucu (ΔE).....	180
Tablo 4.81: Boyanmış yongalevhaların yaşlandırma sonucunda oluşan toplam renk değişim değerlerine ait Duncan test sonucu (ΔE).....	181
Tablo 4.82: Boyanmış kontrplak levhaların yaşlandırma sonucunda oluşan toplam renk değişim değerlerine ait Duncan test sonucu (ΔE).....	181
Tablo 4.83: Epoksi, polyester, hibrit esaslı toz boya ve su bazlı boyalar uygulanmış levhaların toplam renk değişim değerine ait Duncan testi karşılaştırma sonucu (ΔE).	182
Tablo 4.84: Levha türü ve boya çeşidi etkileşiminin toplam renk değişim değerlerine ait Duncan testi karşılaştırma sonuçları (ΔE).	183
Tablo 4.85: Toz boya ve su bazlı sıvı boya uygulanmış MDF. yongalevle ve kontrplak levhalarda yaşlandırma sonucu meydana gelen parlaklık kaybına ilişkin tanımlayıcı istatistik değerler.	185
Tablo 4.86: 144 saat yaşlandırma sonucunda parlaklık kaybına ait varyans analizi sonuçları.	185

Tablo 4.87: Boyanmış MDF levhaların yaşlandırma sonucunda oluşan parlaklık kaybına ait Duncan test sonucu (%).....	186
Tablo 4.88: Boyanmış yongalevhaların yaşlandırma sonucunda oluşan parlaklık kaybına ait Duncan test sonucu (%).....	187
Tablo 4.89: Boyanmış kontrplak levhaların yaşlandırma sonucunda oluşan parlaklık kaybına ait Duncan test sonucu (%)	187
Tablo 4.90: Levha yüzeylerine uygulanan su bazlı boyanın parlaklık kaybı değerlerine ait Duncan testi karşılaştırma sonucu (%).....	188
Tablo 4.91: Levha yüzeylerine uygulanmış polyester esaslı toz boyanın parlaklık kaybı değerlerine ait Duncan testi karşılaştırma sonucu (%)	188
Tablo 4.92: Levha yüzeylerine uygulanmış epoksi ve hibrit esaslı toz boyanın parlaklık kaybı değerlerine ait Duncan testi karşılaştırma sonucu (%).....	189
Tablo 4.93: Levha türü ve boya çeşidi etkileşiminin parlaklık kaybı değerlerine ait Duncan testi karşılaştırma sonuçları (%).....	190
Tablo 5.1: Farklı kalınlıklarda ve çeşitli tutkallarla üretilmiş MDF, yongalevha ve kontrplak levhalarına ait formaldehit salınım miktarı [90].	208

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler

Açıklama

ΔE	: Toplam Renk Değişimi
ΔA	: Kırmızı-Yeşil Renk Değişimi
ΔB	: Sarı-Mavi Renk Değişimi
ΔL	: Siyah-Beyaz Renk Değişimi
Mpa	: Mega Paskal
N	: Newton
n	: Numune adedi
sn	: Saniye
μm	: Mikron
kW	: Kilo Watt
MJ	: Mega Jul
mg	: Miligram

Kısaltmalar

Açıklama

ASTM	: American Society For Testing And Materials
EN	: Avrupa Standardı
ISO	: International Organization For Standardization
MS	: MDF Yüzeyine Su Bazlı Boya Uygulaması
MP	: MDF Yüzeyine Polyester Toz Boya Uygulaması
ME	: MDF Yüzeyine Epoksi Toz Boya Uygulaması
MH	: MDF Yüzeyine Hibrit Toz Boya Uygulaması
KS	: Kontrplak Yüzeyine Su Bazlı Boya Uygulaması
KP	: Kontrplak Yüzeyine Polyester Toz Boya Uygulaması
KH	: Kontrplak Yüzeyine Hibrit Toz Boya Uygulaması
KE	: Kontrplak Yüzeyine Epoksi Toz Boya Uygulaması
YS	: Yongalevha Yüzeyine Su Bazlı Boya Uygulaması
YP	: Yongalevha Yüzeyine Polyester Toz Boya Uygulaması
YE	: Yongalevha Yüzeyine Epoksi Toz Boya Uygulaması
YH	: Yongalevha Yüzeyine Hibrit Toz Boya Uyg

ÖZET

DOKTORA TEZİ

Memiş AKKUŞ

**TOZ BOYAMA SİSTEMLERİNİN AHŞAP KOMPOZİT LEVHALARA
UYGULANMASI VE PERFORMANS ÖZELLİKLERİNE ETKİSİNİN
İNCELENMESİ**

İstanbul Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman : Prof. Dr. Turgay AKBULUT

Son yıllarda çevrenin korunumu, işçi sağlığı ve iş güvenliği açısından getirilen katı kurallar, özellikle solvent esaslı sıvı boyaların kullanımının kısıtlanmasına ve alternatif boya ve kaplama sistemlerinin araştırma, geliştirme çalışmalarının hız kazanmasına neden olmuştur. Mevcut sıvı boyama sistemlerine alternatif olarak çevre dostu, işçi sağlığı ve iş güvenliğini tehdit etmeyen özellikle beyaz eşya ve otomotiv sektöründe kullanılan toz boyaların, ahşap levhalarda uygulama imkânları araştırılmıştır. Bu çalışma kapsamında; ahşap esaslı kompozit malzemelerin iletken olmayan yüzeyleri soğutularak kısmen iletken hale getirilmeye çalışılmıştır. Malzeme yüzeylerine, düşük sıcaklıklarda kürlenme özelliği olan (120°C – 130°C), ahşap ve ahşap esaslı levhalarda tutunmayı kolaylaştıracak şekilde formüle edilmiş epoksi, polyester ve hibrit (epoksi-polyester) tipi toz boylar ile kontrol grubu olarak ele alınan su bazlı sıvı boya uygulanmıştır. Daha sonra katman performansını belirlemek amacı ile kuru film kalınlık değeri (TS EN 2813), kalınlığına şişme oranı (TS EN 317), su alma miktarı, (ASTM D 1037), yapışma direnç değeri (ASTM D 4541), aşınma direnci (TS EN 15185), çizilme direnci (TS EN 15186), yanma direnci (ISO 13927), formaldehit yayılım miktarı (TS EN 717 – 2), hızlandırılmış yaşlandırma test performansı (ASTM G 154), renk ölçümü (ASTM D 2244) ve parlaklık ölçüm (EN ISO 2813) testleri yapılmıştır.

Araştırma sonucunda; MDF levha yüzeylerine uygulanmış boyalarda, genel olarak polyester esaslı toz boyada daha başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Yongalevha yüzeylerinde hem polyester hem de hibrit esaslı (Epoksi+Polyester) toz boyalarda daha olumlu sonuçlar tespit edilirken, kontrplak yüzeylerinde hem su bazlı sıvı boya hem de polyester esaslı toz boyalar daha iyi sonuçlar vermiştir. Fakat elektrostatik toz boya uygulaması sonucunda en düzgün yüzeyler MDF levhalarda elde edilmiştir.

Nisan 2018, 249 sayfa.

Anahtar kelimeler: Elektrostatik toz boya, MDF, Yongalevha, Kontrplak, Üstyüzey performans testleri



SUMMARY

Ph.D. THESIS

APPLICATION OF POWDER COATING SYSTEMS TO WOOD COMPOSITE PANELS AND INVESTIGATION OF ITS EFFECTS ON PERFORMANCE PROPERTIES

Memiş AKKUŞ

İstanbul University

Institute of Graduate Studies in Science and Engineering

Department of Forest Industry Engineering

Supervisor : Prof. Dr. Turgay AKBULUT

In recent years protection of the environment, worker's health and work safety are established regulations, because of these it is caused to the restricted of the use of solvent-based liquid paints and accelerated to the research and development of alternative paint and coating systems. As an alternative to existing liquid paint systems, powder coating used to especially metal and automotive systems, having environmental friendly, protecting the safety and health of workers, has been used firstly to surface of the wood based panels in this research. Within the Scope of this project; Non-conductive surfaces of the wood-based composite panels have been tried to become conductive by cooling. Conducted surface of the panels were applied to powder coatings which are type of epoxy, polyester and epoxy-polyester (hybrid), cured at low temperature (120°C - 130°C) and formulated to make it easier to hold on wooden and wood based boards. After that, prepared samples were analyzed to the performance characteristics that density, dry film thickness, thickness swelling, water absorption, adhesive strength, abrasion resistance, scratch resistance, fire analyze, formaldehyde emission, and accelerated weathering, color measurement and gloss measurement according to standards, TS EN 2813 TS EN 317, ASTM D 1037, ASTM D 4541, TS EN 15185, TS EN 15186, ISO 13927, TS EN 717 – 2, ASTM G 154, ASTM D 2244 and EN ISO 2813, respectively.

As a result of the research; coatings carried out surface of MDF were generally obtained to better results with polyester-based powder coating. It was obtained to more positive results hybrid and polyester-based powder coatings applied to surface of particleboard. both water-based liquid paint and polyester-based powder coatings carried out plywood surfaces were gave better results. However, electrostatic powder coatings applied on MDF panels were obtained to the smoothest surfaces.

April 2018, 249 pages.

Keywords: Electrostatic Powder Coatings, MDF, Particleboard, Plywood, Performance Tests of Finishing



1. GİRİŞ

Boya ve benzeri kaplama malzemeleri dekoratif ve / veya koruyucu amaçlarla çeşitli yüzeylere farklı şekillerde uygulanan ve uygulandığı yüzeye ince bir film bırakan kimyasal malzemedir [1]. Boyama işlemi boyanın malzeme yüzeyine tek başına uygulanmasıyla tamamlanan bir işlem olmayıp farklı prosedürlere sahip adımlardan oluşan uzun işlemler bütünüdür [2].

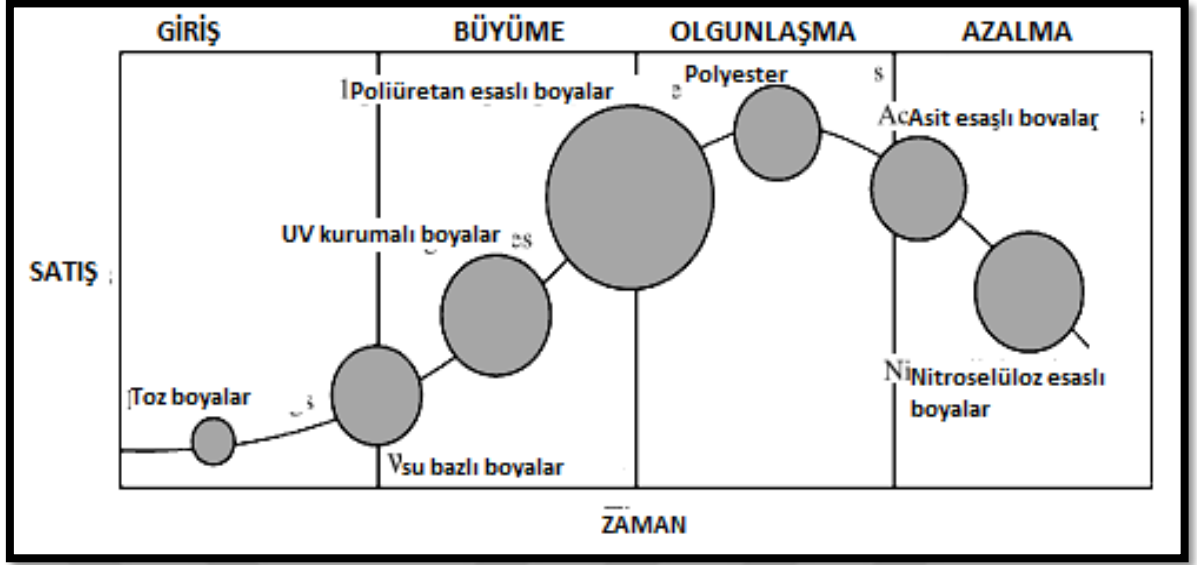
Boyaların geniş yüzeyler üzerine uygulanmaya başlanması 1700’lü yıllarda başlamış ve boya üreten atölyeler önce Avrupa’da daha sonra da Kuzey Amerika’da yaygınlaşmıştır. 19. Yüzyılın ilk yarısında yaşanan sanayi devrimi sırasında birçok temel kimyasal madde endüstriyel uygulamalarda kullanılmaya başlanmıştır. Birinci ve İkinci Dünya savaşları, tarafların kazanabilmek için kimya sanayi gelişimini tetiklediği dönemler olmuştur. Bu dönemde yalnızca silah ve patlayıcı geliştirme çalışmalarıyla sınırlı kalmamış, bu çalışmalara paralelinde, barış zamanında kullanılacak kimyasal buluşlar da hızla çoğalmıştır. Birinci dünya savaşından yaklaşık 50 yıl önce bulunan trinitrosetüloz esaslı patlayıcıların yapımı çalışmaları esnasında yarı ürün olarak elde edilen setüloz nitrat (nitrosetüloz) reçinelerinin organik kaplamalarda kullanılabileceğini ilk olarak İngiliz kimyacılar Wilson ve Green bulmuşlardır. Ancak büyük boyutlu üretim ve boya sanayisinde kullanımı 1923’den sonra yaygınlaşmış olup, halen önemli ölçüde kullanılmaktadır. Günümüzde en yaygın kullanılan boya bağlayıcıları olan alkid reçineleri de ABD’li kimyacılar Kienle ve Fergusson tarafından 1928 yılında geliştirilmiş, seri üretimi ise 1933 yılında başlanmıştır. Diğer taraftan ikinci dünya savaşı sonrasında, boya üretimi hızla bilimsel uygulama disiplini çerçevesinde üretilmeye başlanmıştır. Zenaattan bilime doğru bu geçiş, 1930 – 1970 yılları arasında polimer kimyasında yaşanan büyük gelişmelerin ışığında, farklı özelliklerde bağlayıcıların ve buna bağlı yeni boya türlerinin ortaya çıkmasına yol açmıştır. Bu dönemde, Amino reçineleri, polivinil klorür (PVC), akrilik reçineler, silikon reçineleri, epoksi reçineleri, polyester reçineleri, poliüretan reçineleri gibi bağlayıcılarının organik kaplama dünyasında kullanıma girdiği görülmüştür [3].

Günümüzde gelişen sanayileşmenin en yoğun olduğu Batı Avrupa ve Kuzey Amerika’da, boyanın kuruma sürecinde çevreye salınan organik çözücülerin çevre ve halk sağlığı üzerindeki olumsuz etkilerinin bilincine varılmaya başlandığını görmekteyiz. Bu bölgelerden başlanarak, organik çözgen yayılımını azaltacak önlemleri içeren alternatif boya türlerine ve alternatif

uygulama yöntemlerine ilişkin arayışlar 1970'li yıllarda yoğunlaşmaya başlanmıştır. Bu arayışlar, organik çözüenlerde çözünen mevcut polimerlerin su içine alınabilmesinin nasıl sağlanılabileceği ve su ile inceltilebilecek yeni polimer geliştirme çalışmalarının önem kazanmasına yol açmıştır. Ayrıca çözüenle inceltilmeden ya da çok az çözüen kullanılarak yeterince akışkan olabilen bağlayıcıların geliştirilmesi çalışmaları da hızlanmıştır. Polimer geliştirme alanındaki bu çalışmalar ve bunu izleyen boya araştırma çalışmaları, çevre dostu boya ürünlerinin çoğalmasına yol açmıştır. Bu çerçevede, az miktarda organik çözüen içeren yüksek katılı boyalar, çözüensiz sıvı boyalar, sulu boyalar ve toz boyaların uygulanma alanları giderek genişlemektedir [3].

Mobilya üretimi esnasında kullanılan solvent esaslı boyalar işçi sağlığı açısından hayati öneme sahiptir. Sadece boyahanede değil aynı zamanda zımparalama işlemi sırasında ortaya çıkan toz da işçi sağlığına büyük zarar vermektedir. Solvent esaslı boyalar bulunduğu akciğerlere ciddi zararlar verir. Bu solunan zehirli madde astım, bronşit hatta akciğer kanserine dahi yol açabilir. Solventler sağlık açısından tehlikelere sebep olmakla birlikte yanıcı, uçucu, kolay buharlaşır özelliğe sahip olduklarından işyeri ortamında solvent buharlarının patlayıcı karışımlar oluşturma ihtimali çok yüksektir. İşyeri ortamında bulunan solventler yangın ve patlamalara neden olabilmektedir. Hazırlanan solvent esaslı boyaların %30 – 50 kadarlık kısmı kullanım esnasında zayii olmaktadır. Tehlikeli atıklar sınıfında yer alan ve toksik etkiye sahip olan bu atık boyalar insan ve çevre kirliliğini büyük ölçüde tehdit etmektedir.

Avrupa solvent emisyon kuralları ve tüketicilerde ve üreticilerde artan ekolojik bilinçten dolayı, ekolojik ve ekonomik boyaların kullanımı gün geçtikçe büyük rağbet görmektedir. Çevreye ve insan sağlığına zarar vermeyen boyalar, yüksek solvent içeren nitrosellüloz esaslı, asit bazlı veya çift kompenantlı poliüretan esaslı boyaların yerine almaya başlamıştır (Şekil 1.1). Son zamanlarda, MDF boyanması bakımından toz boyalar, su bazlı sistemler ve UV kurumalı son kat üst yüzey işlemleri tercih edilmeye başlanmıştır. Mobilya endüstrisi açısından toz boyama teknolojisi büyük bir potansiyel oluşturmaktadır. Bu alanda son 10 yıldır yoğunlaştırma ve geliştirme faaliyetleri yürütülmektedir. Örneğin: Sıcaklığa duyarlı malzemelere uygun, düşük sıcaklıkta kurlenme yapabilen yeni toz boya formülasyonları geliştirilmekte ve elektriksel iletkenliği artırmak için spesifik yüzey muamele işlemleri yapılmaktadır [5].



Şekil 1.1: Ahşap ve ahşap esaslı levhalarda uygulanan farklı boyama teknolojilerinin zamana göre ürün kullanım döngüsü [5].

Son yıllarda, uluslararası toz boya sektörü metal olmayan plastik ve ahşap gibi malzeme yüzeylerinde toz boya uygulama, araştırma ve geliştirme faaliyetlerine hız vermiştir. Fakat plastik ve ahşap malzemelere toz boya uygulamanın bazı zorlukları bulunmaktadır. Bunlardan biri de bu ürünlerin iletkenlik değerinin düşük olması ve dolayısıyla gelenekselleşen toz boya uygulama tekniği olan elektrostatik uygulamanın yapılabilmesi için uygun değildi. Fakat son zamanlarda, toz boya formülasyonlarında yapılan değişiklikler ve malzemeler üzerinde yapılan bazı modifikasyon işlemleri neticesinde bu zorluklar aşılmaya çalışılmaktadır. Genellikle beyaz eşya, otomobil ve metal sanayisinde kullanılan elektrostatik toz boyalar, son zamanlarda ahşap esaslı levhalar üzerine uygulanması ile ilgili araştırma ve geliştirme çalışmalara yoğun bir şekilde devam etmektedir.

Bu çalışmada; mevcut su bazlı ve solvent esaslı sıvı boyama sistemlerine alternatif olarak çevre dostu, işçi sağlığı ve iş güvenliğini tehdit etmeyen, özellikle beyaz eşya ve otomotiv sektöründe kullanılan elektrostatik toz boyaların, orta yoğunlukta liflevha (MDF), yongalevha ve kontrplak levhalarda uygulama imkânları araştırılmıştır. MDF, yongalevha ve kontrplak levhaların iletken olmayan yüzeyleri soğutulularak kısmen iletken hale getirilmeye çalışılmıştır. Daha sonra malzeme yüzeylerine, düşük sıcaklıklarda kürlenme özelliği olan (120°C – 130°C) ve ahşap ve ahşap esaslı levhalarda tutunmayı kolaylaştıracak şekilde formüle edilmiş epoksi, polyester

ve hibrit (epoksi – polyester) tipi toz boyalar ile sıvı esaslı su bazlı boya uygulanmış levhaların performans özellikleri incelenmiştir.



2. GENEL KISIMLAR

Son yıllarda dünya genelinde artan nüfus oranı ve insanların doğal, estetik ve yenilenebilir malzemelere olan talebin artması ile birlikte ahşap malzemeye yoğun bir ilgi söz konusudur. İnsanlar arasında ahşap malzemeye artan bu ilgi neticesinde, var olan orman kaynaklarının hızla tüketilmesi ve elde edilen tomruk ve kereste maliyetlerinin yükselmesine neden olmuştur.

Orman kaynaklarının en verimli bir şekilde kullanılması, ahşap malzeme atıklarının değerlendirilmesi ve ahşap malzemenin bazı olumsuz özelliklerinin (lif kıvrıklığı, budak, çatlaklar, anizotropik, heterojen ve higroskopik gibi özellikleri) en aza indirmek amacı ile masif odun yerine maliyeti daha düşük ve geniş ebatlarda üretilebilen ahşap esaslı levhalar kullanılmaktadır. Liflevha ve yongalevha gibi ahşap kökenli levhaların üretimi orman ürünleri alanında yeni bir çığır açmıştır. Yeni makinelerin (taslak oluşturma, tutkallama ve pres vb.) ve sentetik tutkalların (üre-formaldehit ve Fenol-formaldehit vb.) geliştirilmesiyle düşük kaliteli ve ince düzgün yüzeyli ve büyük boyutlu levhalar üretilmeye başlanmıştır. Günümüzde yalnız odunsu maddelerden değil keten, kamış, ayçiçek ve ekin sapları gibi diğer lignoselülozik hammaddelerden de liflevha ve yongalevha üretilebilmektedir. Ayrıca kereste, kaplama ve kontrplak fabrikaları ile diğer ağaç işleyen endüstri artıkları liflevha ve yongalevha üretiminde değerlendirilebilmektedir. Hammadde kullanım özelliklerinden ve elde edilen büyük boyutlu levha şeklindeki ürünlerin avantajlarından dolayı, liflevha ve yongalevha endüstrisi çok hızlı bir gelişme göstermiştir [6].

Dünya levha üretimi 2009-2013 yılları arasında sürekli artan bir eğilim göstermiştir. 2009 yılında 77,9 milyon m³ olan üretim miktarı 2013 yılında 112,8 milyon m³'e yükselmiştir. Dünyanın en büyük levha üreticisi Çin Halk Cumhuriyeti'dir. Çin Halk Cumhuriyeti, dünya levha üretiminin %55'ini yapmaktadır. 2013 yılında 62,6 milyon m³ levha üreten Çin Halk Cumhuriyeti'ni sırasıyla ABD, Almanya, Brezilya ve Türkiye takip etmektedir. Türkiye, 2009 yılında 4. sırada yer alırken, 2013 yılında 5. sıraya gerilemiştir. Bu düşüşe rağmen Türkiye, dünyanın en büyük 5. levha üreticisi olarak sektör için önemli bir ülke olduğunu ortaya koymuştur [7].

İdeal ahşap esaslı bir levhanın sahip olması gereken özellikler kısaca aşağıda maddeler halinde özetlenmiştir;

- Boyutları çok sınırlı olmamalı
- Homojen yapıda olmalı
- Direnç değerleri yüksek olmalı
- Hafif olmalı
- Rutubet değişimlerinden çok az etkilenmeli
- Yüzeyi çok düzgün ve işlenmesi kolay olmalı
- Sıcak ve soğuk halde basınca dayanıklı olmalı
- Kolay yanmamalı, böcek ve mantar etkilerine karşı dayanıklı olmalı
- Üretimi kolay ve üretim maliyeti düşük olmalı
- İlgili her türlü ürünün üretimine uygun olmalı [8].

Nihai kullanım yerine uygun ideal bir ahşap esaslı levha elde etmek için levhaların üretimi aşamasında çeşitli katkı maddeleri ve yüzey işlemleri uygulanmaktadır. Ahşap esaslı levhalar, kaplama esaslı levhalar, yonga esaslı levhalar, lif levhalar ve kompozit levhalar olarak 4 grup altında sınıflandırılmaktadır [8]. Bu çalışmada, yonga esaslı levhalar grubunda yer alan normal (Standart) yongalevha, lif levhalar grubunda yer alan orta yoğunlukta liflevha (MDF) ve kaplama esaslı levhalar grubunda yer alan kontrplak levhalar kullanılmıştır.

2.1. AHŞAP ESASLI LEVHALAR

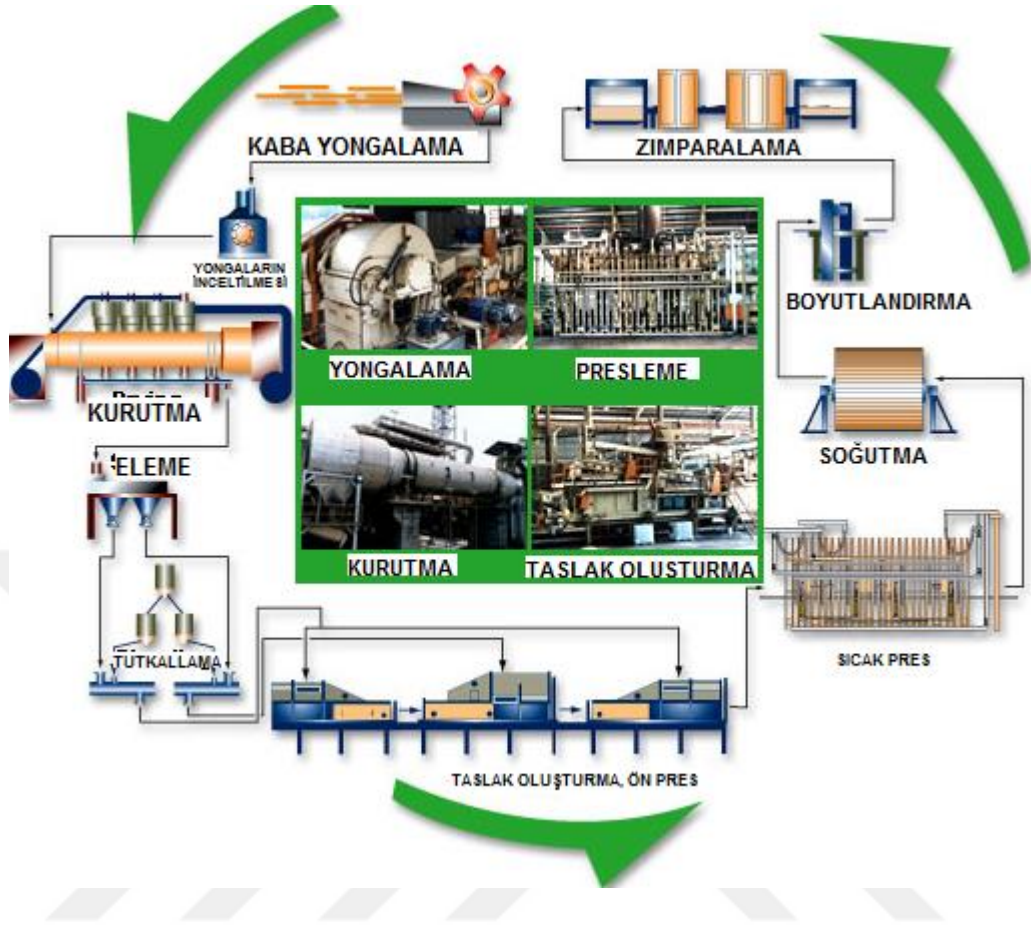
2.1.1. NORMAL (STANDART) YONGALEVHA

Yongalevha; odun veya diğer lignoselulozik hammaddelerden elde edilen belirli özelliklerdeki küçük parçacıkların, belli bir rutubet derecesine kadar kurutulduktan sonra, uygun bir tutkalla karıştırılıp sıcaklık ve basınç altında yapıştırılmasıyla oluşturulan levha şeklinde bir malzemedir. Yongalevha üretiminde kullanılan çeşitli tip yongalar Şekil 2.1’de görülmektedir.



Şekil 2.1: Yongalevha üretiminde kullanılan çeşitli tip yongalar [9].

Yongalevha üretiminde çok farklı büyüklüklerde yongalar kullanılabilir. Normal/standart yongalevha (Particleboard) levhalarda genel olarak yonga kalınlıkları 0.25-0.40 mm yonga genişlikleri 2-6 mm ve yonga uzunlukları 10-25 mm kadardır. Yongalevhalar, mobilya endüstrisinde kullanıldığı zaman veya çeşitli yüzey işlemleri uygulandığı takdirde levhanın yüzeyinin mümkün olduğunca pürüzsüz ve düzgün olması istenmektedir. Düzgün bir yüzey elde edebilmek için, ince yongalar yüzey tabakalarında, nispeten kaba yongalar ise orta tabakada kullanılmak suretiyle 3 ya da 5 katlı levhalar üretilmektedir. Yongalevhaların üretim aşamaları Şekil 2.2’de gösterilmektedir.



Şekil 2.2: Yongalevha üretim safaları [10].

Genel amaçlar için üretilmiş yatık yongalı levhaların fiziksel ve mekanik özellikleri ortalama değerler olarak Tablo 2.1’de verilmiştir. Yongalevhaların kullanım alanı çok geniştir. Çünkü kullanıcılar için yeterli fiziksel ve mekanik özelliklere sahiptirler, istenilen kalınlıkta levha üretilmektedir, kolaylıkla işlenebilir, diğer malzemelerle vida, çivi veya tutkallamak suretiyle birleştirilebilir. Büyük ebatlarda üretilmiş olması işçilikten tasarruf sağlar. Gerekirse üst yüzey işlemleri uygulanabilir. Ebatlarının büyüklüğü ve yüzeyinin düzgünlüğü, kullanıcılar için sürat ve kaliteli bir çalışma sağlar [8].

Tablo 2.1: Genel amaçlar için üretilen yatık yongalı levhaların ortalama değerler olarak fiziksel ve mekanik özellikleri [8].

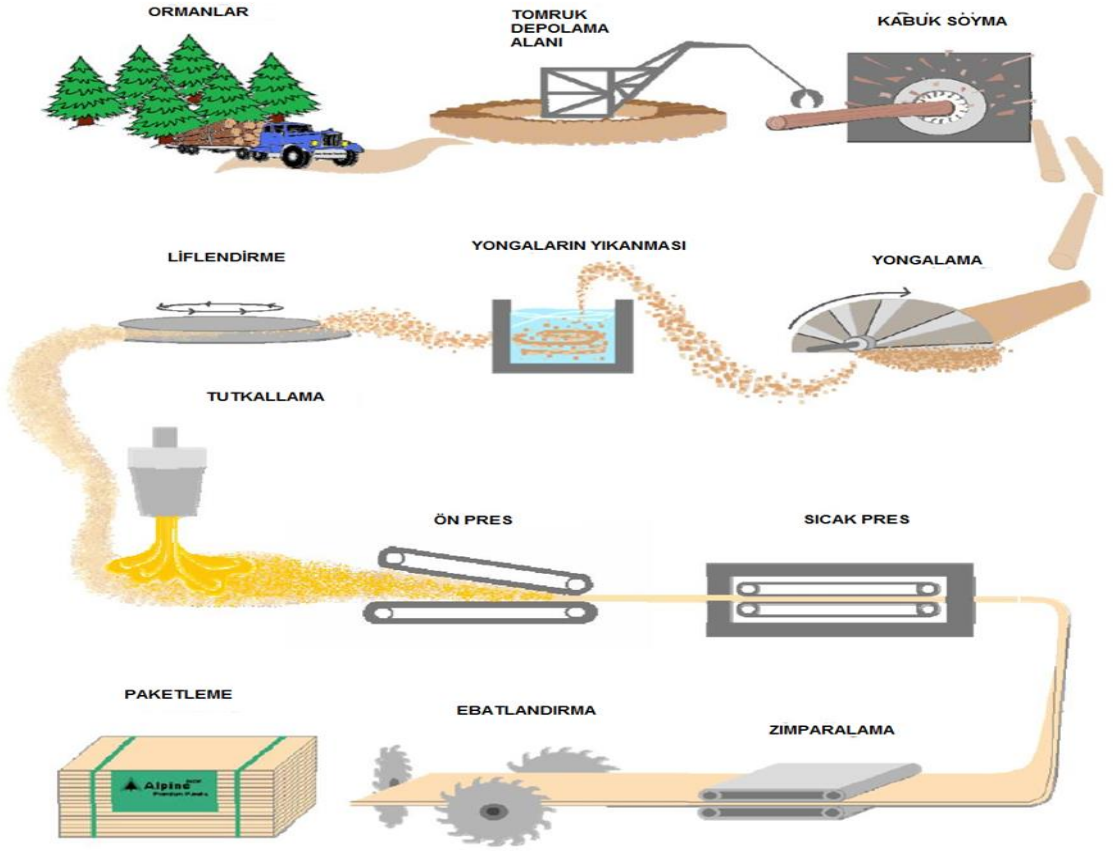
Özellikler	Birim	Ortalama Değerler
Levha boyutları	mm	Uzunluk 1800-3660 Genişlik 1200-1830 Kalınlık 3-80
Özgül ağırlık	gr/cm ³	0.4-1.2
Rutubet miktarı	%	6-14
Kalınlığına şişme (2 saat)	%	5-15
Boyut değişmezliği	%	0.3-0.5
Termik iletkenlik	Kcal/mh°C	0.06-0.12
Eğilme direnci	N/mm ²	12 -31
Yüzeye dik çekme direnci	N/mm ²	0.3 – 0.8
Yüzeye paralel çekme direnci	N/mm ²	3.5-35
Elastikiyet modülü	N/mm ²	1200-4500
Yüzeye paralel basınç direnci	N/mm ²	10 -28
Yüzeye dik basınç direnci	N/mm ²	6-20
Yüzeye dik makaslama direnci	N/mm ²	16.5-20
Yüzeye paralel makaslama direnci	N/mm ²	7.5-10
Dinamik eğilme direnci	N/mm ²	0.43-0.52
Janka sertlik	N/mm ²	25-50
Çarpma direnci	mm	40-60
Vida tutma gücü	N	700-1000
Yüzeye dik yönde		
Yüzeye paralel yönde		500-800
Çivi tutma gücü	N	250-300
Yüzeye dik yönde		
Yüzeye paralel yönde		100-150

Yukarıda belirtilen özelliklerinden dolayı; yemek ve çalışma masaları, gardroplar, koltuklar, kanepeler, karyolalar, mutfak dolapları, raflar, lambriler, asama tavanlar, televizyon ve müzik seti kabinleri, mağaza tefrişleri, klozet, büfeler, radyatör kafesleri, masa tenisi ve bilardo masaları, sandıklar, okul sıraları, dolaplar, karatahtalar, duvar bölmeleri, inşaatlarda kalıp tahtası, kapılar, bank, reklam panoları, endüstriyel ve zirai binaların inşasında, ambalaj, dekorasyon, paket, prefabrik yapı imalinde, vagon ve gemi imalatında kullanılırlar [8].

2.1.2. ORTA YOĞUNLUKTA LİFLEVHALAR (MDF)

MDF yaş yöntemle, yarı kuru yöntemle ve kuru yöntemle üretilmektedir. Bugün dünyada MDF %90 oranında kuru yöntemle üretilmektedir. Aşağıda kuru ve yaş yöntemle üretilen MDF'nin tanımı verilmiştir [11].

Kuru Yöntem: MDF orta sertlikte bir liflevha olup termomekanik olarak odun veya diğer lignoselülozik hammaddelerden elde edilen liflerin belirli bir rutubet derecesine kadar kurutulduktan sonra yaklaşık %9 – 10 oranında termoset karakterli bir tutkal ile tutkallanarak sıcaklık ve basınç altında preslenmesiyle oluşan homojen yapıda levhadır. MDF'nin kalınlığı 1.8 – 60 mm, yoğunluğu ise genellikle $0.55 - 0.8 \text{ gr/cm}^3$ arasında değişmekte olup, genellikle $0.7 - 0.8 \text{ gr/cm}^3$ arasındadır [11]. Kuru yöntemle orta yoğunlukta liflevhanın üretim basamakları Şekil 2.3'de gösterilmektedir.



Şekil 2.3: Kuru yöntemle orta yoğunlukta liflevha üretim süreci [12].

Yaş Yöntem: Odun veya diğer ligno – selülozik hammaddelerden elde edilen liflerden sulu ortamda taslak hazırlanarak, belli bir rutubete (%1 – 5) kadar kurutulduktan sonra sıcaklık ve basınç altında preslenmesi ile elde edilen her iki yüzü düzgün homojen yapıda levhalardır. Tutkal olarak odunun doğal yapıştırıcısı olan ligninden faydalanılır. Levhaların fiziksel ve mekanik özelliklerini artırmak amacıyla isteğe bağlı olarak termoplastik tutkal (%0.5 – 1.5) katılabilir. Yaş yöntemle üretilen MDF'lerin kalınlığı kuru yöntemle üretilen MDF'lerden daha az olup 6.35 – 12.7 mm arasındadır.

Her ne kadar MDF orta yoğunlukta (genellikle 0.60 – 0.80 gr/cm³) liflevhalar olarak tanımlansa da, Avrupa MDF üreticileri Birliği (EMB) MDF'lerin yoğunluklarına göre kendi içerisinde aşağıdaki şekilde sınıflandırmaktadır [11].

- Standart MDF: Yoğunluğu 0.65 – 0.80 g/cm³ arasında değişen levhalardır.
- Hafif MDF: Yoğunluğu 0.55 – 0.65 g/cm³ arasında değişen levhalardır.
- Çok hafif MDF: Yoğunluğu 0.45 – 0.55 g/cm³ arasında değişen levhalardır [11].

MDF'nin Özellikleri ve Kullanım Alanları: MDF aslında sert liflevha ile yongalevhaların üstün özelliklerinin kombine edildiği bir levha ürünüdür. Zira sert liflevhada olduğu gibi lifler, yongalevhada olduğu gibi ise tutkal kullanılmaktadır. Böylece liflerin kullanılmasıyla sert liflevha gibi yüzeyleri düzgün ve yeknesak, tutkal kullanılmasıyla yongalevha gibi yapışma dayanımı yüksek olmaktadır.

MDF'nin genel özellikleri aşağıda maddeler halinde ifade edilmiştir [11].

- Homojen yapıda olup doğal odun özelliğinde yapay bir üründür. Yüzeyler ile orta tabaka arasındaki yoğunluk farkı daha azdır, dolayısıyla yapısı daha homojendir.
- Levha yüzeyleri yüzey işlemleri için uygun olup işlem görmüş yüzeylerde zamanla pürüzlenme ve parlaklık azalması olmaz.
- Levha kenarlarının kusursuz olması, kolayca işlenebilmesi, kaplanabilmesi, zımpara istememesi, cilalanabilmesi, direkt desen baskı yapılabilmesi ve kolay yapıştırılabilmesi mümkündür.
- Fiziksel özellikleri çok yüksektir, fakat hafif değildir.
- Yongalevha ve odundan üretilen diğer levhalara göre daha düşük kaliteli odunlardan üretilmektedir.
- Rutubete dayanıklıdır, kolay kesilir, yarılp parçalanmaz, çivilenir, vidalanabilir.
- Büyük boyutlu malzemedir.
- Sağlamlık her yönde aynı olduğundan doğal oduna oranla daha geniş mobilya dizaynına imkân verir.

Odun kökenli levhalara katılan kimyasal tutkallar denge rutubet miktarını düşürerek mikro organizmaların enzim substrat reaksiyonlarını azaltır. Bu sebeple, hayati faaliyetlerini sınırlayarak levha içindeki biyolojik degradasyonu azaltır [11].

MDF'nin Kullanım Yellerlerine Göre Sınıflandırılması:

İnce MDF: 1.8 – 2.5 mm kalınlıklardaki bu levhalar sert liflevha ve ince kontrplağa alternatif olarak üretilmektedir. Tipik kullanım yerleri; çekmece altlıkları, mobilya ve kabin arkalıkları, kapı yüzeyleri, sergi paneli, üzerine delikler açılarak dekoratif paneller ve kolayca bükülebildiklerinden dolayı eğik yüzeylerin oluşturulmasında kullanılır.

Kalın MDF: 45 – 60 mm kalınlıklarda üretilen bu levhaların en büyük kullanım yeri binalarda sütun, kemer gibi mimari amaçlarla değerlendirilmesidir. Ayrıca, ağır döşeme yerlerinde, raf, merdiven basamağı, çalışma tezgâhı ve bank oturakları gibi yerlerde kullanılabilir.

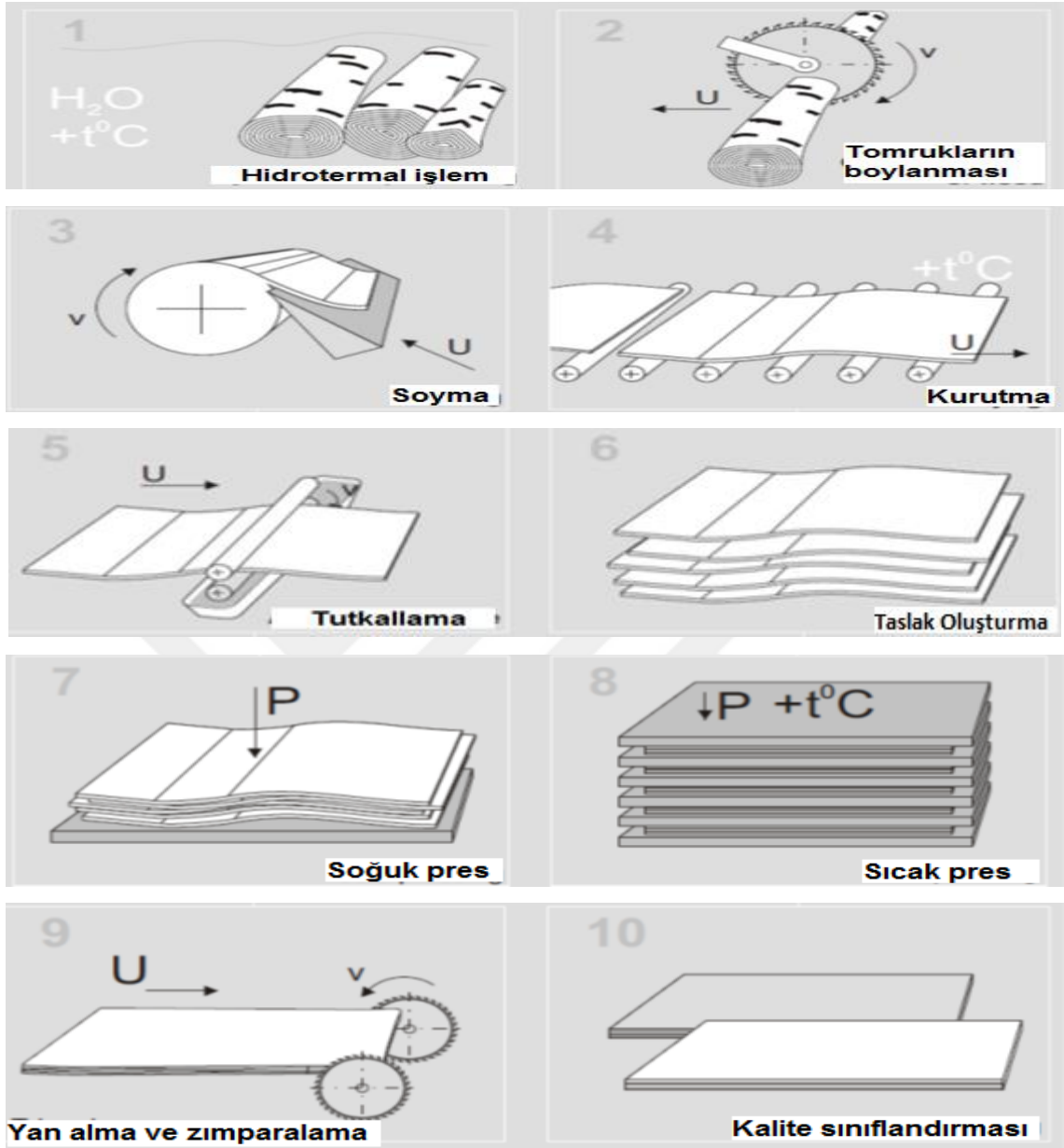
Rutubete dayanıklı MDF: Bu tip levhalar rutubete dayanıklı tutkallarla (fenol formaldehit vb.) üretilmiş ve ayrıca kalınlığında şişmeyi azaltmak için katkı maddeleri (parafin vb.) ilave edilmiştir. Kapalı yerlerde %80 bağıl neme kadar kullanılabilir. Bu levhalar banyo ve mutfak mobilyası, döşeme, merdiven ve mimari kalıp ürünlerde kullanılır.

Açıktaki kullanılan MDF: Rutubete dayanıklı tutkallarla üretilmiş olmasının yanı sıra, bütün yüzey ve kenarları açık havaya dayanıklı olacak şekilde kaplanmış olmalıdır. Bu levhalar; yol işaretleri, reklam panoları, mağaza vitrinleri, bahçe mobilyaları, bot kabinleri, skorboard, açık depolama alanlarında, raf ve açık havada kullanılan kapı panellerinde değerlendirilir.

Yangına dayanıklı MDF: Standart MDF'ler, üretimden sonra yüzeylerine alev almayı geciktirici kimyasal maddeler sürme veya levhalar bazı tuzlarla emprenye edilmesi süratiyle yangına karşı karşı dayanıklı hale getirilir. Bu levhalar, duvar ve pano kaplamaları, büro bölme sistemleri, sergi panoları, gemilerde kabin ve bölme elemanları olarak değerlendirilir [11].

2.1.3. KONTRPLAK

TS 2128 EN 313 – 2 [13] standardına göre; kontrplak, genellikle lifleri birbirine dik yönde, birbirini takip edecek şekilde (üst üste) yapıştırılmış tabakalardan oluşan levhadır. Kontrplak soyularak, kesilerek ve biçilerek elde edilen ince levhaların, lifleri birbirine dik gelecek şekilde ve üst üste yapıştırılmasıyla elde edilir. En az üç tabaka gereklidir. Yapının simetrik olabilmesi için tabaka sayısının 3, 5, 7 . . . gibi olmalıdır [14]. Kontrplak levhaların üretim aşaması Şekil 2.4'de gösterilmektedir.



Şekil 2.4: Kontrplak üretim aşaması [15].

Kontrplakların Sınıflandırılması

TS 3103 EN 313 – 1 [16] standardına göre kontrplak levhalar aşağıdaki gibi sınıflandırılmaktadır.

Genel görünüşlerine göre:

Yapılarına Göre

- Kaplama kontrplak,
- Odun özlü levhalar,

- Blok levha,
- Lamine levha (Yaprak Levha)

c) Kompozit kontrplak.

Şekil ve Formuna Göre

- a) Düz,
- b) Kalıplanmış.

Başlıca Özelliklerine Göre:

Dayanıklılıklarına Göre

- a) Kuru ortamlarda kullanım için,
- b) Nemli ortamlarda kullanım için,
- c) Dış ortamlarda kullanım için.

Mekanik Özelliklerine Göre

Yüzey Görünüşlerine Göre

Yüzey Durumlarına Göre

- a) Kumsuz levha,
- b) Kumlu levha,
- c) Önceden bitirilmiş (Cilalanmış) levha,
- d) Kaplanmış levha (Dekoratif kaplama, film, emprenye edilmiş kağıt)

2.2. LİFLEVHA VE YONGALEVHA YÜZEYLERİNİN KAPLANMASI

Ahşap esaslı levhalardan yongalevha ve liflevha giderek artan oranda yüzeyleri çeşitli kaplama malzemeleriyle kaplanmak suretiyle piyasaya sunulmakta ve bu şekilde kullanılmaktadırlar. Başlangıçta sıvı yüzey işlemlerinin yanı sıra katı yüzey kaplama malzemelerinde yalnızca **doğal ahşap kaplamalar** yongalevha ve liflevha yüzeyleri kaplanmaktaydı [17].

Doğal ahşap kaplama (özellikle kesme kaplama) üretiminde kullanılan kaliteli tomruk miktarı zaman içerisinde azalınca fiyatları da artmış ve doğal ahşap kaplamaya alternatif malzeme üretimi arayışları başlamış ve bu amaçla yıllar içerisinde çeşitli **sentetik kaplamalar** geliştirilmiştir. Günümüzde çok çeşitli sentetik kaplamalar mevcut olup, oldukça yaygın bir şekilde bütün dünyada kullanılmaktadır [17].

Yongalevha ve MDF yüzeyleri çıplak halde iken dekoratif bir görünüme sahip olmadıklarından, bu ürünlerin çeşitli kullanım yerlerinde değerlendirilmesi sırasında yüzeylerinin kaplanması gereği ortaya çıkmaktadır. Bu levha ürünlerinin yüzeylerinin kaplanmasının nedenlerini şöyle sıralayabiliriz:

- Levhaya dekoratif bir görünüm sağlamak
- Levhanın fiziksel ve mekanik özelliklerini iyileştirmek
- Kimyasal etkilere karşı direnç sağlamak
- Levhalara su ve rutubete karşı dayanıklılık sağlamak
- Aşınma, çizilme ve eskimeye karşı levhaya dayanıklılık sağlamak

Görüldüğü gibi temel amaç, levhaya estetik bir görünüm katmak, fiziksel – mekanik özellikleri iyileştirmek ve levhanın çeşitli dış etkenlere karşı korunmasını sağlamaktır. Günümüzde doğal ahşap kaplamadan başka onlarca çeşit kaplama malzemesi yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Hemen hemen bütün yongalevha ve MDF fabrikaları ürünlerinin önemli bir kısmını çeşitli renk, desen ve özelliklerdeki sentetik kaplama malzemeleriyle kapladıktan sonra piyasaya sürmektedir [17].

2.2.1. Katı Yüzey Kaplama Malzemelerinin Sınıflandırılması

Levha yüzeylerinin kaplanmasında kullanılan katı yüzey kaplama malzemeleri çeşitli kaynaklarda farklı şekillerde sınıflandırılmıştır. Kolmann [18] yaptığı çalışmada, levha endüstrisinde kullanılan yüzey kaplama malzemeleri dört ana grupta toplamıştır.

2.2.1.1. Levha Yüzeyine Doğrudan Yapışan Lamine Levhalar

- Diallyl phthalate emprenye edilmiş kâğıtlar
- Melamin formaldehit (MF) ile emprenye edilmiş alfa selüloz esaslı kâğıtlar
- Daha sonra lake yapılarak UV sertleştirilmiş polyester astarlar
- Polyester emprenye edilmiş kâğıtlar
- Bir ağacın desenini içeren baskılı astarlar veya boyalı polyester lakeler

2.2.1.2. Levha Yüzeyine Tutkal ile Yapıştırılan Laminat veya Folyolar

- Yüksek basınç laminatı
- Önceden kondanse olmuş aminoplastları içeren kâğıtlar
- Aminoplastlar ile emprenye edilmiş astar folyolar ve lake yapma
- Termoplastik folyolar (PVC folyo)

- Aminoplastlarla kaplanmış vulkonize lifler

Kalaycıoğlu ve Nemli'ye [19] göre; katı yüzey kaplama malzemeleri lamine levhalar ve laminatlar olmak üzere iki grupta toplanabilmektedir.

2.2.1.3. Lamine levhalar

- Polyester filmler
- Fenolik kraft kâğıtlar
- PVA + Üre esaslı dekoratif kâğıtlar
- Amonyum klorür + üre esaslı dekoratif kâğıtlar
- Polivinil Klorür (PVC)
- Polietilen esaslı kâğıtlar
- Amonyum sülfat emdirilmiş kâğıtlar, ince kâğıtlar, folyolar, ısı transfer filmleri ve ahşap kaplamalar.

2.2.1.4. Laminatlar

- Yüksek basınç laminatlar
- Rulo laminatlar

Bir başka sınıflandırmaya göre ise kâğıt bazlı plastik laminatlar dört grupta incelenmektedir [20].

- Endüstriyel laminatlar
- Lignin dolgulu laminatlar
- Kâğıt yüzey kaplama malzemeleri
- Dekoratif laminatlar

Özdemir'e [21] göre, yongalevhalar da katı yüzey işlemlerini aşağıdaki şekilde sınıflandırmıştır.

1. Bir tutkal ilavesi ile yüzey kaplama uygulanan işlemler;
 - a. Tabii ahşap kaplama
 - b. Yüksek basınç laminatları ile kaplama
 - c. Rulo laminatları ile kaplama
 - d. Polivinil klorür esaslı kâğıtların kullanımı,
 - e. Folyolar kullanımı
 - f. Vulkanize lifler kullanımı

- g. İnce kâğıtlar kullanımı
- h. Özel kaplama malzemeleri
- 2. Tutkal ilavesi gerektirmeyen işlemler
 - a. Melamin reçinesi emdirilmiş kâğıtların kullanılması
 - b. Polyester reçinesi emdirilmiş kâğıtların kullanılması

2.2.2. Sıvı Yüzey Kaplama Malzemelerinin Sınıflandırılması

Liflevha yüzeylerine renk vermede kullanılan boyalar:

- Su esaslı boyalar
- Alkol esaslı boyalar
- Organik solventli fabrika boyalar

Lif levha endüstrisinde kullanılan dolgu maddeleri:

- UV polyester esaslı dolgu maddeleri
- Vinil esaslı dolgu maddeleri
- Su esaslı dolgu maddeleri
- Poliüretan esaslı dolgu maddeleri
- Üre –alkid esaslı dolgu maddeleri

Liflevha endüstride sıvı yüzey kaplama işlemlerinde kullanılan vernikler:

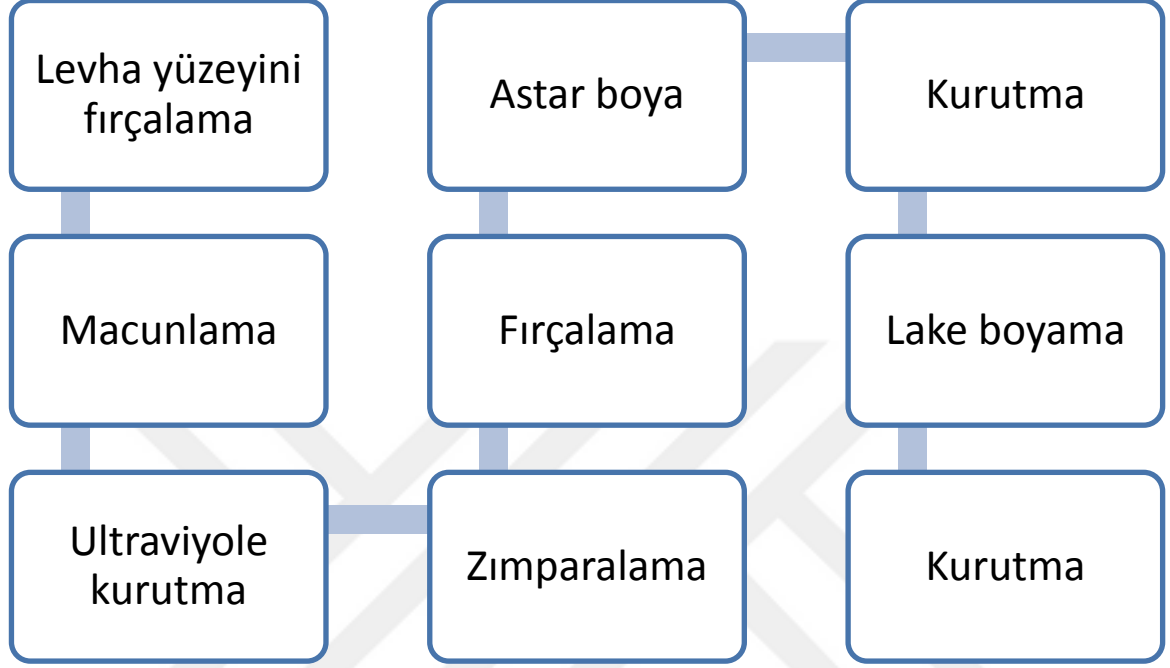
- Alkol esaslı vernikler
- Nitroselülozik vernikler
- İki bileşimli vernikler
- Tek bileşimli vernikler
- Polyester vernikler
- Poliüretan vernikler

Özdemir'e [21] göre, yongalevhalar'a uygulanan sıvı yüzey malzemelerini aşağıdaki şekilde sınıflandırılmıştır.

- Vernikleme işlemleri,
- Yongalevha üzerine lake boya uygulaması,
- Yongalevha üzerine desen baskılı işlemler.

2.2.2.1. Lake boya yapma

Yongalevha üzerine lake boya yapma işlemi Şekil 2.5’de gösterilen iş akışına göre gerçekleştirilir [21].



Şekil 2.5: Yongalevha yüzeylerine uygulanan lake boya işlem basamakları.

Yongalevha yüzeyine lake boya yapma işleminde kullanılan macun beyaz lake macunudur. Astar boya poliüretan lake astarı olup içerisine poliüretan sertleştirici ve selülozik tiner katılır. Son katta atılan lake boya poliüretan lake boyası olup içerisine poliüretan sertleştirici ve selülozik tiner katılır [21].

2.2.2.2. Desen baskı işlemleri

Yongalevha üzerine desen baskılı işlemi Şekil 2.6’da belirtilen iş akışına göre gerçekleştirilir [21].



Şekil 2.6: Yongalevha üzerine desen baskı işleminin iş akışı.

Sıvı yüzey işlem maddeleri; solventsiz sıvılar, kimyasal olarak çapraz bağlı reçineler, su bazlı yüzey işlem maddeleri ve radyasyonla sertleşen polimerler gibi maddelerden oluşmaktadır.

Yongalevhalar son yüzey işlemlerine tabi tutulmadan önce bazı ön hazırlık işlemlerine ihtiyaç duyarlar. Çünkü levhaların yüzeyleri nispeten porözdür. Yüksek kalitede yüzey işlemlerinin gerçekleştirilmesi için levha yüzeyinde son derece ince yonga kullanılmalıdır. Bununla birlikte sıvı yüzey işlemlerinin başarıyla uygulanabilmesi için bazı macun tiplerinin kullanılması zorunludur. Levha yüzeyinde çok ince yongaların kullanılması macun ihtiyacını asgariye indirir. Macunlama işlemi yüzey işlemlerinin temelidir. İyi bir yüzey işlemi yapabilmek için levha yüzeyi yeknesak, sıkı ve sert olmalı, mükemmel bir adezyon sağlamadır [21].

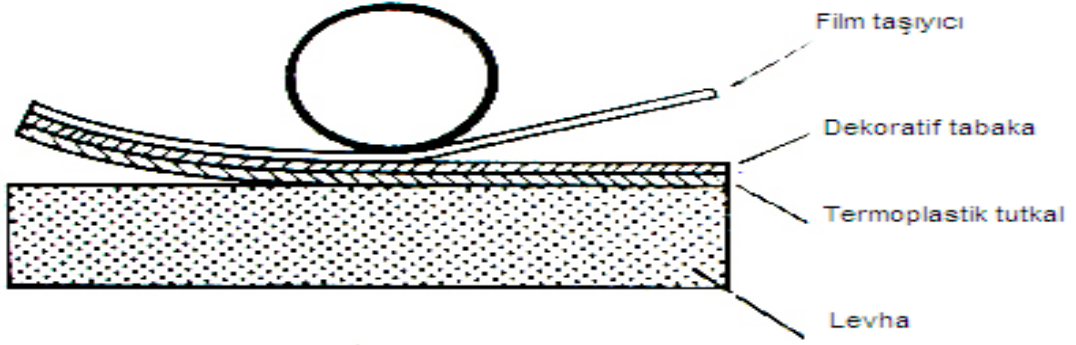
Yukarıdaki sınıflandırmalardan ayrı olarak Laminating Materials Association, Inc. (Laminasyon Malzemeleri Derneği 2001) ve Composite Panel Association (Kompozit Levha Derneği 2006) tarafından yongalevha, liflevha ve kontrplak gibi levhalar üzerine kaplanan katı yüzey kaplama malzemeleri çok küçük farkla da olsa benzer şekilde sınıflandırılmış olup, bu sınıflandırmalar esas alınarak Dekoratif Kaplamalar adı altında aşağıdaki gibi bir düzenleme yapılmıştır [17].

- Dekoratif Folyolar
- Isı Transfer Folyoları
- Yüksek Basınç Laminatları (HPL)
- Sürekli Pres Laminatı (CPL Bobin Laminat)
- Düşük Gramajlı Kâğıtlar

- Polipropilen Filmler
- Isıl Olarak Birleştirilmiş (Reçine ile Doyurulmuş) Kâğıtlar
- Vinil Filmler (PVC)
- Ahşap Kaplama

Dekoratif folyolar: Reçine/reçineler ile muamele edilmemiş haldeki gramajları 40 – 200 g/m² arasında değişen selüloz esaslı kâğıtlardır. Bu yüzey kaplama malzemelerine aynı zamanda emprenyeli kâğıtlar da denmektedir. Emprenye edilmiş kağıtlar bir folyo olarak göz önünde bulundurulduğunda, bir üstyüzey tabakası gerektirmez. Bununla beraber, uygulamaya bağlı olarak bitirilmiş bir üstyüzey normal olarak ilave edilir. Bu nedenle ürünün ismi Avrupa’da “Finished foil” (bitmiş folyo) olarak zikredilmektedir. Bu isim Kuzey Amerika’da nadir olarak kullanılmaktadır. Oldukça yaygın olan belirleyici isimleri, Emprenyeli kâğıt, melamin kâğıdı, melamin ve kâğıt laminat’tır. Bu kâğıtlar, esas kâğıt ağırlığının %20’si ile %50’si oranında ilave edilecek şekilde reçinelerle emprenye edilmektedir. Genellikle %50 Akrilik + %50 Üre reçinesi karışımı kullanılmaktadır. Emprenye işleminden sonra yüzeye lake veya cila çekilebilmektedir. Emprenyeli folyolar, MDF veya yongalevha gibi taban malzeme üzerine bir yapıştırıcı ile kaplanmaktadır. Emprenye işleminin miktarı, metodu ve tipi ile yapıştırıcı ve taban malzemenin uyumu nihai ürün üzerinde direkt bir etkiye sahiptir. Bu nitelikler, malzemenin ağaç işleme makineleri ile kesilme ve işlenmesinde kendini gösterecektir. Taban malzemelerin yüzeylerinde sağlanan iyileşmeler nedeniyle dekoratif folyoların kullanımı ve performansı giderek artmaktadır. Dekoratif folyolar akrilik reçinesinden dolayı oldukça esnek bir yapıya sahiptir. Dekoratif folyoların en yaygın uygulama alanlarına örnek olarak, cam/çekmeceli dolaplar, mağaza demirbaş elemanları, klozet sistemleri, ev/ofis mobilyası ve sarma profiller verilebilir [17].

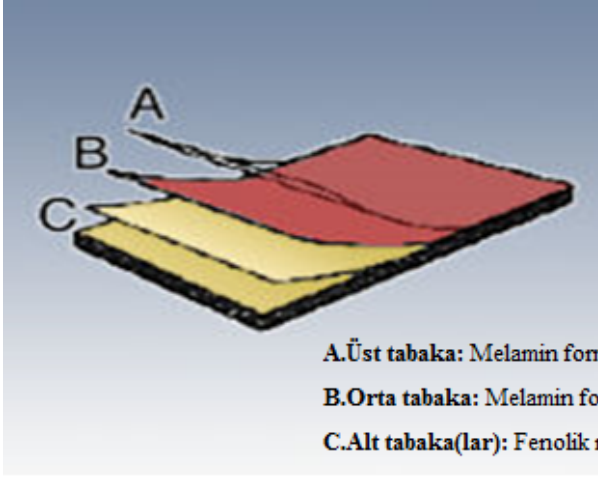
Isı transfer folyoları: Isı ve basınç aracılığıyla bir levhaya taşıyıcı bir filmten komple bir yüzey kaplama sisteminin transferini kapsamaktadır. 0.02 mm kalınlıkta taşıyıcı polyester film üzerinde dekoratif tabaka bulunmaktadır. Dekoratif tabaka sırasıyla şunlardan oluşmaktadır: Üstyüzey tabaka + şeffaf koruyucu lake + baskı + termoplastik tutkal. Toplam kalınlığı yaklaşık 0.035 mm’dir (Şekil 2.7). Dekoratif tabaka üstyüzey içermekle birlikte, yatay kullanımlarda yüzey korumasını iyileştirmek için geleneksel yöntemlerle ilave bir şeffaf üstyüzey uygulanması tavsiye edilmektedir. Isıtılmış silindirler ve levha arasındaki temas noktasında transfer gerçekleşince, yüzey kaplama sistemi, bazı kullanım alanları için hem dekoratif hem de koruyucu bir etki sağlar [17].



Şekil 2.7: Isı transfer folyosunun yapısı [22].

Bu folyolar, bir kopolimer film üzerine ters sıralı gravür baskılardır. Yani, önce ayrılan üst yüzey uygulanmakta ve bunu koruyucu bir tabaka, dekoratif tabaka, alt dolgu ve son olarak, ısı ile aktif hale gelen yapıştırıcı izlemektedir. Bu tip dekoratif yüzey kaplamaların en popüler kullanım alanları, plakettekinin taban kısımları, mobilya/kabin tipi kalıplar ve resim çerçeveleridir [24, 25].

Yüksek basınç laminatları (HPL): Aynı zamanda “plastik laminatlar” olarak da bilinmektedir. HPL üretimi, fenolik tutkalla doyurulmuş çok tabakalı kraft kâğıtlarının ısı ve basınç altında birlikte eriyerek kaynaşmasıyla üretilen tek aşamalı bir prosestir. Bu sandviç şeklindeki yapı, tipik olarak fenolik tabakaların kaynaşmasıyla aynı zamanda ilave edilen melaminle doyurulmuş bir üst tabaka ile kaynaşmaktadır. Bu tip laminatların değeri, çok ince melamin reçineleriyle yoğun bir şekilde doyurulmuş açık veya yarısaydam alfa – selüloz tabakasının (overlay) ilave edilmesiyle daha fazla artırılabilir. Overlay, alfa selüloz esaslı kağıda, kağıt ağırlığının yaklaşık % 200’ü oranında katı madde oranı oldukça yüksek olan melamin formaldehit tutkalının sürülmesiyle elde edilir. Bu katmanlar, 120 °C’den yüksek bir sıcaklık, 5 N/mm²’den yüksek bir basınç altında preslenmektedir. Bu ilave tabaka laminat parke ürünlerinde yaygın olup, esas olarak desenli modellerde kullanılır ve yüzeye ilave bir aşınma direnci sağlar. Aşağıda yüksek basınç laminatının tabaka yapısı Şekil 2.8’de görülmektedir [17].



Şekil 2.8: HPL laminatın tipik tabaka yapısı [17].

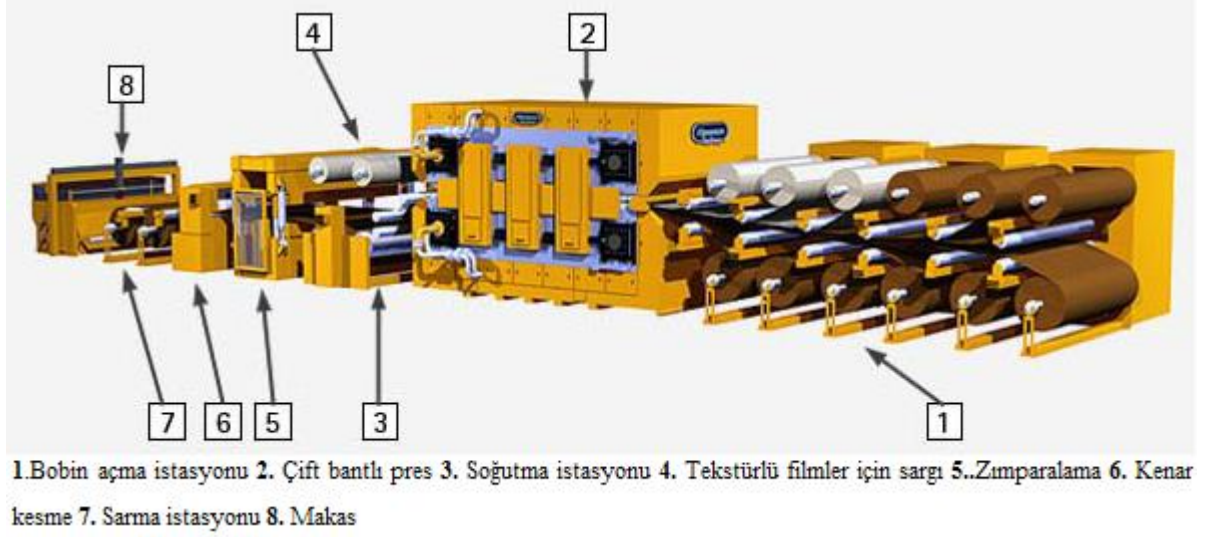
Elde edilen malzemenin yoğunluğu $> 1.35 \text{ g/cm}^3$ tür. Laminatın yaklaşık % 60'dan fazlasını kağıt, geriye kalan %30 – 40'ını ise orta tabaka kağıtları için kullanılan fenol formaldehit ve yüzey tabakaları için kullanılan melamin formaldehit reçinesi oluşturmaktadır. Her iki reçinede termoset karakterde olup geri dönüşümleri yoktur. Laminat kendisini oluşturan bileşenlerden tamamen farklı bir özellik taşımaktadır. HPL laminatlar çeşitli kalınlık, desen ve üstyüzey işlemine sahip olarak genelde tabaka halinde satılmaktadır. Eğer istenirse orta tabakayı oluşturan katmanlar yanmayı geciktirici katkı maddeleriyle muamele edilebilir [26].

Sürekli pres laminatı (CPL – bobin laminat): HPL teknolojisinin bazı sakıncaları nedeniyle yeni presleme teknolojisi arayışları başlamış, reçine kimyası ve polimerizasyon teknolojisindeki yenilikler birleştirilerek 1980 'lerde yeni ve daha ekonomik olan rulo – bobin (CPL) laminat üretimi metodu bulunmuştur [27].

Bu teknolojide, HPL üretiminde kullanılan tabaka halindeki kâğıtların yerine, rulo halindeki kâğıtlar kullanılarak sürekli preslerde bobin halinde laminatlar üretilmektedir. CPL laminatın temel yapısı HPL laminatlarla aynıdır. Bu prosesle sadece ince laminatlar üretilebilmektedir. Bu tip laminatlar sürekli presten çıkarken bobin halinde sarılmakta veya arzu edilirse kesilmek suretiyle plaka haline getirilebilmektedir. Nisbeten daha ince olan CPL laminatlar, sürekli presler kullanılmak suretiyle levhaya yapıştırılabilmektedir [17].

Sürekli laminatların tipik yapısı, bir ya da çok fenolik veya melamin reçinesi ile emprenye edilmiş kağıt üzerine eklenen dekoratif yüzey kâğıtları ve bunun üzerine melamin emprenyeli alfa selüloz overlay tabakası ilavesiyle oluşmaktadır. Bu laminat, çift bantlı sürekli preslerde 8

– 50 kgf/cm² basınç ve 140-170°C sıcaklıklarda üretilir. Bant hızı 4 – 6 m/dak. civarındadır [17]. CPL laminat üretim hattı Şekil 2.9’da gösterilmektedir.



Şekil 2.9: CPL laminat üretimi için çift bantlı pres [17].

Kalınlık, kraft kağıdı katlarının sayısı ve emdirilen reçine miktarı ile belirlenmektedir ve normal olarak 0.79 mm civarındadır. Laminat preslenirken çelik saç tabakası ya da ayrılabilen kağıt tabakasının kullanımıyla, pürüzsüz yüksek parlaklıktan tamamen tekstürlü yüzeylere kadar farklı yüzey özellikleri elde edilebilmektedir. Sürekli laminatlar yalnızca büyük çaplarda rulo haline getirilebilmektedir [23, 24].

Düşük gramajlı kağıtlar: Düşük gramajlı kağıtlar zaman zaman ‘mikro – kağıt’ yada ‘pirinç kağıdı’ olarak da adlandırılmaktadır. Hafif kağıtların gramajları 23 ila 50 g/m² arasında değişmektedir. Bu tip kağıtlar, iç yapışma direnci arttırmak için kağıt üretim prosesi sırasında ilave edilen akrilik, polyester veya diğer reçineleri içerebilir. Daha sonra bu kağıtlara baskı yapılır; dayanıklılık ve performansı arttırmak için poliüretan, üre, polyester, akrilik veya melamin reçineleri veyahut bunların bir kombinasyonu ile üst yüzey tabakası oluşturulur. Çok ince yapıdaki bu kağıtlara mükemmel bir kalitede ve aslına çok uygun ahşap görüntülü desenler basılabilmektedir. Bu kağıtlar, ev, ofis mobilyası, klozet sistemleri, mağaza sabit eşyaları, raf sistemlerinde ve kabinlerde geniş ölçüde kullanılmaktadır. Bu tip kağıtlar genellikle standart ve endüstriyel olmak üzere iki kategoriye ayrılmaktadır. Standart sınıftaki kağıtlar, az miktarda reçine içeren kağıtları kapsamakta olup, duvar paneli gibi düşük yüzey aşınmasının olduğu kullanım yerleri için ekonomik bir kaplama malzemesidir. Endüstriyel sınıftaki kağıtlar daha

yüksek miktarda reçine içermekte ve daha yüksek bir iç yapışma direncine sahiptirler. Bu kağıtlar, alt yüzeyi üzerine bir yapıştırıcının önceden kaplanması suretiyle piyasaya sürülüp, sıcak silindir laminasyonu için hazır olabilir veya tutkal kaplanmamış olarak piyasaya sürülmüşse, laminasyon prosesi sırasında bir yapıştırıcı gerektirir [23, 24].

Polipropilen filmler: Kaplama malzemelerin bu sınıfı polipropilen reçineden yapılmış olup, kalenderleme (Polimer sıcak silindirler arasından geçirilir, film kalınlığını ayarlamak için değişik hızlar uygulanır) ya da bir ekstrüderde yönlendirilerek (her iki yönde gerilmiş olarak) üretilmektedir. Polipropilen filmler kimyasal reaksiyona girmeyen maddeler olup, plastikleştirici bir madde içermemeklerdir. Bu filmler daha çok, suya ve kimyasal maddelere karşı mükemmel bir dirence sahiptirler [23, 24].

Isıl olarak birleştirilmiş kağıtlar (reçineyle doyurulmuş kağıtlar):Bu grup kaplamalar, ısı ile birleşen melamin (TFM), düşük basınç, direkt basınç veya sadece melaminli kaplamalar gibi pek çok isimle anılır. Alt kategorileri Polyester ve Dekoratif fenolik isimlerini içermektedir. Isıl olarak birleşen kağıtların gramajları genel olarak 60 – 130 g/m² arasında değişmekte ve yapısı HPL'ye benzemektedir. Isıl olarak birleştirilmiş kağıtlar reaktif reçinelerle doymuş hale getirilmekte ve kağıdın taşınması ve depolanmasına imkan sağlamak için kısmen üretim aşamasında sertleşmektedir. Nihai sertleşme sıcak pres laminasyonunda yapılmakta ve reçine sert bir yapı aldığı anda taban malzeme ile kağıt arasında artık geri dönüşü olmayan bir bağ sağlanmaktadır. Bu sistemde kaplamayı levhaya yapıştırmak için ilave bir tutkal gerekmemektedir. En yaygın son kullanım yerleri; laminat parke, mobilya, mutfak dolapları, mağaza sabit dolapları, raf sistemleri, tezgâh üstü ve ev/ofis mobilyalarıdır [17].

Vinil filmler: Polivinil klorür (PVC) den üretilmekte ve pek çok yerde kullanılmaktadırlar. Viniller 0.05 mm'den 1.14 mm'ye kadar değişen kalınlıklarda ve farklı esneklik derecelerinde bulunmaktadır. Bu tip kaplama malzemeleri tipik olarak ekstrüderde yapılmaktadırlar [17].

Ahşap kaplamalar: Laminasyon endüstrisinde kullanılan diğer bir yaygın dekoratif yüzey kaplama malzemesi doğal ahşap kaplamadır. Kaplamalar yerli ve yabancı çok farklı ağaç türlerinden elde edilmektedir. Yongalevha ve MDF gibi levhalar düzgün ve uniform, yoğun ve budaksız ve çeşitli desenlerde üstün yüzey nitelikleri nedeniyle kaplamalar için en fazla tercih edilen taban malzemelerdir. İlave olarak, boyutsal stabiliteleri, direnç özellikleri ve maliyet avantajları bu tip taban malzemelerin avantajlarını daha da arttırmaktadır. Ahşap kaplamalar,

0.50 mm'den 1.0 mm kalınlıklara kadar genelde kesme yöntemiyle elde edilen ince tabakalar olup, sade veya değişen bükölme derecelerine sahip arka yüzeyi çatlaklı olarak bulunmaktadır. Destek yüzey, kaplamaya stabilite ve boyuna yırtılmaları, çatlamaları (kırılmaları) ve çizilmeleri en aza indirmek için direnç sağlamaktadır. Kaplamalı kompozit levhalar yüksek kaliteli mobilya, kasa, mağaza sabit mobilyaları ve dolap üretimini kapsayan birçok yerde kullanılmaktadır. Bazı kaplamalar kavisli profiller için kullanılmakta, tipik olarak profil açılmış MDF yüzeyine kaplanmaktadır. Kaplamalar ya ısı ile aktif hale gelen reçinelerle ya da soğuk preslerle kaplanmaktadır. Sıcak pres sistemlerinde kullanılan temel yapıştırıcı olarak, levhayı daha sert yapması, üretim prosesinin daha hızlı olması ve daha düşük maliyeti nedeniyle üre esaslı tutkallar kullanılmaktadır. Soğuk pres sistemleri olarak da polyvinil asetatlar, kazein ve kontak yapıştırıcılar kullanılmaktadır. Bu sistemler, daha küçük çaplı üretimlerde kullanılmakta ve ısı ile aktif hale gelen reçine sistemlerinden daha yumuşak olmaktadır [17].

2.3. KONTRPLAK LEVHALARIN KAPLANMASI

Kontrplak levhalar kullanıcıların isteklerine bağlı olarak kaplama ve boyama işlemleri gerçekleştirilebilir. Kontrplak levhanın kaplanmasında kullanılan kaplama ve boyama işlemleri aşağıda maddeler halinde açıklanmıştır [28].

2.3.1. Fenolik Film İle Kaplama

Fenol reçine emdirilmiş film tabakası kontrplak levhaların her iki yüzüne yüksek basınç ve sıcaklık altında preslenmesi ile kaplanmaktadır. Kaplanmış kontrplak levhaların kenarlarının da kaplanması ile nem penetrasyonunu minimum seviyeleri düşürmektedir. Fenolik film kaplanmış kontrplakların aşınma, rutubet penetrasyonları, kimyasllara, böcek ve mantarlara karşı daha dirençli hale getirmektedir. Levha yüzeyleri daha düzgün, kolay temizlenebilir olmasından dolayı daha hijyeniktir. Levhalar genellikle koyu kahverengi isteğe bağlı olarakta açık kahverengi, yeşil, sarı, gri, kırmızı veya siyah renklerde kaplanabilir. Filmler 120 g/m², 170 g/m², 220 g/m² ve farklı kombinasyonlarda üretilebilmektedir [28].

2.3.2. Tekstürlü Fenolik Film Kaplama

Kontrplak levhalar fenol reçine emdirilmiş film ile kaplanmaktadır. Daha sonra tekstürlü kalıplarda bir veya iki yüzü preslenmektedir. Baskısı yapılmış tel ızgara tekstürü kaplanmış kontrplak levhanın kayma direnç özelliğini iyileştirmektedir [28].

2.3.3. Boyanabilir Film İle Kaplama

Kontrplak levhalar boyamaya elverişli fenol reçine emdirilmiş film ile kaplanmaktadır. Bu film tabakası boyama işlemi için düzgün stabil bir bariyer katmanı oluşturmaktadır. Bu film ile kaplanan kontrplak levha yüzeyleri boyama öncesi astar veya ön işleme gerek olmaksızın boyama işlemi gerçekleştirilmektedir. Dış mekan uygulamaları için tavsiye edilebilir [28].

2.3.4. Melamin Film İle Kaplama

Kontrplak levhalar, gıda endüstrisi dahil olmak üzere birçok dekoratif ve endüstriyel uygulamalar için ideal olan melamin reçine film ile kaplanmaktadır. Kullanılan en yaygın renk beyaz ve açık gri renklerdir [28].

2.3.5. Diğer Kaplamalar

Kontrplak levha yüzeyleri çeşitli boya ve renklendirme işlemi gerçekleştirilebilir. Ahşap kaplama, CPL veya HPL laminatlar ile kaplanabilir. Ayrıca polipropilen plastik folyo, cam fiber ile güçlendirilmiş levha yüzeyleri elde edilmektedir. Ses yalıtımı için metal ve mineral agrega ile kaplanmış kontrplak levhalar üretilmektedir [28]. Şekil 2.10’da çeşitli renk desende kaplanmış kontrplak levhalar gösterilmektedir [28].



Şekil 2.10: Çeşitli renk desende kaplanmış kontrplak levhalar.

2.4. BAŞARILI BİR ÜSTYÜZEY İŞLEMİ İÇİN LEVHALARDA BULUNMASI GEREKEN ÖZELLİKLER

Uniform Kalınlık: Preslemeden çıkan levhalarda kalınlık farklılıkları bulunabilir. Yongalevha endüstrisinde kullanılan zımparalama makinaları, genellikle yongalevhanın üniform kalınlığa sahip olmasını sağlamada önemlidirler [21].

Pürüzsüz Yüzey: Düzgün ve kusursuz bir yüzey, bütün yüzey işlemleri ve özellikle yüksek basınç laminantları için çok önemlidir. Levha yüzeyleri parafin ve tutkal lekelerinden, zımparalama kusurlarından, istif ve taşıma sırasında yüzeyde oluşabilecek kusurlardan arındırılmış olmalıdır. Düzgün bir yüzey elde edilebilmesi için levha soğutulduktan sonra zımparlanmalıdır [21].

Eğrilik ve Çarpıklığın Bulunmaması: Çarpıklık, yongalevha üretiminin bütün safalarında dikkat edilmesi gereken bir yüzey işlem problemidir. Özellikle zımparalama sırasında levhanın alt ve üst yüzeyinden eşit miktarda materyalin uzaklaştırılması, çarpılmanın önlenmesi bakımından önemlidir. Bu durum, çok tabakalı levhalarda tek tabakalı levhalara göre daha fazla önem taşımaktadır. Her iki yüzeyin eşit oranda zımparalanması levhanın alt ve üst yüzeyleri arasında sıcaklık ve rutubetten kaynaklanan değişimlerin eşit olması bakımından da önemlidir. Bunlara ilave olarak, levhalar daima düz bir zemin üzerine istif edilmelidir. Eğer bu yapılmazsa sonraki işlemler başarısız olacaktır [21].

2.5. YÜZEYİ KAPLANMIŞ LEVHALARIN KULLANIM ALANLARI

Gerek dünyada gerekse Ülkemizde odun hammaddesine olan talep gün geçtikçe artmaktadır. Bunun için uzun yıllardır odun hammaddesinin yerine alternatif malzemeler kullanılmaktadır. Bunlardan biri olan yüzeyi kaplı yonga ve liflevhaların birçok kullanım alanı mevcuttur. Bu alanlar aşağıda ifade edilmiştir.

- Ofis mobilyaları, masa, dolap, sehpa, radyatör önü ve üstü
- Banka ve ofis dekorasyonu
- Mutfak tezgâhları
- Mutfak ve banyo dolap kapakları
- Laboratuvar masa ve tezgâhları

- Otel, motel, pansiyon, misafirhane mobilyaları ve dekorasyonu
- Satış reyonları tezgâh ve rafları
- Kapılar
- Tuvalet ve duş kabinleri
- Nakil vasıtalarının tavan ve duvar kapıları
- Okul sıraları
- Tüm ıslak hacim duvar, kapı ve mobilyaları [21, 29].

2.6. SU ÇÖZÜCÜLÜ SİSTEMLER

Boya veya vernik üretiminde çözücü olarak günümüzde solventler kullanılmaktadır. Birçok Avrupa ülkesinde çevre korunumu ve insan sağlığına verilen önem artıktıkça solvent kullanımı azaltılmaya başlanmış ve gerekli kısıtlayıcı tedbirler artmıştır. Yapılan hukuki düzenlemeler sonucunda boya veya vernik üretiminde su çözücülü polimerlerin kullanımının yaygınlaşması sağlanmış. Su çözücülü sistemler boya olarak uzun zamandır bilinmekte ve kullanılmaktadır. Akirlik emülsiyon polimerleri ya da akrilik lateksler olarak da bilinen bu boyalar daha çok inşaat sektöründe yaygın kullanım alanı bulurken, benzer sistemler suyun ağaç ve metal malzemeler ile uyumlu kullanılamayacağı kaygısını doğurmuştur. Bunu neticesinde su çözücülü sistemlerin metal ve ağaçları sektöründe girişı ve gelişmesi oldukça yavaş ilerlemiştir. Su bazlı sistemlerin ağaçları sektörüne girişini güçleştiren sebepler, ilk zamanda kullanılan örneklerin ağaç malzemede lif ve doku kabarmasına sebep olması, tamir bakım imkânlarının kısıtlı olması ve mobilya üstyüzey işlem hatlarındaki kurutma kabinlerinin metal kısımlarının su buharı etkisi ile paslanabileceğı endişesinden kaynaklanmıştır [79].

Su çözücülü sistemlerin solvent çözücülü sistemlere göre, yüzey gerilimini azaltma, pigment ısıtıcılığını artırma, köpüklenmeyi azaltma ve emülsiyon yapıcı maddeleri kontrol altında tutma gibi konularda problemler bulunmaktadır. Buna karşın bazı reçinelerin karışabilirliğı ve birlikte kullanılması gibi, solvent çözücülü sistemlerde çok defa mümkün olmayan üretim esneklikleri ve imkânları vardır. Örneğın solvent çözücülü sistemlerde polyester – akrilik reçine karışabilirliğı söz konusu olmaz iken su çözücülü sistemlerde bu mümkün olabilmektedir. Su çözücülü sistemlerde bileşime katılan bazı katkı maddeleri ile kuruma zamanı kısaltılabilmektedir. Örneğın zirkonyum alkid su bazlı sistemlerde kuruma süresini

azaltmaktadır. Aminler bu amaçla kullanılması sakıncalı olabilir. Nötrleştirilmeyen amin artıkları ile okside olma özelliğindeki katkı maddeleri sararmaya sebep olur [79].

Su çözücülü sistemlerde esas çözücü "Su" olmakla birlikte katman yapıcı olarak kullanılan reçineler su ile tam olarak çözünemediğinden yardımcı solventlerin kullanılmasına ihtiyaç duyulur. Bu sistemde kuruma mekanizması suyun buharlaşması esasına göre kurulu olup, su genellikle yardımcı solventlerden önce ayrılır. Kuruma aşamasında katmandan en son ayrılan solvent önem taşımaktadır. Çünkü karşılaşılması muhtemel birçok katman kusuru bu son ayrılan solventin özelliklerine bağlı olarak giderilebilir. Başlangıç kuruması da yine yardımcı solventler tarafından belirlenir ve genellikle kurumayı yavaşlatmak üzere yardımcı solvent olarak, glikol eter, dietilen glikol, monobutil eter, diaseton alkol ve butoksi etanol kullanılır [79].

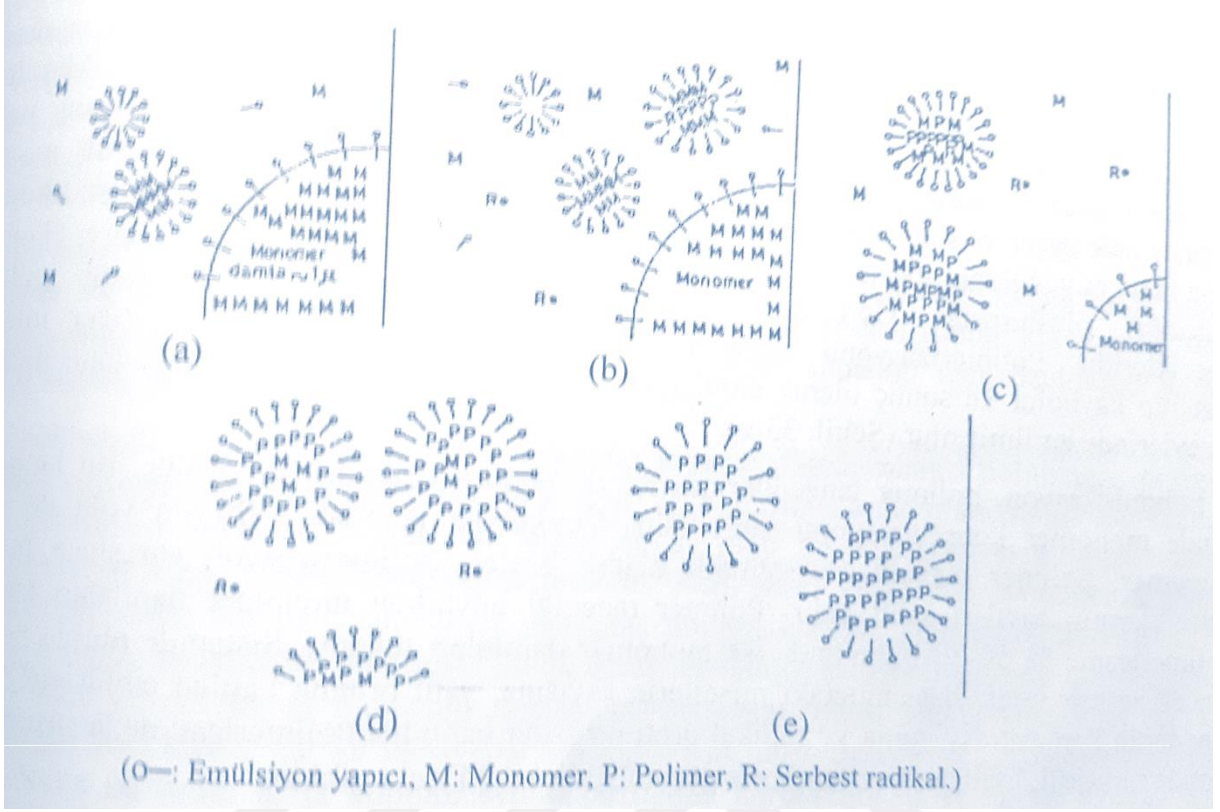
Uygulama ortamının bağıl nemi yüksek olduğunda, suyun buharlaşması zorlaştığı için yardımcı solventler daha önce ayrılır. Hâlbuki yardımcı solventlerin yayılmayı kolaylaştırma, bileşenlerin homojen karışımını sağlama ve devam ettirme gibi önemli katkıları vardır. Yardımcı solventlerin seçiminde hata yapıldığı veya olası kusurlu oluşumların önüne geçmek için gerekli önlemlerin alınmadığı durumlarda katman özellikleri bozulur, film karakteristikleri zayıflar, çatlak, mat ve donuk katman oluşumları görülebilir [79].

Su çözücülü sistemlerde kullanılan reçinelerde hidroksil (-OH) ve karboksil (-COOH) fonksiyonellikleri vardır. Katman yapıcı olarak, suda çözünen akrilik, poliüretan, polyester ve bazı alkid reçineler tek olarak veya modifikasyon amacı ile birkaçı birlikte kullanılmaktadır. Kuruma reaksiyonları genel hatları ile iki molekülün kaynaşması veya iki parçaya ayrılmış elemanların iyonları arasında bağ kurulması (Hidroliz) şeklindedir. Bu nedenle solvent çözücülü sistemlerden farklıdır. Polimerizasyon reaksiyonlarının kullanımı genellikle "Çözelti ve Emülsiyon" polimerizasyonu şeklindedir [79].

Emülsiyon polimerizasyonu: Çözelti polimerizasyonundan farklı olup, bu polimerizasyon türünde, öncelikle suda çözünmeyen bir monomerin emülsiyon halinde suda dağıtılması gerekir. Örneğin; kauçuk bitkisine benzer bitkilerin öz suları (lateks) bir tür doğal emülsiyondur. Kauçuk öz suyunda, poliizopren tanecikleri su içerisinde süt gibi kolloidal dispersiyon şeklinde dağılmış ve bu yolla doğal proteinler (emülsiyon yapıcı) kullanılarak taneciklerin pıhtılaşması önlenmiştir [79].

Polimerizasyonlarda çözücü olarak genellikle su kullanılır. Monomerler emülsiyon yapıcı bir madde ile sulu ortamda dağıtılmış haldedir. Polimerizasyonun başlatıcısı da suda çözünen bir madde olup genellikle redoks reaksiyonları ile aktif hale geçer. Emülsiyon yapıcı yüzey aktif bir maddedir ve molekül yapısında su itici (hidrofobik) ve su çekici (hidrofilik) gruplar bulundurulur. Emülsiyon reaksiyonu mekanizmasında bu temel bileşenlerin yanı sıra molekül ağırlığını denetlemek üzere merkaptan katılır [79].

Bu tür polimerizasyonlarda, emülsiyon yapıcı maddenin moleküllerinin büyük bölümü "misel" denilen küçük kolloidal tanecikleri oluşturmak üzere toplanırken, küçük bir bölümü suda moleküler halde çözünür. Her misel 50-100 emülsiyon yapıcı molekülden oluşur ve boyları yaklaşık olarak 1000-3000 Å çapları ise 1-0,3 µ'dur. Misellerin sayısı, kullanılan monomer ile emülsiyon yapıcı miktarına bağlıdır. Emülsiyon reaksiyonu mekanizması Şekil 2.11'de gösterilmiştir [79].



Şekil 2.11: Emülsiyon polimerizasyonunun aşamaları (a) başlamadan önce (b) polimerizasyonun başlaması (c) polimerizasyonun sürdürülmesi tüm miseller tükenmiş (d) monomer damlaları tükenmiş (e) polimerizasyonun sonlanması [79].

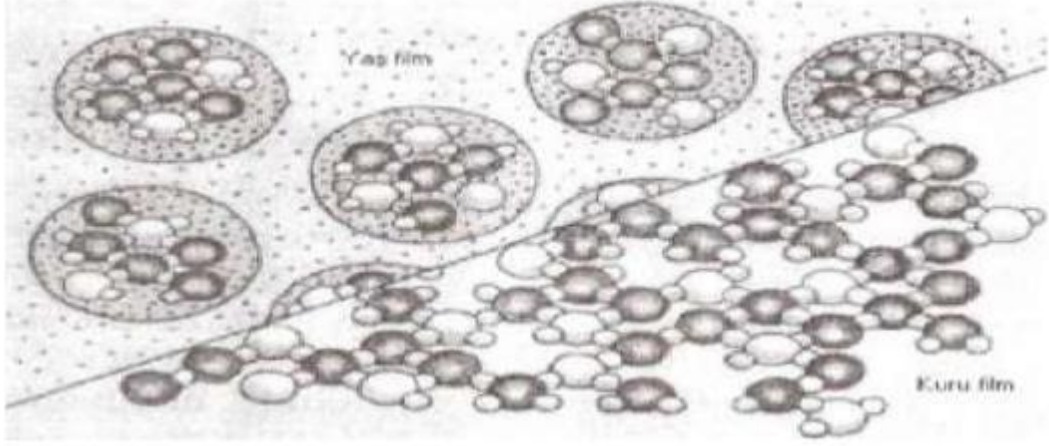
Miseli oluşturan bir molekülün hidrokarbon ucu miselin içine, iyonik uçları ise dışa bakacak şekilde düzenlenmiştir. Suda az çözünen veya çözünmeyen bir monomer sisteme katıldığında monomerin küçük bir kısmı suda çözünürken küçük bir bölümü de miselin içine girerek hidrokarbon gruplarının bulunduğu bölgeye yerleşir ve misel şişkin bir hal alarak büyür. Bir miselde 200-1000 monomer bulunduğu anda bile polimerizasyonun derecesi düşük kabul edilir [79].

Yüksek polimerlerin elde edilebilmesi için, misel içinde büyüyen polimer zincirinin aktif noktalarına daha fazla monomer toplanması gerekir. Monomerin büyük bölümü ise "Monomer Damlaları" halinde dağılır. Bu damlaların büyüklüğü karıştırma işleminin şiddetine bağlıdır. Emülsiyon yapıcı moleküller Şekil 2.11 (a)'daki gibi monomer damlalarının yüzeyinde emilir ve stabilizatör etkisi göstererek emülsiyonun bozulmasını önler. Reaksiyon başlatıcı suda çözülmüş haldedir ve serbest radikal üreterek reaksiyonu hızlandırır [79].

Bunlara göre emülsiyon polimerizasyonu mekanizması şu şekilde açıklanabilir. Sistemde üç değişik tanecik bulunur. Bunlar; monomer damlaları, aktiflenmemiş miseller ve aktif haldeki misellerdir. Bir reaksiyon başlatıcının (serbest radikal) misel içerisine difüzyon yolu ile girmesiyle misel aktiflenir ve reaksiyon başlar (Şekil 2.11- b). Polimerleşmenin sürdürüldüğü taneciğe ikinci bir radikalın girmesi halinde reaksiyon hızlanır ve çok kısa sürede sonlanır. Bu duruma göre, ikinci bir radikal girinceye kadar tanecik polimerizasyon sürecinde durağan bir dönem geçirir ve ikinci radikalın girmesi ile reaksiyon yeniden başlar. Durgun ve aktif geçen sürelerin toplamı yaklaşık 10 saniyedir. Polimerizasyonun başlangıcında misellerin yaklaşık 1/1000'i aktiflendiğinde ve monomerlerin çok küçük bölümleri polimerleştiğinde emülsiyonda değişiklik görülür. Aktiflenmiş miseller çözeltideki emülsiyon yapıcı molekülleri yüzeylerine emerek büyürler. Bu arada çözeltideki emülsiyon yapıcı madde miktarı gitgide azalır ve “Kritik Misel Konsantrasyonu (KMK)”nın altına düşer. Misellerin oluşması ve sürekli kalabilmesi için KMK’nın korunması gerekir [79].

Emülsiyon yapıcı maddenin sudaki konsantrasyonu bu kritik değerin altına düşerse, aktiflenmemiş miseller kararsız hale geçer ve suda dağılarak çözünürler. Bu arada aktif misellerin reaksiyon süresince daha fazla büyüdükleri görülür. Bu tanecikler zamanla misel olmaktan çıkarak birer "Polimer Taneciği" oluştururlar. Gerçekte bu tanecikler monomerler ile şişirilmiş polimer tanecikleridir. Polimerizasyonu başlatan serbest radikallerin ulaşamadığı diğer miseller çözünüp kaybolur ve sonuç olarak emülsiyon yapıcı maddenin tümü polimer taneciklerinin yüzeylerinde emilmiş olur (Şekil 2.11-c) [79].

Polimerizasyon, polimer taneciklerinin içinde homojen olarak sürdürülür. Bu tanecikler içinde monomer konsantrasyonu sabit kalır. Çünkü damlalardan difüzyon yolu ile geçen monomer, polimer taneciklerini sürekli olarak besler. Polimerizasyon süresince polimer taneciklerinin sayıları sabit kalır. Polimer taneciği büyürken monomer damlaları küçülür. Polimerleşme %50-80 olduğunda ise monomer damlaları tükenir. Sistemde oluşan polimer taneciklerinin sayısı başlangıçtaki misellerin sayısına, yani ortama katılan emülsiyon yapıcı maddenin konsantrasyonuna ve radikal üretim hızına bağlıdır. Polimerizasyonda yaş ve kuru filmde molekül dizilişlerinin sembolik görünüşü Şekil 2.12’de olduğu gibidir [79].



Şekil 2.12: Emülsiyon polimerizasyonunda yaş ve kuru filmde molekül dizilişleri [79].

Emülsiyon sisteminde başlatıcı olarak suda çözünen bileşikler kullanılır. Bunlar yüksek sıcaklık etkisi veya redoks reaksiyonları ile parçalanarak serbest radikal üretirler. Örneğin stiren monomerlerin aktif hale geçebilmesi için 8000 kalorilik enerji gereksinimi vardır. Diğer taraftan daha düşük enerji kullanarak reaksiyon hızının artırılabilmesi için monomer dizilişlerinin düzenli olması gerekir [79].

Organik peroksitler yüksek sıcaklıklarda parçalanabildikleri gibi indirgen bir madde ile birlikte redoks sistemi ile de parçalanabilmektedir. Redoks sisteminde persülfat demir II ve hidroperoksit-demir II en fazla kullanılan indirgenlerdir. Bu sistemde emülsiyon yapıcı maddenin seçimi polimerizasyon bakımından önemlidir. Emülsiyon yapıcı öncelikle monomer ve su fazları arasında kararlı bir emülsiyon oluşmasını sağlamalı, daha ileri aşamalarda ise bu kararlı çözeltide polimer taneciklerinin oluşmasına yardımcı olmalıdır. Emülsiyon yapıcılar yüzey aktif maddeler olup, bu amaçla alkil sülfat, alkilaril sülfanot ve fosfat gibi anyonik maddeler ile polivinil alkol ve polietilen oksit türevleri gibi iyonik olmayan maddeler kullanılır [79].

2.6.1. Su Çözücülü Boya / Verniklerin Genel Özellikleri

Bu sisteme ait boya/vernikler katman yapıcılarının özelliklerine bağlı olarak farklı kuruma, katman ve uygulama özelliklerine sahiptir. Ağaçşleri endüstrisinde kullanılmak üzere hazırlananların henüz geliştirme çalışmaları son şeklini almadığı için, özellikleri ile ilgili kesin bilgiler vermek yanıltıcı olabilir. Son zamanlarda, su çözücülü boya/verniklerde katman yapıcı olarak poliüretan, polyester, akrilik ve bazı alkid reçineler tek başlarına veya birlikte

kullanılmaktadır. Bu reçineler termoplastik ve termoset olarak iki farklı yapıda olup boya/vernüklerin katman, kuruma, uygulama ve diğer özelliklerini bu reçinelerin çeşit, form ve formülasyonunda kullanılan maddelerin miktarları belirlemektedir. Örneğin; su, solvent çözücülü poliüretan sistemlerin reaksiyonunda istenmeyen bir unsur olup, izosiyanat ile reaksiyona girerek üre oluşumuna neden olmakta ve poliüretan reçinenin sertleşme reaksiyonu durur. Buna karşın su çözücülü poliüretan sistemlerde, su ve izosiyanat karbonik asit oluşturmak üzere reaksiyona sokulur, daha sonra bu asitin hızla kompozisyonu bozularak karbondioksit ve amine ayrışır. Amin diğer izosiyanat grubu ile reaksiyona girerek poliüre oluşturur ve kurumayı tamamlayıcı reaksiyonu başlatır. Su çözücülü poliüretan sistemlerde, NCO/OH değeri kuruma zamanını, zımparalanma yeteneğini, açık süreyi, katman sertliğini ve kimyasallara direnci belirler [79].

Ülkemizde pazarlanan ve ağaç malzeme yüzeyleri için hazırlanmış bir su çözücülü vernikte “Akrifol” reçine kullanıldığı belirtilmektedir. Verniğin üretiminde kullanılan reçine polimerleri 1A büyüklüğünde küresel tanecikler halinde olup, sertleştirici olarak polifonksiyonel azerdine (bir izosiyanat türü) kullanılmıştır. Bu haliyle kullanılan reçine termoset yapılı, vernik ise reaksiyon kurumalıdır. Ağaç malzeme yüzeyine uygulandıktan sonra hava ile temasa geçtiği andan itibaren moleküller kübik şekle dönüşmeye başlar ve kenarlar yumuşayıp polarik çengel gibi uzantılar oluşturmaktadır. Bu çengeller yardımı ile moleküller birbirlerini çekmekte ve su buharı dışında hiçbir şeyin geçişine müsaade etmeyen küpler oluşturmaktadır [79].

Verniğin test raporları ile desteklenmiş katman özelliklerinde, çevre dostu ve ISO 9000 kalite belgesine sahip olduğu, su, ışık, mantar ve mikroorganizma etkilerine, BS 476 sınıf I'e göre ateşe, %25'lik sülfürik asite, %36'lık hidroklorik asite, %47'lik sodyum hidroksite, %80'lik laktik asite ve tuzlu suya dayanıklı olduğu belirtilmiştir. Ayrıca, anti statik (yüzeyin toz-kir tutmaması) özellikte olduğu, -40°C ile +60°C arası sıcaklıklardaki termal şoklara dayanıklı olduğu, UV ışınları emme yeteneğinde olduğu, gıda ambalajlarında kullanıldığında bile toksik etkisi olmadığı, dikey yüzeylerde kullanıldığında 10 yıl kullanım ömrü olduğu, antigrafiti özellikte olduğu belirtilmektedir [79].

Ülkemizde kullanılmakta olan su bazlı vernükler ile yapılan çalışmalarda sertlik değerlerinin fazla olmadığı ve dolayısı ile bu vernük katmanlarının darbe, çizilme ve aşınma dirençlerinin düşük olduğu belirlenmiştir. Uygulama öncesinde ağaç malzemenin hazırlanması amacı ile yapılan perdah işlemi önemli olmaktadır. Zira çözücü olarak kullanılan su, yıllık halkalardaki

yoğunluk farkı çok belirgin olan iğne yapraklı ağaç odunlarında doku kabarmasına sebep olmaktadır. Gerek fibril şeklindeki kesik lif uçlarındaki kabarma gerekse odun dokusundaki kabarmanın önlenmesi için son ıslatma ve yeniden zımparalama işlemine ihtiyaç duyulmaktadır [79].

Bu sisteme ait boya/vern timer katman yapıcılarının özelliklerine bağlı olarak farklı kuruma, katman ve uygulama özelliklerine sahiptir. Ağaçları endüstrisinde kullanılmak üzere hazırlananların henüz geliştirme çalışmaları son şeklini almadığı için, özellikleri ile ilgili kesin bilgiler vermek yanıltıcı olabilir. Günümüzde su çözücülü boya/vern timerde katman yapıcılar olarak poliüretan, polyester, akrilik ve bazı alkid reçineler tek başlarına veya birlikte kullanılmaktadır. Bu reçineler termoplastik ve termoset olarak iki farklı yapıda olup boya/vern timerin katman, kuruma, uygulama ve diğer özelliklerini bu reçinelerin çeşit, form ve formülasyonunda kullanılan maddelerin miktarları belirlemektedir. Örneğin; su, solvent çözücülü poliüretan sistemlerin reaksiyonunda istenmeyen bir unsur olup, izosiyanat ile reaksiyona girerek üre oluşumuna sebep olur ve poliüretan reçinenin sertleşme reaksiyonu durur. Buna karşın su çözücülü poliüretan sistemlerde, su ve izosiyanat karbonik asit oluşturmak üzere reaksiyona sokulur, daha sonra bu asitin hızla kompozisyonu bozularak karbondioksit ve amine ayrışır. Amin diğer izosiyanat grubu ile reaksiyona girerek poliüre oluşturur ve kurumayı tamamlayıcı reaksiyonu başlatır. Su çözücülü poliüretan sistemlerde, NCO/OH değeri kuruma zamanını, zımparalanma yeteneğini, açık süreyi, katman sertliğini ve kimyasallara direnci belirler [79].

Ülkemizde pazarlanan ve ağaç malzeme yüzeyleri için hazırlanmış bir su çözücülü vernikte “Akrisol” reçine kullanıldığı belirtilmektedir. Verniğin üretiminde kullanılan reçine polimerleri 1A° büyüklüğünde küresel tanecikler halinde olup, sertleştirici olarak polifonksiyonel azerdine (bir izosiyanat türü) kullanılmıştır. Bu haliyle kullanılan reçine termoset yapılı, vernik ise reaksiyon kurumalıdır. Ağaç malzeme yüzeyine uygulandıktan sonra hava ile temasa geçtiği andan itibaren moleküller kübik şekle dönüşmeye başlamakta ve kenarlar yumuşayıp polarik çengel gibi uzantılar oluşturmaktadır. Bu çengeller yardımı ile moleküller birbirlerini çekmekte ve su buharı dışında hiçbir şeyin geçişine müsaade etmeyen küpler oluşturmaktadır [79].

Verniğin test raporları ile desteklenmiş katman özelliklerinde, çevre dostu ve ISO 9000 kalite belgesine sahip olduğu, su, ışık, mantar ve mikroorganizma etkilerine, BS 476 sınıf I'e göre ateşe, %25'lik sülfürik asite, %36'lık hidroklorik asite, %47'lik sodyum hidroksite, %80'lik

laktik asite ve tuzlu suya dayanıklı olduğu belirtilmiştir. Ayrıca, anti statik (yüzeyin toz-kir tutmaması) özellikte olduğu, -40°C ile $+60^{\circ}\text{C}$ arası sıcaklıklardaki termal şoklara dayanıklı olduğu, UV ışınları emme yeteneğinde olduğu, gıda ambalajlarında kullanıldığında bile toksik etkisi olmadığı, dikey yüzeylerde kullanıldığında 10 yıl kullanım ömrü olduğu, antigrafiti özellikte olduğu belirtilmektedir [79].

Ülkemizde kullanılmakta olan su çözücülü vernikler ile yapılan araştırmalarda sertlik değerlerinin fazla olmadığı ve dolayısı ile bu vernik katmanlarının darbe, çizilme ve aşınma dirençlerinin düşük olduğu belirlenmiştir. Uygulama öncesinde ağaç malzemenin hazırlanması amacı ile yapılan perdah işlemi önemli olmaktadır. Zira çözücü olarak kullanılan su, yıllık halkalardaki yoğunluk farkı çok belirgin olan iğne yapraklı ağaç odunlarında doku kabarmasına sebep olmaktadır. Gerek fibril şeklindeki kesik lif uçlarındaki kabarma gerekse odun dokusundaki kabarmanın önlenmesi için son ıslatma ve yeniden zımparalama işlemine ihtiyaç duyulmaktadır [79].

Ağaç malzemenin zımparalanması işleminde sırası ile 60-100 ve 180 numaralı zımparalar kullanıldıktan sonra, ıslatılıp kurutulan yüzey son olarak 320 veya 400 numaralı zımpara ile yeniden zımparalanmalıdır. Ayrıca su çözücülü vernikler, özellikle tanenli ağaç malzeme yüzeylerinde gözle görünür bir renk değişimine de neden olmaktadır. Bu durumun zayıf alkali özelliği olan (pH 8-9) su çözücülü verniklerin tanen ile etkileşime girerek tek aşamalı bir kimyasal renklendirme yapmış olmasından kaynaklandığı bildirilmiştir [79].

Uygulamanın yapıldığı ortamdaki havanın sıcaklığı ve bağıl nemi önemli olup, sınırlar sıcaklıkta 20°C , bağıl nemde ise maksimum %70 olmalıdır. Su çözücülü boya/verniklerin kuruma süreleri de solvent çözücülüler gibi kısa olduğu için, katman kalitesi uygulama ve kurutma ortamındaki tozdan olumsuz etkilenir. Bu yüzden su çözücülü boya/vernikler tozsuz ortamlarda uygulanmalıdır. Diğer taraftan kurutma ortamında sürekli olarak havaya karışan su buharı bir süre sonra havayı doymun hale getirir. Bağıl nemi artan ortamda kurutulmak istenen verniğin kuruma süresi uzar. Bu yüzden sürme ve kurutma ortamının iyi havalandırılarak nem ile doymun hale gelmiş havanın taze hava ile yer değiştirmesi sağlanmalıdır. Taze havanın ortama ısıtıldıktan sonra verilmesi kurutma süresini kısaltır [79].

2.6.2. Su Çözücülü Verniklerin Avantajları

- Organik çözücü madde oranının (% 5 - 20) oldukça düşük olması çevre zararını azaltmakta,
- Vernik filminin özellikleri diğer vernik sistemleri ile karşılaştırılabilecek derecede iyi,
- Yeni geliştirilen verniklerde, ekolojik bakımdan düşündürücü olan Amin (NH_2) tehlikesi yok,
- Tesis yapımında daha düşük masraflı emniyet önlemlerini gerektirmekte,
- Vernik artıkları uygun yapıştırma maddeleri ile uzaklaştırılabilmekte. Vernik köpükleri özel olarak işlem görmekte.
- Monacure – Vernik artıkları havasız püskürtme yöntemi ile tekrar kullanılabilmektedir [123].

2.6.3. Su Çözücülü Verniklerinin Dezavantajları

- Düzgün işlenmemiş yüzeyler su ile genişlemekte,
- Reçine içeren odunlarda ıslanma problemleri ortaya çıkmakta,
- Geleneksel sıvılarda eriyen renklendirme sistemleri ile kullanılmamakta
- Tam parlaklığa ulaşamamakta,
- Koyu renklendirilmiş saydam vernikli ağaç malzeme yüzeylerinde parlaklık, dokunma, kolayca tutunma özellikleri iyi değil,
- Yüzey işlemi uygulaması için korozyona dayanıklı tesis gerekli,
- Vernik sürme alet ve makineleri su çözücülü verniğin akıcılık özelliklerine uygun olmalı,
- Püskürtme kabiniindeki artık suda organik çözücü madde artıkları bulunmakta [123].

2.7. PANEL HATTI ÜSTYÜZEY İŞLEMLERİ

Atölye tipi kesikli üretim sistemlerinde üstyüzey işlemlerine genellikle en son yani ürün kutu mobilya haline geldikten sonra başlanır. Sürekli üretimde ise panel kesim hattında kesim, kaplama yapıştırma, ölçülendirme, kenar masifi/bantı yapıştırma, delik delme işlemleri yapılan iş parçaları, montajdan önce panel hattı üstyüzey işlemleri atölyesine sevk edilir. Üstyüzey işlemlerinin amaca uygun yapılabilmesi için, işlem türleri de dikkate alınarak özel amaçlı makineler önceden belirlenmiş bir sıraya göre dizilmiştir. Böylece, işletmenin üretim planı ve kapasitesine göre makine parkı tesis edilmiş olur. Bu sistemde işlemin görece iş parçalarının

ilk olarak kenarlarının (cumba) son yüzey işlemleri tamamlanır. Daha sonra levha yüzeyleri üretim hattında önceden belirlenmiş üstyüzey işleminin türüne göre sürekli akış halinde işlem görür. Buna göre oluşturulacak bir üretim hattı;

- Kaplanmış yüzeylerde natürel vernikleme
- Renklendirilmiş yüzeyde vernikleme
- Örtücü koruyucu katman hazırlama (lake boyama)
- Yapay ağaç görüntüsü hazırlama gibi yüzey işlemlerine cevap verebilir.

Günlük veya bir parti üretimini kapsayan çalışmalarda, işlemler dikkate alınarak üretimde kullanılacak veya üretim dışı bırakılacak makineler belirlenir, ayarları yapılır ve makineler arasında kurulan konveyör sistemleri ile kesintisiz sürekli bir üretim sağlanır [124].

Kaplanmış yüzeyde natürel vernikleme için işlem sırası ve hattaki makineler

<u>İŞLEM</u>	<u>MAKİNE</u>
Tozların alınması	Toz alma makinesi
Kaplanmış yüzey zımparalanması	Bant kontak zımpara makinesi
Dolgu katı uygulaması	Silindirli vernik sürme makinesi
Kurutma	Kurutma tüneli
Dolgu katı zımparalama	Osilasyonlu vernik zımpara makinesi
Son kat vernik uygulaması	Lak dökme makinesi
Kurutma	Kurutma tüneli [124].

Renklendirilip verniklenecek yüzeyler için işlem sırası ve hattaki makineler

<u>İŞLEM</u>	<u>MAKİNE</u>
Tozların alınması	Toz alma makinesi
Kaplanmış yüzey zımparalanması	Bant kontak zımpara makinesi
Renklendirme	Boya sürme makinesi
Boya kurutma	Kurutma kabini
Dolgu katı uygulaması	Silindirli vernik sürme
Kurutma	Kurutma tüneli
Dolgu katı zımparalama	Osilasyonlu vernik zımpara makinesi
Son kat vernik uygulaması	Lak dökme makinesi
Kurutma	Kurutma tüneli [124].

Örtücü koruyucu katman hazırlamak için işlem sırası ve hattaki makineler

İŞLEM

Tozların alınması
Macun sürme
Kurutma
Zımparalama
Astar boya sürme
Kurutma
Son kat vernik uygulaması
Kurutma

MAKİNE

Toz alma makinesi
Macun sürme makinesi
U.V. Macun kurutma kabini
Zımparalama makinesi
Silindirli vernik sürme makinesi
Kurutma tüneli
Lak dökme makinesi
Kurutma tüneli [124].

Yapay ağaç görüntüsü hazırlama (desen baskı) için işlem sırası ve kullanılan makineler

Tozların alınması
Macun sürme
Kurutma
Zımparalama
Fon boya uygulaması
Kurutma
Desen baskı
Kurutma
Son kat vernik uygulaması
Kurutma

Toz alma makinesi
Macun sürme makinesi
U.V. kurutma kabini
Zımparalama makinesi
Silindirli vernik sürme makinesi
Kurutma tüneli
Desen baskı makinesi
Kurutma kabini
Lak dökme makinesi
Kurutma tüneli [124].

2.8. ELEKTROSTATİK TOZ BOYA

Toz boyaların ortaya çıkışı genellikle, 1960 – 70'li yıllarda çevresel ve ekolojik duyarlılığın ortaya çıkışıyla bağdaştırılır. 1966 yılında Los Angeles'ta yürürlüğe konan bir yasa, boyaların ekolojik yönünü göz önüne alan ve kısıtlayan ilk yasa olmuştur. Sonraları bunların sayısı hızla artmıştır [30]. Diğer yandan toz boyalarla ilgili ilk geliştirme çalışmaları 1950'lerde, toz halindeki polietilenin akışkan bir yatak içinde, önceden ısıtılmış bir metal yüzeye uygulanması ile başlamıştır. Kısa süre sonra PVC ve naylon toz boyaların akışkan yatak uygulamasıyla kullanımı ABD'de popülerite kazanmıştır. 1950'lerin sonlarında Shell'in yaptığı çalışmalar sonucu ilk termoset toz boyalar ortaya çıkmıştır. Bu şirketin asıl amacı kendi yer altı petrol ve doğal gaz boru hatlarında kullandığı borular için koruyucu ve dayanıklı organik boyalar

geliştirmeyi amaçlamıştır. 1964 yılında ilk Epoksi toz boyalar Avrupa pazarına çıkmıştır. Aynı dönemde elektrostatik toz boya uygulama sistemi Fransa'da geliştirilerek piyasaya arz edilmiştir. Epoksi toz boya sistemlerinin özellikle morötesi (UV) ışımaya duyarlılığı, 1970 yılında ilk polyester esaslı toz boyaların ortaya çıkmasına neden olmuştur. 1971 yılında kaydedilen büyük bir gelişmeyle ilk epoksi – polyester toz boya geliştirilmiştir. Aynı yıl Avrupa'da geliştirilmiş akrilik toz boya sistemi, Avrupa'da başarılı olamamasına rağmen, Japonya'da önemli bir pazar payı elde etmiştir [31].

Toz boyalar 1980'lerin sonlarına doğru Türkiye'de kullanılmaya başlanmıştır. Yaş boya uygulamalarına göre çok genç olmasına rağmen, kısa sürede geniş kullanım alanı bulmuş ve üretilen miktarlar açısından dikkate alınmaya değer rakamlara ulaşılmıştır. Bu kaplama yöntemi özellikle metal yüzeyleri korumakta, dekoratif bir görünüm kazandırmakta kullanılmıştır. Ayrıca, son yıllarda yapılan gelişmeler sonucu cam, seramik, ahşap ve hatta plastik yüzeylerin de kaplanmasında toz boya teknolojisine geçilmektedir. Çevresel açıdan ve uygulama açısından sağladığı avantajlar toz boyayı kaplama sektörünün gözdesi haline getirmiştir. Toz Boya elektrostatik güç ile çalışan tabancalar sayesinde tatbik edilir ve ilgili fırınlama koşullarında pişirilir. Toz Boya kullanımı, 1960'lardan itibaren çok hızlı bir artış göstermiş ve dünya çapında 2007 senesinde yaklaşık 1500 kilo ton toz boya üretilmiştir [32].

2.8.1. Toz Boya Kullanım Nedenleri

- Toz Boya kullanımının hızla yaygınlaşması ve gelişmesinin birçok nedeni vardır. Bu nedenlerden bazıları aşağıda ifade edilmiştir.
- Toz Boya Çevre dostudur. Üretim ve tüketimi sırasında herhangi bir atık çıkmaz ve bu sayede hava ve su kirliliğine neden olmaz. Çevreyi koruma açısından yaş boyada ortaya çıkan uçucu organik bileşikler (VOC) toz boyada kesinlikle yoktur.
- Toz Boya'nın sağlığa negatif etkisi diğer boyalardan daha azdır. Havaya karışan bir gaz olmadığından solunum yollarına etkisi yoktur. Ayrıca deriye teması durumunda da herhangi bir sorun yaratmaz.
- Toz Boya kullanıma hazırdır. Herhangi bir karıştırma, sıvı ile inceltme gerekmez. Tabanca hortumu toz boya torbasına sokulup kullanılabilir.
- Toz Boya kullanım tekniği kolaydır ve kullanıcının eğitimi çok kısa zamanda yapılabilir. Manüel ve robot sistemler kullanım için çok uygundur. Böylece, kısa ve pratik bir eğitimle kullanıcı uzman haline gelebilir.

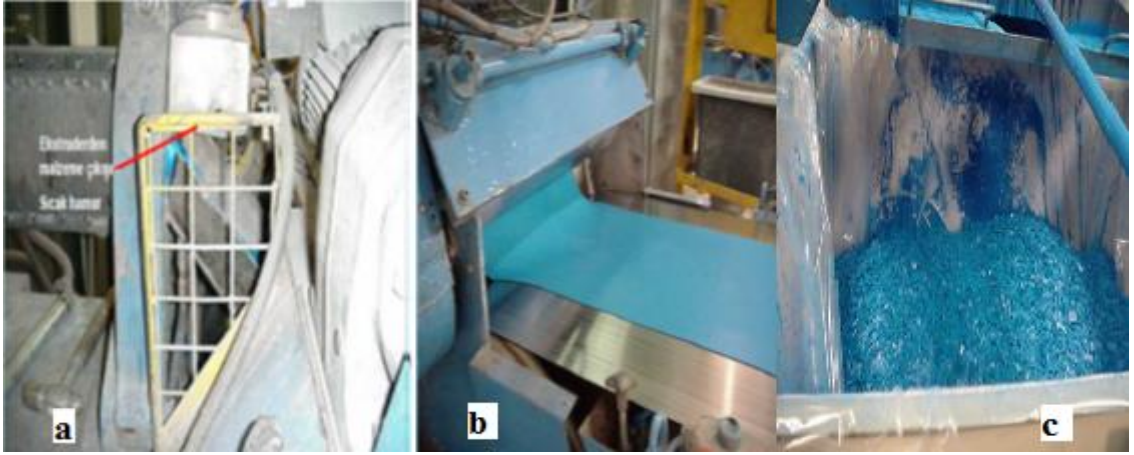
- Toz Boya ile her türlü dekoratif yüzey elde edilebilir. Düz, parlak, pütürlü, zımpara kâğıdı görünümlü, vernik gibi yüzeyler toz boya ile kolaylıkla sağlanabilir [32].

2.8.2. Toz Boya Üretim Aşaması

Reçine tane büyüklüğü dağılımı: Reçine önce bir çekiçli değirmen veya benzeri bir ekipmanda öğütülerek tane boyutları daha sonraki prosese uygun hale getirilir.

Ham maddenin karıştırılması: Öğütülen reçine daha sonra diğer katkılarla karıştırılarak homojen bir karışım elde edilir.

Ekstrüzyon (yoğurma): Karışım, gövdesi belirli bir sıcaklıkta tutulan bir ekstrudere (yoğurucu) beslenir. Gövde sıcaklığı reçineyi ancak eritecek bir sıcaklıkta tutulur. Yüksek sıcaklık yüksek bir eriyik akışkanlığı, düşük karıştırma ve pigment dağılım verimi, dolayısıyla parlaklığı düşük bir toz boyaya neden olur. Daha sonra besleme hızı ve ekstruder hızı birbirine göre ayarlanarak ekstruder gövdesinin hep dolu olması sağlanır. Bu üç parametre dikkatle ayarlanarak ekstruder içinde karıştırma ve etkili bir dağılım sağlanır ve sürdürülür. Eriyik karışım ekstruderden çıkarken soğutma merdanelerinden geçirilerek ince bir tabaka haline getirilir ve sonrasında 10 – 20 mm büyüklüğünde parçalara (cips) kırılır (Şekil 2.13).

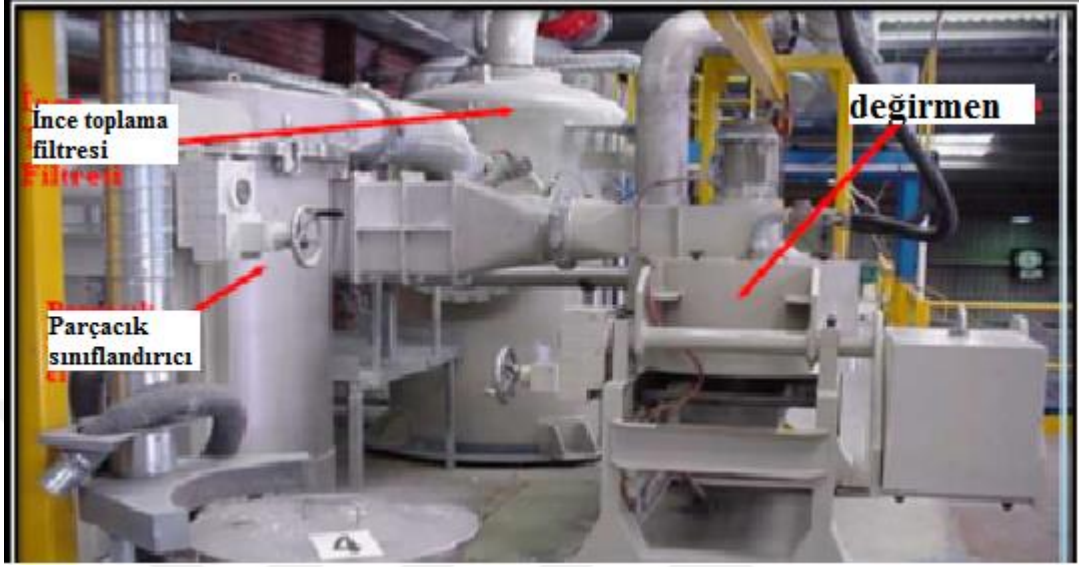


Şekil 2.13: a. Ekstruder Aşaması b. Soğutma Merdaneleri ve Bandı c. Cips Haline getirme [33].

Öğütme: Cipslerin toz boya uygulamasına uygun parçacık dağılımına getirilmesi için bir kere daha öğütülmesi gerekir. Modern değirmenlerde bulunan bir sınıflandırıcı ile büyük taneler sürekli olarak değirmene geri beslenir.

Eleme/sınıflandırma: Toz boya üretim metodu ne olursa olsun son safha eleme/sınıflandırma safhasıdır. Toz boya için ideal tanecik büyüklüğü dağılımı, toz boya uygulama yöntemine

bağlıdır [31]. Toz boyaların öğütülmesi ve sınıflandırılması Şekil 2.14’de gösterilen üretim hattında gerçekleştirilir.



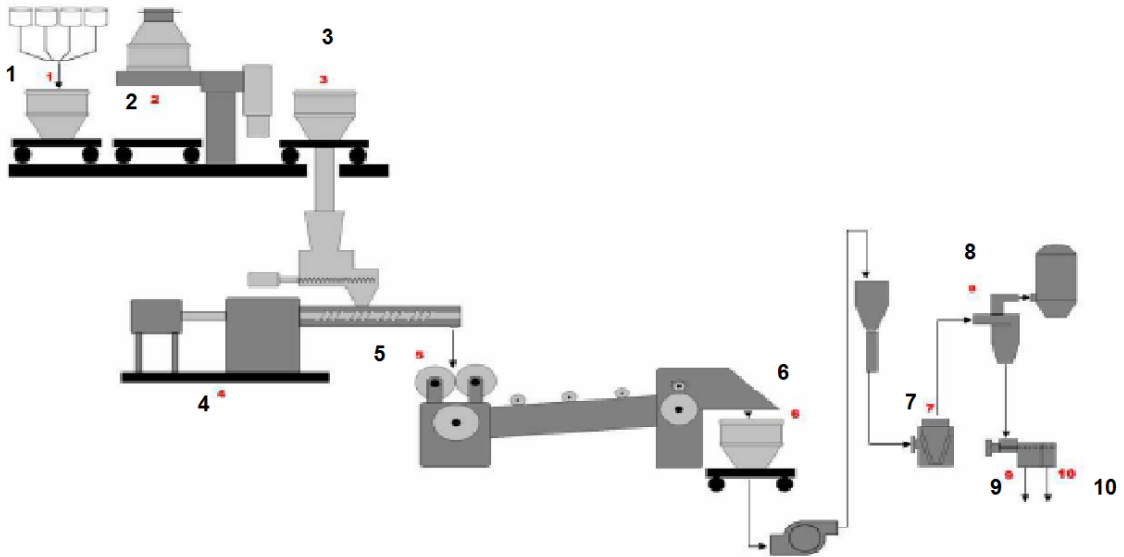
Şekil 2.14: Değirmende öğütme ve sınıflandırma [33].

Toz boyaların depolanması: Toz boyalar elendikten sonra, ortam toz ve neminden etkilenmemesi için iyi kapatılmış muhafazalar içinde, kuru bir yerde depolanmalıdır. Bütün diğer tozlarda olduğu gibi, toz boyada nemi kapma ve tutma özelliğine sahiptir, ancak nemli boya uygulandığında yüzey kusurları oluşacaktır. Normal olarak taşınırken toz boyalar, karton kutu veya teneke fiçiler içine konan polietilen torbalara doldurulur. Dolayısıyla, içinden toz boya alındıktan sonra polietilen torba sıkıca kapatılmalıdır. Uzun süreli depolamada toz boya tesisin durumuna göre düşük sıcaklıklarda, tercihan 25°C sıcaklığın altında, tutulmalıdır. Toz boya sürtünmeye bağlı ısı ile kürleneceğinden, tozun hareketli parçalara ulaşması önlenmelidir [31]. Şekil 2.15’de görüldüğü gibi, üretilen toz boyalar elekten geçerek tartım ve paketleme işlemleri gerçekleştirilir



Şekil 2.15: Elekten geçme, tartılma ve paketlenme [33].

Genel olarak toz boya üretim aşamalarının şematik görünümü Şekil 2.16’da gösterilmiştir.



Şekil 2.16: Toz boya üretim aşamalarının gösterimi [32].

Termoplastik toz boyalar sıcaklığın yükselmesi ile kimyasal reaksiyona girmezler, fakat malzeme yüzeyinde erir ve akıcı hale gelmektedir. Endüstride genellikle kablo boru ve aksesuar

kaplanmasında kullanılmaktadır. 250 mikron ve daha fazla film kalınlıkları elde edilebilir. Termoset toz boyalarda sıcaklığın yükselmesi ile birlikte erime gerçekleşir, fakat film içinde çapraz bağlanma sayesinde eşzamanlı olarak polimerizasyon ve kimyasal reaksiyonlar gerçekleşir. Böylece oluşan kimyasal reaksiyon sonucunda toz boya filmi sıcaklığın etkisi ile tekrar erimez. Dekoratif amaçlı yapılan termoset boya film kalınlıkları 20 – 200 mikron arasında değişmektedir. Fonksiyonel termoset kaplamalarda uygulamaya bağlı olarak film kalınlıkları mikrondan birkaç milimetreye kadar çıkabilmektedir [34].

2.8.3. Termoplastik Esaslı Toz Boya Reçineleri

Termoplastik toz boyalar düşük maliyetli boyama işlerinde kullanılmaktadır. Termoplastik toz boyalar kimyasallara ve solventlere karşı, termoset esaslı toz boyalar kadar dirençli değildir. Termoplastik toz boyalar ağırlıklı olarak iç ortam boyama uygulamalarında kullanılmaktadır [36].

- Polietilen
- Polivinil klorid
- Poliamid
- Etilen – vinil alkol kopolimerler
- Doymuş polyesterler

2.8.3.1. Polietilen Reçineler

Diğer boya türleri ile karşılaştırıldığında en ucuz üründür. Genellikle akışkan yatak metodu ile uygulanmaktadır. Film oluşumu için 280 – 400 °C sıcaklığa ihtiyaç duyulur. Bazı malzemeler için öncelikle yapışmayı kolaylaştırıcı astar kat uygulama işlemi gerçekleştirilmelidir. Boyanın ayrışması ve aşınması yok denecek kadar azdır [36].

2.8.3.2. Poliamid Reçineler

Çoğunlukla polyamid – 12 (laurinlactam elde edilir)’den oluşmaktadır. Akışkan yatak metodu ile uygulanmaktadır. Film oluşumu için 280 – 400 °C sıcaklığa ihtiyaç duyulur. Elde edilen film sert ve dış hava şartlarına karşı polietilen toz boyadan daha dirençlidir. Ancak polyamid toz boya yüksek rutubetli ortamda nem çekme özelliği ve sararma eğilimi gösterebilir. Buna rağmen en yaygın kullanılan termoplastik toz boyadır [36].

2.8.3.3. PVC Reçineler

Polivinil klorid ve plastikleştiricilerden oluşmaktadır. Elde edilen film kısmen esnek yapılıdır. Fakat sararma direnci düşüktür. PVC toz boyalar ucuzdur. Elektrostatik tabancalar ile uygulanmaktadır ve film oluşumu 160 – 200 °C sıcaklığında gerçekleşmektedir. Kullanılacak birçok malzemede, yapıştırmayı kolaylaştırıcı astar kat uygulamasına ihtiyaç duyulur [36].

2.8.3.4. Etilen – Vinil Alkol Kopolimerler Reçineler

Etilen –vinil alkol kopolimer içeren toz boyalar akışkan yatak uygulama yöntemi ile tatbik edilir ve film oluşum sıcaklığı 200 – 400 °C arasında değişmektedir. Elde edilen film iyi bir yapışma ve esneklik sağlar. Dış ortam şartlarına ve korozyona karşı oldukça dayanıklıdır [36].

Doymuş polyester: Doğrusal, yüksek molekül, aromatik poliesterlerden oluşur. Elektrostatik tabanca ile tatbik edilir ve film oluşum sıcaklığı 200 – 240 °C arasında değişmektedir. İyi bir yapışma, yüksek esneklik sağlarken suya ve dış ortam şartlarına karşı yeterli dirence sahiptir.

2.8.4. Termoset Esaslı Toz Boya Reçineleri

2.8.4.1. Epoksi Reçineler

Toz boyalar için ilk olarak geliştirilen en önemli reçine grubudur. Epoksi reçineleri, toz boya için ideal olan yüksek molekül ağırlığına sahip bisphenol A ve terminal epoksi grublarını (oksiran zincirleri) içermektedir. Toz boya için üretilen epoksi reçinelerinin ortalama molar kütlesi 1.500 – 3.000 g/mol, camsı geçiş sıcaklığı 50 – 60 °C ve yumuşama sıcaklığı (Mettler ölçümü) 80 – 100 °C'dir. Bisphenol F ve novolak maddelerinden katı epoksi reçineleri de elde edilmektedir. Uygun Epoksi reçineleri farklı sertleştiriciler ile çapraz bağlanmaktadır. Çapraz bağlayıcı olarak polifenoller, polianhidritler siyanogünidin ve türevleri kullanılmaktadır [36].

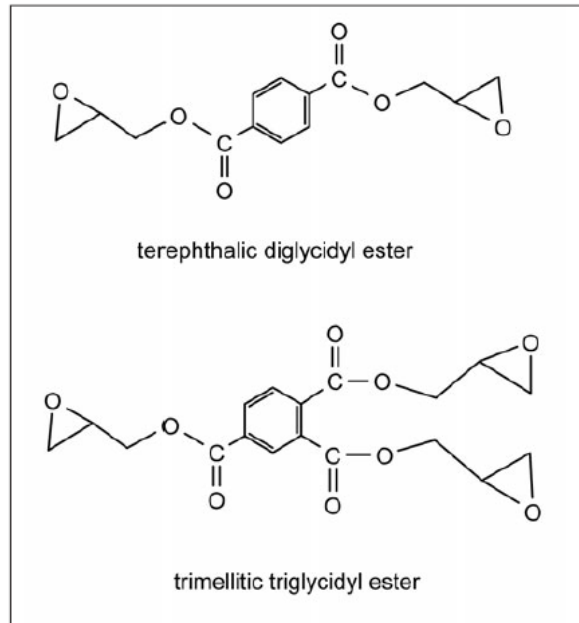
2.8.4.2. Polyester Reçine

Sertleştirici ile çapraz bağ yapmış polyester reçinesinin eşdeğer ağırlığı epoksi reçenesinden çok daha düşüktür. Yıllardır polyester reçinelerinde sertleştirici olarak triglycidyl isocyanurate (TGIC) maddesi kullanılmaktadır. Triglycidyl isocyanurate, epoksi reçinesinde kullanılan bisphenol A' dan daha reaktiftir. Kütlece polyester TGIC karışım oranı 90:10'dur. Bu kombinasyonla elde edilen film sararmaz ve dış ortam şartlarına karşı dirençlidir. Yeterli kimyasal direnci sağlamakla birlikte sertlik ve esneklik dengesi optimum düzeydedir. Dış ortam şartlarında kullanılması önerilir [36].

Binalarda kullanılan birçok boyaların kaynağı TGIC (Triglycidylisocyanurate) ile çapraz bağ yapmış lineer polyesterlerdir. Dış cephe boyasıdır. Özellikle alüminyum pencere ve kapı profillerinde önerilir. Maliyeti epoxy – polyester tipi boyalara göre yüksektir, ama doğru kullanım durumunda güneş ışığına ve diğer iklim şartlarına 10 yıl gibi bir dayanım gösterebilir. Başlıca kullanım alanları; alüminyum profil sanayi, tarım makineleri, bisiklet, jant, aydınlatma armatürleri gibidir [32, 34].

Günümüzde, sertleştirici olarak kullanılan TGIC toksik madde olarak sınıflandırılmaktadır. Bu nedenle TGIC maddesinin yerine alternatif sertleştiriciler geliştirilmiştir. Bunlar, aromatik polikarboksilik asitlerden elde edilen glisidil esterleridir. Örneğin: Terftalik asid'den diglisidil esteri ve trimelitik asid'den triglisid esteridir. Bu çapraz bağlayıcıların moleküler yapısı Şekil 2.17'de verilmiştir [36].

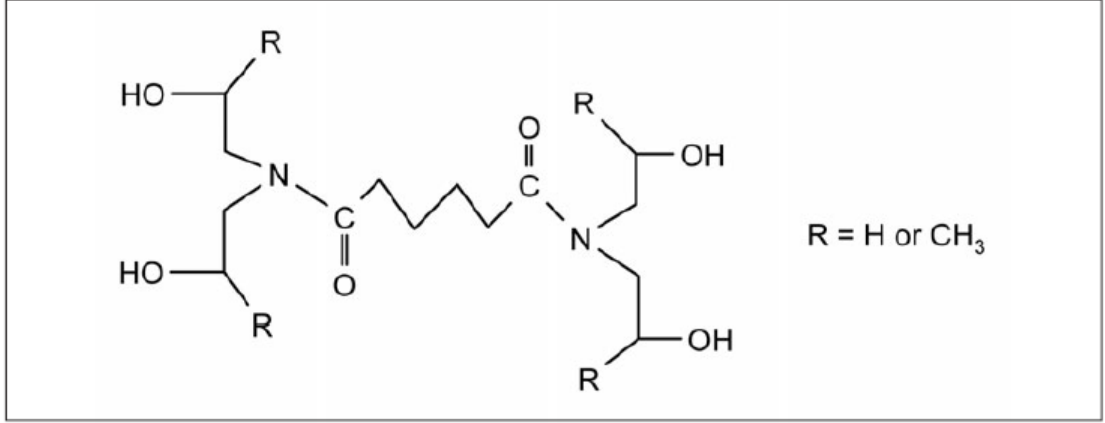
Polyester/TGIC tipinin, Avrupa kanunlarına göre sağlığa zararlı olmasından dolayı sertleştirici olarak PRIMID kullanılır. TGIC tipi kadar güçlü olmasa da, bu tip boya için ARGE çalışmaları çok yoğundur ve dayanım özellikleri TGIC tipi boyaya çok yaklaştırılmıştır. Özellikle Avrupa pazarında geniş kullanım alanı bulan PRIMID, TGIC' nin en güçlü rakibidir [32].



Şekil 2.17: Toz boyada kullanılan glisidil esterlerinin moleküler yapısı [36].

Bu sertleştiriciler TGIC maddesinden daha az reaktif özelliğe sahiptir. Fakat film özellikleri bakımından yaklaşık benzer özelliklere sahiptir. Karboksil grup içeren polyesterler için çapraz

bağlayıcı olarak β – hidroksil alkil amit maddesi de kullanılmaktadır. Glisidil esterleri, ester grupları oluşturmak için karboksil grubları olan normal alkanolardan daha kolay tepkimeye girerler. Amitler olarak, yüksek erime sıcaklıklarına (yaklaşık 120 °C) sahiptirler. Ticari ürünlerde tetrakis-2-hydroxyalkyl adipic amide maddesi içermektedir. Moleküler yapısı Şekil 2.18’de gösterilmektedir [36].



Şekil 2.18: Tetrakis – 2 – hydroxyalkyl adipic amidlerin moleküler yapısı [36].

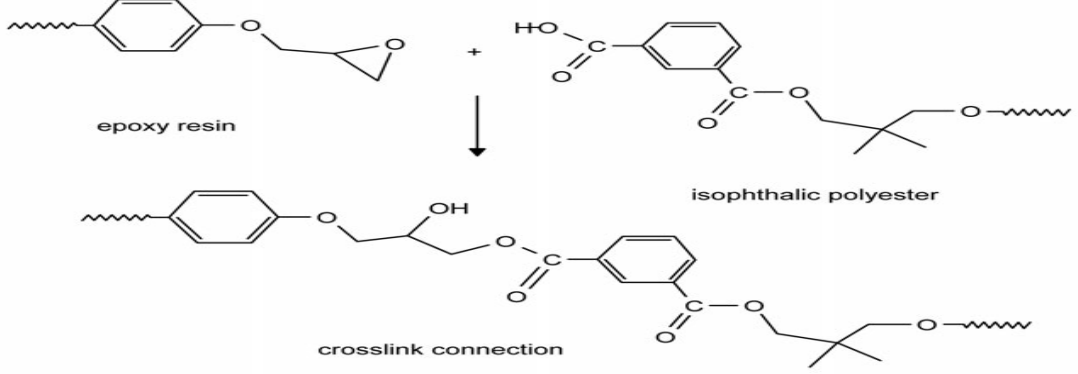
Bu sertleştiriciler, yoğunlaşma reaksiyonu (su kaybederek) ile çapraz bağlanma tepkimesini gerçekleştirirler. Film oluşumu esnasında açığa çıkan suyun herhangi bir katman kusurlarına (örneğin kabarma) neden olmaması gerekir. Bu durum film kalınlığını sınırlandırabilir. Fırınlanma koşulları 8 – 40 dakika, sıcaklık 150 – 200 °C arasında değişmektedir. Elde edilen nihai film tabakası aşınma direnci düşük fakat diğer film özellikleri, TGIC esaslı polyesterlerden elde edilen film özellikleri ile benzer sonuçlar vermektedir [36].

2.8.4.3. Epoksi / Polyester Reçine Sistemleri (Hibrit)

Genellikle epoksi reçineden oluşur, fakat bazı özel durumlarda polyester reçine yüksek oranda katılabilir (% 50 aşabilir). Hibrit boya epoksi boya ile benzer özellikler taşır, fakat ilave avantajı olarak yaşlandırma ve sararmaya karşı direnç özellikleri iyileştirilmiştir. Hibrit boyalar toz boya endüstrisinin omurgası olarak nitelendirilebilir. Bina içi koşullarda kullanılır. Özellikle beyaz eşya sanayi için kaçınılmaz çözümdür. Ayrıca aydınlatma cihazları, metal mobilya, hastane ekipmanı, armatür ve duşakabinler de bu tip boyalar ile boyanabilir [32, 33].

Reçine kombinasyonu, hibrit sistemler epoksi ve serbest karboksil grubu içeren doymuş polyester reçinelerinden oluşmaktadır. Epoksi reçine özelliği gösterir. Kullanılan polyesterlerin camsı geçiş sıcaklığı 50 °C’den yüksek olması gerekir. Böylece hibrit sistem kısa alifatik zincirli

poliollerden ve aromatik polikarboksilik asitlerden oluşmaktadır. Çapraz bağlanma reaksiyonu Şekil 2.19’de gösterilmektedir [36].



Şekil 2.19: Epoksi ve serbest karboksil grubu içeren polyester reçinelerinin çapraz bağlanma reaksiyonu [36].

Polyester ve epoksi reçinelerinin karışım oranları 70:30 ve 50:50 olarak gerçekleştirilmektedir. Stokiyometrik olarak, bir epoksi reçinesinin (m_{epoksi}) çapraz bağlanması için gerekli olan polyester miktarı ($m_{\text{polyester}}$) epoksi reçinesinin epoksi eşdeğer ağırlığı ve polyesterin asit sayısının (AN) hesaplanması ile elde edilir [36].

$$\frac{m_{\text{epoksi}}}{m_{\text{polyester}}} = \frac{AN_{\text{polyester}} \cdot EW_{\text{epoksi}}}{56110} \quad (3.1)$$

Epoksi gruplarının reaksiyona girmesi ve polyesterin karboksil grupları, ikincil hidroksil grupların reaksiyona girmesi sonucunda çapraz bağlanma reaksiyonu gerçekleşir. Epoksi reçinesinin gereğinden fazla kullanılması önerilir. Epoksi grupları ve karboksil gruplarının çapraz bağlanması için katalizör olarak, fosfamin, fosfonyum tuzu, üçüncül aminler ve esterleşme reaksiyonun katalizörü olarak bilinen ağır metallerin organik tuzları kullanılır. Fırınlanma sıcaklığı, formülasyona göre 140 – 200 °C arasında değişmektedir [36].

2.8.4.4. Akrilik Reçine

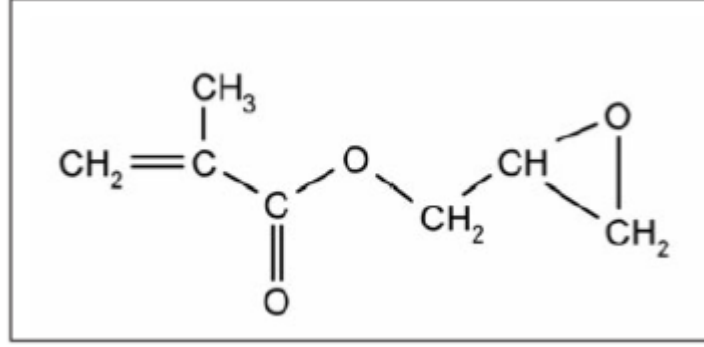
Toz boya için kullanılan reçinelerin yüksek yumuşama sıcaklıklarına sahip olması gerekirken, monomerlerin (akrilatlar ve daha önemlisi metakrilatlar) yüksek camsı geçiş sıcaklığına sahip kopolimerler istenilen seviyelerde akrilik reçinenin üretiminde kullanılabilir. Metil metakrilat ($T_g = 105 \text{ }^{\circ}\text{C}$) ve stiren ($T_g = 100 \text{ }^{\circ}\text{C}$) kullanımı tercih edilir. Toz boyanın çapraz bağlanması, akrilik reçinelerin içerisinde bulunan epoksi, karboksil ve hidroksil gibi farklı fonksiyonel gruplarının etkileşimi sonucunda gerçekleşmektedir [36].

Toz boyanın optimum uygulama özellikleri, düşük erime viskozitesinin yakalanmasında düşük moleküllü akrilik reçinelerinin kullanılması ile elde edilir. Bu gibi akrilik reçineleri çözelti polimerleşmesi ile üretilir. Katı reçinenin elde edilmesi ve solventin uzaklaştırılması için vakum damıtma işleminin gerçekleştirilmesi gerekir. Bu nedenle toz boyalarda kullanılan akrilik reçineleri diğer reçinelere göre daha pahalıdır. Yığın polimerizasyonu içinde düşük moleküllü akrilik reçine üretimi için birçok araştırma çalışmaları yürütülmektedir. Toz boyada kullanılan akrilik reçinelerin maliyetinin yüksek olması nedeniyle, kimyasal direnç ve dış ortam şartlarına karşı direnç gerektiren yüksek kaliteli ürünlerin üretiminde kullanılmaktadır [36].

Isı ve alkali kimyasallara dirençli olduğu gibi dış ortam şartlarında iyi bir renk koruması ve parlaklığa sahiptir. Özellikle otomobil sanayide tercih edilmeye başlanmıştır. BMW ve Mercedes gibi otomobillerin son kat verniğinde bu tip boyalar kullanılmaktadır. Akrilik boyalar çok güçlüdürler, ama diğer tip boyaların üretildiği tesislerde üretilemezler. Bunun nedeni epoksi ve polyester reçine ile uyuşamaması ve yüzeylerde deliklenme yaratmasıdır. Son gelişmeler bu tip problemlerin de çözüleceği yolundadır [32, 34].

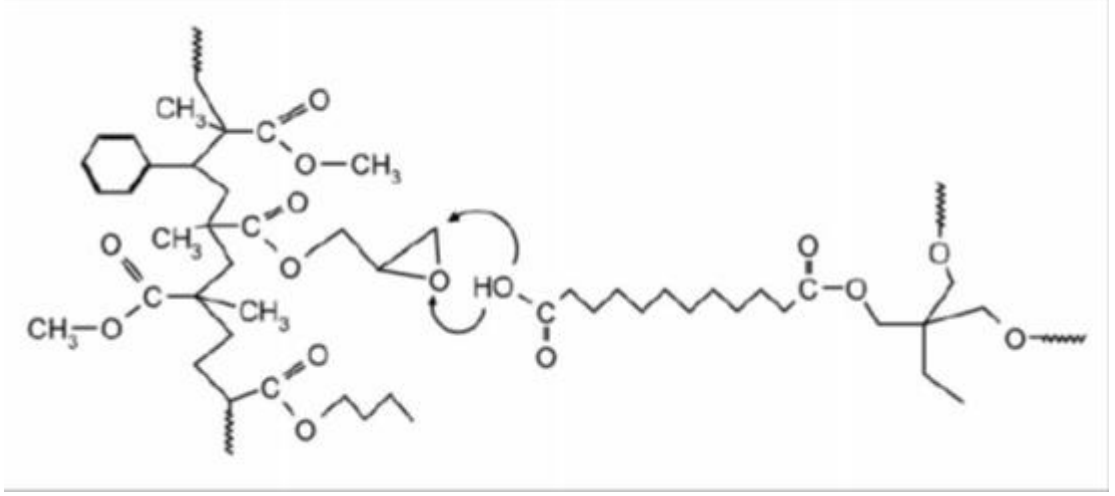
2.8.4.5. Epoksi / Akrilik Reçineler

Epoksi akrilik reçineleri, bir epoksi grubunda birçok monomerden oluşan kopolimerlerdir. En fazla kullanılan monomer glisidil metakrilat'dir (Şekil 2.20). Epoksi akrilik reçineleri çözelti polimerleşmesi ile üretilmektedir. Katı reçine elde etmek için üretilen reçine çözeltileri vakumlu damıtma işleminden geçirilir. Öğütülmüş katı reçine gerekli olan pigmentler katkı maddeleri ve çapraz bağlayıcılar ile karıştırılmaktadır. Elde edilen karışım, extruder, kırma, toz haline getirme ve eleme işlemlerinden geçirilir.



Şekil 2.20: Glisidil metakrilat monomerinin moleküler yapısı [36].

Epoksi akrilik reçinelerinde çapraz bağlayıcı olarak yüksek moleküllü polikarboksilik asit (örneğin dodecanedioic asit, acelainic asit) ve lineer polianhidritler kullanılır. Polianhidritler karboksil gruplarını oluşturmak için öncelikle hidroksil grupları ile reaksiyona girerler. Daha sonra β – hydroxy esterleri oluşturmak için akrilik reçinenin epoksi grupları ile reaksiyona girerler. β – h ydroxy esterinin hidroksil grubu kalan anhidrit ile tekrar reaksiyona girer. Ayrıca, hidroksil grupları epoksi grupları ile reaksiyona girebilirler. Epoksi akrilik reçinelerinin çapraz bağlanma reaksiyonu Şekil 2.21’de verilmiştir. 140 – 160 °C gibi düşük sıcaklıklarda gerçekleşen bir reaksiyondur. Bu durum otomobil boyanmasında uygun bir kombinasyon olarak değerlendirilir [36].



Şekil 2.21: Epoksi akrilik reçinesinin çapraz bağlanma reaksiyonu [36].

2.8.4.6. Poliüretan Reçineler

Polyester reçine ile izosiyanatın sertleşmesinden oluşur. Dış mekân kullanımı iyi olduğu gibi çok yönlü fiziksel ve mekanik özellikleri iyidir. İç ve dış cephe olarak iki çeşidi bulunmaktadır. Geçmiş senelerdeki tek engel, fırınlama esnasında çıkardığı dumandı. Çok düz yüzeylerin elde edilebildiği bu tip boyaların son gelişmiş hallerinde duman problemi çözülmüştür [32, 33].

2.8.5. Termoset Toz Boyaların Genel Formülasyonu

Termoset toz boyalar, reçine, kurlenme ajanı (sertleştirici), pigment, dolgu ve katkı maddelerinden oluşmaktadır. Toz boya üretiminde yapılan Özgün kompenant seçimi ve formülasyon, boyaların aşağıdaki özelliklerini etkilemektedir. Termoset toz boyaların performans özelliklerinin karşılaştırılması Tablo 2.2’de verilmiştir.

- İhtiyaç duyulan parlaklık, sertlik, esneklik, yapışma, kimyasal ve korozyon direnci gibi nihai film özellikleri
- Uygulama tekniği
- Fırın tipi, kurlenme zamanı ve sıcaklık gibi etkileri içeren kurlenme özelliği
- Üretim prosedürü ve durumu

Hangi kompenat özelliklerinin nihai toz boya malzeme kalitesine ne gibi etkiler olduğu aşağıda belirtilmiştir.

Reçine: Sentetik malzemelerdir. Boyanın ana maddesi olması ve formülasyonlarda en yüksek oranlara sahip olması nedeniyle boyanın tipini belirler. Doğru bir reçine veya reçine

karışımlarının seçimi çok önemlidir, çünkü oluşan form toz boya malzemesinin temel özelliklerini, erime noktası ve akışkanlık gibi film özelliklerini belirlemektedir. Boya içerisinde %60 ile %95 arasında bulunur. Katı halde düşük molekül ağırlığındaki reçine 60°C – 110°C arasında yumuşama noktasına sahiptir. Düşük erime noktasına sahip toz boyalarda depolama sürecinde topaklaşma gibi oluşumlar meydana gelebilir. Genellikle epoksi, poliüretan, polyester ve akrilik reçineler kullanılmaktadır [32, 34].

Kürlenme Ajanı (Sertleştirici): Pişirici ajan olarak da bilinir. Sıcaklığın etkisi ile boyanın içerisindeki reçine ile çapraz bağ yaparak reaksiyona girer ve boyanın yüzeye yapışmasını sağlar. Epoxy tipi boyalar amin gurubu içeren sertleştirici ile pişerken, polyester tipi boyalar TGIC, Primid, PT – 910, İzosiyanat ile sertleşir. Ayrıca epoxy reçineler, polyester reçineler veya akrilik reçineler ile sertleşebilir, ek bir sertleştirici gerekmez. Sertleştiriciler boyaya % 10 oranına kadar katılabilirler. Çapraz bağlanma derecesi parlaklık seviyesi, portakallanma ve pul pul dökülme gibi yüzeyin derecelendirilmesi, yapısal ve tekstür etkilerini içeren diğer görünüşlerin karar verilmesinde önemli bir etkiye sahiptir. Kürlenme ajanı oda sıcaklığında reaksiyon göstermez, 100 °C stabil durumda ve 100 °C – 180 °C arasında tamamen reaksiyona girer. Bu reaksiyon, erimiş reçinenin akışkanlığını tamamen engelleyecek kadar ne hızlı, ne de ticari kaygılar yaratacak şekilde yavaş olmamalıdır [32, 34].

Pigmentler: Özellikleri açısından ikiye ayrılır. Organik pigmentler, kuvvetli, pahalı ve transparan iken, inorganik pigmentler daha kuvvetsiz, daha ucuz ve örtücüdür. Ayrıca metalik, mika ve fosforlu pigmentler de toz boya sanayinde kullanılmaktadırlar. Renge göre % 40'a kadar boyaya eklenebilir. Pigmentler ısı ve ışık direncine karşı mukavemetli ve reaksiyona girmemesi gerekir. Birçok boyada olduğu gibi pigmentler dekoratif etkiler oluşturmak için kullanılır. Renk tipine göre kullanılan pigmentler aşağıda belirtilmiştir [32, 34].

- Titanyum dioksit, beyaz, pastel ve açık tonlar oluşturmada
- Karbon karası, siyah ve gri renk oluşturmada
- Ftalosiyanın, mavi ve yeşil renk oluşturmada
- Alüminyum ve bronz, metalik görünümler elde etmede kullanılırlar.

Dolgu Maddeleri: İnorganik dolgu maddeleri film kalitesini etki etmeksizin boya formülasyonuna entegre edilebilir. Genellikle dolgu maddeleri yüksek özgül ağırlığa sahiptir ve ham madde maliyetini düşürmesine rağmen boya yapılan bölgede olumsuz etkilere neden

olabilir. Özellikle Baryum sülfat ve Kalsiyum karbonat toz boyada önerilir. Amaca göre % 40'a kadar kullanılabilir [32, 34].

Katkı maddeleri: Optimum reçine sertleştirici ve pigmentler seçimi sonrası, uygulama ve kurlenme şartları uygun hale getirmek için film özellikleri ve akıcılığın modifiye edilmesinde katkı maddeleri formülasyona ilave edilir. Film özelliklerini ve daha başka fiziksel özellikleri geliştirmek için katkı maddeleri vazgeçilmezdir. (örneğin tiksotropik ajanı akışkanlığı ve UV stabilizörü yavaşlatır) Boyaya % 10'a kadar katılabilirler ve hızlı pışme, yüzey düzlüğü, pütürlü yüzey, delik önleyici, tabanca uyarlayıcı, akıcılık ve diğer bazı konularda yardımcı olurlar. Katkı maddelerin diğer fonksiyonları aşağıda ifade edilmiştir [32, 34].

- Elektrostatik çekimi yükseltir veya düşürür
- Yüzey düzgünlüğünü yükseltir veya düşürür
- Dekoratif etkiler oluşturur
- Fırın sıcaklık ihtiyacını azaltır
- İletkenlik değişimi sağlar
- Tekrar boyanabilirliği artırır
- Yüzey sertliğini artırır.

Tablo 2.2: Termoset toz boyaların performans özelliklerinin karşılaştırılması [31, 34].

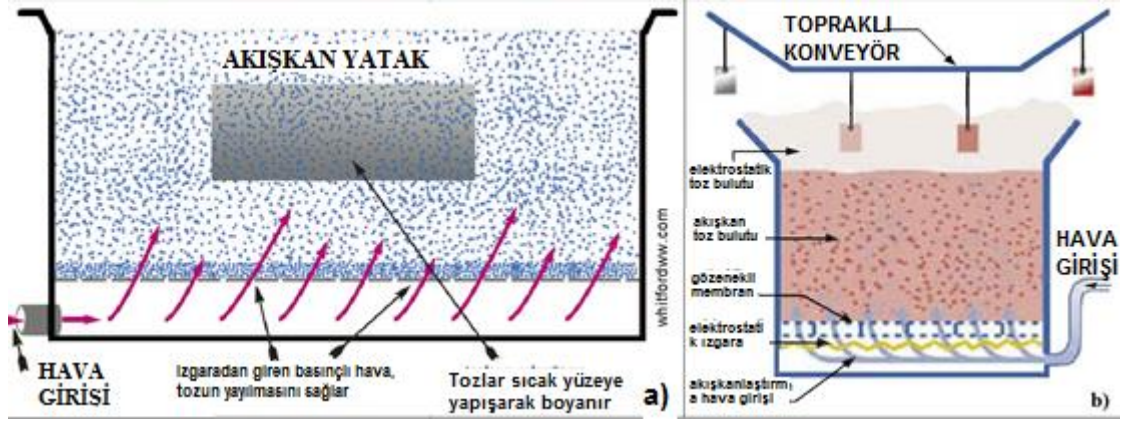
TERMOSET TOZ BOYALARIN ÖZELLİKLERİ					
ÖZELLİKLER	EPOKSİ	AKRİLİK	POLYESTER	HİBRİT	POLİÜRETAN
Yaşlandırma	Çok zayıf	Mükemmel	Mükemmel	Zayıf	İyi
Korozyon direnci	Mükemmel	İyi	Çok iyi	Mükemmel-çok iyi	Çok iyi
Kimyasal direnç	Mükemmel	Çok iyi	Çok iyi-iyi	Çok iyi	Çok iyi
Isı direnci	Çok iyi	İyi	İyi	Çok iyi-iyi	Çok iyi
Darbe dayanımı	Mükemmel – çok iyi	Yeterli düzeyde iyi	İyi	Çok iyi	Çok iyi
Sertlik	HB-5H	HB-4H	HB-4H	HB-2H	HB-3H
Esneklik	Mükemmel-çok iyi	Yeterli düzeyde iyi	Çok iyi	Çok iyi	Çok iyi
Yapışma	Mükemmel	Yeterli düzeyde iyi	Mükemmel	Mükemmel	Çok iyi
Fiyat	Orta	Yüksek	Orta	Düşük	Orta
Film Görünümü	İyi	İyi	İyi	İyi	Mükemmel
Parlaklık Aralığı	% 5-99	%30-90	%10-95	%5-90	%5-95
Aşınma	Çok İyi	İyi	İyi	İyi	İyi
Düşük Fırınlanma	Evet	Evet	Evet	Evet	Hayır

2.9. ELEKTROSTATİK TOZ BOYA UYGULAMA YÖNTEMLERİ

2.9.1. Akışkan Yatak Yöntemi

Akışkan yatak ilk olarak termoplastik toz boyaların uygulanması için geliştirildi ve hala bu tür toz boyaların uygulanmasında en çok kullanılan yöntemdir. Termoset toz boyalarda ise kullanımı özellikle tek bir uygulamada çok kalın (250 – 300 μ) bir film istenen durumlarla sınırlıdır [31]. Bu yöntemde toz boya zerreleri basınçlı hava yardımı ile bir kazan içerisine üflenip, hava içerisinde homojen bir şekilde karışması yani tozdan ibaret bir ortam veya diğer bir söz ile homojen bir toz bulutu oluşması sağlanır. Nasıl ki, sıvı boyalarda boyanacak nesne boya kazanı içerisine sokulup çekilerek boyanması sağlanıyor ise, akışkan yatak yönteminde de boyanacak nesneler toz bulutu içerisine daldırılarak toz boya zerrelere metal parçalar üzerine yapışması dolayısı ile boyama işlemi gerçekleştirilmektedir. Bu işlem Şekil 2.22’de görüldüğü gibi iki şekilde yapılmaktadır. Birinci uygulamada Şekil 2.22’nin “a” kısmında görüldüğü gibi boyanacak parçalar toz boyanın ergime sıcaklığına yakın bir dereceye kadar ısıtıldıktan sonra toz bulutu içerisine daldırılarak, toz zerrelere sıcaklık dolayısı ile eriyerek metal parçalar üzerine yapışması sağlanmaktadır. Bu yöntemde çok ince boya kalınlıkları elde etmek mümkün değildir. Bu nedenle yüksek seviyede koruma gerektiren yer altı boru ve vanaları gibi malzemelerde tatbik edilmektedir. Elektrostatik iyon tabancasına ihtiyaç duyulmadığından "faraday kafesi" etkisi denilen olay yoktur ve bu nedenle girintili çıkıntılı parçalarda tercih edilmektedir. Kullanılan toz boya maddesi de bu yöneme uygun olmalıdır. Yani her toz boya maddesi ile akışkan yatak toz boya yöntemi uygulanamamaktadır [35].

İkinci tip akışkan yatak toz boya usulü ise, Şekil 2.22’nin “b” kısmında görüldüğü gibi, statik elektrik yüklü toz boya iyonlarından oluşan toz bulutu içerisine boyanacak topraklı metal parçaların daldırılarak elektrostatik çekim kuvveti ile boya iyonlarının metal üzerine yapışıp boyama işleminin gerçekleştirilmesi yöntemidir. Bu yöntemde boya kalınlığı biraz daha ince düşmekle birlikte, "faraday kafesi" etkisi dolayısı ile girintili çıkıntılı malzemeler boyanamamaktadır. Düzgün geniş yüzeyli metal levhalarda avantajlıdır [35].

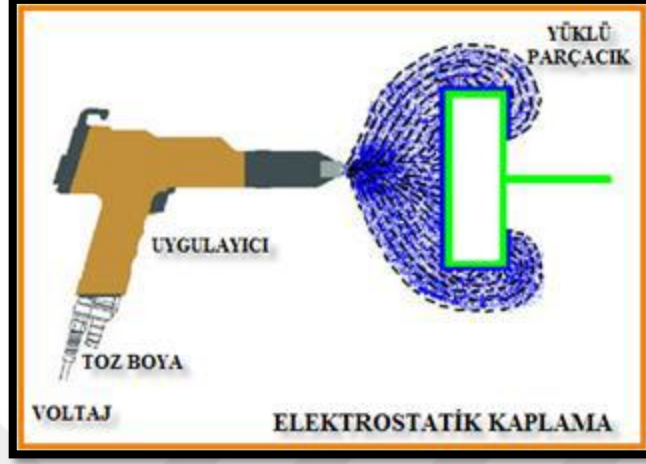


Şekil 2.22: Akışkan yatak toz boya uygulamaları [35].

2.9.2. Elektrostatik Toz Boya Püskürtme Yöntemi

Boya teknolojisinde püskürtme uygulamaları, boyanın küçük damlacıklar hâlinde atomize edilecek biçimde püskürtülerek (sprey) uygulanması ile düzgün bir kalınlık dağılımına sahip olan ve iyi yayılan yüzeylerin elde edilmesi amacı ile yapılmaktadır. Bu yöntem sanayi boyası uygulamalarında çeşitlenerek yaygınlaşmıştır. Bu yöntemlerden biride elektrostatik toz boya uygulamasıdır. Elektrostatik toz boya kaplama, üründe bir damla solvent kullanmaksızın boyanıp piyasaya verilir hâle getirilmesidir. Toz boya, bir hava akımı ile özel olarak geliştirilen bir toz boya tabancasına taşınır ve bir toz bulutu hâlinde toz boya kabini içinde pulverize edilir. Burada statik elektrik ile yüklenen toz boya, topraklama yapılmış ürün üzerine her tarafına eşit ve muntazam olarak dağıtacak şekilde kaplanır. Aşırı olarak püskürtülmüş bulunan toz boya (ürün üzerine yapışmayan) tekrar kullanılmak üzere toz boya kabini içindeki emme sistemiyle havadan ayrılıp geri kazanılır. Geri kazanılan tozun tekrar kullanılabilme özelliği toz boya tekniğinin en ekonomik avantajlarından biridir. Ürün daha sonra bir fırında pişirme işlemine tabi tutulur. Isı, tozun erimesine ve ürün üzerinde akışına neden olur ve polimerize olarak kimyasal sertleşme ile üzerine yapışır. Belirtilen özellikleriyle toz boya tekniği geleneksel yaş boyaya nazaran daha cazip hâle gelmiştir. Elektrostatik sprej uygulamalarında, boyanın püskürtüldüğü noktanın civarındaki hava 50–125 kV elektrik gerilimi uygulanarak iyonlaştırılır. Havanın iyonlaşması sonucunda serbest kalan elektronlar, bu bölgeden geçen boya zerreciklerinin yüzeylerine tutunarak onları eksi (–) yükle yüklerler. Öte yandan boyanacak malzeme topraklanarak artı (+) uç konumuna getirilir. Yüzeyin boya zerreciklerine uyguladığı elektriksel çekim hem serpintiye bağlı hem de geri sıçrama etkisine bağlı sprej

kayıplarını büyük ölçüde azaltır [37]. Şekil 2.23’de elektrostatik tabanca ile malzeme yüzeyinin kaplanması gösterilmektedir.

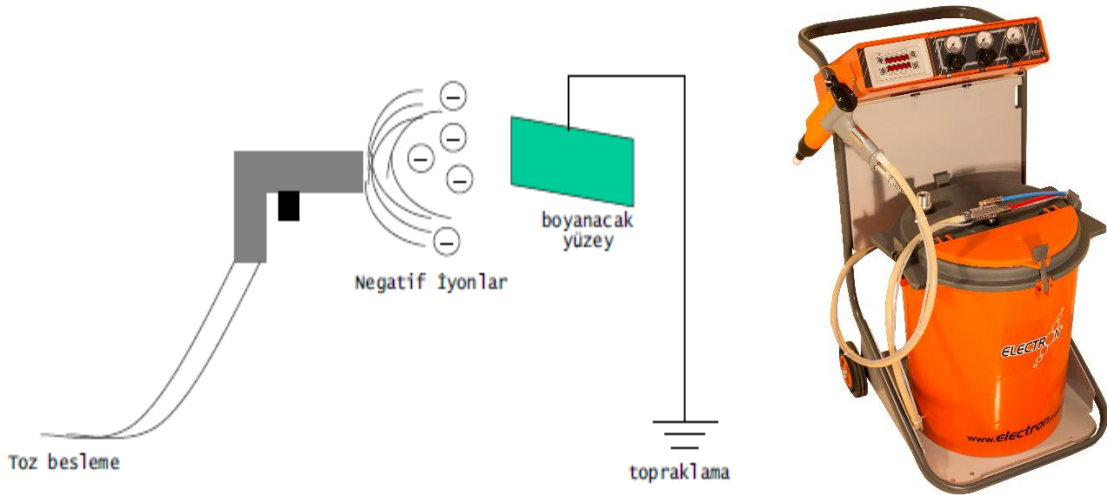


Şekil 2.23: Elektrostatik tabanca ile malzeme yüzeyinin kaplaması.

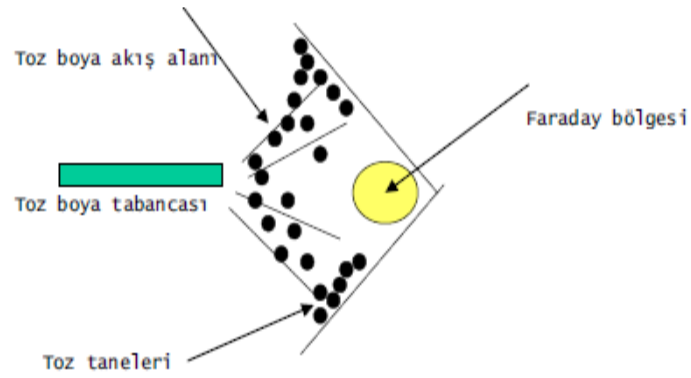
Bu yöntemle özellikle çok spreylere yol açan boru, profil vb. nesnelerin arka yüzleri de dahil olmak üzere kayıpsız boyanabilir. Yüzeye ulaşan boya zerreciklerinin, üzerlerindeki yükü yüzey üzerinden toprağa aktarabilmeleri için boyanın elektriksel iletkenliğinin yeterli olması gerekir. Çözgenli boyaların elektrostatik uygulamalarında, ürünün içine ya da incelticisine alkoller gibi yüksek iletkenlikli çözgenler ya da katkıları (aminler, kuaterner amonyum tuzları gibi) eklenir. Yaş boya iletkenliği için uygun olan en geniş aralık $0,05\text{--}20\text{ M } \Omega$ arasındadır. Ancak, uygulamaların pek çoğu için $0,5\text{--}5\text{ M } \Omega$ arasında bir iletkenlik tercih edilir. Günümüzde neredeyse tüm toz boyalar elektrostatik boyama ile uygulanmaktadır. Elektrostatik toz boya uygulamalarında toz boya tanecikleri aşağıda detaylıca açıklanan iki yöntemden biri ile elektrikle yüklenebilir [37].

Korona yükleme: Elektrostatik yöntemli uygulamalarda, havayla karıştırılarak akışkanlaştırılan toz boya, ucunda bir meme bulunan tüp biçimindeki toz boya tabancasından püskürtülür. Memeye yerleştirilen bir eksi (–) elektroda $40\text{--}100\text{ kV}$ civarı yüksek gerilim uygulanır. Eksi elektrot hava moleküllerini iyonlaştırır. Oluşan bu iyon bulutu korona olarak adlandırılır. Oluşan eksi yüklü iyonların bir bölümü toz boya parçacıklarının yüzeylerine tutunarak onları eksi yükle yükler (Şekil 2.24). Topraklama yoluyla artı (+) elektrot konumuna geçen boyanacak malzeme bu toz parçacıklarını kendine çeker. Yüzeye ulaşan toz boya zerrecikleri yüzeye temas sonucu yüksüzleşir. Dolayısıyla, yüzeydeki kaplama kalınlığı arttıkça

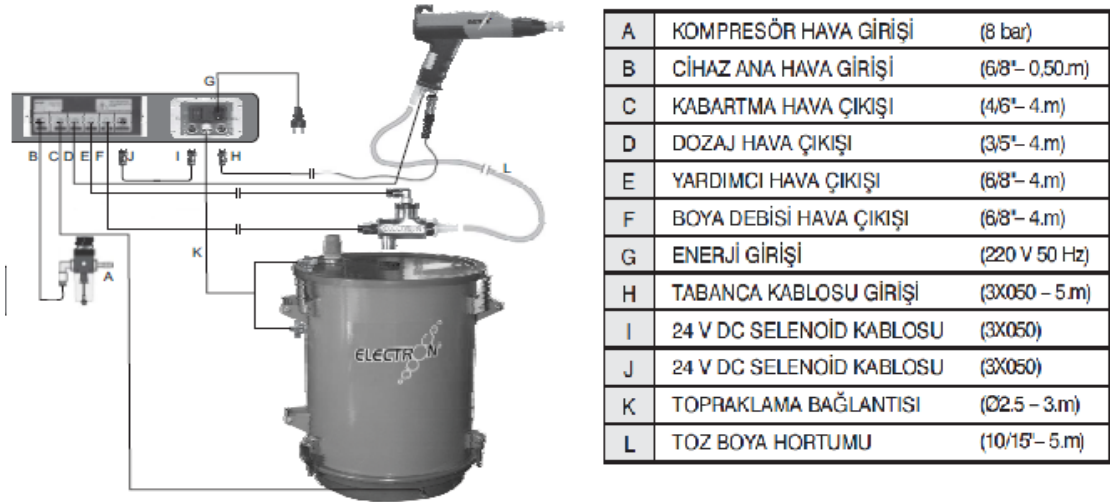
elektriksel çekim etkisi azalır. Yüzeye iyi tutunamayıp dökülen toz boya zerrecikleri bir toplama kabiniinde biriktirilerek geri kazanılır. Toz boya uygulamalarında geri dönüşüm sık görülse de geri dönüşüme giden toz boya miktarı minimumda tutulmalıdır. Diğer yandan gerekenden fazla voltaj fazla serbest iyon oluşumuna sebep olur ve iyi bir uygulamayı zorlaştırır. Akışkanlığı düşürür ve geri iyonizasyona neden olur. Malzemeye yetersiz topraklama yapılması durumunda durum daha da kötüleşir. Yüksek voltaj ayarları tabancanın ağzı (nozzle) ile malzeme arasında elektriksel alan yolları oluşturur ve toz boya tanecikleri bu yolları takip eder. Dış yüzeydeki köşeler başta olmak üzere girift şekilli malzemelerin dış yüzeyleri elektriksel alan yollarının en yoğun olduğu yerlerdir. Benzer şekilde iç kısımlardaki köşe ve girintilerde bu alan yollarının yoğunluğu daha azdır. Yüksek voltaj aynı zamanda Faraday Kafesi etkisini artırır (Şekil 2.25). Malzeme yüzeyinde kolay ulaşılan yerlerde daha kalın film kalınlığı, zor ulaşılan yerlerde daha ince film kalınlığı elde edilmesine sebep olur. Tabanca voltajını yeterli yüksekliğe ayarlamak çok önemlidir. Gerekenden yüksek ayarlanmış voltaj istenmeyen sonuçlara sebep olabilir. En uygun voltaj ayarını bulmak toz boya operatörünün becerisini gösterir [37]. Son zamanlarda geliştirilen yeni teknikler ile korona tabancalarda oluşan fazla iyon, tabancanın namlu bölümüne konulan toplayıcı ile toprağa akıtılmakta ve böylece “Faraday Kafes”i etkisi azalmaktadır. Bu tip tabancalar Süper Korona Tabancalar olarak adlandırılır [32].



Şekil 2.24: Korona püskürtmeli tabancanın çalışma prensibi (Sağda) ve Korona tipi toz boyama tabancası (Solda).

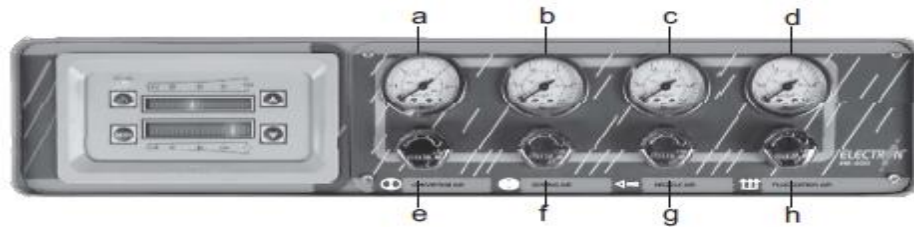


Şekil 2.25: Faraday etkisinin oluşumu [32].



Şekil 2.26: Korona tipi elektrostatik toz boya cihazının bağlantı noktaları [39].

Korona tipi elektrostatik toz boya cihazının pnömatik kumanda kısımları Şekil 2.27'de açıklanmıştır.



Şekil 2.27: Korona tipi elektrostatik toz boya cihazının pnömatik kumanda bölümü [39].

a) Taşıyıcı hava basınç göstergesi

b) Dozaj ayarı basınç göstergesi

c) Nozul havası basınç göstergesi

d) Kabartma hava basınç göstergesi

a) *Taşıyıcı hava regülatörü*: Bu regülatörle, enjektöre verilen hava, depodan boya emişini sağlar. Basınç artıkça, depodan tabancaya taşınan boya miktarı artar [39].

b) *Dozaj ayar regülatörü*: Bu regülatörle, enjektöre ek bir hava gönderilir. Bu hava yardımıyla, tabancaya taşınan boyanın şiddeti ve homojenliği sağlanır [39].

c) *Nozul havası ayar regülatörü*: Bu regülatörle, ayarlanan hava direct olarak tabancanın elektroduna gönderilir. Bu sayede hem boyanın tabancadan çıkarken istenilen şekli alması, hem de elektrod iğnesinin temizlenerek voltajın boyaya iletiminde sürekliliği sağlanmış olur [39].

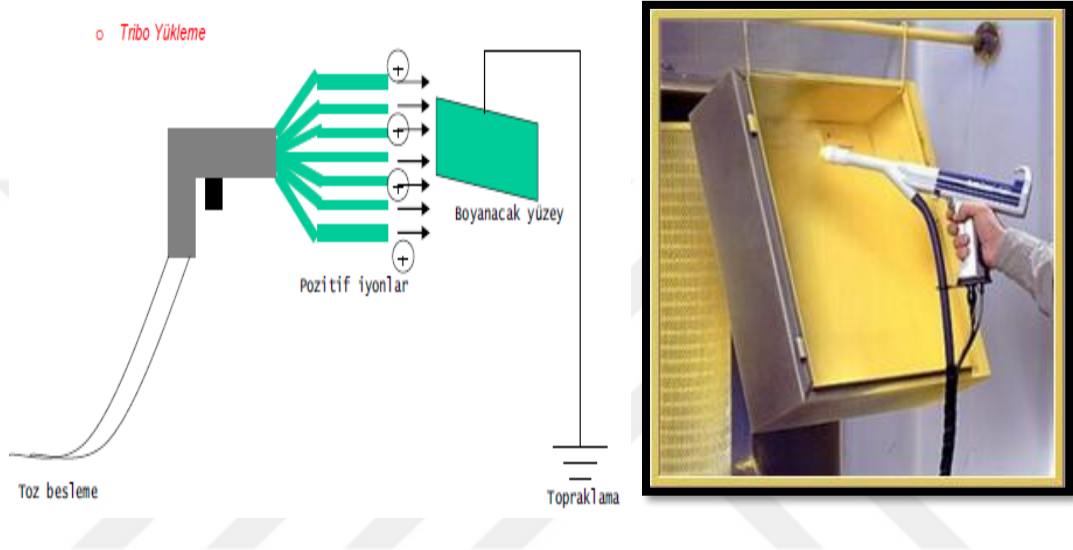
d) *Kabartma havası ayar regülatörü*: Toz boya, depo içerisinde tabana çökmüş olarak bulunmaktadır. Enjektörün rahat emiş yapabilmesi için boyanın depo içersinde kaynatılması gerekir. Bu regülatör açıldığında, depo tabanın her noktasından hava verilmiş olur ve depo içersindeki boya kaynatılarak enjektörün emiş yapmasını sağlar [39].

Korona tipi elektrostatik toz boyama cihazının çalışma prensibi:

- Cihazının deposuna konan boya kabartma havası yardımıyla karıştırılmaktadır.
- Depo üzerindeki enjektör taşıyıcı havanın açılmasıyla depodan emdiği boyayı tabancaya iletir.
- Dozaj ayarıyla kullanıcının boya – hava orantısını kontrol etmesini sağlar.
- Tabancaya uygulanan 13 V DC elektrik tabanca içerisindeki gerilim katlayıcı kaskat sayesinde statik voltaj 100 KV'a (negatif) kadar yükseltilir
- Bu voltaj elektroda dolayısıyla elektrodan çıkan boyaya uygulanır.
- Nozul havası ile boyanın elektrodan çıkış şekli ayarlanır ve elektrod iğnesi temizlenerek voltaj iletiminin devamlılığı sağlanır.
- Tabanca elektrodundan yüklenmiş olarak çıkan boya, malzemenin üzerine homojen olarak yayılarak yapışır [39].

Tribo Yükleme: Tribo tabancaları özellikle “faraday kafesi” problemleri nedeniyle tasarlanmış daha yeni tip boyama teknikleridir. Burada tabanca içersinden geçen tozlar, tabancanın özelliği

ve sürtünme nedeniyle elektron kaybederler ve pozitif yüklü hale geçerler. Topraklanmış olan yüzey, tozlara doğru olacak şekilde elektronları topraktan alır ve negatif yüklenir. Negatif iyonlu yüzey ile pozitif iyonlu tozlar birbirlerini çekerler ve kaplama işlemi sonuçlanır (Şekil 2.28). Toz taneleri kendi içlerinde pozitif olduğu için, birbirlerini itme durumu olur ve homojen yayılma gerçekleşir. Korona ve Tribo tabancaların kendilerine göre çeşitli avantajları vardır. Korona ve tribo tabancalarının karşılaştırılması Tablo 2.3’de belirtilmiştir [32].



Şekil 2.28: Tribo tipi tabancaların çalışma prensibi (Sağda) Tribo tipi boya tabancası [32, 37].

Ayrıca tabancalar manüel ve robot olarak da ikiye ayrılırlar. Robot tabancalar çok miktarda toz boya kullanan firmalar tarafından tercih edilirler. Robot tabancalar tam otomatiktir ve bilgisayar kontrolü ile kullanılırlar. Bu sayede, kullanıcı toz ile temas etmez. Manüel tabancalar tamamen elle kontrol edilirler. Araştırma geliştirme laboratuvarlarında, kalite kontrol bölümlerinde veya kullanıcıların tamir ve rötuş bölümlerinde kullanılırlar.

Tablo 2.3: Korona ve tribo tipi elektrostatik tabancaların karşılaştırılması [32].

KORONA	TRİBO
• Elektrik akımı sayesinde yüklenme kontrol edilebilir	• Yüksek voltaj ihtiyacı yok. Sürtünme ile boya yüklenir
• Her kalınlıkta ve her tip toz boya kullanılır	• Özel tanecik boyutunda ve tribo tasarlanmış boyalar kullanılır
• Sıcaklık, nem gibi çevre faktörlerinin etkisi az	• Çevre faktörlerinden kolay etkilenir.
• Tabanca ve işletme maliyeti düşük	• Maliyeti yüksek
• Faraday kafesi oluşur	• Faraday kafesi etkisi yoktur
• Voltaj ayarı ile film kalınlığı değişebilir	• Hava ayarı ile film kalınlığı değişebilir
• Yüksek sarfiyat	• Düşük sarfiyat
• Boya değişikliği (Sistem temizliği) kolay olur	• Boya değişikliği zor olur
• Geri iyonlaşma riski yüksektir.	• Geri iyonlaşma riski düşük

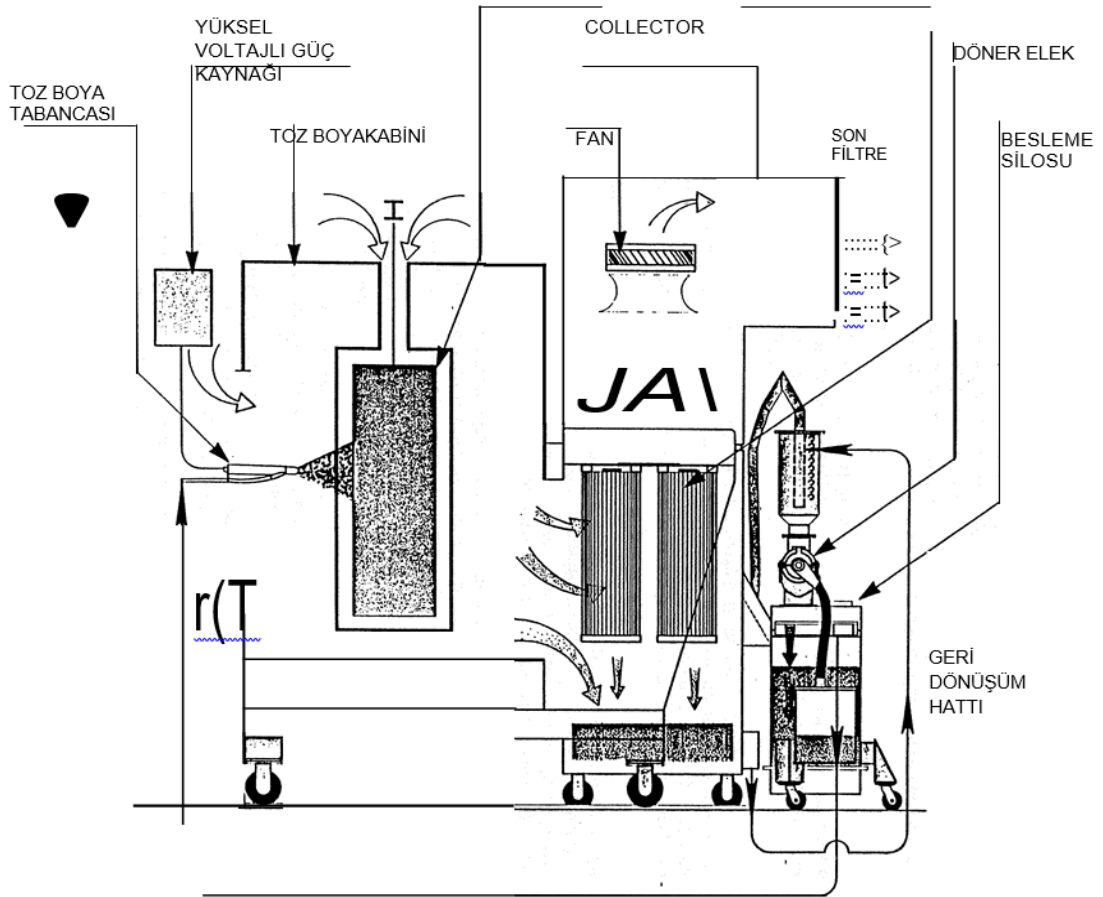
Boya Kabini: Elektrostatik toz boyama uygulamaları elektrostatik toz boyama kabinlerinde yapılmaktadır. Toz boya kabinleri, elektrostatik boyama ve kaplama sistemlerinin vazgeçilmez elemanlarıdır. Maliyeti yüksek olan toz boyaların geri kazanımını sağlamak ve bunun yanında çevre kirliliğinin önüne geçilebilmesi için sistemde kabin bulunması şarttır. Boya kabini, boyanacak parçanın asılarak boyama işleminin yapıldığı yerdir. Toz boya kabinlerinde tabancanın ağzından çıkan toz hâldeki boya elektrostatik yöntemle boyanacak parçanın üzerine yapışır. Boyanacak parça üzerine yapışmayan boya tozları fan yardımı ile filtreye gelir ve filtrenin üzerinde kalır. Bir kısmı da kabin içine dökülür. Filtre, belirli aralıklarla geri patlama havası yardımı ile temizlenir. Bu geri patlamalı basınçlı hava sayesinde filtre üzerinde biriken tozlar kabin içine dökülür. Dökülen boyalar toz boya haznesinde toplanarak tekrar kullanılır [37]. Şekil 2.29'da toz boyama kabini görüntüsü ve Şekil 2.30'da kabin kısımları gösterilmektedir.

Boya kabinleri bazı özelliklere sahip olmalıdır. Bu özellikler:

- Toz boyada filtre sistemli geri kazanımlı toz boya sistemi çok kullanışlı ve pratiktir.
- Toz boya kabinlerinin standardı elektrostatik kaplamalıdır.
- Genellikle pano üzerinde otomatik ve manüel filtre temizleme butonları mevcuttur.
- Kabin altında bulunan elekli toz boya deposu sistemlerinde, dökülen boyanın elenerek tekrar kullanılması sağlanır.
- Renk değiştirilmesi istendiğinde temizlenmesi çok kolay, bunun için gerekli zaman çok kısadır [37].



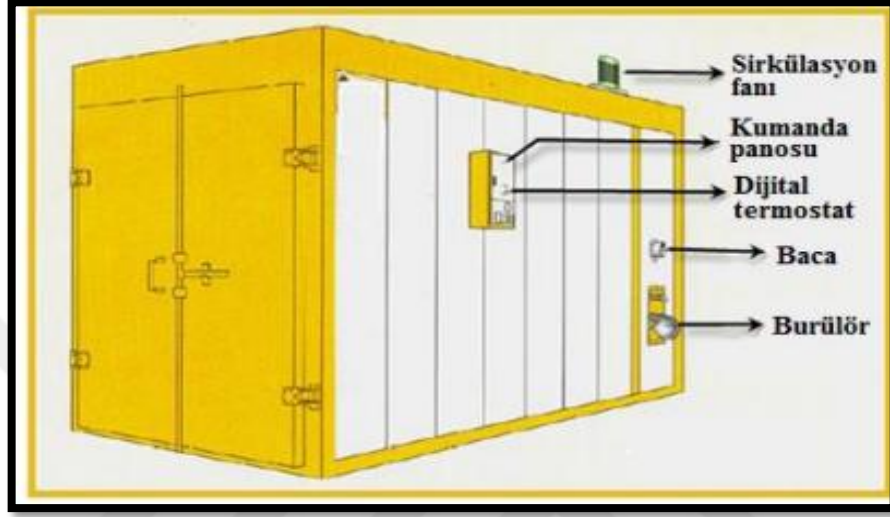
Şekil 2.29: Toz boyama kabinleri [37].



Şekil 2.30: Toz boyama kabinin bölümleri [38].

2.9.3. Elektrostatik Toz Boyayı Fırınlama

Toz boya fırınları, elektrostatik yöntemle kabin içerisinde boyanmış parçaların pişirilmesi ve boyama işinin tamamlanması için kullanılan ağıtlardır (Şekil 2.31). Toz boyanın pişirilmesi işlemi, fırının her yerine ulaşan sıcak hava akımı sayesinde gerçekleşir [37].

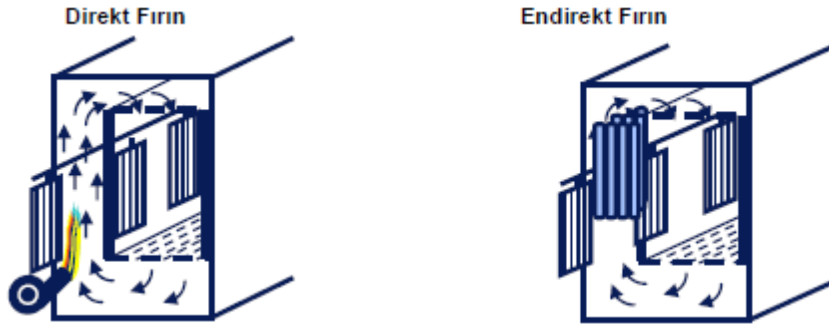


Şekil 2.31: Elektrostatik boya fırını ve kısımları [37].

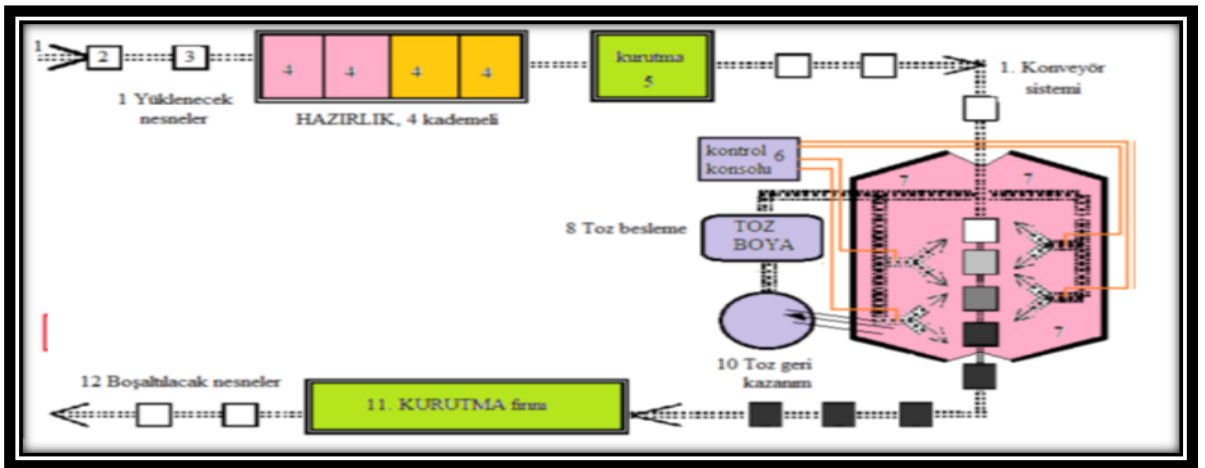
Toz boyalar reçinenin çapraz bağlanması (polimerizasyonu) ile sertleştiğinden (kürleme), süre ve sıcaklık kritik faktörlerdir. Bir ölçüye kadar, düşük sıcaklıkta belirli bir süre, daha yüksek sıcaklıklarda daha kısa bir süreye karşılık gelir. Ancak toz boya üreticisi tarafından belirtilen kürleme sıcaklığının, fırın içi hava sıcaklığı ya da fırın sıcaklık göstergesinin gösterdiği sıcaklık değil, parça sıcaklığı olduğu vurgulanmalıdır. Elektrostatik yöntemle parçalar fırına verilmeden önce fırın sıcaklığının ayarlanması, boyanacak parçalar fırına verildikten sonra ise fırınlama zaman ayarı, işlemin doğru ve kaliteli olabilmesi için son derece önem taşır. Boya ancak doğru fırınladığı takdirde pişer ve istenilen yüzey ve mukavemet değerine ulaşılır. Her toz boyanın bir fırınlama sıcaklık derecesi ve zamanı bulunur. Bu özellik, kullanıcıdan alınan bilgiler doğrultusunda, toz boyayı üretici firma tarafından belirlenir. Bu yüzden toz boya üzerindeki teknik bülten dikkatlice okunmalıdır [37]. Uygulama şekline göre direkt ve endirekt olmak üzere 2'ye ayrılırlar.

Şekil 2.32'da görüldüğü gibi direkt sistemlerde fırını ısıtmak için kullanılan alev direkt olarak boyanmış malzemeyi görür ve özellikle hassas boyalarda boyaya zarar verme olasılığı yüksektir. Ayrıca bu sistemlerde yanma sonucu oluşan zehirli gazlar sistemde dolaştığı için

boyaya ve boyahane personeline zarar verebilir. Endirekt sistemlerde ise alev cehennemlik yardımı ile boruları ve dolayısıyla fırın içerisindeki havayı ısıtır (Şekil 2.32). Hem sistemde yanma sonucu oluşan gaz dolaşımını engeller hem de fırın içerisinde homojen bir sıcaklık dağılımı sağlar. Fırınlar ayrıca kullanım sekline göre de “Kutu (Box)” ve “Konveyör” olmak üzere 2’ye ayrılırlar. Kutu fırınlar genelde küçük işletmelerde ve laboratuvarlarda tercih edilir. Boyanacak malzeme arabalara asılır ve fırına girer. Fırını boşaltma sırasında büyük bir sıcaklık kaybı olur ve bu nedenle kullanılması zor ve maliyetlidir. Konveyör fırınlarda ise boyanmış yüzeyler ray sistemleri ile fırına girer ve sıcak ortamdan geçip dışarı çıkar (Şekil 2.33). Bu sistemlerde sıcaklık kaybı yoktur, çalışma verimli ve hızlıdır. Tek dezavantajı sistem maliyetinin yüksek olmasıdır. Uygulamada kürleme işleminde, konveksiyon fırınlar ve kızılötesi (IR) fırınlar yoğun olarak kullanılır [32].



Şekil 2.32: Direkt ve Endirekt fırınlarının çalışma mekanizması [32].



Şekil 2.33: Konveyör sistemli otomatik elektrostatik toz boyama hattı [35].

Konveksiyon Fırınlar: Bu fırınlar günümüzde en çok kullanılan fırınlardır. Konveksiyon fırınlarında parçayı ısıtmak için ortam havası elektrik yardımıyla veya gaz yakılarak ısıtılır.

Isıtılan hava, fırın içinde bir hava akımı ile yayılır. Konveksiyon fırınından tahliye edilen hava, fırın içinde biriken gaz hacmini en az patlama limitinin altında tutacak miktarda olmalıdır. Fırının iç duvarlarında zamanla is tabakası oluşabileceğinden, özellikle direk gaz fırınlarında, fırın içi düzenli olarak temizlenmelidir. Temizlenmediğinde, bu is tabakası zaman zaman kalkacak ve fırından geçirilmekte olan malzemeyi kirletecektir [37].

Kızılötesi Fırınlar: Kızılötesi (IR) fırınlarda ısıнын, havaya başvurmaksızın, direk olarak parçaya aktarılması verimi, ısıtma hızını ve hassasiyetini büyük ölçüde artırmaktadır. Radyasyon enerjisinin elektromanyetik dalgalar yardımı ile malzeme yüzeyini ısıtması prensibine dayanır. Bu durum bu tür fırınların kullanımını gün geçtikçe yaygınlaştırmaktadır. Kızıl ötesi sistemlerin konvansiyonel fırınlara göre en büyük farkı direkt olarak malzeme yüzeyini yani boyayı ısıtmalarıdır. Bu işlem esnasında enerjinin bir miktarı yüzeyden yansiyarak ortamı ısıtırken bir kısmı da yüzey tarafından emilir fakat enerjinin büyük kısmı (yaklaşık olarak %85) malzeme yüzeyini yani boyayı pişirmek için kullanılır. Dolayısıyla konvansiyonel sistemlere göre daha hızlı sistemlerdir. Hem enerjiden hem de zamandan büyük kazançlar sağlarlar. Her hangi bir maddeden yayılan ışıma enerjisi o parçanın yüzey alanına, ısısına ve yayıcılık özelliğine bağlıdır. En büyük dezavantajları ise sistemin gördüğü yüzeyleri ısıttığı için çok girintili çıkıntılı parçalara uygulanamamasıdır [32, 37].

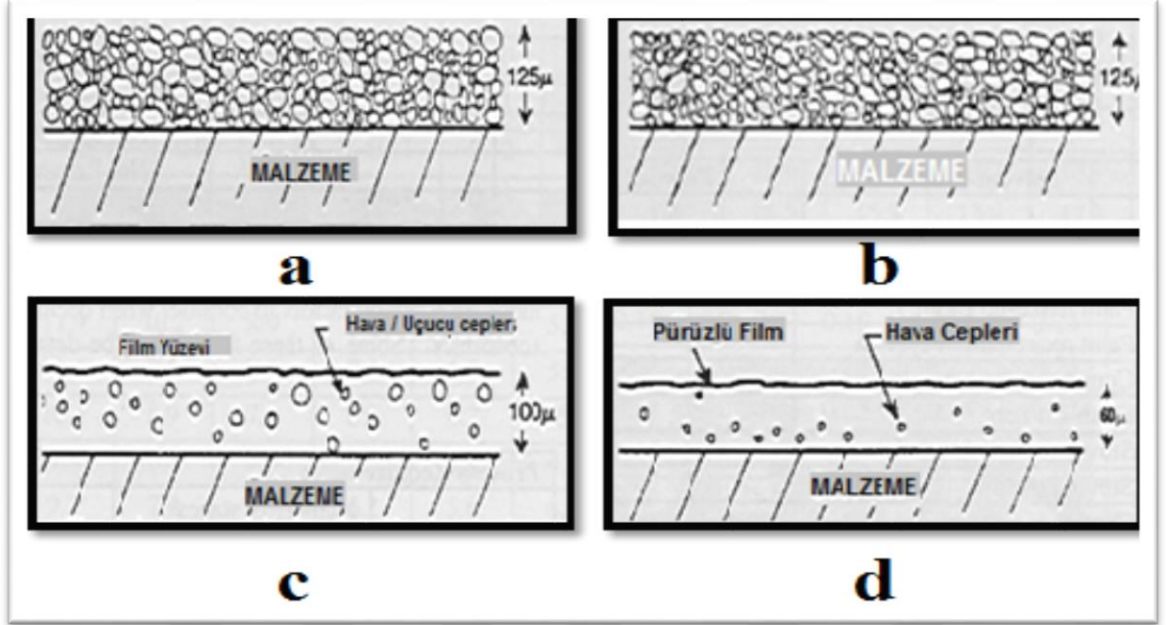
Orta dalga ışıma termoset toz boyaların kürlendirilmesi için en etkili kaynağı sağlar. Gazlı ve elektrikli çeşitleri mevcuttur. Yayıcı paneller genellikle 850 – 950 °C yüzey ısısına sahip gaz ısıtmalı veya 750 – 850 °C yüzey ısısı sağlayan elektrik ısıtmalı olarak kullanılırlar. Parça yayıcıdan en az 15 cm, ortalama 30 cm uzaklıkta tutularak ısıtılır. Açık renkler nispeten daha fazla kızılötesi enerji yansıtarak ısınma süresini uzatacağından, toz boyanın rengi önemlidir. Bu demektir ki her toz boya, en iyi kürlenme koşullarını belirlemek üzere test edilmelidir [37].

Ayrıca IR ve konvansiyonel fırınların beraber kullanıldığı sistemlerde mevcuttur. Genelde, IR ile yapılan ön ısıtma işleminde boya erimeye baslar fakat reaksiyon tam olarak tamamlanmaz ve parçalar konvansiyonel fırında bir süre daha pişirilir. Böylelikle zamandan büyük tasarruf sağlanarak sistem hızlandırılmış olur [32].

Mor Ötesi (Ultra – Violet UV) Fırınlar: MDF, sert plastik gibi sıcaklığa hassas yüzeyleri boyamada kullanılan çok popüler olmayan fırın çeşitleridir. Kızıl ötesi sistemler ile birlikte kullanılırlar. Ultra Violet-UV ışını kullanılarak toz boyanın pişmesi sağlanır [32].

2.9.4. Toz Boyada Film Oluşumu

Film oluşturma mekanizması, Şekil 2.34’de gösterildiği gibi boyanın toz halden kürlenmiş filme dönüşmesi olarak ifade edilebilir.

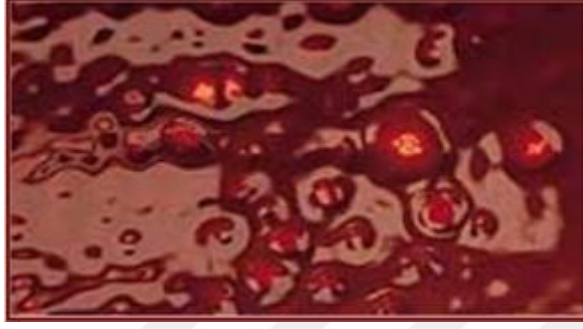


Şekil 2.34: Toz boya film oluşum mekanizması [31].

- Yüzeyde toplanan heterojen toz boya karışımı, aralarında küçük hava boşluklarının bulunduğu yük kolonları ve kubbelerden oluşan düzensiz geçici bir yapı oluştururlar.
- Isı uygulandığında daha yuvarlak taneciklere doğru ilk polimer deformasyonu başlar, daha sonra komşu tanecikler eriyerek birleşirler ve belki sıkışmadan dolayı küçük hava boşlukları birleşerek daha az sayıda büyük kabarcıkları oluşturabilir.
- Hava kabarcıkları genişlişip yüzeye doğru hareket ederken polimer tanecikleri film oluşturmak için yayılmaya başlarlar. Eğer film yüzeyi hala akışkan ise hava kabarcıkları yüzeye doğru hareket ederek yüzeyden çıkmaya çalışırlar. Kürlenmenin bu aşamasında polimerlerin hareketliliğinden dolayı oluşan deliğin tamamı veya bir kısmı krateri çevreleyen polimerler tarafından doldurulur.
- Eğer polimer çapraz bağlanma oranı çok hızlı olursa birçok hava kabarcığı boya filmini terk edemeden film oluşur. Hatta tam hava kabarcıkları yüzeyi terk ederken film oluşma ihtimali vardır. Böylece pütürlü ve parlaklığı düşük yüzeyler elde edilir [31].

2.9.5. Elektrostatik Toz Boya Kontrolü

Boya yüzeyinde krater oluşumu: Toz boya uygulaması sonucu yüzeyde krater oluşumu Şekil 2.35’de gösterilmektedir. Krater oluşum nedenleri ve alınacak önlemler aşağıda maddeler halinde açıklanmıştır.



Şekil 2.35: Toz boya uygulaması sonucu yüzeyde krater oluşumu [37].

- Yetersiz ön işlem uygulanmış ve boyanacak parçalarda yağ ve kimyasal kalıntıları iyi temizlenememiştir. Bunun çözümü ise ön işlemler tekrar kontrol edilir ve tedarikçi firmadan bilgi alınır.
- Silikon yağı ile kirlenme meydana gelmiştir. Silikonsuz temizlik malzemeleri kullanılmalıdır.
- Boyanan parça nemlidir. Kurutma süresi ya da sıcaklığı artırılmalıdır.
- Farklı bir toz boya ile kirlenme olmuştur. Renk ve cins değişiminde ekipmanlar mutlaka temizlenmeli ve fırın içindeki taşıyıcı hava kontrol edilmelidir.
- Geri iyonlaşma etkisi oluşmuştur. Topraklama kontrol edilmelidir [37].

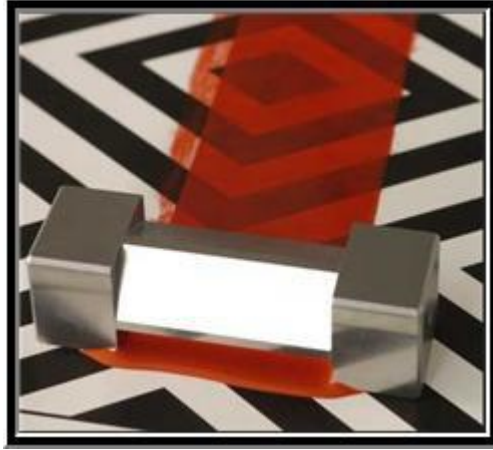
Yüzeyde iğne deliklerinin oluşması: Toz boya uygulaması sonucunda yüzeyde meydana gelen iğne delikleri Şekil 2.36’da gösterilmektedir. İğne deliklerinin oluşum nedenleri ve alınacak önlemler aşağıda maddeler halinde açıklanmıştır.



Şekil 2.36: Toz boya uygulaması sonucunda yüzeyde meydana gelen iğne delikleri [37].

- Toz boyanın nem oranını yüksektir. Depolama sıcaklığı kontrol edilmeli ve ürün etiketinde belirtilen koşullarda depolanmalıdır.
- Uyuşmayan başka toz boya ile kirlenme olmuştur. Renk ve cins değişiminde ekipmanlar mutlaka iyice temizlenmelidir.
- Boya içinde bulunan gaz çıkışı olmuştur. Film kalınlığı düşürülmelidir [37].

Yetersiz film kalınlığı ve zayıf örtücülük: Yetersiz film kalınlığı sonucu zayıf örtücülük oluşumu Şekil 2.37’de gösterilmektedir. Zayıf örtücülük oluşum nedenleri ve alınacak önlemler aşağıda maddeler halinde açıklanmıştır.



Şekil 2.37: Yetersiz film kalınlığı sonucu zayıf örtücülük [37].

- Topraklama yetersizdir. Topraklama teması konveyör rayından, parçaya kadar kontrol edilmelidir. Bütün temas yüzeyleri toz boya, yağ ve diğer yalıtkan malzemelerden arındırılmış olmalıdır.
- Toz boya beslemesi çok yüksektir. Toz boya beslemesi yeterli yükleme sağlanana kadar kısılmalıdır.

- Kabin içindeki hava nemlidir. Nemli havadaki rutubet, toz boya taneciklerindeki yükü dağıtma eğilimindedir. Püskürtme alanının nemi kontrol altına alınmalıdır.
- Toz boya çok incedir. Aynı zamanda toz boyanın tanecik dağılımı kontrol edilerek üreticisi ile bağlantı kurulmalıdır.
- Toz boya tipi/formülasyonu yanlış yüklenmiş olabilir. Bazı toz boyalar formülasyonları diğerlerine göre daha iyi yüklenir. Diğer bazı boyalar ise ince film uygulamaları için geliştirilmişlerdir. Üretici ile bağlantı kurulmalıdır.
- Hava basıncı çok yüksek ve toz boya parçadan dökülüyor. Hava basıncı ayarı düşürülmeli veya tabanca parçadan uzaklaştırılmalıdır [37].

Yüzeyde portakallı görüntü oluşumu: Toz boya uygulaması sonucunda meydana gelen portakal görüntüsü Şekil 2.38’de gösterilmektedir. Portakallı yüzey oluşum nedenleri ve alınacak önlemler aşağıda maddeler halinde açıklanmıştır.



Şekil 2.38: Toz boya uygulaması sonucunda meydana gelen portakal görüntüsü [37].

- Film kalınlığı fazla ya da azdır. Çalışma koşulları kontrol edilmelidir.
- Fırının ısınması uzun sürmüştür. Fırın sıcaklığı yükseltilmelidir.
- Yüksek voltaj uygulanmıştır. Voltaj çalıştığınız parçaya uygun hâle getirilmelidir.
- Geri iyonlaşma meydana gelmiştir. Topraklamalar kontrol edilmeli ve tabancanın malzemeye olan uzaklığı artırılmalıdır.
- Uyuşmayan başka toz boya ile kirlenme olmuştur. Renk ve cins değişiminde ekipmanlar mutlaka temizlenmelidir [37].

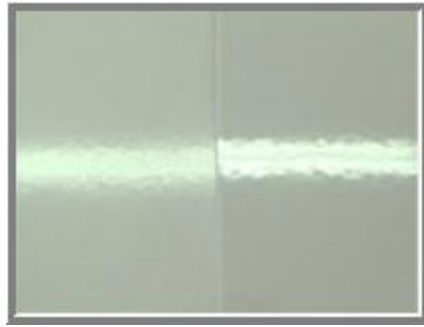
Boya rengi ya da parlaklığının farklı çıkması: Toz boya uygulaması sonucunda meydana gelen renk farklılığı Şekil 2.39’da gösterilmektedir. Renk farklılığı veya parlaklığın farklı olmasının nedenleri ve alınacak önlemler aşağıda maddeler halinde açıklanmıştır.



Şekil 2.39: Toz boya uygulaması sonucunda meydana gelen renk farklılığı [37].

- Film kalınlığı değişkenlik göstermiştir. Film kalınlığı her nokta için eşitlenmeye çalışılmalıdır.
- Boya fırınlama koşulları değişkenlik göstermiştir. Fırın çalışması optimize edilmelidir.
- Toz boya farklı bir toz boya ile karışmıştır. Boya rengi ve cinsi değişiminde ekipmanlar yeterli temizlenmelidir.
- Boyamadan önce yağ, su, yüzey işlem ve kimyasal kalıntıları kalmıştır. Parçalar yüzeyi boyama işleminden önce kontrol edilmeli ve temizlenmelidir [37].

Film üzerinde puslanma (boya filmi üzerinde sisli ve buğulu görünüm): Toz boya uygulaması sonucu puslanma kusuru Şekil 2.40’da gösterilmektedir. Puslu görüntü oluşum nedenleri ve alınacak önlemler aşağıda maddeler halinde açıklanmıştır.



Şekil 2.40: Toz boya uygulaması sonucu puslanma kusuru [37].

- Toz boya farklı bir toz boya ile karışmıştır. Boya rengi ve cinsi değişiminde ekipmanları temizlenmelidir.
- Boyamadan önce yağ, su, yüzey işlem ve kimyasal kalıntıları kalmıştır. Parçalar yüzeyi boyama işleminden önce kontrol edilmeli ve temizlenmelidir.
- Katkı malzemelerini kusmuştur. Fırın sıcaklığı ve süresi kontrol edilip, sıcaklık veya zaman yükseltilmelidir [37].

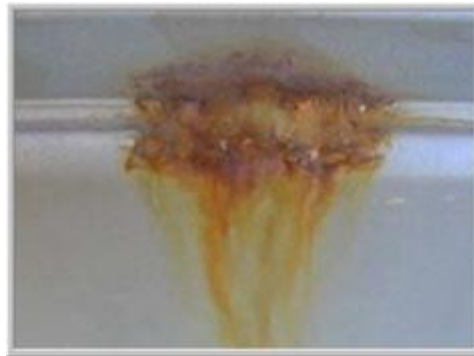
Mekanik ve kimyasal dayanımı düşük olması: Düşük mekanik dayanım gösteren toz boya uygulaması Şekil 2.41’de gösterilmektedir. Düşük mekanik ve kimyasal dayanım özelliği gösteren toz boya uygulama nedenleri ve alınacak önlemler aşağıda maddeler halinde açıklanmıştır.



Şekil 2.41: Düşük mekanik dayanım gösteren toz boya uygulaması [37].

- Boyanın kürlenmesi yeterli değildir. Fırın sıcaklığı ve süresi kontrol edilmelidir.
- Yetersiz ön işlem uygulanmış ve boyanacak parçalarda yağ ve kimyasal kalıntıları iyi temizlenememiştir. Bunun çözümü ise ön işlemler tekrar kontrol edilir ve tedarikçi firmadan bilgi alınır.
- Film kalınlığı fazla ya da azdır. Tabanca ayarlanarak film kalınlığı ayarlanmalıdır [37].

Korozyon dayanımının yeterli olmaması: Korozyon dayanımı yetersiz toz boya uygulaması Şekil 2.42’de gösterilmektedir. Yetersiz korozyon dayanımı nedenleri ve alınacak önlemler aşağıda maddeler halinde açıklanmıştır.



Şekil 2.42: Korozyon dayanımı yetersiz toz boya uygulaması [37].

- Yetersiz ön işlem uygulanmış ve boyanacak parçalarda yağ, kimyasal kalıntılar iyi temizlenememiştir. Bunun çözümü ise ön işlemler tekrar kontrol edilir ve tedarikçi firmadan bilgi alınır.

- Boyanın kürlenmesi yeterli değildir. Fırın sıcaklığı ve süresi kontrol edilip, sıcaklık veya zaman yükseltilmelidir.
- Uygun toz boya seçilmemiştir. Üreticiye başvurulmalıdır [37].

Yetersiz yapışma: Toz boya uygulaması sonucunda meydana gelen yetersiz yapışma nedenleri ve alınacak nemeler aşağıda maddeler halinde açıklanmıştır.

- Temizleme ve n hazırlama yetersizdir. n hazırlama tesisi ve kullanılan kimyasal maddeler kontrol edilmelidir.
- Boyanacak zeminde değişiklik olmuştur. Tedarikçi firmaya danışılmalıdır.
- Yetersiz fırınlama yapılmıştır. Fırın sıcaklığı ve fırınlama süresi artırılmalıdır [37].

Yetersiz parlaklık: Toz boya uygulaması sonucunda meydana gelen yetersiz parlaklık nedenleri ve alınacak nemeler aşağıda maddeler halinde açıklanmıştır.

- Uyuşmaz bir toz boya karışmış olabilir. Yeni tozu koymadan önce bütün uygulama teçhizatı temizlenmelidir.
- Gaz çıkışına bağlı iğne delikleri oluşmuştur. Boyanacak zeminin gözenekli olmadığından emin olunmalıdır. Zeminin nemli olup olmadığını kontrol edilmelidir. Boyanın geri kazanma işlemi sırasında nemlenmemiş olduğundan emin olunmalıdır. Basınçlı havanın içinde nem olup olmadığını kontrol edilmelidir. Film kalınlığı çok fazla olabilir; kontrol edilmelidir [37].

Toz Boya Besleme Problemleri: Toz boya besleme problemlerinin olası nedenleri ve çözüm nerileri Tablo 2.4’de belirtilmiştir.

Tablo 2.4: Toz boya besleme problemlerinin olası nedenleri ve çözüm önerileri [31].

Problem	Olası Neden	Çözüm
Kazandan dışarı boya çıkıyor	Kabartma havası çok fazla	Kabartma havasını ayarla
	Tankın havalandırması yetersiz	Tank hava vanasında tıkanma ara.
Kazandaki toz boya yüzeyinden hava çıkışı yok	Hava basıncı yetersiz	Kabartma havası ayarını kontrol et. Hava basıncını artır.
	Zar tıkanmış	Zarda kirli ve yağlı hava nedeniyle tıkanmış delikleri temizle.
	Toz boya zar üzerinde bloklanmış	Zar üzerindeki katı toz boyayı el ile temizle.
Hatalı kabartma – Tanktaki boya yüzeyinde büyük hava kuyuları oluşuyor	Tankta çok az boya var.	Tank yeterince doluncaya kadar toz boya ekle.
	Çökmüş veya nemli toz boya	a) Boyayı el ile karıştır, basınçlı hava ile iyice kabart. b) Basınçlı havanın ve kabin havasının nem ve yağını kontrol et. c) Toz boyayı elemek gerekebilir.
	Zar tıkanmış veya yırtılmış	a) Zarda kirli ve yağlı hava nedeniyle tıkanmış delikleri temizle. b) Zar çerçevesinin yerine oturduğunu, kenarlardan kaçak olmadığını kontrol et.
	Toz boya tanecik dağılımı	a) Doğru “geri dönen boya / yeni boya” oranını sağla. b) Tanktaki toz boyanı tanecik dağılımını kontrol et.
	Toz boyanın akışkanlığı düşük	Toz boya ikmalcisi ile görüşün.
Hortumlar, tabanca, enjektörler tıkanıyor	Normal birikim	Parçaları temizle veya değiştir.
	Hava basıncı çok yüksek	a) Hortum boylarını kısalt. b) Hava besleme ayarlarını düşür.
	Hava kaynağında nem var	Basınçlı havanın temiz, kuru ve yağsız olmasını kontrol et.
	Toz boya tipi ve formülasyonu	Bazı toz boya tipleri birikmeye daha yatkındır. İkmalciniz ile görüşünüz.
	Hortum malzemesi	Hortumları kontrol et. Ekipman ikmalciniz ile görüşün.
	Aşınmış enjektör ve diğer parçalar	Bütün aşınmış parçaları değiştir.
	Toz boya tanecik dağılımı	a) Doğru “geri dönen boya / yeni boya” oranını sağla. b) Tanktaki toz boyanı tanecik dağılımını kontrol et.
	Kıvrılmış veya ezik hortumlar	a) Hortumlarda keskin kıvrımlara ve eziklere izin vermeyin. Hortumları dış etkenlere ve aşınmaya karşı koruyun. b) Deforme olmuşsa değiştirin.
	Hortumlar çok uzun veya çok kıvrımlı	Hortum uzunluğunu azalt, güzergahını dikkatle seç.
Yetersiz boya çıkışı	Toz boya kabarmıyor	Hava çıkışını kontrol et
	Toz boya besleme sisteminde tıkanma	a) Enjektörleri, emme borularını, hortumları ve tabancaları kontrol et. b) Hava kaynağını kontrol et. Pompa ve tabanca ayarlarını düzenle. c) Beslenen toz boyada kirlenme olmamasını kontrol et.
	Hortumlar çok uzun veya çok kıvrımlı	Hortum uzunluğunu azalt, güzergahını dikkatle seç.
	Hava basıncı düşük	Hava kaynağını kontrol et. Pompa ve tabanca hava ayarlarını düzenle.

Kabin ve Geri Kazanım Sistemi Problemleri: Toz boya kabini ve geri kazanım sistemi problemlerinin olası nedenleri ve çözüm önerileri Tablo 2.5’de belirtilmektedir.

Tablo 2.5: Toz boya kabini ve geri kazanım sistemi problemlerinin olası nedenleri ve çözüm önerileri [31].

Problem	Olası Neden	Çözüm
Parça yüzeyi kirlenmesi	Kabin içine konveyör veya askılardan kir ve toz dökülüyor	Konveyörü düzenli aralıklarla temizleyin. Konveyör rulmanlarını doğru yağ ile ve yeterli sıklıkta yağlayın, rulmanların bloklanması izin vermeyin. Askıları zamanında temizleyin.
	Kabine giren parçalar kirli	Yağ alma ve yüzey işlem prosesini kontrol et. Parçanın kabine girmeden yeterince kurutulmuş olduğunu kontrol et.
	Kabine giren tesis ortamı havası kirli	Toz boya uygulama ortamını bölmelerle tesisin geri kalanından ayırın. Tercihan toz toplamalı ve nemi kontrollü bir bölme yerleştirin. Uygulama odasına pozitif basınç uygulayın. Civarda bulunan diğer prosesleri inceleyerek, bir kirlenme yaratmadıklarından emin olun.
	Basıncı hava kirli	Hava kompresörünü ve hava besleme sistemini kontrol edin.
	Elek teli yırtık, hasarlı.	Elek telini değiştir. Yerine rahat oturup oturmadığını kontrol et.
	Elek çalışmıyor.	Eleği veya elek kontrol devrelerini onar veya değiştir.
Yetersiz toz kontrolü, Kabinden hava çekişi zayıf	Filtre tıkanmış	a) Filtreyi temizle veya değiştir. b) Ortam nemini kontrol et. c) Filtrenin hava patlatmasının çalışırlığını kontrol et. d) Besleme havasında nem ve yağ olmamasını kontrol et.
	Kabin temizliği için basınçlı hava kullanılması	Doğru temizlik yöntemi belirlenmesi
	Yanlış toz boya tabancası yeri/yönü	Tabancaları gerektiği şekilde ayarla. Kabindeki açıklıklardan uzaklaştır, ve uzağa yönlendir.
	Ortamdaki hava cereyanı kabinden toz çıkartıyor	Boya kabininin bulunduğu ortamdaki hava cereyanlarını haritalaştır. Toz boyanın sürüklenmesini azaltmak için, cereyanları en aza indir.
	Hava çekişi zayıf	Hava çekiş vantilatörünün doğru çalışırlığını kontrol et.
Geri dönen boya, başka boyalarla kirleniyor	Kabin, geri kazanım sistemitemizliği yetersiz	Ekipmanı ikmalcisinin belirttiği gibi temizleyin.
Kabin içi türbülans	Kabin içinde hava hızı yüksek	Ekipman ikmalcisi ile görüşün.
Geri kazanım oranı düşük	Yetersiz hava hızı	Toz kontrolü yapılması
	Sistem yalıtımı kötü	Hava kaçaklarını tespit et ve ortadan kaldır.
	Toz boya içindeki ince tane oranı yüksek	Ekipman ve toz boya ikmalcilerinizle bağlantı kur.

Genellikle beyaz eşya, otomobil ve metal sanayisinde kullanılan elektrostatik toz boyalar, son zamanlarda ülkemizde ve yurt dışında ahşap esaslı levhalar üzerine uygulama, araştırma ve geliştirme çalışmalara yoğun bir şekilde devam etmektedir. Aşağıda yapılan bu çalışmalar hakkında genel literatür bilgisine yer verilmiştir.

Çevre kirliliği ilgili yapılan düzenlemeler sonucunda, ahşabın boyanması ve verniklenmesinde, su bazlı ve radyasyon kürlenmeli boyama ve vernikleme sistemlerine doğru kademeli bir geçiş

neden olmaktadır. Çevre kirliliği ile ilgili yapılan bu katı düzenlemelere karşı yeni boyama ve vernikleme sistemleri sayesinde üstesinden gelinebileceği belirtilmektedir. Ahşap endüstri sektöründe hava püskürtmeli boya tabancası ile yapılan kaplama işlemlerinde, boyaların veya verniklerin yaklaşık %40 kullanılmaktadır. Bu tip boyalar ve vernikler çevre dostu olsa bile ekolojik problemlere tam olarak cevap vermemektedir. Tablo 2.6’da, günümüzde ahşap endüstrisinde kullanılan boyalar ile ahşap ve ahşap esaslı levha yüzeylerinde kullanım potansiyeli olan toz boya sistemleri arasındaki bazı özelliklerin karşılaştırılmasına yer verilmiştir [40].

Tablo 2.6: Ahşap endüstrisinde kullanılan hava püskürtmeli tabanca ile uygulanan çeşitli boyaların, toz boya ile karşılaştırılması [40].

Boya türü	Solvent içeriği (%)	Kullanım oranı (%)	Hava kirliliği	Su kirliliği	Mesleki hijyenik seviyesi
Selülozik esaslı	65 - 70	50	Yüksek	Var	Orta
Çift kompenatlı sistemler	30 - 50	50	Orta	Var	Düşük
Doymamış polyester esaslı	Yaklaşık 0	50	Yok	Var	Düşük
UV kürlenmeli akrilik esaslı	Yaklaşık 0	50	Yok	Var	Düşük
Su bazlı	2 - 10	50	Düşük	Var	Yüksek
Toz boya	Yaklaşık 0	100	Yok	Yok	Yüksek

Misev ve Linda [4] yaptıkları araştırmada çevre kirliliği ilgili yapılan düzenlemeler sonucunda, ahşabın boyanması ve verniklenmesinde, su bazlı ve radyasyon kürlenmeli boyama ve vernikleme sistemlerine doğru kademeli bir geçişe neden olduğunu bildirmiş. Çevre kirliliği ile ilgili yapılan bu katı düzenlemelere karşı yeni boyama ve vernikleme sistemleri sayesinde üstesinden gelinebileceğini belirtmişlerdir.

Toz boyalar, temiz hava hareketi adı altında yapılan düzenleme sonucunda (Clean Air Act Amendments) tehlikeli hava kirleticiler (HAP’s) ve uçucu organik bileşik (VOC) emisyon değerlerini önemli ölçüde azalttığından dolayı toz boyların kullanımı, sıvı solvent esaslı boyaların alternatifi durumundadır. Toz boyalar, diğer endüstriyel boyama sistemleri ile karşılaştırıldığında en düşük VOC içeren boya olarak karakterize edilebilir. Tablo 2.7’de dört çeşit boya tipinin VOC değerlerinin karşılaştırılması yapılmıştır. Toz boyların VOC emisyonu, geleneksel solvent boyama sistemlerinden % 98.4, yüksek kompenantlı sistemlerden % 98.1 su bazlı sistemlerden % 97.7 daha az olduğu ifade edilmektedir [38].

Tablo 2.7: Çeşitli tip boyaların VOC değerlerinin karşılaştırılması [38].

ÖZELİKLER	Geleneksel solvent boya	Su bazlı boya	Yüksek kompenatlı boya	Toz boya
Katı madde miktarı (%)	34.4	35	58.5	98
Uçucu organik bileşik miktarı (%)	67	16	40	1
Kaplanan alan (ft ² /gal, ft ² /lb toz)	248	309	592	75.5

Yeni reçine sistemeleri ve formülasyonları toz boyaların birçok uygulama alanlarında kullanımını kolaylaştırmaktadır. Toz boya üreticileri, düşük maliyetlerde ve düşük sıcaklıklarda kürlenebilme özelliği olan iyi bir reçine ve kürlenme ajanı formülasyonları üzerinde çalışmaktadırlar [38].

Son yıllarda, küresel toz boya pazarı metal olmayan, plastik ve ahşap gibi ürünlere göz dikmiştir. Fakat plastik ve ahşap malzemelere toz boya uygulamanın çeşitli zorlukları bulunmaktadır. Bunlardan biri de bu ürünlerin iletken olmaması ve dolayısıyla gelenekselleşen toz boya uygulama tekniği olan elektrostatik uygulamanın yapılabilmesi için uygun değildir. Bir diğer zorluk ise, bu malzemelerin toz boya uygulama işlemi sona ermeden önce yüksek sıcaklık nedeniyle zarar görmesidir. Hammadde tedarikçileri ve formülasyonu geliştirenler yıllar boyunca beraber çalışarak kataliz tekniklerinde ve bu metal olmayan malzemeleri kürlleme prosesinde önemli ilerlemeler sağlandığı ifade edilmektedir [41].

Toz boya sıvı boyalara nazaran çok farklıdır. Çünkü sıvı formdan ziyade katı olarak uygulanmaktadır. Katı olarak, solvent, tehlikeli hava kirleticiler (HAPs) ve uçucu organik bileşikler (VOCs) içermezler. Ahşap ve ahşap esaslı levhalarda koruma tabakası sağlarken, insanlar, hayvanlar ve çevre için güvenlidir. Toz boyanın yapışmasında üç faktör etkilidir. Bunlar; ahşap ve ahşap esaslı levhanın özellikleri, ısı uygulaması ve toz boyanın elektrikle yüklenmesidir. Yıllardır yapılan deneme yanılma uygulamaları sonucunda araştırmacılar toz boya uygulaması için en ideal ahşap esaslı levhanın orta yoğunluktaki liflevha (MDF) olduğunu bildirmişlerdir. MDF diğer ahşap ve ahşap esaslı levhalara göre daha düzgün ve yeknesak yapıya sahip olduğu belirtilmektedir [42].

Orta yoğunluklu lif levhalarda (MDF) düşük ısıda toz boya kürlmelerinin uygulamasındaki gelişmeler toz boya sektörünün teknolojik gelişmelerin en önemli etkilerinden biridir. Bu proseste, toz boya ilk olarak MDF'nin yüzeyine uygulanmaktadır. Boyalar, termal veya UV

radyasyonla kürlenebilmektedir. Termal kürlleme sistemlerinde, infrared fırınlar, konveksiyon fırınlar veya hibrit fırınlar kullanılmaktadır. UV kürlleme sistemlerinde ise, toz boyanın başlangıç erimiş ve akışkan kısmı son kürden ayrılmaktadır. Bu proste, toz boyanın kürlenmesi için çok az bir sıcaklığa ihtiyaç duyulmaktadır. Hammadde tedarikçileri ve formülasyon geliştirenlere göre gelişen teknoloji ile toz boyanın diğer ahşap esaslı levha yüzeylerinde kullanımının yaygınlaşacağı bildirilmektedir [41].

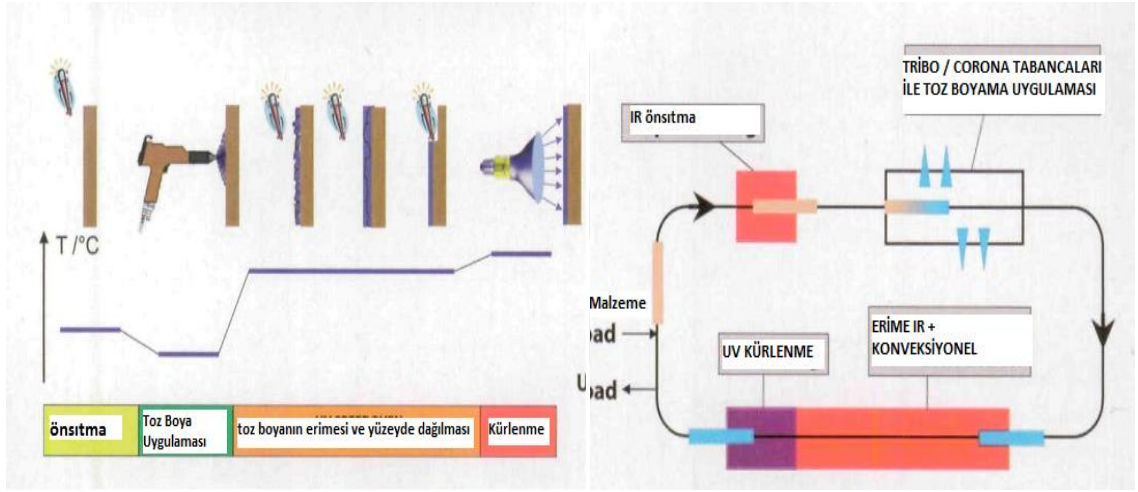
Endüstride toz boyama teknolojisi, metal sektöründe ve özellikle de beyaz eşya sanayinde çok yoğun bir şekilde kullanılırken, plastik ve ahşap panel gibi iletken olmayan malzemelerde endüstriyel ölçekte halen çok fazla gelişim gösterememiştir. Taşıyıcı yüzey ve kaplama arasındaki uyumsuzluk, malzemenin pürüzlü yüzey yapısı, düşük iletkenlik değeri ve yüksek sıcaklığa karşı hassasiyet, toz boyama sisteminin endüstriyel anlamda başarı sağlamasında en önemli engeller olarak karşımıza çıkmaktadır. Örneğin ahşap esaslı panel üreticileri yeni geliştirilmiş toz boya ile düşük sıcaklıklarda, orta yoğunluktaki liflevha (MDF) yüzeylerini kaplamışlardır. Fakat bu teknoloji henüz endüstriyel olarak kullanılmamaktadır. Çevre korunumu ve ekonomik sebeplerden dolayı yakın gelecekte iletken olmayan malzemeler için toz boyama teknolojisi çok büyük etki yaparak kullanım alanını yaygınlaştıracaktır [43].

Son beş yılda, toz boyama teknolojisi ile metal olmayan polimerler ve ahşap esaslı malzemelerin kaplanması büyük bir etki alanı oluşturmuştur. Çevre ve insan sağlığı açısından boyalarda uçucu bileşiklerin emisyonu ve daha az solvent içermesi bakımından bazı katı düzenlemeler getirilmektedir. Ayrıca toz boyama sisteminde solvent kullanımı ve buharlaşma olmadığından dolayı enerji tüketimini de azalttığı belirtilmektedir. Toz boyama teknolojisi çevresel avantajların yanında, yüksek kalitede malzeme yüzey kalitesi elde edilebileceği bildirilmektedir [43].

Toz boyalar, solvent ve uçucu organik bileşikler (VOCs) içermez. Bu özellikler, toz boyaları kullanıcı dostu ve geri dönüşümünü kolay kılmaktadır. (atıkları herhangi bir işleme tabii tutulmaz) Ultraviyole (UV) ve Ultra-low bake (ULB) toz boyalar oldukça düşük sıcaklıklarda malzeme yüzeylerine tutunurlar. Sıvı boya sistemlerinin aksine toz boyalarda zımparalama işlemi yok denecek kadar azdır. UV / ULB toz boyaların kullanımı ile pah açılmış, frezelenmiş veya şekil verilmiş MDF kenarları kolaylıkla boyanabilmektedir. Bu uygulama ile kenar bandı gibi maliyetli işlemler azaltılır. Ancak bu yeni teknoloji ile yüksek kalitede üst yüzey işlemi

gerçekleştirebilmek için doğru MDF tipi ve doğru toz boyanın seçilmesinin önemli olduğu ifade edilmektedir [44].

Genel olarak toz boyama işlemi dört safhada gerçekleştirilmektedir. İlk olarak, malzeme zımparalama gibi ön işlem yapılır. MDF paneller genellikle ön ısıtmaya (kızılötesi IR veya konvansiyonel fırınlarda) tabii tutulduktan sonra toz boya elektrostatik olarak MDF yüzeyine uygulanır. Son olarak UV veya IR kızılötesi fırın içerisinde toz boya erime ve kürlenme işlemi gerçekleştirilir [46]. MDF yüzeylerine uygulanan elektrostatik toz boya işlem basamakları Şekil 2.43’de gösterilmektedir.



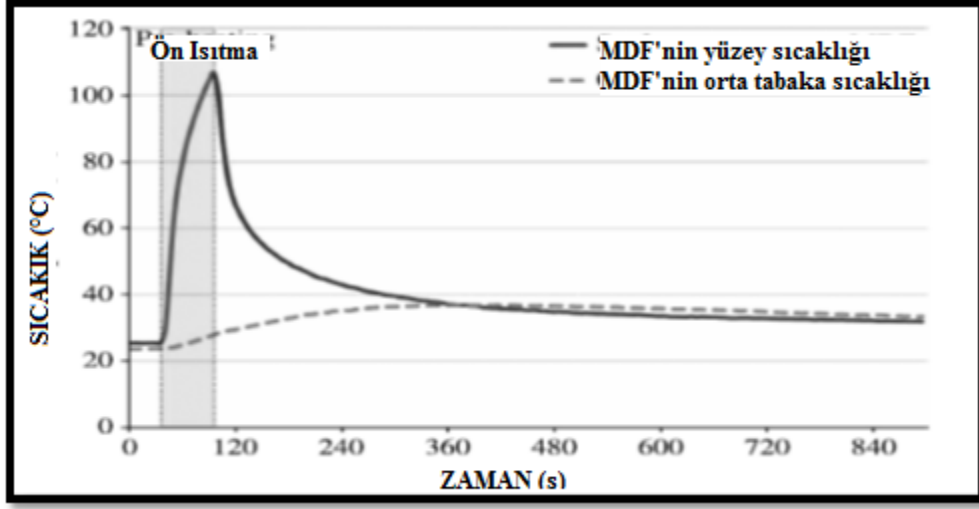
Şekil 2.43: Toz boyama işlem safaları [44].

Barletta [45] Günümüz teknolojisinde metal levhalar termoset toz boya ile elektrostatik olarak kaplanmakta ve 8 ile 15 dakika aralığında yüzey sıcaklığının 200°C ve üzeri olduğu sıcaklıklarda, konvansiyonel fırınlarda kürlenmesi sağlandığı belirtilmiştir. Ancak liflevhaların benzeri bir ısıl işleme tabii tutulmaları halinde deformasyonlar, hatta yüzeyde kısmi yanmalar görülecek olması nedeniyle liflevhaların kaplanmasında düşük sıcaklıkta kür olabilen toz boyaların kullanılması gerektiği belirtilmiştir. Isıya duyarlı yüzeyler için uygulanacak toz boyanın 150 °C'nin altında olması gerektiği ifade edilmiştir [45].

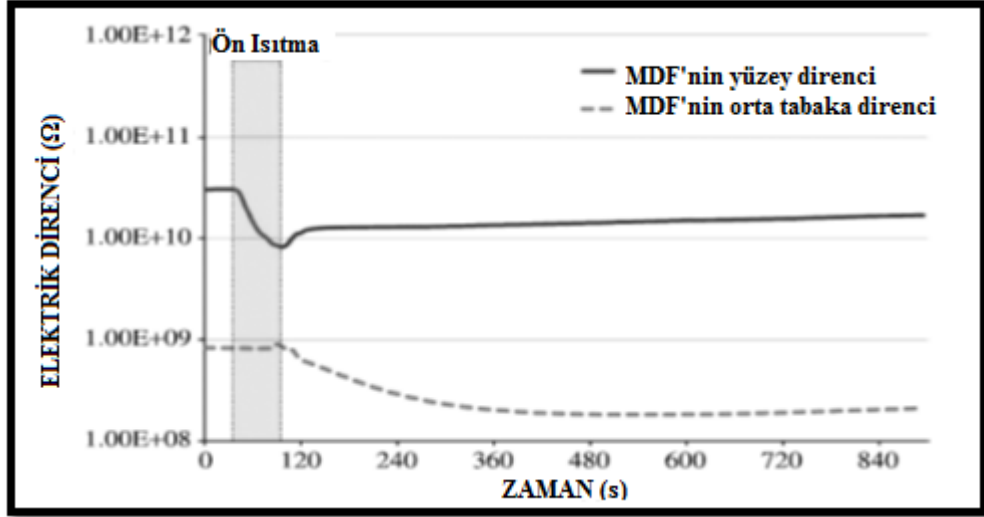
Jocham ve diğ. [5] yaptıkları çalışmada, toz boya teknolojisi metal yüzeyleri kaplamasından liflevha kaplamasına transfer edilirken, levha yüzeylerinde kaplama kalınlığı oluşumu ve ideal bir yapışmanın sağlanabilmesi için liflevha yüzeylerine çeşitli mühendislik uygulamalarının yapılması gerektiğini belirtmişlerdir. Elektrik iletkenliğinin olmaması büyük bir problemdir. Toz boyamada öncelikli olarak elektrostatik püskürtme ekipmanları kullanıldığından dolayı,

yüzeyde yeterli elektrik iletkenliği büyük bir gereklilik olduğunu ve doğru bir rutubet içeriğinin önemli bir rol oynadığını ifade etmişlerdir.

Jocham ve diğ. [5] yaptıkları çalışmada, orta yoğunlukta liflevhaların toz boyama işlemi esnasında katman oluşumunu geliştirmek için ön ısıtma işlemi gerçekleştirmişlerdir. Elektrik direnci, uygulanan sıcaklık ve rutubet miktarı toz boya uygulamasının geliştirilmesi açısından büyük önem arz ettiği bildirilmiştir. Bu amaçla, yeni çok yönlü bir yöntemle ön ısıtma esnasında elektrik direnç ölçümü (yüzey ve orta tabaka dirençleri) geliştirmişlerdir. Şekil 2.44 ve Şekil 2.45’de levha yüzey sıcaklığı yükselirken elektriksel direncinde ani düşüş gözlemlendiği ve kızılötesi fırından çıkmadan önce kısa süreliğine minimum seviyeye ulaştığını belirtmişlerdir. Yüzey direnci 3×10^{10} ‘dan 8×10^8 ’e düşmüştür ve yüzey sıcaklığının düşmesiyle birlikte dirençte çok az bir yükselme meydana geldiği bildirilmiştir [5].



Şekil 2.44: 25 mm kalınlığında MDF levhanın ön ısıtma işlemi esnasında yüzey ve orta tabaka sıcaklık değişimi [5].



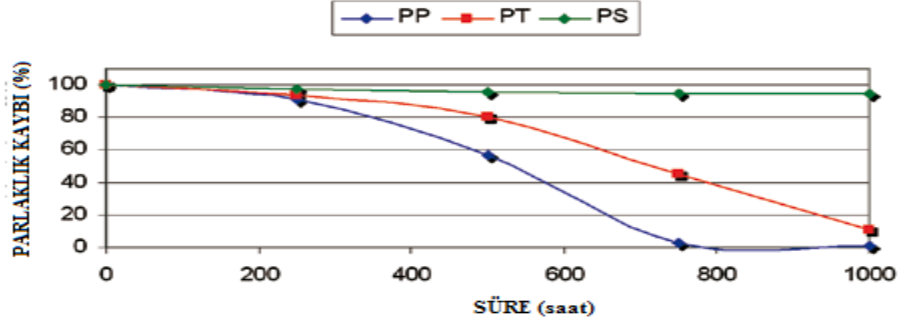
Şekil 2.45: Ön ısıtma işlemi öncesinde 23 °C ve %40 bağıl nem şartlarında denge rutubetindeki MDF'nin, ön ısıtma işlemi esnasında yüzey ve orta tabaka elektriksel direnç değişimi [5].

Knoblauch [47] tarafından, MDF yüzeylerine tek kat boya, yüksek parlaklık (High-gloss), UV-kürlenmeli toz boya uygulaması son yıllara kadar üretilmediği, fakat yapılan araştırma ve geliştirme çalışmaları sonucunda hem laboratuvar ortamında hem de parke uygulamalarında, MDF yüzeylerine UV-kürlenmeli tek kat ve yüksek parlaklık değerine sahip toz boya uygulaması geliştirildiği bildirilmiştir. Yapılan çalışma sonucunda 70 ile 90 arasında yüksek parlaklık değerleri elde edildiği ifade edilmiştir [47].

Barletta ve diğ. [93] Toz boyaların görünüş özellikleri mekanik özellikleri, dayanıklılık yapışma ve aşınma dayanımı malzemenin formulasyonu ile birlikte özellikle fırınlanma süresi ve sıcaklığa bağlı olduğu belirtilmiştir. Birçok toz boya uygulama maliyetleri fırınlama prosedürü ile ilgili olduğu ve birçok bilim adamı fırınlanma prosedürüne göre film özelliklerini incelemektedir. Epoksi esaslı toz boyanın kürlenme prosesinin ilk aşamasında, çizilme, yapışma ve aşınma dirençleri çok zayıf olmasına rağmen iyi bir film görüntüsü verdiği bildirilmiştir. Çizilme ve aşınma dirençleri bakımından tamamen kürlenmiş film maksimum potansiyele ulaştığı ifade edilmiştir. Genel olarak polimerik filmlerin çizilme direnci, yapışma direnci ile ilişkili olduğu belirtilmiştir [93].

Okadaa ve diğ. [94] Geleneksel termoset esaslı toz boyalar, epoksi, polyester/epoksi, polyester/triglycidyl isocyanurate (TGIC), polyester/ bloke polyisocyanate ve glycidyl fonksiyonel akrilik reçine (GMA-akrilik reçine) /dibasik asit olmak üzere beş büyük kürlenme sistemleri olarak sınıflandırılmıştır. Bu sistemler arasında, polyester sistemlerin avantajları ve düşük maliyetlerinden dolayı dünya toz boya pazarında büyük rağbet görmektedir. Hem COOH hem de OH fonksiyonel polyester toz boyalar, esneklik ve dayanıklılık gibi iyi mekanik ve görünüş özelliklerine sahiptir. Dış hava koşullarına karşı geleneksel polyester sistemlerinin diğer sistemlerden daha dayanıklı olduğu ifade edilmektedir [94].

Jochen [95] polyester toz boyalarda, kürlenme ajanı olarak en yaygın kullanılan β -hydroxyalkylamide (Primid XL 552) veya aromatic glycidyl esterdir (Araldite PT 910). Polyester reçinesi boyanın temel özelliklerine belirlemektedir. Standart (PP), yüksek kaliteli (PT) ve süper dayanıklı (PS) olmak üzere üç farklı polyester esaslı toz boyalar, ksenon ark lambalı yaşlandırma testine maruz bırakılarak parlaklık kayıpları incelenmiştir. Şekil 2.46'da görüldüğü gibi, en iyi sonucu süper dayanıklı toz boyada elde edildiği bildirilmiştir [95].



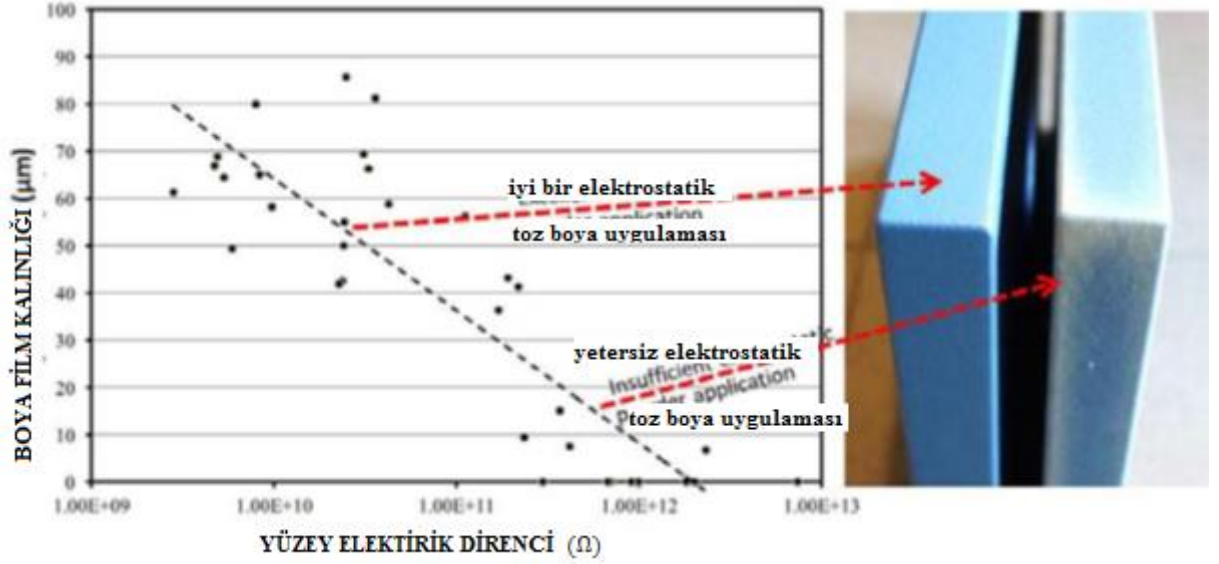
Şekil 2.46: Ksenon ark ışığı altında farklı formulasyonda hazırlanan polyester esaslı toz boyaların parlaklık kayıplarının karşılaştırılması [95].

Epoksi, akrilik ve hibrit boyalar, pullanma, aşınma, korozyon ve kimyasallara karşı geliştirilmiş dirençleri sayesinde mükemmel bir yapışma ve sertlik sağlamaktadır. Ayrıca herhangi bir çatlama oluşmadan yeterli esneklik elde edilebilmektedir. Polyester boyalar ultraviyole ışınlar ve dış hava koşullarına karşı ekstra avantaj sağlamaktadır. Film kalınlığı azaldıkça, toz boyanın partikül boyutlarına bağlı olarak yüzeylerde daha fazla portakallanma görünümü oluşmaktadır. Birçok toz boyanın partikül boyutlarının 30 ile 60 μm arasında olduğu ifade edilmektedir [96].

Ajer [96] yapmış olduğu araştırmada, farklı çeşitte termoset esaslı toz boyaların, darbe, ısı, kimyasal ve korozyon dirençleri araştırmış ve epoksi esaslı toz boyanın iyi bir darbe, ısı ve korozyon direncine sahip olduğunu bildirmiştir. Ayrıca diğer termoset esaslı toz boyalara karşı epoksi esaslı toz boyalar, solvent, asit ve alkalilere karşı kimyasal direnci daha dayanıklı olduğunu ifade etmiştir. Fakat UV ışığa maruz bırakıldığında sararmalar ve tebeşirmeler meydana geldiği belirtmiştir. Hibrit esaslı toz boyalar epoksi esaslı toz boya ile karşılaştırıldığında, tebeşirlenme eğiliminde azalma ve sararma karşı daha dayanıklı olduğu, fakat solventlere karşı daha az dirençli olduğu bildirilmiştir. Akrilik esaslı toz boyalar dış ortam koşullarına karşı dayanıklı olduğu ve yüksek parlaklık seviyesine sahip olduğu, ancak özel depolama koşulları gerektirdiği ifade edilmiştir [96].

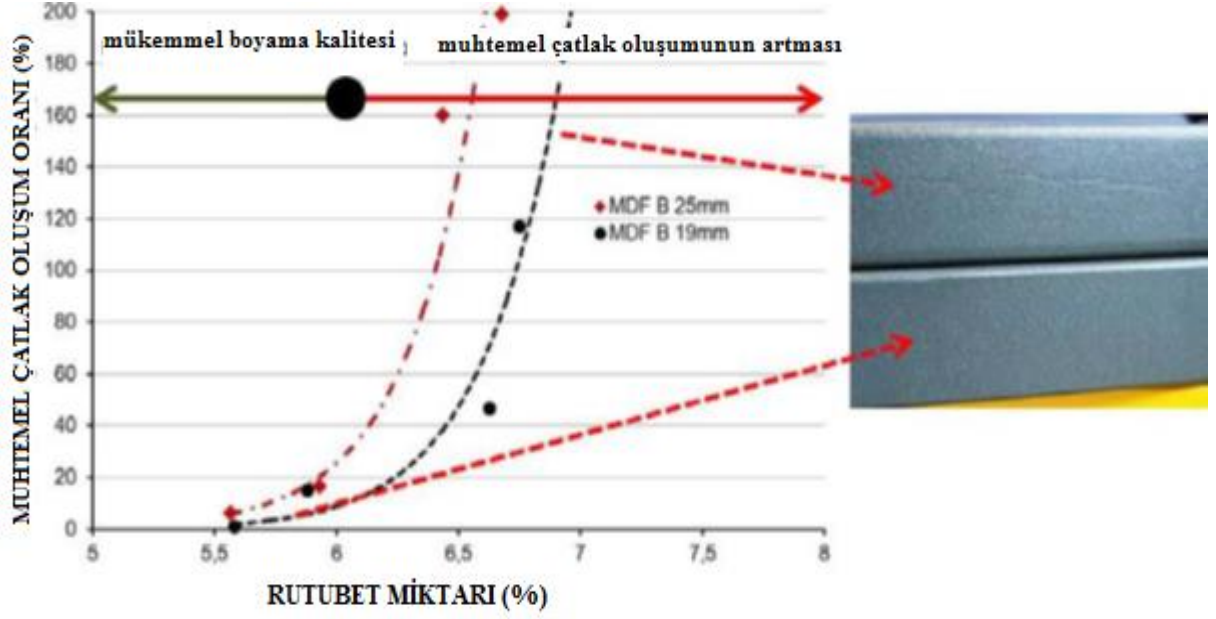
MDF kenarlarındaki boya film kalınlıklarının, MDF elektrik direnci arasındaki ilişki Şekil 2.47'de gösterilmektedir. Elektrik direncinin artması ile boya film kalınlıklarında azalma olduğu kanıtlanmaktadır. Yüzey elektrik direnç değeri 10^{11} Ohm'den büyükse boya film kalınlığı çok ince olmaktadır. Boyanmış levhanın bazı kenar kısımlarında levha görünmekte (dip çıkması) ve istenmeyen boyama kalitesine sebep olmaktadır. (Şekil 2.47) Yüzey elektrik

direnç değeri bu gibi kritik değerlerde olsa bile, düzgün yüzeyler için birçok durumlarda kabul edilebilir olabilir, fakat levha kenarları genellikle boyanmamış olarak kalmaktadır. Böylece, yüzey elektrik direnci 10^{11} Ohm küçük ise elektrostatik toz boya uygulaması için yeterli kritik sınır değeri olarak değerlendirilebilir [99].



Şekil 2.47: MDF yüzey elektrik direncine bağlı olarak kenar elektrostatik toz boya film kalınlıkları [99].

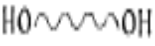
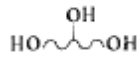
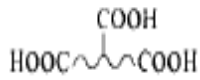
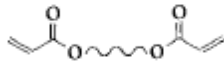
MDF yüzeylere toz boya püskürtme işleminden sonra fırında erime ve kürlenme esnasında, levha kenarlarında çatlaklar meydana gelebilir. Genellikle, bu problem MDF'nin yoğunluk profili ve iç yapışma direncini etkilemektedir. Ayrıca bu problem ham MDF'nin rutubet miktarı ile ilişkilidir. Özellikle, levhaların depolanması ve taşınması esnasında meydana gelen iklim değişiklikleri toz boyama öncesinde levhaların rutubet miktarlarında değişikliğe sebep olmaktadır. Bu değişiklik boyama kusurlarına sebep olabilmektedir. Nem miktarının artması ile birlikte muhtemelen çatlama oluşumlarında artış gözlenmektedir. Yüksek rutubet miktarı (Örneğin %7) fırında erime ve kürlenme işlemlerinden sonra tipik çatlamlar gözlenmiştir. (Şekil 2.48) rutubet miktarı düşük aynı MDF'de (örneğin %5) mükemmel boyama kalitesi elde edilmiştir [99].



Şekil 2.48: MDF rutubet içeriğinin elektrostatik toz boya uygulanmış MDF kenarlarında muhtemel çatlak oluşumuna etkisi [99].

Boya üretiminde kullanılan doymuş polyester reçineler, genellikle birkaç polykarboksilik asit ve polyalkollerden oluşan kopolyesterlerdir. Kopolyester reçinelerinin camsı geçiş sıcaklıkları, seçilen uygun hammaddelerden geniş sınırlar içinde değişkenlik gösterebilir. Farklı polimer birimleri (polyethers, polysiloxanes) molekül zincirlerin kondenzasyonu ile birleştirilebilir. Termoset esaslı boyalar oluşturmak için boyların sertleşmesi esnasında, hidroksil veya karboksil gruplarının bağlantı uçları yerine, moleküller, uygun tepkimeye giren maddeler ile çapraz bağlanma yapabilen diğer fonksiyonel grupları (akrilik veya eposid gruplar) içerebilir. Boyalarda kullanılan doymuş polyester reçineleri, düşük veya yüksek moleküler ağırlıkta, lineer veya dallanmış, katı ve sıvı olarak, yumuşak/elastik veya sert/kırılgan ve amorf veya kristal yapılarda olmak üzere çeşitli formulasyonlarda elde edilebilir. Kullanılan çapraz bağlanma ajanları ve kullanım yerlerine göre doymuş polyester boyaların sınıflandırması Tablo 2.8’de verilmiştir [100].

Tablo 2.8: Boyalarda kullanılan doymuş polyester reçinelerinin sınıflandırılması [100].

Yapısı	Sınıf	M _r (Ortalama Moleküller Ağırlığı)	Çapraz Bağlanma Ajanı	Kullanım Alanı
	Lineer, yüksek moleküler kütlesi	10000 -30000	Melamin reçineler, benzoguanamine reçineler	Bobin / metal kutu boyamada, esnek ambalajlama, baskı mürekkeplerinde
	Lineer, düşük moleküler kütlesi	1000 - 7000	Melamin reçineleri, blok poliizosiyanat reçineleri	Bobin / metal kutu boyamada, otomobil / endüstriyel boyamalarda
	Dallanmış, düşük moleküller kütlesi, hidroksil - fonksiyonel	1000 - 5000	Melamin reçineler, serbest / blok poliizosiyanat reçineleri	Otomobil / endüstriyel boyamalarda, poliüretan / toz boyalarda
	Dallanmış, düşük moleküller kütlesi, karboksil - fonksiyonel	1000 - 5000	Triglycidylisocyanurate, epoksi reçineler, melamin reçineler	Toz boyalarda, su bazlı boyalarda
	Düşük moleküller kütlesi, akrilat grup içeren	1000 - 5000	UV ve elektron – ışınlı kürlenme	Kâğıt / plastik boyamada, baskı mürekkeplerinde

Doymamış polyester boyalar mobilya, taşıtlarda ve mineral maddelerde kullanılmaktadır. Doymamış polyester reçineler, stabilizatör, hızlandırıcılar, sertleştiriciler, pigmentler, dolgu maddesi, bariyer ajanlar, akışkanlık kazandıran maddeler, hava alma ajanları, tiksotropik ajanlar ve fotobaşlatıcılar kullanılarak formüle edilmiş doymamış polyester boyalar oluşturulmaktadır. Boyalar esasen monomerler içermektedir. Ayrıca stiren, özellikle UV kürlenmeli boyalarda en çok kullanılan monomerdir. Boyaların reolojisi, akışkanlığı mekanik ve kimyasal özellikleri sararmaya karşı direnci ve film rengini etkileyen katkı maddeleri, reçine /sertleştirici sistemleri açısından istenilen boya özellikleri boyaların formülasyonları ile belirlenmektedir [100].

Epoksi reçineler genellikle yalnız başına kullanılmaz, fakat kürlenme için reaksiyon partnerine ihtiyaç duyarlar. Reaksiyon partnerlerinin birçoğu oda sıcaklığında veya yüksek sıcaklıklarda kürlenmesi için kullanılabilir. Kürlenmiş filmler, yüksek yapışma, esneklik, sertlik, aşınma direnci korozyona ve kimyasallara karşı yüksek dirence sahiptir. En önemli epoksi reçine ve kürlenme ajanlarının kombinasyonları Tablo 2.9’da gösterilmektedir. Moleküller kütlelerine bağlı olarak bizfenol A epoksi reçineleri, epoksi veya hidroksil grupları ile polyaddition tarafından kürlenmektedir. Poliaminler, politiyoller ve poliizosiyanatlar oda sıcaklığında kürlenmeye uygundur. Poliharhidritler, polifenoller, asitler ve karboksi işlevli polyesterler yüksek sıcaklıklarda kürlenmeye uygundur. Epoksi reçineleri amino reçineler veya fenolik reçineler ile polikondenizasyon reaksiyonu ile kürlenme gerçekleştirilebilir. Epoksi reçineleri, tersiyer aminler, boron trifluorür kompleksleri, ferrosenler ve triarilsülfonyum tuzları gibi katalizörler ile polimerizasyon reaksiyonu gerçekleştirilebilir [100].

Tablo 2.9: En önemli epoksi reçine – kürlenme ajanı kombinasyonları ve kullanım alanları [100].

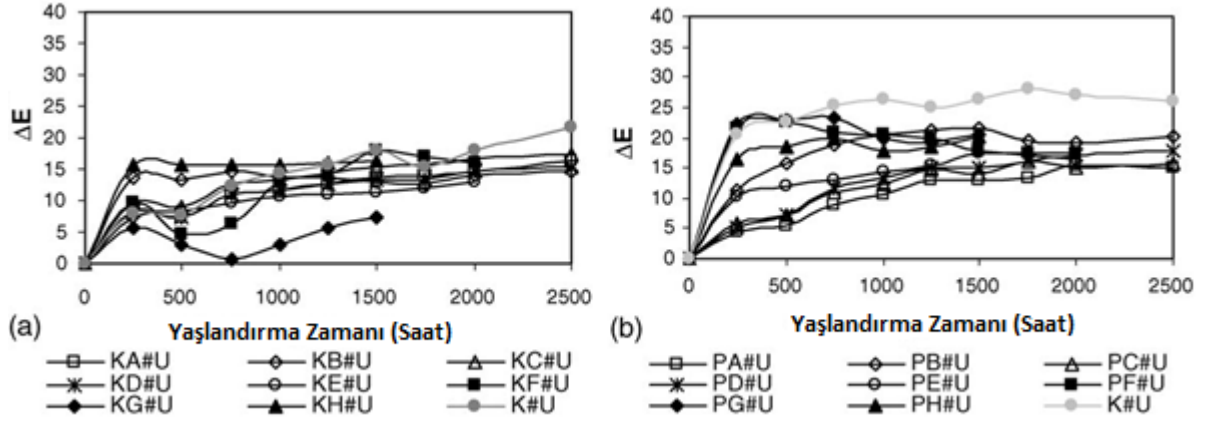
Kürlenme Ajanı	Kürlenme Mekanizması	Reçine tipi*	M _r	Kullanım alanları
Aminler ve poliamidoaminler	↑ ↑ Epoksi grup ile, oda sıcaklığında kürlenme	Sıvı	400	Yüksek korozyon korunumu için kullanılan çift komponentli sistemler ve kimyasal modifikasyon için döşeme yapı taşlarında
Poliamidoaminler ve amin katkı maddeleri	↓ ↓ ↑	Katı, Tip 1 Katı, Tip 2 Katı, Tip 3	1000	Endüstriyel bakımda ve deniz taşıtları boyama Toz boyalarda
Latent aminler	↓			
Polyesterler				
Fenolik sertleştiriciler		Katı, Tip 4	2000	Toz boyalarda
Amino reçineler	Yüksek sıcaklıklarda kürlenme	Katı, Tip 4	2000	Metal kutu boyamada ve endüstriyel boyamalar için epoksi esterleri
Fenolik reçineler	↑	Katı, Tip 6		Metal kutu boyamada
Amino reçineler		Katı, Tip 7		
Polian hidridleri		Katı, Tip 8	4000	Bobin kaplamada
Fenolik reçineler		Katı, Tip 9		Metal kutu boyamada
Amino reçineler	↓			
İzosiyanatlar			5000	İki komponentli poliüretan boyalar
İzosiyanatlar		yüksek moleküllü		primerler (soğuk kürleme)
Fenolik reçineler		kütle epoksi reçineleri	10000	metal kutu ve bobin kaplamalarda
Amino reçineler				

*: 1 – 9 İlgili katı reçinelerin artan moleküler kütlesini belirtir.

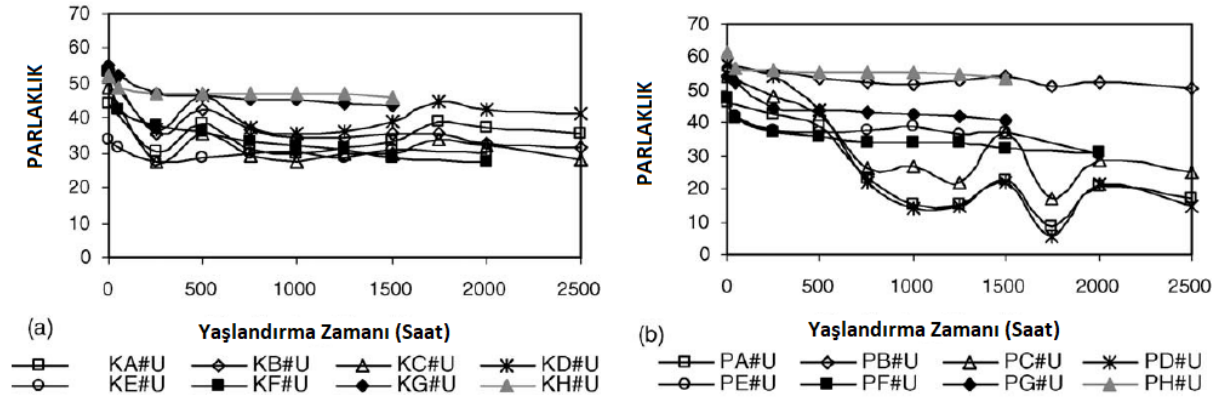
Toz boyaların film oluşturma mekanizmaları sıvı boyalara göre farklıdır. Toz boyalar fırınlama esnasında film oluşumunun temel evreleri, erime, akışkan hale gelme, jelleşme noktası ve kürlenme süreci olarak tanımlanmaktadır. Film oluşumu esnasında gerçekleşen bu evreler hem

boyanın estetik hem de koruma özelliklerini etkilemektedir. Boyanın yapısı film oluşum evrelerinin süresini etkilemektedir. Bağlayıcı tipi ve çapraz bağlayıcı, pigmentlenme (doğal ve partikül boyutu, boyayı sarması ve dağılımı) katalizör, katkı maddeleri, kürlenme ve uygulama şartları film oluşum evrelerini etkilemektedir. Dolayısıyla, bu faktörler boyanın önemli özellikleri olan yüzey düzgünlüğünü, yapışma direncini, parlaklığını, kimyasallara karşı direncini ve dış ortam koşullarına karşı direncine karar veren önemli parametreler olduğu ifade edilmektedir [101].

Custódio ve diğ. [121] yapmış oldukları araştırmada sahil çamı (*Pinus pinaster*, Ait) ve iroko (*Militia excelsa*, Ait.) ağaç malzemeler üzerine, katkı maddesi olarak renklendirici ve radyasyon stabilizatörler kullanılarak sekiz farklı formülasyonda (A, B, C, D, E, F, G, H) hazırlanan akrilik esaslı su bazlı vernik uygulamaları gerçekleştirilmiş, doğal ve yapay QUV ve ksenon yaşlandırma işlemlerine maruz bırakılmışlardır. Degradasyon esnasında, verniklenmiş malzeme yüzeylerinde oluşan fiziko-kimyasal özellikler ve görünüş özelliklerindeki değişim, yedi farklı test metodu ile değerlendirilmesi gerçekleştirmişlerdir. QUV ve ksenon yaşlandırma işlemi esnasında en büyük renk değişimi 250 – 500 saatleri arasında gerçekleştiği bildirilmiştir. A, C ve D formülasyonlarında (renklendiriciler ve en az bir stabilizatör kullanılmış) hazırlanan verniklerde daha az renk değişimi meydana gelirken, formülasyon B, F, G, H (renklendiriciler içermeyen) ve E (renklendiriciler kullanılmış, stabilizatör kullanılmamış) daha yüksek renk değişimi gerçekleştirdiğini bildirmişlerdir (Şekil 2.49). Yaşlandırma işlemi esnasında, toplam renk değişiminde olduğu gibi, parlaklık değerlerinde de 250-500 saatleri arasında büyük bir düşüşün meydana geldiği ve bu periyotlardan sonra daha az ve sabit bir şekilde düşüşün olduğu ifade edilmiştir (Şekil 2.50). Diğer vernik formülasyonları ile karşılaştırıldığında, yaşlandırma işlemi esnasında, B formülasyonu (renklendiriciler içermeyen, stabilizatör içeren) ile verniklenmiş iroko ve sahil çamlarının parlaklıklarını daha iyi korudukları bildirilmiştir.



Şekil 2.49: Iroko (a) ve sahil çamı (b) malzeme yüzeylerine uygulanmış farklı formülasyondaki akrilik esaslı su bazlı vernikli ve verniksiz örneklerin QUV yaşlandırma işlemi esnasında zamana bağlı meydana gelen toplam renk değişimi [121].



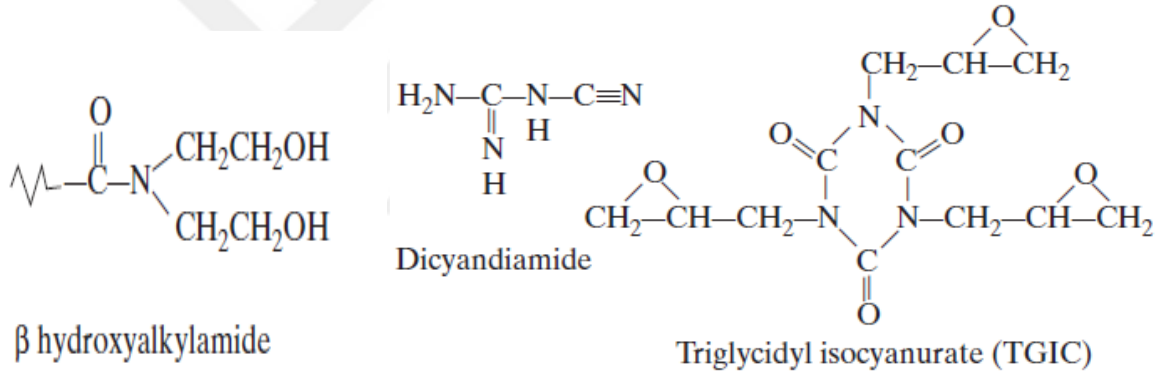
Şekil 2.50: a) Iroko (a) ve sahil çamı (b) malzeme yüzeylerine uygulanmış farklı formülasyondaki akrilik esaslı su bazlı vernikli ve verniksiz örneklerin QUV yaşlandırma işlemi esnasında zamana bağlı meydana gelen parlaklık değişimi [121].

Boya filmlerinin kalem ile çizilerek sertlik değerlerinin belirlenmesi, filimin kopma anındaki uzaması ile ilişkilendirilmiştir. Boyalar maksimum yüke maruz kaldıklarında, kırılma meydana gelmektedir. Bu yüzden boya filminin çekme direnci aşıldığında, kalem veya farklı aletler ile çizilme işlemi gerçekleştirilmektedir [102].

Toz boya üretiminde epoksi reçine kombinasyonlarının kullanımı oldukça yaygındır ve temelde bisfenol reçinelerinin aminlerle (özellikle disiandiamid türevleri) veya fenolik çapraz bağlayıcılar ile kürlenmesi ile gerçekleşir. Hibrit sistemler olarak adlandırılan toz boyalar doymamış polyester ve epoksi ile karışımından elde edilebilir. Toz boya formülasyonlarında Dimerize yağ asidi modifikasyonu film düzgünlüğü, yapışma direncini geliştirmek için

uygulanır. Sertlik değerini yükseltmek için, epoksitlenmiş novalaklardan elde edilen dallanmış epoksi reçine türleri kullanılabilir. Ayrıca epoksi toz boyaların kürlenmesi için, dikarboksilik asit anhidritleri ve asidik poliestерler kullanılır ve bu formülasyonlar, amin ile kürlenmiş epoksilerden çok daha iyi performans özelliklerine sahiptirler [102].

Polyester esaslı toz boyalar hidroksil fonksiyonel (melamin/formaldehit veya maskeli izosiyanat kürlenme ajanları kullanılır) veya mükemmel dayanıklılık ve renk kararlılığı sağlayan epoksi reçine, triglycidyl isocyanurate (TGIC) ile formüle edilebilir. Toz boyaların kürlenmesi için maskelenmiş izosiyanatları bloke etmek için kaprolaktam kullanılır. Fakat bu ajan, kürlenen filmde ayrılması sonucunda istenmeyen problemlerle karşılaşılabilir. Toz boyalarda kullanılan tipik kürlenme ajanları Şekil 2.51’de gösterilmektedir. TGIC maddesi toksik etkiye sahip olduğundan dolayı bunun yerine b-hydroxyalkylamides kullanılmaktadır.



Şekil 2.51: Toz boyalarda kullanılan bazı kürlenme ajanları.

Düşük sıcaklıklarda kürlenme özelliği gösteren toz boyalarda ($121^\circ\text{C} - 149^\circ\text{C}$) doğal olarak reaktif özelliği yüksektir. Kürlenme esnasında, termoset reaksiyon olmadan önce yüksek reaktif özellikteki toz boya partiküllerinin çok iyi bir akışkanlık kazanmasına izin vermemektedir. Ya reçine seçimi ya da vizkozite düşürücü katkı maddeleri kullanımı ile istenilen kürlenme koşullarında formüle edilmiş toz boyanın vizkozitesi çok düşük olacağından dolayı boyanın iyi bir akışkanlık kazanmasını ve düzgün bir yüzey elde edilmesini engelleyecektir. Sonuç olarak oluşan filmde portakallanma görünümü oluşacaktır [97].

Wuzella ve diğ. [98] yapmış oldukları araştırmada fırınlanma esnasında toz boyanın değişen viskozitesi aynı ısı değeri elde edilmiş DSC termogramı eşleştirilmiş ve hem çapraz bağlanma

reaksiyonun ilerlemesi hem de aktivasyon enerjisi ile ilişkilendirilmiştir. Çapraz bağlanma derecesi boyanmış malzemenin yüzey özellikleri ile ilişkili olabileceği ifade edilmiştir [98].

Toz boyalarda kullanılan, reçine, kürlenme ajanı, dolgu maddeleri, katkı maddeleri boyanın film özelliklerini belirlemektedir. Özellikler, boyanın yüzey düzgünlük performansı (levelling) polyester reçine ve kürlenme reaktifitesinin viskozitesinden etkilenmektedir. Şekil 2.52’de kürlenme esnasında, film oluşum davranışı üç evrede incelenmektedir. Birinci evrede, tozlar erimeye başladığında, boyanın viskozitesi yükselmektedir. İkinci evrede, toz boya akışkan hale gelmeye başladığında, viskozite düşmektedir. Üçüncü evrede, toz boya çapraz bağlanma gerçekleştirdiğinde, viskozite hızlı bir şekilde yükselmektedir. Toz boyanın kürlenme mekanizmasına göre, film yüzey düzgünlük performansı, ikinci ve üçüncü evrelerdeki reolojik davranışa bağlıdır. Toz boyalarda lineer moleküler zincir yapısı, viskoziteyi düşürmeye yardımcı olurken, yüzey düzgünlük performansını (levelling) iyileştirmektedir. Ancak lineer yapı, Tg düşmesine neden olacağından dolayı, boyanın depolama koşullarına olumsuz etkilenmesi söz konusudur. Bu sırada, düşük reaktifte de yüzey düzgünlük performansını iyileştirmesine katkı sağlamaktadır. Ancak iyi kürlenmemiş boya, zayıf film özellikleri gösterebilir. Bu nedenle toz boyalarda, yüzey düzgünlük (levelling) performansını iyileştirmek oldukça zordur [102].



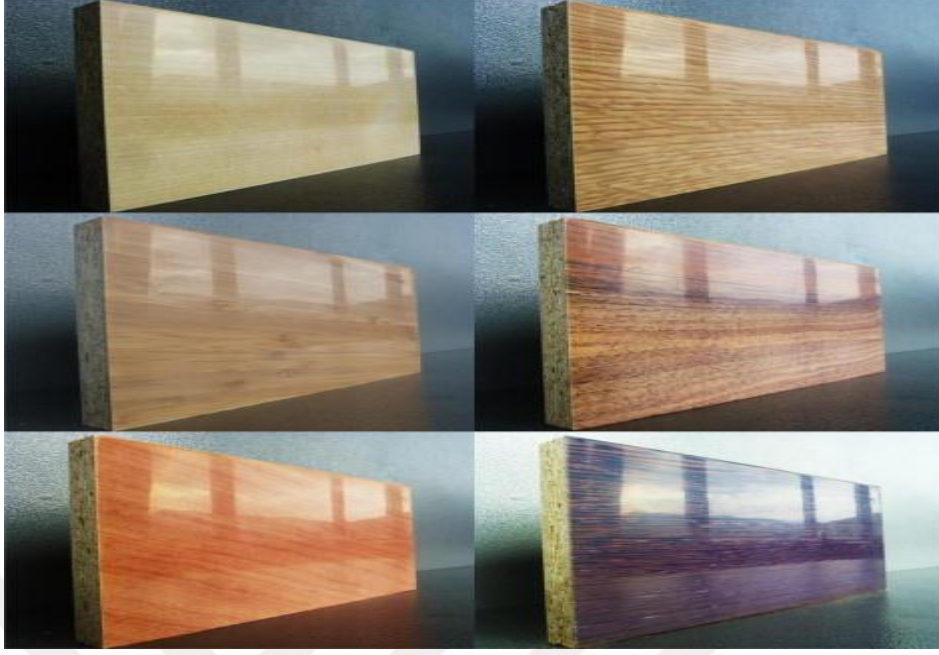
Şekil 2.52: Kürlenme esnasında film oluşum davranışı [102].

Gheno ve diğ. [103] tarafından boya film özelliklerini belirlemede reçine seçimi önemli bir etkiye sahip olduğu bildirilmiştir. Avrupada en çok polyester esaslı toz boyalar kullanılmakta olduğu ve bu boyalar standart ve süper dayanıklı (superdurable) boyalar olarak üretilmekte olduğu belirtilmiştir. Standart dayanıklı (standard durable) polyester boyalarda terephthalic diacid (TPA) kullanılırken, süper dayanıklı polyester esaslı toz boyalarda isophthalic acid (IPA) kullanılmaktadır. TPA'nın yerine IPA'nın kullanılması boya filminin daha düşük esnekliğe

sahip olmasını sağladığı ve TPA kullanılan toz boya formülasyonlarının, çapraz bağlanma yoğunluğu, termal genleşme katsayısı, ve camsı geçiş sıcaklıkları gibi özelliklerine etkisinden dolayı daha iyi mekanik özellikleri sahip olduğu ifade edilmiştir.

Parlaklık kaybı parametresi örneklerde meydana gelen fiziksel bir değişimdir. Renkli filmin ve bağlayıcı yapısının bozunmasından dolayı yüzeyde meydana gelen kabarma veya pürüzlü yüzeyler parlaklık kaybına neden olmaktadır [103]. Gheno ve diğ. [103] tarafından, dört farklı formülasyonda hazırlanmış standart dayanıklı polyester esaslı toz boyalar ve yedi farklı formülasyonda hazırlanmış süper dayanıklı polyester esaslı toz boyalar, UVB lambalı hızlandırılmış yaşlandırma testine tabi tutulmuş ve ilk 275 saatlik dilimde standart dayanıklı polyester esaslı toz boyanın parlaklık kaybı ortalama % 5 seviyelerinde gerçekleştiği, 400 saat yaşlandırmadan sonra parlaklık kaybının hızla yükseldiği ve 1000 saatin sonunda %75 parlaklık kaybının meydana geldiği belirtilmiştir. Süper dayanıklı polyester esaslı toz boyalarda ise, 750 saat yaşlandırma sonucunda %10'dan daha düşük parlaklık kaybının yaşandığı ve yaşlandırma testi sonunda parlaklık kaybının %50 - %61 olduğu ifade edilmiştir.

Badila ve diğ. [104] yapmış oldukları çalışmada, yongalevha üzerine akçağaç (*Acer platanoides*), bambu (*Phyllostachys pubescens*), kayın (*Fagus sylvatica*), armut (*Juglans regia*), meşe (*Quercus robur*) ve venge (*Millettia laurentii*) ahşap kaplamalar ile kaplamışlardır. Daha sonra yüzeylerine transparan yüksek reaktivite özelliği olan epoksi/polyester esaslı toz boya (Drylac serisi 530), 130 °C sıcaklıkta, 8 dakika, pres basıncı 64 N/cm² parametrelerde preslenerek kürlenmesi sağlanmış. Şekil 2.53'de gösterilen, transparan elektrostatik toz boya ile verniklenmiş ahşap kaplamalı yongalevhaların, yapışma direnci çapraz kesim metodu belirlenmiş ve tüm ahşap kaplama türleri için, 37 – 286 µm arasında değişen boya film kalınlıklarında yapışma direnci “çok iyi” olarak derecelendirilmiştir.



Şekil 2.53: Transparen elektrostatik toz boya ile verniklenmiş ahşap kaplamalı yongalevhalar [104].

Mazumder ve diğ. [105] tarafından, toz boyanın, partikül boyutları, kimyasal yapısı, tribo ve korona uygulama yapısı, elektiriksel özdirenci, higroskopisitesi (nem alıp vermesi), akışkanlığı, partikül formu gibi özellikleri, boyanın uygulama verimini, film kalınlığı, yapışma direnci ve görünüş özelliklerini etkilediği belirtilmiştir.

Son yıllarda literatürde yapılan çalışmalara göre, [46, 48, 49] MDF panel yüzeylerinin toz boya ile kaplanmasında öncelikle MDF'nin rutubet içeriği önemli bir etkiye sahip olduğu ifade edilmiştir. MDF yüzeylerinin elektrostatik uygulama ile toz boya kaplanmasında en büyük zorluklardan birisi malzemenin yeterli elektrik iletkenliğine ihtiyaç duymasındır. Ancak iletkenlik, metal malzemelerde olduğu gibi yüksek olmasına gerek yoktur ve bu konu hakkında yapılan yeni gelişmeler ışığında, gerek MDF levha içerisinde, elektrik iletkenliği artırıcı katkı maddeleri ilave edilmesi, gerekse toz boya formülasyonlarında yapılan modifikasyon işlemleri sayesinde, ahşap esaslı levha yüzeyleri toz boya uygulaması için uygun hale getirilmektedir. Genellikle elektrostatik toz boya uygulaması yapılabilmesi için MDF yüzeylerinin elektrik direnci 10^{11} Ohm'dan düşük olması gerekmektedir [50, 51].

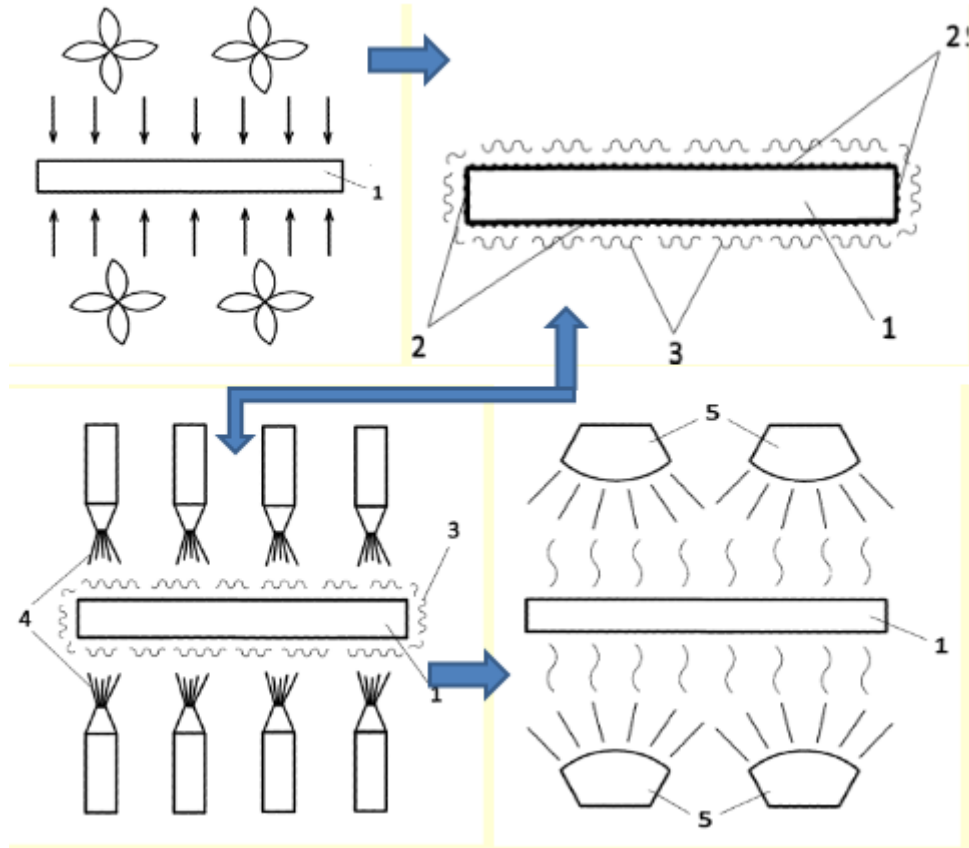
2016 yılında Akay Karateke tarafından [52], “Ahşap Ürünler Üzerine Statik Boya (Toz Boya) Transfer Edilebilmesi İçin Geliştirilmiş Yöntem” başlığı adı altında alınan patent özellikle mdf, yongalevha gibi ahşap malzemelerden üretilmiş ürünler üzerine statik boya (toz boya)

transferinin kolay bir şekilde yapılabilmesi ve pürüzsüz bir yüzey elde edilebilmesi amaçlanmıştır. Ahşap ürünler üzerine statik boya (toz boya) transfer edilebilmesi için geliştirilmiş yöntem olup, özelliği; toz boyanın poliüretan malzeme üzerine tamamen nüfûs etmesinin sağlanması için önce kalıp içine homojen olarak dağıtılan statik boyanın (toz boyanın) toz kıvamından katı kıvama geçene kadar ısıtılması ve toz boyanın kimyasal ve/veya fiziksel reaksiyonunu tamamlamadan kürleşmenin ilk evresinde ısıtma işleminin durdurulması, sonrasında ise toz boya üzerine poliüretan malzeme dokülerek toz boyanın kimyasal ve/veya fiziksel reaksiyonunu tamamlayana kadar poliüretan malzeme ile birlikte ısıtılması ile karakterize edilmektedir.

2015 yılında Pulver Kimya San. Tic. Aş. tarafından [53] “Isıya Duyarlı Levhaların Toz Boya Kaplanması İşleminde Kullanılan Isıtma Sisteminde Yenilik” başlığı adı altında yapılan buluş, ısıya duyarlı yüzeye sahip ürünlerin enerji emme spektrumu olan hammadde ile kaplanmasında gerekli olan homojen ısıtma düzenini sağlamak amacıyla geliştirilen parça yüzeyindeki ısıtma dengesizler azaltan, cebri hava fanları gerektirmeyen ısıtma sistemi ile ilgilidir. Özellikle kızılötesi ısıtma yöntemi ile ısıtma gerçekleştiren, bu sayede enerjiyi absorb edebilen ve bu yol ile çok kısa sürelerde, kimyasal reaksiyon sıcaklıklarına ulaşabilen, özgün şekillerde uygulama sağlayan algoritmaları içeren elektrostatik toz boyama için kullanılan ısıtma sistemidir. Söz konusu ısıtma sistemi panel levha gibi ısıtılacak ürünler için, yüzeydeki ısıtma yolu ile oluşan ısıtmanın, panel levhanın katmanlarının içine aktarılmadan önce yüzeyinde toz boya gibi enerji emme spektrumu olan hammaddelerin kimyasal reaksiyonun tamamlanması için oluşturulmuştur.

2014 yılında Pulver Kimya San. Tic. Aş. tarafından [54] “Elektrostatik Toz Boya İle Kaplama Yöntemi” başlıklı buluş, ahşap malzemelerin elektrostatik toz boya ile mümkün olduğunca sağlıklı bir şekilde kaplanmaları için geliştirilmiş bir elektrostatik toz boya kaplama yöntemidir. Elektrostatik toz boya ile kaplanacak yüzey üzerindeki her noktaya eşit miktarda su kütlesi gerçekleştirebilmek amacıyla boyanacak olan malzeme öncelikle soğutulur. Malzemeye uygulanan soğutma işlemi tercihe bağlı olarak değişebilmektedir. Soğutma yöntemi cebri soğutma olabileceği gibi boyanacak olan malzemenin kontrollü iklim şartları bulunan bir ortamda bekletilmesi ile de yapılabilir. Soğutularak sıcaklığı düşürülen malzeme atmosferik şartlarda, kendi sıcaklığından yüksek sıcaklıkta ve neme doymuş olan bir ortamda bekletilmeye başlanır. Ortam sıcaklığından daha düşük bir sıcaklığa sahip olan malzeme

etrafındaki havadan ısı çeker ve havanın ısı kaybı sebebiyle artık taşıyamaz hale geldiği fazla su buharı malzeme üzerinde yoğunlaşarak bir çiy tabakası oluşmasını sağlar (Şekil 2.54). Çiy tabakası oluşumu sonucunda malzeme yüzeyi üzerinde homojen şekilde konumlanan su molekülleri ve çiy tabakasının etrafını saran su buharı tüm yüzey üzerinde düzgün bir şekilde dağılan elektriksel bir alan oluşmasını sağlar. Elde edilen düzgün bir elektriksel alandan faydalanılarak boyanacak yüzey üzerine elektrostatik toz boya atılır. Malzeme yüzeyi elektriksiz alan sayesinde elektrostatik toz boya yüzeye tutunur ve yüzey homojen olarak toz boya tabakası ile kaplanır. Elektrostatik toz boya ile kaplanan yüzeyler, tercihen kızılötesi ve morötesi ışınlarla, tekniğin bilinen durumundaki ısıtma yöntemlerinden herhangi biriyle elektrostatik toz boya zerreciklerinin eriyerek malzeme yüzeyine yapışması için ısıtılırlar. Bu işlem sayesinde elektrostatik toz boya eriyerek yüzeye yapışır ve kuvvetli bir yapışma gerçekleşmiş olur.



Şekil 2.54: Ön Soğutma işlemi uygulanarak malzeme yüzeyine elektrostatik toz boya ile kaplanması (1: Malzeme, 2: Çiy tabakası, 3: Su buharı, 4: Elektrostatik toz boya, 5: Isıtıcı) [54].

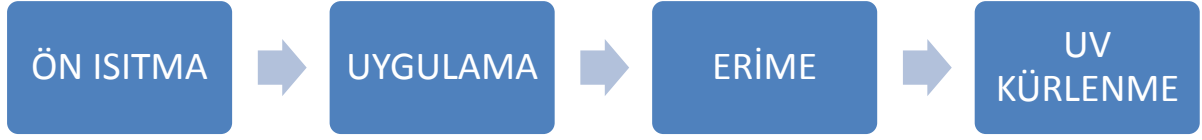
2012 yılında Mustafa Altuntaş tarafından, [55] “Yalıtkan ürünlerin elektrostatik toz boya ile boyanmasına olanak veren astar boya karışımı” başlıklı buluşu; iletken olmayan ürünlerin

elektrostatik toz boya ile boyanmasına olanak veren astar boya karışımına ilişkindir. Astar boya karışımı iletken metal tozu, astar boya, epoksi reçine ve hızlandırıcı maddelerinden oluşmaktadır. Astar boyanın elektrik ileten bir yapıya sahip olması, karışım içerisinde yer alan iletken metal tozu marifetiyle olmaktadır. Astar boya karışımı sıvı formda olmaktadır ve ürün üzerine boya tabancası vasıtasıyla veya elde fırça ile uygulanmaktadır. Elektrik iletkenliği kazandırılan ürün topraklanmaktadır ve bu sayede statik elektrik yüklü olan toz boya ürünün üzerine yapılaşabilmektedir. Daha sonra ürün fırınlanarak ürün üzerindeki toz boyanın erimesi ve ürün üzerinde polimerize olmasını ve kimyasal sertleşmesiyle ürün üzerine yapışmasını sağlamaktadır.

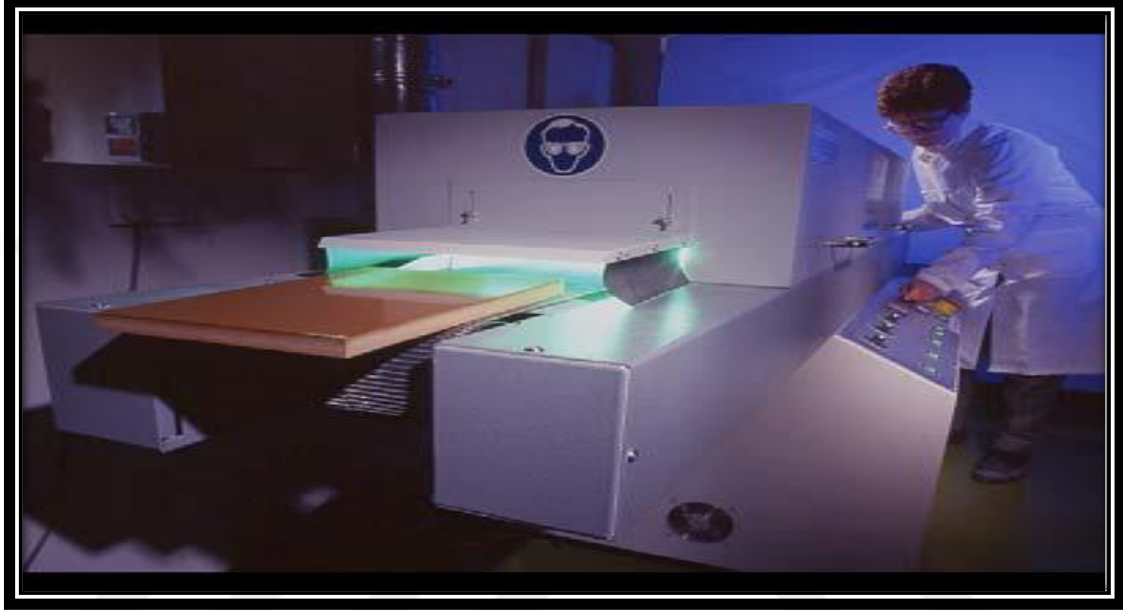
Akzo Nobel boya firması ahşap ve ahşap esaslı levha yüzeylerinde uygulanabilen, Interbon LB (low bake) ve Interbon UV (ultraviyole) olmak üzere iki çeşit elektrostatik toz boya üretimi gerçekleştirmektedir. Bu boyaların MDF yüzeylerine uygulanması için levhanın yoğunluğu minimum 750 kg/m^3 , iletkenlik değerinin sağlanması için nem içeriğinin % 8 – 10 aralığında olması gerekmektedir. Boyaların levha yüzeylerine uygulanması, termal (Şekil 2.55) ve UV kürleme işlemi (Şekil 2.56) olarak uygulanmaktadır. Levha yüzeylerinin iletkenlik değerini artırmak için konvaksiyonel fırın veya kızılötesi fırında $60 - 80 \text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklıkta, malzeme kalınlığına bağlı olarak belirlenen sürede ön ısıtma işlemi gerçekleştirilmektedir. Ön ısıtma işlemi uygulanmış levhalar korona ve tribo tipi elektrostatik toz boya tabancaları ile levha yüzeyleri boyanmaktadır. Boyanan yüzeyler $120 - 140 \text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklıkta kürleme işlemine ve ardından soğutma işlemine tabi tutulur. UV kürleme işleminde ise, toz boya uygulandıktan sonra hibrid fırın (IR + konvaksiyonel) içerisinde $100 - 140 \text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklıkta yaklaşık 1 – 3 dakika arasında boyanın erimesi sağlanmakta daha sonra UV kürleme sisteminden (Şekil 2.57) geçerek boyanın sertleşmesi sağlanmaktadır [56]. MDF yüzeyler üzerine elektrostatik toz boya uygulanmış örnekler Şekil 2.58’de gösterilmektedir.



Şekil 2.55: Termal kürleme işlemi ile elektrostatik toz boya uygulama basamakları [56].



Şekil 2.56: UV kürleme işlemi ile elektrostatik toz boya uygulama basamakları [56].



Şekil 2.57: UV kürleme işlemi ile elektrostatik toz boya uygulanması [56].



Şekil 2.58: Elektrostatik toz boya uygulanmış MDF örnekleri [56].

3. MALZEME VE YÖNTEM

3.1. KULLANILAN LEVHA TİPLERİ

3.1.1. Orta Yoğunlukta Liflevha (MDF)

TS EN 622-5 [57] standardına göre, 3600×1830×18 mm ebatlarında kuru şartlarda kullanılan 729 kg/m³ yoğunluğa sahip orta yoğunlukta, çam, kayın ve meşe ağaçlarından elde edilen orta yoğunlukta liflevhalar (MDF) Kastamonu Entegre Gebze Tesisinden temin edilmiştir. Levhalar İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Ahşap Atölyesi'nde daire testere makinesi kullanılarak 25 × 35 cm ebatlarına getirilmiştir (Şekil 3.1). Kullanılan MDF'lerin teknik özellikleri Tablo 3.1'de belirtilmiştir.

Tablo 3.1: Çalışmada kullanılan MDF levhaların teknik özellikleri.

ÜRÜN TEKNİK ÖZELLİKLERİ				
Kontrol Kriterleri	Test Standardı	Birim	Tolerans Aralığı	Performansı
Boy Ve En	TS EN 324-1	mm	± 2 mm/m max ± 5 mm/levha	0.2
Kalınlık	TS EN 324-1	mm	17.9 ± 0.2 mm	17.9
Gönyeden Sapma	TS EN 324-2	mm/m	± 2 mm/m	0.2
Yoğunluk	TS EN 323	kg/m ³	725 ± 10 kg/m ³	729
Şişme (24 Saat)	TS EN 317	%	Max % 12	6.63
Su alma (24 Saat)	TS EN 317	%	Max % 60	29.38
Çekme Dayanımı	TS 319	N/mm ²	Min. 0.55 N/mm ²	0.63
Eğilme Dayanımı	TS EN 310	N/mm ²	Min. 20 N/mm ²	36
Elastikiyet Modülü	TS EN 310	N/mm ²	Min. 2200 N/mm ²	3100
Vida Tutma (Yan)	TS EN 320	N	Min. 800 N	1025
Rutubet	TS EN 322	%	% 4 - 11	5.77
Yüzey Absorbsiyonu	TS EN 382-1	mm	Min. 150 mm	242
Kum Miktarı	TS 3643	%	Max. % 0.05	0
Formaldehit Salınımı	TS 4894 EN 120	mg/100gr	E1 sınıf ≤ 8 mg/100gr E2 sınıf ≤ 30mg / 100gr	E1 sınıf ≤ 8 mg/100gr E2 sınıf ≤ 30mg / 100gr
Yüzey Sağlamlığı	TS EN 311	N/mm ²	Min. 1 N/mm ²	1.4

3.1.2. Yongalevha

TS EN 312 [58] standardına göre, 3600×1830×18 mm ebatlarında kuru şartlarda iç uygulamalarda (mobilya dâhil) kullanılan 620 kg/m³ yoğunlukta, çam, kavak ve meşe ağaçlarından elde edilen yongalevhalar Kastamonu Entegre Gebze Tesisinden temin edilmiştir. Levhalar orman fakültesi atölyesinde daire testere makinesi kullanılarak 25 × 35 cm ebatlarına getirilmiştir (Şekil 3.1). Kullanılan levhaların teknik özellikleri Tablo 3.2'de gösterilmektedir.

Tablo 3.2: Çalışmada kullanılan yongalevhaların teknik özellikleri.

ÜRÜN TEKNİK ÖZELLİKLERİ				
Kontrol Kriterleri	Test Standardı	Birim	Tolerans Aralığı	Performansı
Boy Ve En	TS EN 324-1	mm	± 5	0.2
Kalınlık	TS EN 324-1	mm	± 0.3	17.90
Yoğunluk	TS EN 323	kg/m ³	620 ± 10 kg/m ³	622
Çekme Dayanımı	TS 319	N/mm ²	> 0.35 N/mm ²	0.41
Eğilme Dayanımı	TS EN 310	N/mm ²	> 11 N/mm ²	12.98
Elastikiyet Modülü	TS EN 310	N/mm ²	> 1600 N/mm ²	2426
Vida Tutma (Yan)	TS EN 320	N	Min. 450 N	746
Rutubet	TS EN 322	%	% 5 - 13	6.51
Yüzey Absorbsiyonu	TS EN 382-1	mm	Min. 150 mm	320
Kum Miktarı	TS 3643	%	Max. % 0.2	0.02
Formaldehit Salınımı	TS 4894 EN 120	mg/100gr	E1 sınıf ≤ 8 mg/100gr E2 sınıf ≤ 30 mg / 100gr	7.74
Yüzey Sağlamlığı	TS EN 311	N/mm ²	> 0.80 N/mm ²	1.37

3.1.3. Kontrplak

Kayın kaplamadan elde edilmiş 1250×2500×18 mm ebatlarında, kontrplak levhalar üretici Pelit Arslan Kontrplak fabrikasından temin edilmiş ve levhalar orman fakültesi atölyesinde daire testere makinesi kullanılarak 25 × 35 cm ebatlarına getirilmiştir (Şekil 3.1). Kontrplak levhalara ait bazı teknik özellikler Tablo 3.3’de belirtilmiştir.

Tablo 3.3: Kullanılan kontrplak levhaların bazı teknik özellikleri.

KONTROL KRİTERLERİ	TEST STANDARDI	BİRİM	DEĞER
Yoğunluk	TS EN 323	kg/m ³	730
Eğilme Direnci	TS EN 310	N/mm ²	125
Eğilmede elastikiyet Modülü	TS EN 310	N/mm ²	15000
Basınç Direnci	TS EN 3968	N/mm ²	60



Şekil 3.1: Levhaların daire testerede ebatlama işlemi.

3.2 KULLANILAN TOZ BOYALAR

Kullanılan toz boyalar, Kocaeli Gebze Organize Sanayi Bölgesi'nde faaliyet gösteren Pulver Kimya'dan temin edilmiştir. Isıya karşı duyarlı ve iletken değeri çok düşük olan taşıyıcı yüzeylerde kullanılmak üzere formüle edilmiş toz boyaların özellikleri aşağıda ifade edilmiştir.

3.2.1 Epoksi Esaslı Toz Boya

Formülünde epoksi reçine ve reçineye uygun sertleştirici vardır. Kimyasal maddelere direnç istendiği zaman kullanılır. Özellikle benzin depoları bu konuda örnek olarak gösterilebilir. Bu tip boyaların ısı ve ışığa karşı mukavemetleri azdır. Kullanılan epoksi esaslı toz boyanın teknik özellikleri Tablo 3.4'de belirtilmiştir.

Tablo 3.4: Epoksi esaslı toz boyanın teknik özellikleri.

Nem değerleri	% 0.27
Camsı Geçiş Sıcaklığı	47 °C
Pişme Sıcaklığı	120 °C'de 10 dk.
Jelleşme Süresi	180 °C'de 35 sn, 140 °C'de 130 sn
Akma Uzunlukları	140 °C'de 15 mm
Yoğunluk	1.46 g/cm ³
Ortalama Partikül Boyutu	41 mikron

3.2.2. Polyester Esaslı Toz Boya

İçerisinde poliester reçine bulunur. Dış ortam şartlarına karşı dayanıklı bir toz boya türüdür. Özellikle alüminyum pencere ve kapı profillerinde önerilir. TGIC, Primid ve PT 910

sertleştiriciler Polyester tipi toz boya sistemlerinde en yaygın olarak kullanılan sertleştiricilerdir. Kullanılan polyester esaslı toz boyanın teknik özellikleri Tablo 3.5’de belirtilmiştir.

Tablo 3.5: Polyester esaslı toz boyanın teknik özellikleri.

Nem değerleri	% 0.28
Camsı Geçiş Sıcaklığı	48 °C
Pişme Sıcaklığı	120 °C’ 10 dk.
Jelleşme Süresi	180 °C’de 39 sn, 140 °C’de 142 sn
Akma Uzunlukları	140 °C’de 17 mm
Yoğunluk	1.49 g/cm ³
Ortalama Partikül Boyutu	44 mikron

3.2.3 Epoksi-Polyester (Hibrit) Toz Boya

İçerisinde % 50 epoksi, % 50 poliester reçineleri bulunur. Fiziksel ve kimyasal dayanım özelliklerinin bir arada sağlanması için geliştirilmiş boya tipidir. Bina içi koşullarda kullanılır. Kullanılan hibrit esaslı toz boyanın teknik özellikleri Tablo 3.6’da belirtilmiştir.

Tablo 3.6: Hibrit esaslı toz boyanın teknik özellikleri.

Nem değerleri	% 0.33
Camsı Geçiş Sıcaklığı	48 °C
Pişme Sıcaklığı	120 °C’de 10 dk.
Jelleşme Süresi	180 °C’de 37 sn, 140 °C’de 133 sn
Akma Uzunlukları	140 °C’de 14 mm
Yoğunluk	1.50 g/cm ³
Ortalama Partikül Boyutu	42 mikron

3.3. TOZ BOYA İŞLEMİNİN UYGULANMASI

25 × 35 cm ebatlarında hazırlanan MDF, yongalevha ve kontrplak yüzeyleri 180 kum ince zımpara ile zımparalandıktan sonra, daha elverişli toz boya uygulama işlemi yapılabilmesi açısından 5 – 7 °C derecede 30 dakika boyunca soğutulmuştur [54]. Soğumanın etkisi ile levha yüzeylerinde hafif bir çiy tabakası meydana getirilerek, yüzeylerindeki rutubet oranı artırılması sağlanmıştır. Bu durum levha yüzeylerinde iletkenlik değerini artırarak toz boyaların levha yüzeylerine tutunmasını kolaylaştırmıştır. Daha sonra korona tipi elektrostatik tabanca (Şekil 3.2) ile MDF levha yüzeylerine ortalama m²’ye 120 g, yongalevha ve kontrplak yüzeylerine ise 150 g olacak şekilde kabin içerisinde, (Şekil 3.2) düşük sıcaklıklarda kürlenene, epoksi, polyester ve epoksi-polyester (hibrit) esaslı toz boyalar uygulanmıştır. Toz boya yüzeye atıldıktan sonra kızılötesi lambalı fırın (Şekil 3.3) içerisinde 120 °C sıcaklıkta 10 dakika boyunca kürlenme

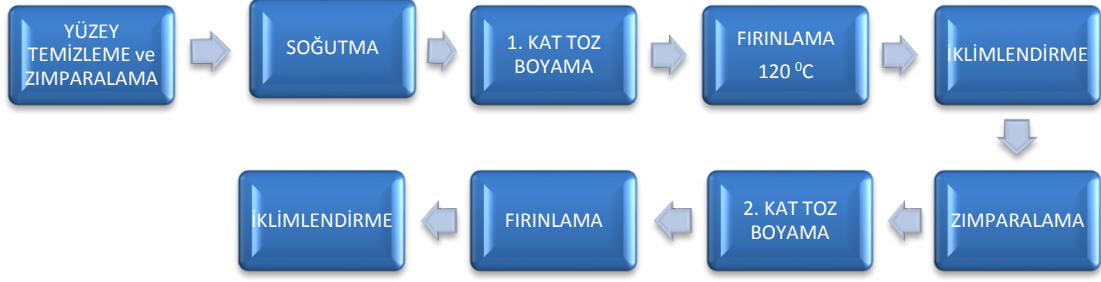
işlemine tabi tutulmuştur. Daha düzgün yüzeyler elde etmek amacıyla, birinci kat toz boya uygulanmış levha yüzeyleri tekrar 220 kum ince zımpara ile zımparalamanın ardından, ikinci kat toz boya işlemi uygulanmıştır. Toz boyama işlem basamakları Şekil 3.4’de gösterilmektedir. 25×35 cm ebatlarında boyanmış levhalar bir hafta oda şartlarında bekletildikten sonra daire testere makinesi ile test standartlarında belirtilen boyutlara getirilmiştir (Şekil 3.5).



Şekil 3.2: Boyama kabini içerisinde 25×35 cm ebatlarında örnekler toz boya işleminin gerçekleştirilmesi.



Şekil 3.3: Korona tipi elektrostatik toz boyama tabancası ve kızılötesi etüv.



Şekil 3.4: Toz boyama işlem basamakları.



Şekil 3.5: Boyanmış örneklerin test standartlarına göre ebatlandırılması.

3.4. SU BAZLI BOYA UYGULAMASI

Kontrol örnekleri olarak MDF, yongalevha ve kontrplak levha yüzeylerine, ahşap esaslı levha üretimi yapan bir fabrikada, UV kurumalı su bazlı boya uygulaması gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.6). Hızı 60 m/dak. olan silindirli boya hattında levhaların her iki yüzeyi boyama işlemine tabi tutulmuştur. Şekil 3.7’de gösterilen, levhaların boyama işlem basamaklarında kullanılan, 1. Astar, 2.astar, 1. boyama ve 2. boyamada akrilik esaslı su bazlı beyaz boyalar, son kat olarak da UV kurumalı akrilik esaslı beyaz boya kullanılmıştır. Kullanılan astar ve boyaların bazı teknik özellikleri Tablo 3.7’de verilmiştir. Daha sonra toz boya uygulanmış numuneler ile su

bazlı sıvı boya uygulanmış numuneler, Tablo 3.8’de belirtilen performans özellikleri karşılaştırılmıştır.

Tablo 3.7: Su bazlı boyaların bazı özellikleri.

Kaplama Türü	Yoğunluk (g/ml)	Alev Alma Noktası (°C)	Ph derecesi	Katı madde Miktarı %	Viskozite	Uygulama miktarı(g/m ²)
ASTAR	1.5 – 1.65	> 75	8.42	63	60*	105
BOYA	1.5 – 1.6	> 75	8.30	63	55*	60
UV Akrillik	1.2 – 1.35	> 65	8.71	95	40**	10

*DIN cup / 6 mm, 20 °C sıcaklıkta ** DIN cup / 4 mm, 20 °C sıcaklıkta



Şekil 3.6: Levha yüzeylerine UV kurumalı su bazlı boya işleminin gerçekleştirildiği hat.



Şekil 3.7: Levha yüzeylerine su bazlı boya uygulama işlem basamakları.

Tablo 3.8: Çalışma deneme deseni.

Malzeme Kodu	Levha Türü	Kullanılan Boya Türü	Uygulanan Testler
MS	Liflevha (MDF)	Kontrol grubu su bazlı boya	• Yanma testi • Kalınlığında şişme testi • Su alma testi • Formaldehit emisyon tayini • Çizilme testi • Aşınma testi • Yapışma testi • Kuru film kalınlıklarının belirlenmesi • Yaşlandırma testi • Renk ölçümü • Parlaklık ölçümü
MP	Liflevha (MDF)	Polyester toz boya	
ME	Liflevha (MDF)	Epoksi toz boya	
MH	Liflevha (MDF)	Polyester-Epoksi toz boya	
YS	Yongalevha	Kontrol grubu su bazlı boya	
YP	Yongalevha	Polyester toz boya	
YE	Yongalevha	Epoksi toz boya	
YH	Yongalevha	Polyester-Epoksi toz boya	
KS	Kontrplak	Kontrol grubu su bazlı boya	
KP	Kontrplak	Polyester toz boya	
KE	Kontrplak	Epoksi toz boya	
KH	Kontrplak	Polyester-Epoksi toz boya	

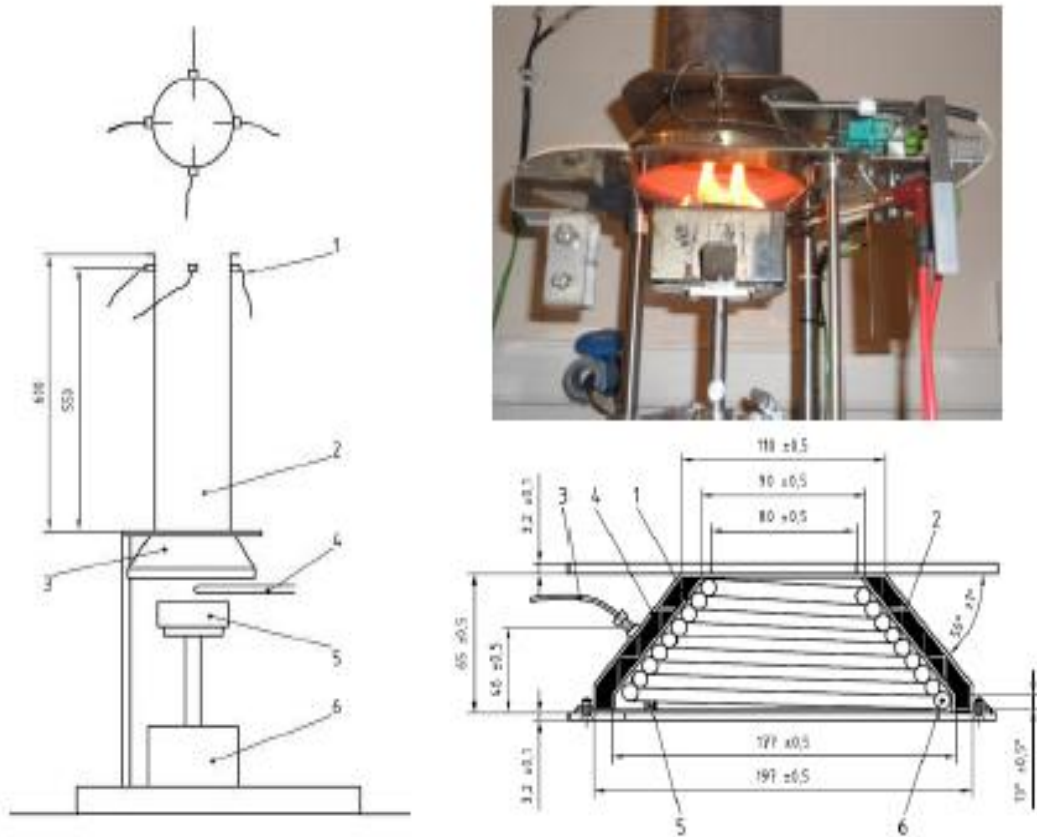
3.5. LEVHALARA UYGULANAN TEST YÖNTEMLERİ

3.5.1. Yanma Direncinin Belirlenmesi

Yanma direnci; insan ve çevre güvenliği bakımından ahşap ve ahşap kökenli kompozit malzemelerin önemli bir performans özelliğidir. Çünkü ahşap kompozitler bulundukları ortamda direkt veya endirekt olarak yüksek bir sıcaklığa maruz kaldıklarında yanmaya neden

olurlar. Bunun şiddetine bağlı olarak da yangın olayları meydana gelebilmektedir. Yangının meydana gelmesi ise can kayıplarına, ciddi yaralanmalara ve büyük maddi hasarlara neden olabilmektedir. Bu nedenle yanmaya karşı direnci olan malzemelerin geliştirilmesi oldukça önem arz etmektedir [82].

Epoksi, polyester, hibrit (epoksi+hibrit) toz boyalar ve su bazlı sıvı boya ile kaplanan ahşap kompozit levhaların yanma direncinin belirlenmesi ISO 13927 [59] standardına göre yapılmıştır (Şekil 3.8). Bu analiz için, her bir gruptan 3 adet olmak üzere toplam 36 adet numune $100 \times 100 \times 8$ mm ebatlarında hazırlanarak yanma direnç değerleri tespit edilmiştir. Bu deney İstanbul Üniversitesi Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, Orman Biyolojisi ve Odun Koruma Teknolojisi Anabilim Dalı'nda yer alan Yanma Laboratuvarı'ndaki Mass Loss Calorimeter– MLC (FTT Fire Testing Technology Ltd, United Kingdom) cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Deneylere başlanmasından önce deney cihazının, standartlara uygun bir şekilde kalibrasyon işlemi yapılmıştır.



Şekil 3.8: ISO 13927 Standardına göre yanma deney düzeneği şeması [92].

Yanma düzeneği

- 1-Termoelektrik pil
- 2-Baca
- 3-Koni ısıtıcı
- 4-Ateşleyici kıvılcım
- 5-Numune
- 6-Yük hücresi (isteğe bağlı)

Koni Isıtıcı Parçaları

- 1-İç kabuk
- 2-Ateşe dayanıklı fiber dolgu
- 3-Termokup
- 4-Dış kabuk
- 5-Ara parçası blok
- 6-Isıtma rezistansı

Toz boya ve su bazlı boya uygulanmış MDF, yongalevha ve kontrplak örnekleri 20 °C sıcaklık ve %50 Bağıl nem şartlarında ağırlığı değişmez hale gelinceye kadar klimatize edilmiştir. Ardından numuneler tek kat halinde alüminyum folyoya sarılmıştır. Alev kaynağının uygulanacağı yüzeydeki folyo, hassas bir şekilde kesilerek uzaklaştırılmıştır. Örnekleri sarmak için kullanılan alüminyum folyonun kalınlığı 0.03 mm ile 0.05 mm arasında değişmektedir. Cihazın numune koyma aparatı, cihaza yerleştirilmiş ve darası alınmıştır. Deney numunesi, kalınlığı 13 mm olan ve seramik liflerden oluşan bir örtünün üstüne gelecek şekilde aparata yerleştirilmiştir. Bu işlemler Şekil 3.9’da gösterilmektedir.



Şekil 3.9: Yanma deneyi örneklerinin alüminyum folyo ile kaplanması.

Şekil 3.9’da gösterilen ön hazırlık işleminden sonra, örnek yanma cihazının terazi kısmının üstüne yerleştirilmiştir (Şekil 3.10). Kıvılcım üreten aparat (spark plug) hareket ettirilerek, örneğin üzerine gelecek şekilde konumlandırılmıştır. Kıvılcım aparatının sürekli bir şekilde kıvılcım oluşturması sağlanmış ve ignition timer (Tutuşma süresi) başlatılmıştır. Alevin oluştuğu zaman kaydedilmiş ve spark plug tekrar eski konumuna getirilmiştir. Örnek yüzey alev kaynağına maruz bırakılmıştır. Deney süresince örnek yüzeyine 724°C sabit bir sıcaklık

uygulanmıştır. Bu süre zarfında cihaza bağlı bilgisayar tarafından örneğin zamana bağlı bütün ağırlık kaybı verileri, tutuşma süresi, ısı yayılma hızı ve etkili yanma ısısı kaydedilmiştir.



Şekil 3.10: Levhaların yanma deneyinin yapılışı.

3.5.2. Kalınlığına Şişme Miktarının Belirlenmesi

Toz boya ve su bazlı boya uygulanmış MDF, yongalevha ve kontrplak örneklerinin kalınlığında şişme miktarının belirlenmesinde TS EN 317 [60] standardına göre belirlenmiştir. Deney örneklerinin boyutu 50 mm × 50 mm × levha kalınlığındadır. Her bir gruptan 20 adet kalınlığına şişme deney numunesi hazırlanmıştır. Deney numunelerinin kalınlığı 0.001 mm hassasiyette dijital mikrometre ile köşegen noktalarının kesiştiği yerden ölçülerek ilk kalınlık belirlenmiştir (Şekil 3.11). Daha sonra deney numuneleri 24 saat süre ile 20°C sıcaklıkta su dolu otomatik termostatlı ve ısıtma ve soğutma özelliği olan su banyosuna bırakılmıştır (Şekil 3.11).



Şekil 3.11: Deney örneklerinin kalınlığının ölçülmesi ve termostatlı su banyosu.

Suda bekletme süresi sonunda deney numuneleri sudan çıkarılmış ve fazla suları bir kâğıt havlu vasıtasıyla alınmıştır. Ardından, ilk ölçümün yapıldığı işaretli noktalardan numunelerin

kalınlıkları tespit edilmiş ve ikinci kalınlık olarak kaydedilmiştir. Kalınlığına şişme miktarının belirlenmesinde kullanılan formül ve gerekli açıklamalar aşağıda belirtilmiştir.

$$\text{Kalınlığında Şişme Miktarı (\%)} = \frac{(t_2 - t_1)}{t_1} \times 100 \quad (3.1)$$

Burada;

t_1 : Deney numunesinin ilk kalınlığı (mm)

t_2 : Deney numunesinin suda bekletildikten sonraki kalınlığı (mm)

3.5.3. Su Alma Miktarı

Üstyüzey işlemi uygulanmış levhaların su alma miktarının belirlenmesinde ASTM D 1037 – 12 [61] standardına göre belirlenmiştir. Su alma deneyi ve kalınlığına şişme deneyi aynı örnekler üzerinde yapılmıştır. Fakat bu deneyde farklı olarak numunelerin ağırlıkları ölçülmektedir. Deney numunelerinin hassas dijital terazi ile ağırlıklarının ölçülmesi Şekil 3.12’de gösterilmektedir.



Şekil 3.12: Deney örneklerinin dijital terazi ile ağırlıklarının ölçülmesi.

Numunelerin ilk ağırlıkları alınmış ve 24 saat süre ile su banyosuna bırakılmıştır. Suda bekletme süresi sonunda deney numuneleri sudan çıkarılmış ve fazla suları bir kâğıt havlu

yardımıyla alınmıştır. Daha sonra numunelerin son ağırlıkları elde edilmiştir. Su alma miktarının belirlenmesinde kullanılan formül ve gerekli açıklamalar aşağıda gösterilmektedir.

$$\text{Su Alma Miktarı (\%)} = \frac{(m_2 - m_1)}{m_1} \times 100 \quad (3.2)$$

Burada;

m_1 = Deney numunesinin ilk ağırlığı (g)

m_2 = Deney numunesinin suda bekletildikten sonraki ağırlığı (g)

olarak ifade edilmektedir.

3.5.4. Formaldehit Emisyon Miktarının Belirlenmesi

Formaldehit emisyonu, en genel olarak üretim sürecinden sonra hava ile temas eden malzemenin (örneğin ahşap esaslı) ortamdaki bağıl nem ile formaldehitin çözülerek havaya karışması olarak ifade edilebilir [88]. Ahşap esaslı levhaların yaygın olarak kullanıldığı mobilya sektöründe, formaldehit esaslı yapıştırıcıların kullanılması, bu ürünlerin üretimi ve kullanımları sırasında bazı kurallara uyulması gerektirmektedir. Formaldehit esaslı yapıştırıcılarla üretilmiş mobilya ve dekorasyon ürünlerinin nihai kullanım yerlerinde zamana bağlı olarak formaldehit salınımı gerçekleşebilir. Formaldehit'in havadaki yoğunluğu belirlenmiş eşik değerlerin üzerinde olması halinde, insan sağlığı açısından olumsuz sonuçlar doğurabilir. Bu nedenle üretilen ahşap esaslı levhaların formaldehit miktarının belirlenmesi büyük önem arz etmektedir.

Toz boya ve su bazlı boya uygulanmış (kontrol) MDF, yongalevha ve kontrplak örneklerinin formaldehit emisyon miktarı TS EN 717 – 2 [62] standardına göre gaz analiz metodu ile belirlenmiştir. Buna göre her bir gruptan 3 adet olacak şekilde 400×50 mm ebatlarında toplam 36 örnek hazırlanmıştır. Hazırlanan numunelerin kenarları Şekil 3.13'de gösterilen alüminyum bant ile kaplanmıştır.



Şekil 3.13: Formaldehit emisyonu için hazırlanan örneklerin kenarlarının kaplanması.

Kenarları kaplanmış numunelere tutucular eklenerek GreCon marka gaz analiz cihazına yerleştirilmiştir. Cihaz Tablo 3.9’da belirtilen şartlara göre ayarlanarak deney başlatılmıştır. Örneklerden açığa çıkarılan formaldehit, su bulunan ve yayılan formaldehiti absorbe eden her biri 30 ml arasında saf su ihtiva eden gaz yıkama şişelerinin içerisinde geçirilerek emdirilmiştir. Deney dört saat sürdürülmüş ve Şekil 9’da gösterildiği gibi her saatte yeni bir yıkama şişeleri serisi içerisinde formaldehitin geçişi sağlanmıştır (Şekil 3.14). Cihazda bulunan iki odadan çıkan gazlar, toplam 16 gaz yıkama şişesinde toplanmaktadır. Gaz yıkama şişeleri içerisinde bulunan saf suya karışmış formaldehit 250 ml hacimli şişelere alınarak üzeri saf su ile tamamlanmıştır. Deneyin sonunda, formaldehit konsantrasyonu, asetil aseton metodu ile fotometrik olarak tayin edilmiştir.

Tablo 3.9: Formaldehit emisyonu için belirlenen deney şartları.

Sıcaklık	$60 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$
Hava Akış Hızı	$60 \pm 3 \text{ L/s}$
Hava Basıncı	1000 – 1200 Pa
Nispi Rutubet	$\%2 \pm 1$



Şekil 3.14: İçerisinde saf su bulunan gaz yıkama şişeleri ve numunelerin cihaza yerleştirilmesi.

Gaz analiz değeri G_i , 1 saatlik numune alma periyodunun her birinden, aşağıda formüle göre hesaplanmıştır.

$$G_i = \frac{(A_s - A_B) \cdot f \cdot V}{F} \quad (3.3)$$

Burada;

G_i : Gaz analiz değeri ($\text{mg}/\text{m}^2\text{h}$)

i : 1., 2., 3. veya 4. saat

A_s : Yıkama şişelerinden absorblanan çözelti,

A_B : Kullanılan saf su,

f : Standard formaldehit çözeltisinin ayar eğrisinin eğimi mg/ml ,

F : Yüzeyin formaldehit yayma alanı (kaplanmamış) m^2 ,

V : Dereceli şişenin hacmi ml .

Daha sonra tüm saatlerden elde edilen formaldehit analiz değerlerinin ortalaması alınmıştır.

$$G_m = \frac{G_1 + G_2 + G_3 + G_4}{4} \quad (3.4)$$

G_m : Deney numunelerinin ortalama gaz analiz değeri ($\text{mg}/\text{m}^2\text{h}$).

3.5.5. Çizilme Direncinin Belirlenmesi

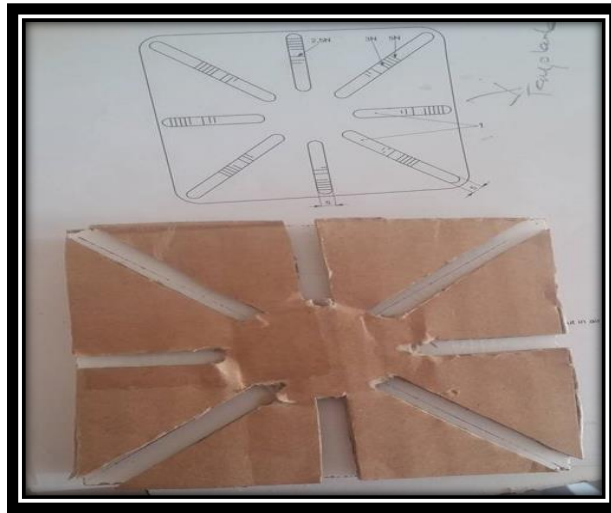
Yüzeyleri kaplanmış levhaların çizilme direnci TS EN 15186 [63] standardının B metoduna (Dairesel metot) göre belirlenmiştir. Bu amaçla Taber çizilme test cihazı kullanılmıştır. (Şekil 3.15) Çizilme testlerinde kullanılmak üzere kaplanmış levhalar $100 \times 100 \pm 5 \text{ mm}$ boyutlarında

hazırlanmıştır. Çizilme deneyinde her bir gruptan 10 adet olmak üzere toplam 120 adet numune hazırlanmıştır. Örnekler 23 ± 2 °C sıcaklık ve 50 ± 5 bağıl nem şartları altında 1 hafta boyunca klimatize edilmişlerdir. Deney numunesinin yüzeyi, aseton gibi bir çözücü emdirilmiş pamuklu bir bez kullanılarak silinmiştir. Deney örnekleri temizlendikten sonra deneye tabi tutulacak yüzeyin elle temas edilmemesine dikkat edilmiştir. Çizilme testi her bir örnek grubunda 5 N'luk yük ile başlatılarak, 4.5, 4, 3.5, 3, 2.5, 2, 1.5, 1 N yük olacak şekilde kademeli olarak azaltılmıştır.



Şekil 3.15: Taber çizilme test cihazı.

Çizilme direnç değerini tespit etmek amacıyla Şekil 3.16'da gösterilen 8 slotlu kalıp kullanılmıştır. Test yüzeylerinin çizilme direnci, kalıpta belirtilen 8 slottan en az 6 slot'un görülebilir bir çizgiye sahip olan minimum çizilme direnç değeri olarak ifade edilmiştir.



Şekil 3.16: Çizilme direncinin belirlenmesinde kullanılan kalıp.

3.5.6. Aşınma Direncinin Belirlenmesi

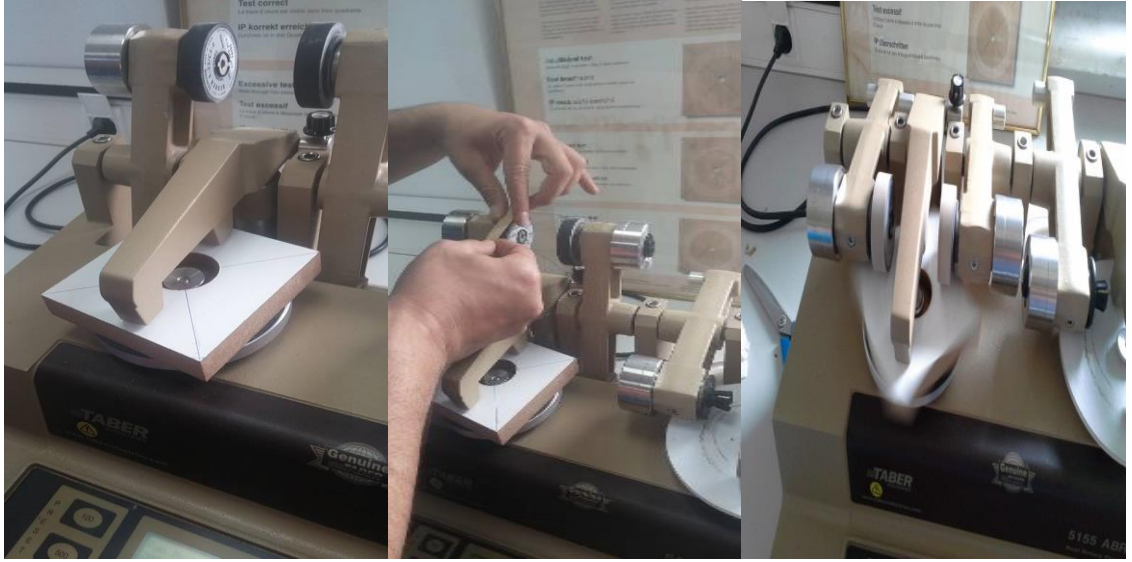
Üstyüzey işlemi uygulanmış test örneklerinin aşınma direnci TS EN 15185 [64] standardına göre belirlenmiştir. Aşınma direncini gerçekleştirmek için levhalar $100 \times 100 \text{ mm} \pm 5$ ebatlarında hazırlanmıştır. Deneyde her bir gruptan 10 adet olmak üzere toplam 120 numune hazırlanmıştır. Örnekler $23 \pm 2^\circ\text{C}$ sıcaklık ve $\%50 \pm 5$ bağıl nem şartları altında 1 hafta boyunca klimatize edilmişlerdir. Numune yüzeyleri köşegen noktaları işaretleme kalem ile birleştirilerek dört eşit parçaya bölünmüştür. Köşegen noktalarının kesiştiği orta nokta dikey delik makinesi ile 6.5 mm çapında delik açılmıştır. Kullanılan cihazın mil uzunluğu örnek kalınlığını tutacak boyutta olmadığı için, Şekil 3.17’de gösterildiği gibi örnek yüzeylerinin orta kısmı 35 mm çapında tas menteşe matkap ucu ile delme işlemi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.17: Aşınma direnci için numunelerin hazırlama işlemi.

Kalibresi yapılmış cihaza deney numunesi taşıyıcıya bağlanmış ve deney numunesinin yatay olarak yerleştirilmesi sağlanmıştır. Şerit kağıt zımpara (S - 42) bağlanmış aşındırıcı tekerler (CS 10) deney numunesi üzerine indirilmiştir. Numuneler üzerinde 5.4 ± 0.2 N yük ile yüklenmiş ve kolların yatay olması sağlanmıştır. Uygulamada tozların tamamını almak için emme aygıtı çalıştırılmış ve deney alanının aşındırılma işlemi başlatılmıştır. Her 200 devirde bir şerit zımpara kâğıtları değiştirilmiştir.

Başlangıç aşınma noktası, alt tabaka veya diğer renk tonlu tabakalarda açık ve fark edilebilir izlerinin ilk olarak ortaya çıktığı ve alt tabakanın dört bölümde görüldüğü nokta olarak değerlendirilmiştir (Şekil 3.19). Deney yüzeyinin aşınmaya karşı mukavemeti, başlangıç aşınma noktasına (IP) ulaşıldığındaki devirlerin sayısı olarak ifade edilmiştir.



Şekil 3.18: Aşınma direnci deneyinin yapılışı.



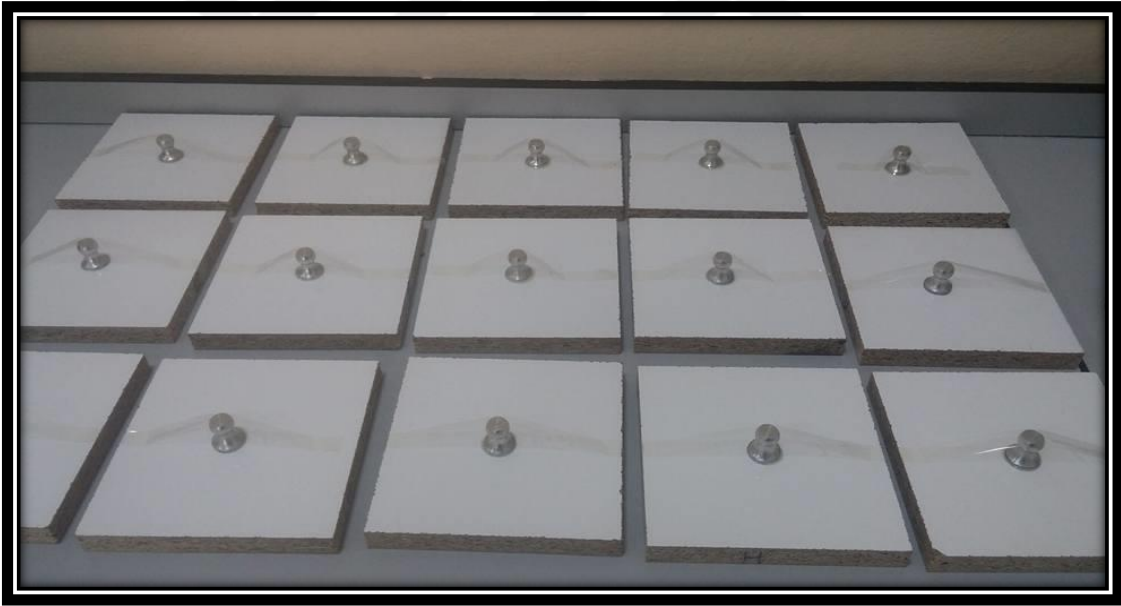
Şekil 3.19: Aşınma deneyi tamamlanmış bir örneğin yüzeyi.

3.5.7. Yapışma Direnç Değerinin Tespit Edilmesi

Numuneler üzerinde uygulanan boyaların yapışma direnç değerlerinin tespit edilmesi ASTM D 4541 [65] standardına göre belirlenmiştir. Bu amaçla Şekil 3.20’de gösterilen PosiTest AT-A otomatik test cihazı kullanılmıştır. Yapışma direnci uygulanacak numuneler 150×150 mm ebatlarında hazırlanmıştır. Her bir gruptan 20 adet olmak üzere toplam 240 adet örnek hazırlanmıştır. Deney örnekleri 23 ± 2 °C sıcaklık ve $\%50 \pm 5$ bağıl nem şartları altında 24 saat boyunca klimatize edilmiştir. Klimatize edilen örnekler 20 mm çapında çelik deney silindirleri normal oda sıcaklığında yapıştırılmıştır. Yapıştırma işleminde yüksek yapışma gücüne sahip ve koruyucu katmanlar üzerinde çözücü etkisi olmayan çift bileşenli epoksi reçine esaslı yapıştırıcı 150 ± 10 g/m² hesabı ile kullanılmıştır. Levha yüzeylerine yapıştırılan çelik silindirlerin üzerleri şeffaf bant ile bantlanarak, oda şartlarında 12 saat bekletilmiştir (Şekil 3.21).

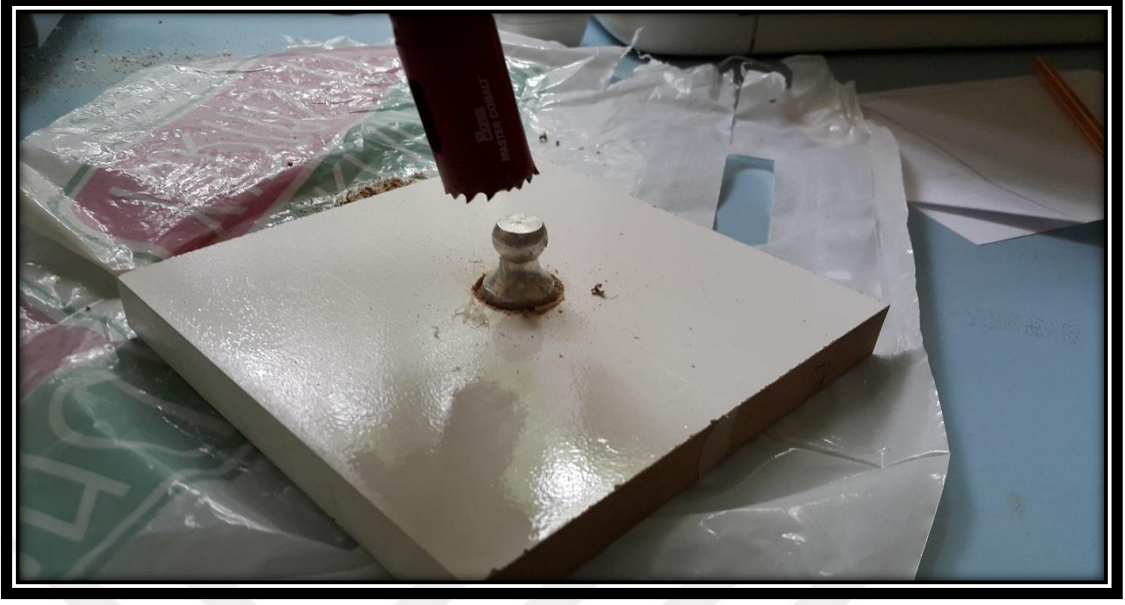


Şekil 3.20: PosiTest AT-A otomatik yapışma test cihazı.



Şekil 3.21: Çelik silindir yapıştırılmış yapışma direnci deneyi numuneleri.

Çelik silindir yapıştırılmış numune alanından çekme etkisi ile kopmanın meydana gelmesi için Şekil 3.22’de görüldüğü gibi silindir çapının etrafı boya kuru film katman kalınlığı kadar kesilmiştir. Daha sonra örnekler Şekil 3.23’de görüldüğü gibi cihaza yerleştirilerek yapıştırılan çelik silindirlerin örnekten kopması sağlanmış ve MPa biriminden yapışma direnç değerleri elde edilmiştir.



Şekil 3.22: Levha yüzeyine yapıştırılmış çelik silindir çapının etrafının kesilmesi.

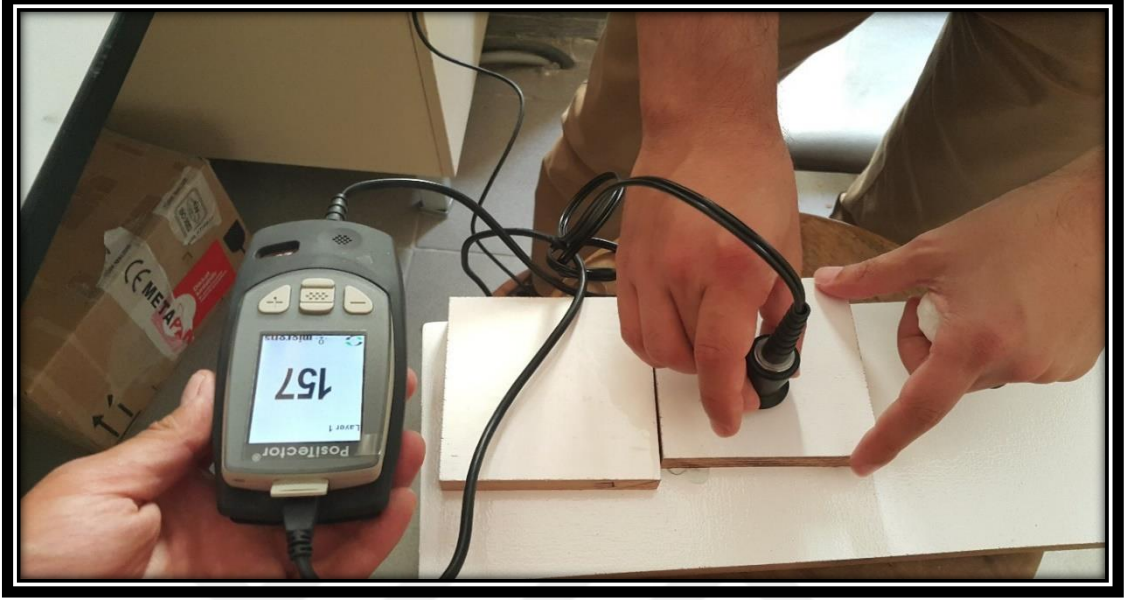


Şekil 3.23: Örneklerin test cihazına yerleştirilmesi ve çekme işleminin gerçekleştirilmesi.

3.5.8. Kuru Film Kalınlığının Ölçülmesi

Boyalarda, farklı kuru film kalınlıkları sonucunda elde edilen filmin dekoratif ve koruyucu özellikleri test edilir. Test sonuçlarına göre boya için en uygun kullanım miktarı tespit edilir. Bu nedenle, boya kuru film kalınlık ölçümlerine ihtiyaç duyulur. Üstyüzey uygulanmış levhaların boyaların kuru film kalınlıkları ASTM D 6132 [66] ve ISO 2808 [67] standartlarına göre çalışan Şekil 3.24’de gösterilen Positector markalı ultrasonik film kalınlık ölçüm cihazı

ile boyaların kuru film kalınlıkları tahribatsız şekilde ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Her bir gruptan 20 ölçüm yapılarak mikron olarak ortalamaları alınmıştır.



Şekil 3.24: Positector marka ultrasonik kuru film kalınlık ölçüm cihazı.

3.5.9. Yaşlandırma Testi

Üstyüzey işlemleri uygulanmış örneklerin hızlandırılmış yaşlandırma testi Pulver Kimya AR-GE test laboratuvar ortamında Şekil 3.25’de gösterilen QUV (Accelerated Weathering Tester) cihazı kullanılarak ASTM G 154 [68] ve ASTM G 151 [69] esaslarına göre yapılmıştır. Yaşlandırma maruz bırakılacak örnekler 150 × 70 mm ebatlarında ve her bir gruptan 4 adet olmak üzere toplam 48 adet örnek hazırlanmıştır. Numunelere cihaza yerleştirilmeden önce renk ve parlaklık değerleri ölçülmüştür. Daha sonra numuneler Şekil 3.26’da gösterilen panellere konularak cihaza yerleştirilmiştir (Şekil 3.27).



Şekil 3.25: QUV Hızlandırılmış yaşlandırma testi.

UV hızlandırılmış yaşlandırma cihazının teknik özellikleri:

Işık kaynağı 8 adet 400 watt UVB 313 lamba

Işık kaynağı detektörü smart light monitör

Yüzey sıcaklığı aralığı 30–90°C

Yüzey sıcaklığı kontrolü $\pm 2^{\circ}\text{C}$

Su sıcaklığı aralığı 30–60°C

Lamba enerjisi kontrolü standart



Şekil 3.26: Yaşlandırma cihazı numune yerleştirme panelleri.



Şekil 3.27: Örneklerin QUV cihazına yerleştirilmesi.

Daha sonra numunelerin yaşlandırma işlemi iki döngü halinde gerçekleştirilmiştir. Birinci döngü 60 °C sıcaklıkta 4 saat boyunca UV ışık şiddetine (dalga boyu 310 nm) maruz bırakılmıştır. İkinci döngüde, 50 °C’de 4 saat boyunca su buharı ile yoğunlaştırma işlemine tabi tutulmuştur. Yaşlandırma işleminde Şekil 3.28’de gösterilen 8 adet UVB-313 tipi lamba kullanılmıştır. Numuneler iki döngülü bu ortamda toplam 144 saat bekletilmiştir. Toplam renk değişim değeri (ΔE) >1 olduğu durumda test sonlandırılabilir veya özel testlerde toplam renk değişimi (ΔE) sınır değerleri belirlenebilir.



Şekil 3.28: Cihaza yerleştirilmiş UVB – 313 EL tipi lamba.

3.5.10. Renk Ölçümü

Yaşlandırma testine maruz bırakılan numunelerin renk ölçümü, ASTM D 2244 [70] standardında belirtilen esaslara göre Şekil 3.29'da gösterilen X-rite renk ölçüm cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Her bir gruptan 10 ölçüm olmak üzere toplam 120 ölçüm yaşlandırma öncesi, 120 ölçüm yaşlandırma sonrası, toplam 240 ölçüm gerçekleştirilmiştir.



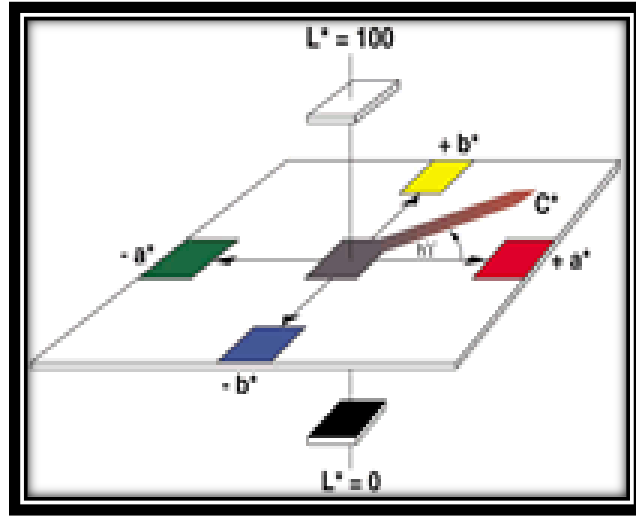
Şekil 3.29: X-rite renk ölçüm cihazı.

CIEL^{*}a^{*}b^{*} renk sisteminde; renklerdeki farklılıklar ve bunların yerleri L^{*}, a^{*}, b^{*} renk koordinatlarına göre tespit edilmektedir. Burada, L^{*} siyah-beyaz (siyah için L^{*}=0, beyaz için L^{*}=100) ekseninde, a^{*} kırmızı-yeşil (pozitif değeri kırmızı, negatif değeri yeşil) ekseninde, b^{*} ise sarı-mavi (pozitif değeri sarı, negatif değeri mavi) ekseninde yer almaktadır. CIEL^{*}a^{*}b^{*} renk alanı Şekil 3.30'de gösterilmiştir. Değişimin, rengin hangi tonunda etkili olduğunu belirlemek amacıyla kırmızı renk değeri (a^{*}), sarı renk değeri (b^{*}) ve parlaklık (L^{*}) bulguları birbirinden bağımsız olarak incelenerek toplam renk değişimi (ΔE^*); aşağıdaki formülle hesaplanmıştır.

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L)^2 + (\Delta b)^2 + (\Delta a)^2} \quad (3.5)$$

$$\Delta L = L_f - L_i \quad \Delta b = b_f - b_i \quad \Delta a = a_f - a_i \quad (3.6)$$

Burada; ΔL^* , Δa^* ve Δb^* , değerleri renklerin ilk hali (i) ile son hali (f) arasında oluşan değişikliklerdir. ΔE^* , renklerin L, a ve b yönlerinde meydana gelen toplam renk değişikliklerini göstermektedir. ΔE^* 'nin düşük değerde olması, rengin değişmediği yâda çok az değişim olduğunu göstermektedir. Burada en yüksek değer, en yüksek renk değişimini göstermektedir.



Şekil 3.30: CIEL *a*b* renk alanı [71].

3.5.11. Parlaklık Ölçümü

Yaşlandırma testine maruz bırakılan numunelerin parlaklık ölçümü, TS EN ISO 2813 [72] standardında belirtilen esaslara göre Şekil 3.31’de gösterilen BYK Gardner parlaklık ölçüm cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Her bir gruptan 10 ölçüm olmak üzere toplam 120 ölçüm yaşlandırma öncesi, 120 ölçüm yaşlandırma sonrası, toplam 240 ölçüm gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.31: BYK Gardner parlaklık ölçüm cihazı.

Ölçüm prensibi, 60° ’de gönderilen ışık huzmesi örnek parça yüzeylerine çarparak yansıma gerçekleştirmektedir. Örneğin bir parça yüzeyine gönderilen %100’lük ışık huzmesi %10 oranında bir yansıma gerçekleştirmesi durumunda, parça yüzeyinin mat bir görüntüye sahip olduğu, eğer yansıyan ışık miktarı %85 oranında ise parça yüzeyinin çok parlak bir yüzeye sahip olduğu fikrini vermektedir.

3.5.12. Verilerin Değerlendirilmesi

İstatiksel analiz sonuçları, sıvı esaslı su bazlı boya uygulanmış kontrol grubu levhalar ile epoksi polyester ve hibrit toz boya uygulanmış örneklerin karşılaştırılması sonucu elde edilmiştir. İstatiksel değerlendirmeler için “IBM SPSS Statistics 21” isimli programı kullanılmıştır. Çoklu varyans ve duncan analizi testleri sonucunda levha türü, boya tipi faktörlerinin, levha üzerindeki, aşınma, çizilme, yapışma direnci, yaşlandırma etkisi, formaldehit emisyon miktarı, yanma direnci, su alma ve kalınlığına şişme etkileri ve bu faktörlerin karşılıklı etkileşimleri belirlenmiştir.



4. BULGULAR

4.1. KURU FİLM KALINLIKLARI

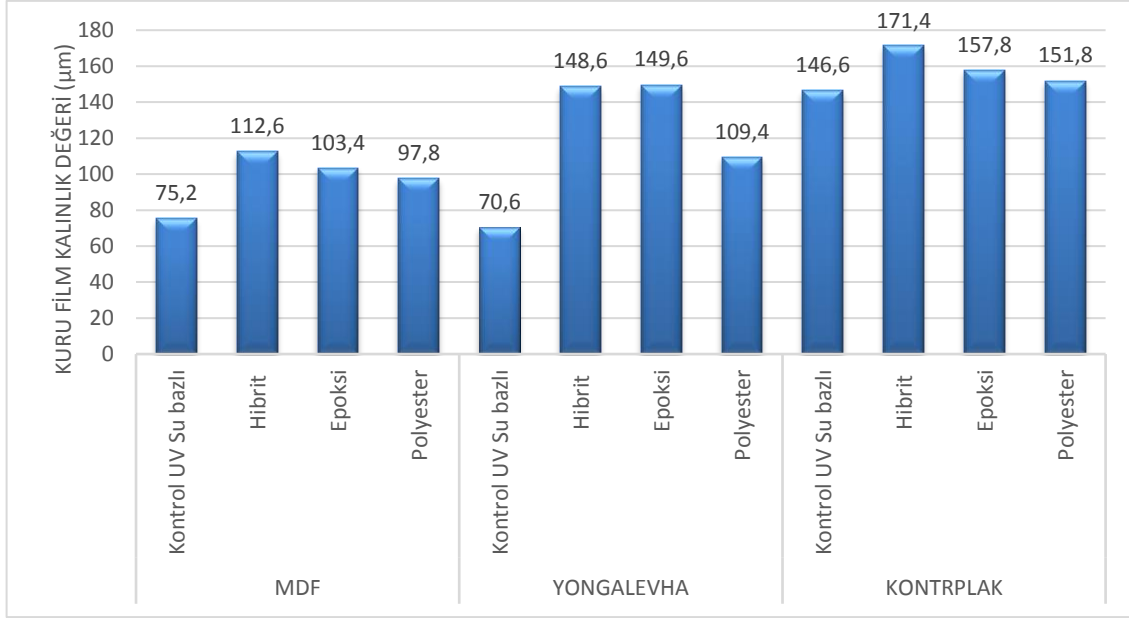
Epoksi, polyester hibrit toz boya ve su bazlı sıvı boya uygulanmış MDF, yongalevha ve kontrplak numunelerinin kuru boya film kalınlıklarına ait tanımlayıcı istatistiksel değerleri Tablo 4.1’de gösterilmektedir.

Tablo 4.1: Üstyüzey işlemi yapılmış levhaların kuru boya film kalınlıklarına ait tanımlayıcı istatistik değerler.

Malzeme Türü	Aritmetik Ortalama (μm)	Standart Sapma (μm)	n
MS (MDF Su Bazlı)	75.2	6.26	20
MH (MDF Hibrit Boya)	112.6	9.95	20
ME (MDF Epoksi)	103.4	2.63	20
MP (MDF Polyester)	97.8	4.39	20
YS (Yongalevha Su Bazlı)	70.6	2.59	20
YH (Yongalevha Hibrit)	148.6	15.98	20
YE (Yongalevha Epoksi)	149.6	10.16	20
YP (Yongalevha Polyester)	109.4	9.65	20
KS (Kontrplak Su Bazlı)	146.6	6.20	20
KH (Kontrplak Hibrit)	171.4	15.25	20
KE (Kontrplak Epoksi)	157.8	7.37	20
KP (Kontrplak Polyester)	151.8	8.36	20

Tablo 4.1’de gösterildiği gibi, MDF yüzeylere uygulanan boyaların kuru film kalınlıkları 75.2 – 112.6 μm, yongalevha gruplarında 70.6 – 149.6 μm ve kontrplak gruplarında ise 146.6 – 171.4 μm arasında değişmektedir. MDF grubunda, en yüksek kuru film kalınlık değeri hibrit esaslı toz boya grubunda, en düşük ise su bazlı sıvı boya grubunda elde edilmiştir. Yongalevha grubunda, en yüksek kuru film kalınlık değeri epoksi esaslı toz boya grubunda, en düşük ise su bazlı sıvı boya grubunda tespit edilmiştir. Kontrplak gruplarında ise, en yüksek kuru film kalınlık değeri hibrit esaslı toz boya grubunda, en düşük ise su bazlı sıvı esaslı boya grubunda tespit edilmiştir. Ahşap esaslı levhalara uygulanan Epoksi, polyester, hibrit esaslı toz boyalar

ve su bazlı sıvı boya gruplarına ait kuru film kalınlıklarının karşılaştırılması Şekil 4.1’de gösterilmektedir.



Şekil 4.1: Ahşap esaslı levhalara uygulanan epoksi, polyester, hibrit esaslı toz boyalar ve su bazlı sıvı boya gruplarına ait kuru film kalınlıklarının karşılaştırılması.

Şekil 4.1’de görüldüğü gibi, boya kuru film kalınlıkları en yüksek, ortalama 157 μm ile kontrplak levhalarda, daha sonra ortalama 120 μm ile MDF levhalarda, en düşük ise 97 μm ile MDF levhalarda tespit edilmiştir.

4.2. KALINLIĞINA ŞİŞME

Toz boya ve su bazlı sıvı boya uygulanmış MDF, yongalevha ve kontrplak örnekleri 24 saat suda bekletme sonucu kalınlığında şişme değerleri incelenmiştir. Bu levha gruplarının kalınlığında şişme miktarı sonuçlarına ait tanımlayıcı istatistik değerler Tablo 4.2’de verilmiştir.

Tablo 4.2: Üstyüzey işlemi uygulanmış MDF, yongalevha ve kontrplak gruplarının kalınlığına şişme miktarına ait tanımlayıcı istatistik değerleri.

Malzeme Türü	Aritmetik Ortalama (%)	Standart Sapma (%)	n
MDF Su bazlı	6.67	1.232	20
MDF Hibrit	2.41	0.326	20
MDF Epoksi	2.57	0.391	20
MDF Polyester	1.93	0.331	20
Yongalevha Su Bazlı	21.64	1.352	20
Yongalevha Hibrit	19.17	2.408	20
Yongalevha Epoksi	19.68	0.770	20
Yongalevha Polyester	18.54	0.884	20
Kontrplak Su Bazlı	1.88	0.467	20
Kontrplak Hibrit	2.32	0.353	20
Kontrplak Epoksi	2.41	0.252	20
Kontrplak Polyester	2.28	0.451	20

Çeşitli boya işlemi uygulanmış MDF, yongalevha ve kontrplak numunelerinin 24 saat suda bekleme sonucunda kalınlığında şişme değerleri % 1.88 ile % 21.64 arasında değişim göstermektedir. Kalınlığında şişme miktarı üzerine levha türü, boya çeşidi bu faktörlerin karşılıklı etkileşimlerini tespit etmek amacıyla çoklu varyans analizi yapılmıştır ve sonuçlar Tablo 4.3’de verilmiştir.

Tablo 4.3: Üstyüzey işlemi uygulanmış levha gruplarının kalınlığında şişme değerlerine ait çoklu varyans analizi.

Kaynak	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kare	F Değeri	Önem Düzeyi
Düzeltilen Model	15777.675 ^a	11	1434.334	1520.613	.000*
Kesişim	17166.002	1	17166.002	18198.586	.000
Levha Türü	15376.049	2	7688.025	8150.481	.000
Boya Çeşidi	218.408	3	72.803	77.182	.000
Etkileşim (boya+levha)	183.218	6	30.536	32.373	.000
Hata	215.063	228	.943		
Toplam	33158.740	240			
Doğrulanmış Toplam	15992.739	239			

*: Anlamlı ($\alpha=0,05$ 'e göre)

Varyans analizi sonucuna göre levha türü, boya çeşidi ve bu faktörlerin etkileşimleri anlamlı çıkmıştır. (Sig.=0.05). Her iki faktör için farklı ve eşit kabul edilebilecek grup ve grupları

belirlemek için her bir levha türü kendi içinde Duncan testine tabi tutulmuş olup, sonuçlar Tablo 4.4, Tablo 4.5 ve Tablo 4.6’da karşılaştırılması yapılmıştır.

Tablo 4.4: Üstyüzey işlemi uygulanmış MDF gruplarına ait Duncan testi karşılaştırma sonucu (%).

Boya	N	Alt Küme		
		1	2	3
Polyester	20	1.88405		
Hibrit	20		2.41150	
Epoksi	20		2.57670	
Su bazlı	20			6.67240
Sig.		1.000	.433	1.000

MDF levhalarda boya türünün kalınlığına şişme miktarı üzerine etkisini incelemek için yapılan Duncan testinin sonuçlarına göre hibrit esaslı toz boya ve epoksi esaslı toz boya grupları arasında anlamlı bir farklılık olmadığı, fakat diğer toz boya ve su bazlı boya grupları arasında anlamlı bir farklılık olduğu tespit edilmiştir. Elde edilen bu veriler neticesinde, kalınlığında şişme oranı en yüksek su bazlı MDF grubunda (%6.67), en düşük ise polyester esaslı toz boya uygulanmış MDF grubunda (%1.88) tespit edilmiştir.

Tablo 4.5: Üstyüzey işlemi uygulanmış yongalevha gruplarına ait Duncan testi karşılaştırma sonucu (%).

Boya	N	Alt Küme		
		1	2	3
Polyester	20	18.54935		
Hibrit	20	19.17800	19.17800	
Epoksi	20		19.68440	
Su Bazlı	20			21.61670
Sig.		.188	.288	1.000

Yongalevha yüzeylerine uygulanan boya türünün, kalınlığında şişme miktarı üzerine etkisini incelemek için yapılan Duncan testinin sonuçlarına göre, hibrit esaslı toz boya, diğer toz boya grupları arasında anlamlı bir farklılık olmadığı, toz boya ve su bazlı boya uygulanmış

yongalevha grupları arasında ise anlamlı bir farklılık olduğu tespit edilmiştir. Tablo 4.5’de belirtildiği gibi kalınlığında şişme oranı en yüksek su bazlı sıvı boya uygulanmış yongalevha grubunda (%21.9), en düşük ise polyester esaslı toz boya uygulanmış yongalevha grubunda (%18.19) elde edilmiştir.

Tablo 4.6: Üstyüzey işlemi uygulanmış kontrplak gruplarına ait Duncan testi karşılaştırma sonucu (%).

Boya	n	Alt Küme	
		1	2
Su Bazlı	20	1.88915	
Polyester	20		2.2821
Hibrit	20		2.3255
Epoksi	20		2.4170
Sig.		1.000	.309

Kontrplak levha yüzeylerine uygulanan boya türünün kalınlığında şişme miktarı üzerine etkisini incelemek için yapılan Duncan testinin sonuçlarına göre epoksi, polyester, hibrit toz boya uygulanmış kontrplak grupları arasında anlamlı bir farklılık olmadığı, su bazlı sıvı boya uygulanmış kontrplak levha grubunda ise anlamlı bir farklılık olduğu tespit edilmiştir. Kalınlığında şişme oranı en yüksek hibrit esaslı toz boya uygulanmış kontrplak grubunda (%2.41), en düşük ise su bazlı sıvı boya uygulanmış kontrplak grubunda (% 1.88) elde edilmiştir. Levha yüzeylerinde kullanılan boya faktörü için, farklı ve eşit kabul edilebilecek grup ve grupları belirlemek için her bir boya çeşidi kendi içinde Duncan testine tabi tutulmuş olup, sonuçlar Tablo 4.7, Tablo 4.8, Tablo 4.9 ve Tablo 4.10’da karşılaştırılması yapılmıştır.

Tablo 4.7: Su bazlı boya uygulanmış levha gruplarının kalınlığında şişme değerlerine ait Duncan testi karşılaştırma sonucu (%).

Levha Türü	n	Alt Küme		
		1	2	3
Kontrplak	20	1.88915		
MDF	20		6.67240	
Yongalevha	20			21.61670
Sig.		1.000	1.000	1.000

Su bazlı boya uygulanmış levha gruplarının, kalınlığında şişme miktarı üzerine etkisini incelemek için yapılan Duncan testinin sonuçlarına göre, kalınlığına şişme değeri en yüksek yongalevha yüzeylerine uygulanmış su bazlı boya grubunda (% 21.61), en düşük ise kontrplak yüzeylerine uygulanmış su bazlı levha grubunda (% 1.88) tespit edilmiştir.

Tablo 4.8: Hibrit esaslı toz boya uygulanmış levha gruplarının kalınlığında şişme değerlerine ait Duncan testi karşılaştırma sonucu (%).

Levha Türü	n	Alt Küme	
		1	2
Kontrplak	20	2.32555	
MDF	20	2.41150	
Yongalevha	20		19.17800
Sig.		.849	1.000

Hibrit esaslı toz boya uygulanmış levha gruplarının, kalınlığında şişme miktarı üzerine etkisini incelemek için yapılan Duncan testinin sonuçlarına göre, kalınlığına şişme değeri en yüksek hibrit esaslı toz boya uygulanmış yongalevha grubunda (% 19.17), en düşük ise hibrit esaslı toz boya uygulanmış kontrplak grubunda (% 2.32) tespit edilmiştir.

Tablo 4.9: Epoksi esaslı toz boya uygulanmış levha gruplarının kalınlığında şişme değerlerine ait Duncan testi karşılaştırma sonucu (%).

Levha Türü	n	Alt Küme	
		1	2
Kontrplak	20	2.41705	
MDF	20	2.57670	
Yongalevha	20		19.68440
Sig.		.324	1.000

Epoksi esaslı toz boya uygulanmış levha gruplarının, kalınlığında şişme miktarı üzerine etkisini incelemek için yapılan Duncan testinin sonuçlarına göre, kalınlığına şişme değeri en yüksek epoksi esaslı toz boya uygulanmış yongalevha grubunda (% 19.68), en düşük ise epoksi esaslı toz boya uygulanmış kontrplak grubunda (% 2.41) tespit edilmiştir.

Tablo 4.10: Polyester esaslı toz boya uygulanmış levha gruplarının kalınlığında şişme değerlerine ait Duncan testi karşılaştırma sonucu (%).

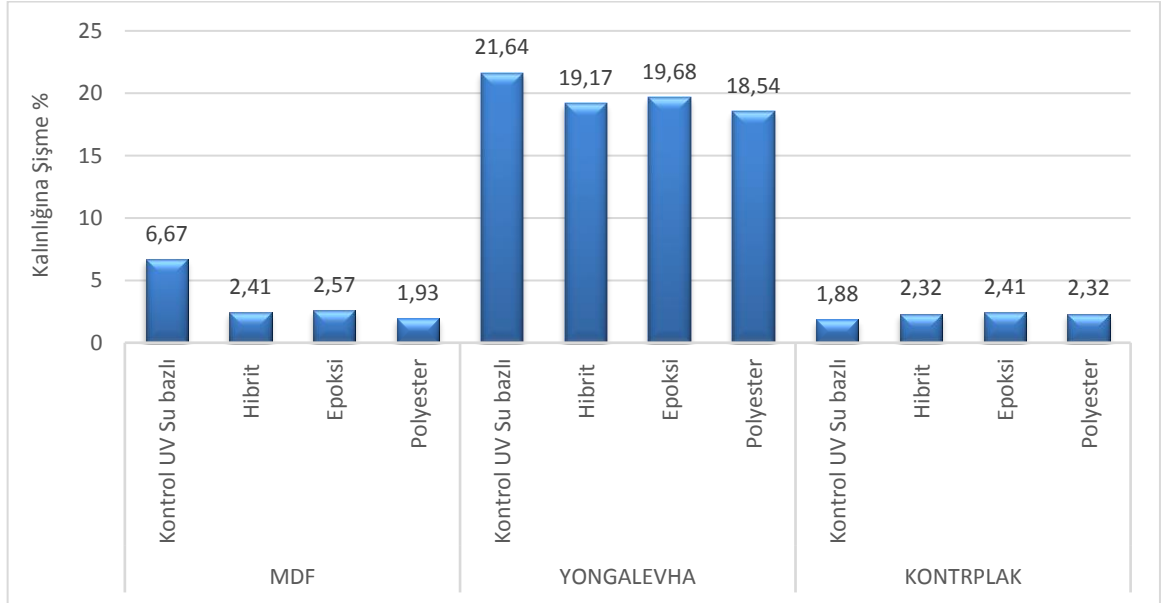
Levha Türü	n	Alt Küme		
		1	2	3
MDF	20	1.88405		
Kontrplak	20		2.28210	
Yongalevha	20			18.54935
Sig.		1.000	1.000	1.000

Polyester esaslı toz boya uygulanmış levha gruplarının, kalınlığında şişme miktarı üzerine etkisini incelemek için yapılan Duncan testinin sonuçlarına göre, kalınlığına şişme değeri en yüksek polyester esaslı toz boya uygulanmış yongalevha grubunda (% 18.54), en düşük ise polyester esaslı toz boya uygulanmış MDF grubunda (% 1.88) tespit edilmiştir. Levha türü ve boya çeşidi ikili etkileşimi düzeyinde yapılan Duncan testi karşılaştırma sonuçları Tablo 4.11’de gösterilmiştir.

Tablo 4.11: Levha türü ve boya çeşidi etkileşiminin kalınlığında şişme değerlerine ait Duncan testi karşılaştırma sonuçları (%).

Boyanmış Levha Grupları	n	Alt Küme				
		1	2	3	4	5
MP	20	1.88405				
KS	20	1.88915				
KP	20	2.28210				
KH	20	2.32555				
MH	20	2.41150				
KE	20	2.41705				
ME	20	2.57670				
MS	20		6.67240			
YP	20			18.54935		
YH	20				19.17800	
YE	20				19.68440	
YS	20					21.61670
Sig.		.051	1.000	1.000	.101	1.000

Levha türü ve boya çeşidi etkileşimi neticesinde kalınlığında şişme en yüksek su bazlı boya uygulanmış yongalevha grubunda, en düşük ise polyester esaslı toz boya uygulanmış MDF grubunda elde edilmiştir. 24 saat suda bekletilmiş boyalı tüm levha gruplarına ait kalınlığına şişme oranlarının karşılaştırılması Şekil 4.2’de verilmiştir.



Şekil 4.2: Boyalı tüm levha gruplarına ait kalınlığına şişme oranları.

Şekil 4.2’de görüldüğü gibi, 24 saat suda bekletilmiş boyalı tüm levha gruplarına ait kalınlığına şişme oranları en yüksek, ortalama % 19.75 ile yongalevhelerde, daha sonra ortalama % 3.39 ile MDF levhalarda, en düşük ise % 2.23 ile kontrplak levhalarda tespit edilmiştir.

4.3. SU ALMA MİKTARI

Toz boya ve su bazlı sıvı boya uygulanmış MDF, yongalevha ve kontrplak levhalarının 24 saat suda bekletme sonucu su alma değerleri incelenmiştir. Bu levha gruplarının su alma miktarı sonuçlarına ait tanımlayıcı istatistik değerler Tablo 4.12’de verilmiştir.

Tablo 4.12: Boyanmış MDF, yongalevha ve kontrplak gruplarının su alma miktarına ait tanımlayıcı istatistik değerler.

Malzeme Türü	Aritmetik Ortalama (%)	Standart Sapma (%)	n
MDF su bazlı	31.64	1.328	20
MDF Hibrit boya	15.36	1.333	20
MDF Epoksi	16.20	0.881	20
MDF Polyester	12.35	2.370	20
Yongalevha su bazlı	147.51	3.126	20
Yongalevha hibrit	86.04	1.910	20
Yongalevha epoksi	87.89	2.821	20
Yongalevha polyester	54.71	1.070	20
Kontrplak Su Bazlı	23.03	1.643	20
Kontrplak Hibrit	26.54	1.617	20
Kontrplak Epoksi	27.77	1.169	20
Kontrplak Polyester	24.88	1.047	20

Epoksi, polyester, hibrit toz boya ve su bazlı sıvı boya uygulanmış MDF, yongalevha ve kontrplak levhaların 24 saat suda bekleme sonucunda su alma değerleri % 12.35 ile % 147.51 arasında değişim göstermektedir. Su alma miktarı üzerine levha türü, boya çeşidi ve bu faktörlerin karşılıklı etkileşimlerini tespit etmek amacıyla çoklu varyans analizi yapılmıştır ve sonuçlar Tablo 4.13’de verilmiştir.

Tablo 4.13: Üstyüzey işlemi uygulanmış levha gruplarının su alma değerlerine ait çoklu varyans analizi.

Kaynak	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kare	F Değeri	Önem Düzeyi
Düzeltilen Model	371743.798 ^a	11	33794.891	10073.734	.000
Kesişim	511467.944	1	511467.94	152460.680	.000
Levha Türü	276840.437	2	138420.21	41260.925	.000
Boya Çeşidi	42519.981	3	14173.327	4224.849	.000
Etkileşim (boya+levh)	52383.380	6	8730.563	2602.446	.000
Hata	764.884	228	3.355		
Toplam	883976.626	240			
Doğrulanmış Toplam	372508.682	239			

Tablo 4.13’de belirtilen Varyans analizi sonucuna göre levha türü, boya çeşidi ve bu faktörlerin etkileşimleri anlamlı çıkmıştır (Sig.=0.05). Her iki faktör için farklı ve eşit kabul edilebilecek grup ve grupları belirlemek için her bir levha türü kendi içinde Duncan testine tabi tutulmuş olup sonuçlar Tablo 4.14, Tablo 4.15 ve Tablo 4.16’da karşılaştırılması yapılmıştır.

Tablo 4.14: Üstyüzey işlemi uygulanmış MDF gruplarına ait Duncan testi karşılaştırma sonucu (%).

Boya	n	Alt Küme		
		1	2	3
Polyester	20	12.35620		
Hibrit	20		15.36680	
Epoksi	20		16.20130	
Su Bazlı	20			31.64120
Sig.		1.000	.098	1.000

Üstyüzey işlemi uygulanmış MDF levhaların su alma miktarı üzerine etkisini incelemek için yapılan Duncan testinin sonuçlarına göre, epoksi ve hibrit esaslı toz boya uygulanmış MDF grupları arasında anlamlı bir farklılık olmadığı, su bazlı sıvı boya ve toz boya uygulanmış MDF grupları ise anlamlı bir farklılık olduğu tespit edilmiştir. Elde edilen bu veriler neticesinde, su alma oranı en yüksek (% 31.64) su bazlı boya uygulanmış MDF grubunda, en düşük ise polyester esaslı toz boya uygulanmış MDF grubunda (% 12.35) bulunmuştur.

Tablo 4.15: Üstyüzey işlemi uygulanmış yongalevha gruplarına ait Duncan testi karşılaştırma sonucu (%).

Boya	n	Alt Küme			
		1	2	3	4
Polyester	20	54.71400			
Hibrit	20		86.04235		
Epoksi	20			87.89400	
Su Bazlı	20				147.51260
Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000

Üstyüzey işlemi uygulanmış yongalevhaların su alma miktarı üzerine etkisini incelemek için yapılan Duncan testi sonucuna göre, tüm boya grupları arasında anlamlı bir farklılık olduğu tespit edilmiştir. Su alma oranı en yüksek su bazlı sıvı boya uygulanmış yongalevha grubunda (% 147.99), en düşük ise polyester esaslı toz boya uygulanmış yongalevha grubunda (% 49.72) elde edilmiştir.

Tablo 4.16: Toz boya ve su bazlı boya uygulaması gerçekleştirilmiş kontrplak levha gruplarına ait Duncan testi karşılaştırma sonucu (%).

Boya	n	Alt Küme			
		1	2	3	4
Kontrol	20	23.03860			
Polyester	20		24.88990		
Hibrit	20			26.54125	
Epoksi	20				27.77000
Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000

Toz boya ve sıvı esaslı su bazlı boya uygulanmış kontrplak levhaların su alma miktarı üzerine etkisini incelemek için yapılan Duncan testi sonucuna göre, tüm boya grupları arasında anlamlı bir farklılık olduğu tespit edilmiştir. Su alma oranı en yüksek epoksi esaslı toz boya uygulanmış kontrplak levha grubunda (% 27.77), en düşük ise su bazlı boya uygulanmış kontrplak levha grubunda (% 23.03) elde edilmiştir.

Levha yüzeylerinde kullanılan boya faktörü için farklı ve eşit kabul edilebilecek grup ve grupları belirlemek için her bir boya çeşidi kendi içinde Duncan testine tabi tutulmuş olup sonuçlar Tablo 4.17, Tablo 4.18, Tablo 4.19 ve Tablo 4.20’de karşılaştırılması yapılmıştır.

Tablo 4.17: Su bazlı boya uygulanmış levha gruplarının su alma değerlerine ait Duncan testi karşılaştırma sonucu (%).

Levha Türü	n	Alt Küme		
		1	2	3
Kontrplak	20	23.03860		
MDF	20		31.64120	
Yongalevha	20			147.51260
Sig.		1.000	1.000	1.000

Su bazlı boya uygulanmış levha gruplarının, su alma miktarı üzerine etkisini incelemek için yapılan Duncan testinin sonuçlarına göre, su alma değeri en yüksek su bazlı boya uygulanmış yongalevha grubunda (% 147.5), en düşük ise su bazlı boya uygulanmış kontrplak grubunda (% 23.03) tespit edilmiştir.

Tablo 4.18: Hibrit esaslı toz boya uygulanmış levha gruplarının su alma değerlerine ait Duncan testi karşılaştırma sonucu (%).

Levha Türü	n	Alt Küme		
		1	2	3
MDF	20	15.36680		
Kontrplak	20		26.54125	
Yongalevha	20			86.04235
Sig.		1.000	1.000	1.000

Hibrit esaslı toz boya uygulanmış levha gruplarının, su alma miktarı üzerine etkisini incelemek için yapılan Duncan testinin sonuçlarına göre, su alma değeri en yüksek hibrit esaslı toz boya uygulanmış yongalevha grubunda (% 86.04), en düşük ise hibrit esaslı toz boya uygulanmış MDF grubunda (% 15.36) tespit edilmiştir.

Tablo 4.19: Epoksi esaslı toz boya uygulanmış levha gruplarının su alma değerlerine ait Duncan testi karşılaştırma sonucu (%).

Levha Türü	n	Alt Küme		
		1	2	3
MDF	20	16.20130		
Kontrplak	20		27.77000	
Yongalevha	20			87.89400
Sig.		1.000	1.000	1.000

Epoksi esaslı toz boya uygulanmış levha gruplarının, su alma miktarı üzerine etkisini incelemek için yapılan Duncan testinin sonuçlarına göre, su alma değeri en yüksek epoksi esaslı toz boya uygulanmış yongalevha grubunda (% 87.89), en düşük ise hibrit esaslı toz boya uygulanmış MDF grubunda (% 16.20) tespit edilmiştir.

Tablo 4.20: Polyester esaslı toz boya uygulanmış levha gruplarının su alma değerlerine ait Duncan testi karşılaştırma sonucu (%).

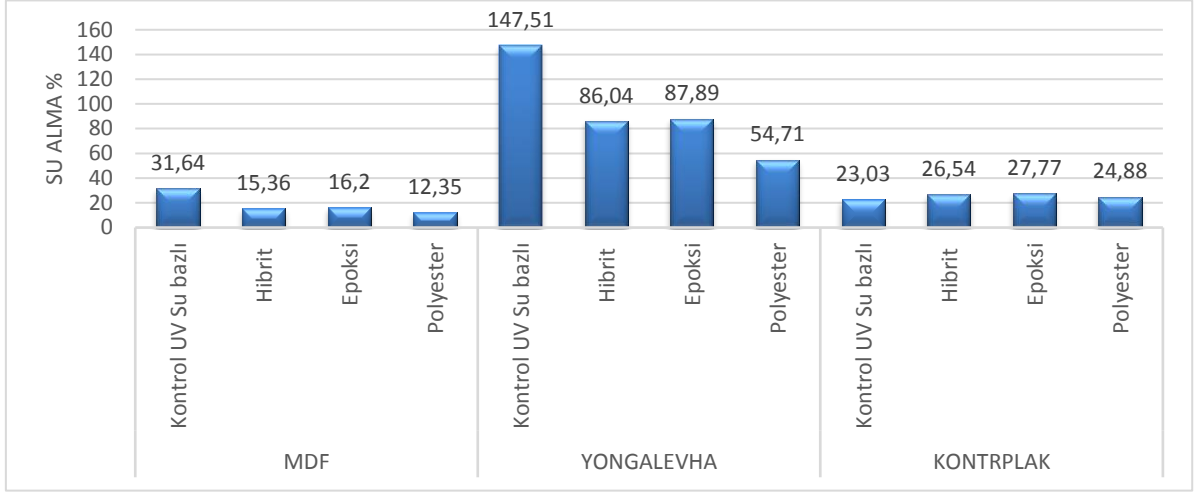
Levha Türü	n	Alt Küme		
		1	2	3
MDF	20	12.35620		
Kontrplak	20		24.88990	
Yongalevha	20			54.71400
Sig.		1.000	1.000	1.000

Polyester esaslı toz boya uygulanmış levha gruplarının, su alma miktarı üzerine etkisini incelemek için yapılan Duncan testinin sonuçlarına göre, su alma değeri en yüksek polyester esaslı toz boya uygulanmış yongalevha grubunda (% 54.71), en düşük ise polyester esaslı toz boya uygulanmış MDF grubunda (% 12.35) tespit edilmiştir. Su alma oranına ait, hem levha türü hem de boya çeşidi ikili etkileşimi düzeyinde yapılan Duncan testi karşılaştırma sonuçları Tablo 4.21’de gösterilmiştir.

Tablo 4.21: Levha türü ve boya çeşidi etkileşiminin su alma oranına ait Duncan testi karşılaştırma sonuçları (%).

Boyanmış Levha Grupları	n	Alt Küme										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
MP	20	12.35										
MH	20		15.36									
ME	20		16.20									
KS	20			23.03								
KP	20				24.88							
KH	20					26.54						
KE	20						27.77					
MS	20							31.64				
YP	20								54.71			
YH	20									86.04		
YE	20										87.89	
YS	20											147.5
Sig.		1.000	.151	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Levha türü ve boya çeşidi etkileşimi sonucunda su alma oranı en yüksek su bazlı boya uygulanmış yongalevha numunlerinde, en düşük ise polyester esaslı toz boya uygulanmış MDF numunlerinde tespit edilmiştir. 24 saat suda bekletilmiş epoksi, polyester, hibrit esaslı toz boya ve su bazlı sıvı boya uygulanmış MDF, yongalevha ve kontrplak levha gruplarına ait su alma oranlarının karşılaştırılması Şekil 4.3’de verilmiştir.



Şekil 4.3: Toz boya ve su bazlı boya uygulaması yapılmış levha gruplarına ait su alma oranları.

Şekil 4.3’de görüldüğü gibi, 24 saat suda bekletilmiş boyalı tüm levha gruplarına ait su alma oranları en yüksek, ortalama % 94.03 ile yongalevhelerde, daha sonra ortalama % 25.55 ile kontrplak levhalarda, en düşük ise % 18.88 ile MDF levhalarda tespit edilmiştir.

4.4. YAPIŞMA DİRENCİ

MDF, yongalevha ve kontrplak levha yüzeylerine uygulanan epoksi, polyester, hibrit toz boyalar ve kontrol grubu olarak ele alınan su bazlı sıvı boyanın yapışma direnç değerleri incelenmiştir. MDF, yongalevha ve kontrplak levhaların yüzeylerine uygulanan boyaların yapışma direncine ait tanımlayıcı istatistik değerler Tablo 4.22’de verilmiştir.

Tablo 4.22: MDF, yongalevha ve kontrplak levhaların yüzeylerine uygulanan boyaların yapışma direncine ait tanımlayıcı istatistik değerler.

Malzeme Türü	Aritmetik Ortalama (MPa)	Standart Sapma (MPa)	n
MDF Su bazlı	1.23	0.230	20
MDF Hibrit boya	2.09	0.261	20
MDF Epoksi	2.33	0.148	20
MDF Polyester	2.21	0.101	20
Yongalevha Su Bazlı	1.45	0.190	20
Yongalevha Hibrit	1.72	0.128	20
Yongalevha Epoksi	1.60	0.171	20
Yongalevha Polyester	1.51	0.210	20
Kontrplak Su Bazlı	1.50	0.219	20
Kontrplak Hibrit	2.93	0.459	20
Kontrplak Epoksi	1.98	0.678	20
Kontrplak Polyester	2.27	0.295	20

Tablo 4.22’de belirtildiği gibi, MDF, yongalevha ve kontrplak levha yüzeylerine uygulanan epoksi, polyester, hibrit toz boyalar ve su bazlı sıvı boya gruplarının yapışma direnç değerleri 1.23 ile 2.93 MPa arasında değişmektedir. Yapışma direnç değeri üzerinde, levha türü, boya çeşidi ve bu faktörlerin karşılıklı etkileşimlerini tespit etmek amacıyla çoklu varyans analizi yapılmıştır ve sonuçlar Tablo 4.23’de verilmiştir.

Tablo 4.23: MDF, yongalevha ve kontrplak levha yüzeylerine uygulanan boyaların yapışma direncine ait çoklu varyans analizi.

Kaynak	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kare	F Değeri	Önem Düzeyi
Düzeltilen Model	52.166 ^a	11	4.742	52.323	.000
Kesişim	871.690	1	871.690	9617.436	.000
Levha Türü	14.966	2	7.483	82.562	.000
Boya Çeşidi	23.402	3	7.801	86.064	.000
Etkileşim (boya+levha)	13.798	6	2.300	25.372	.000
Hata	20.665	228	.091		
Toplam	944.521	240			
Doğrulanmış Toplam	72.831	239			

Yapılan çoklu varyans analizi sonucuna göre, levha türü, boya çeşidi ve bu faktörlerin etkileşimleri anlamlı çıkmıştır (Sig.=0.05). Her iki faktör için farklı ve eşit kabul edilebilecek grup ve grupları belirlemek için her bir levha türü kendi içinde Duncan testine tabi tutulmuş olup sonuçlar Tablo 4.24, Tablo 4.25 ve Tablo 4.26’da karşılaştırılması yapılmıştır.

Tablo 4.24: MDF levha yüzeylerine uygulanan boya gruplarının yapışma direnç değerlerine ait Duncan test sonucu (MPa).

Boya	n	Alt Küme		
		1	2	3
Su Bazlı	20	1.2365		
Hibrit	20		2.0910	
Polyester	20			2.2155
Epoksi	20			2.3305
Sig.		1.000	1.000	.068

MDF yüzeylerine uygulanmış boyaların yapışma direnç değerlerini incelemek için yapılan Duncan testinin sonuçlarına göre, epoksi ve polyester esaslı toz boyalar arasında anlamlı bir farklılık olmadığı, hibrit esaslı toz boya ve su bazlı boya grupları arasında anlamlı bir farklılık olduğu tespit edilmiştir. En yüksek yapışma direnç değeri epoksi esaslı toz boya uygulanmış MDF grubunda (2.33 MPa), en düşük ise su bazlı sıvı boya uygulanmış MDF grubunda (1.23 MPa) bulunmuştur.

Tablo 4.25: Yongalevha yüzeylerine uygulanan boya gruplarının yapışma direnç değerlerine ait Duncan test sonucu (MPa).

Boya	n	Alt Küme		
		1	2	3
Su Bazlı	20	1.4535		
Polyester	20	1.5175	1.5175	
Epoksi	20		1.6005	
Hibrit	20			1.7225
Sig.		.259	.144	1.000

Yongalevha yüzeylerine uygulanmış boyaların yapışma direnç değerlerini incelemek için yapılan Duncan testinin sonuçlarına göre epoksi ile polyester ve su bazlı sıvı boya ile polyester esaslı toz boya grupları arasında anlamlı bir farklılık olmadığı tespit edilmiştir. Yongalevha yüzeylerinde en yüksek yapışma direnç değeri hibrit esaslı toz boya uygulanmış yongalevha grubunda (1.72 MPa), en düşük ise su bazlı sıvı boya uygulanmış yongalevha grubunda (1.45 MPa) belirlenmiştir.

Tablo 4.26: Kontrplak yüzeylerine uygulanan boya gruplarının yapışma direnç değerlerine ait Duncan test sonucu (MPa).

Boya	N	Alt Küme			
		1	2	3	4
Su Bazlı	20	1.5045			
Epoksi	20		1.9835		
Polyester	20			2.2775	
Hibrit	20				2.9365
Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000

Kontrplak levha yüzeylerine uygulanmış boyaların yapışma direnç değerlerini incelemek için yapılan Duncan testinin sonuçlarına göre, tüm boya grupları arasında anlamlı bir farklılık tespit edilmiştir. En yüksek yapışma direnç değeri hibrit esaslı toz boya uygulanmış kontrplak grubunda (2.93 MPa), en düşük ise su bazlı sıvı boya uygulanmış kontrplak grubunda (1.50 MPa) belirlenmiştir.

Levha yüzeylerinde kullanılan boya faktörü için farklı ve eşit kabul edilebilecek grup ve grupları belirlemek için her bir boya çeşidi kendi içinde Duncan testine tabi tutulmuş olup sonuçlar Tablo 4.27, Tablo 4.28, Tablo 4.29 ve Tablo 4.30'da karşılaştırılması yapılmıştır.

Tablo 4.27: Levha yüzeylerine uygulanan su bazlı boyanın yapışma direnç değerlerine ait Duncan testi karşılaştırma sonucu (MPa).

Levha Türü	n	Alt Küme	
		1	2
MDF	20	1.2365	
Yongalevha	20		1.4535
Kontrplak	20		1.5045
Sig.		1.000	.455

Levha yüzeylerine uygulanan su bazlı boyanın yapışma direnç değerleri üzerine etkisini incelemek için yapılan Duncan testinin sonuçlarına göre, yapışma direnci en yüksek kontrplak grubunda (1.5 MPa), en düşük ise MDF grubunda (1.2 MPa) tespit edilmiştir.

Tablo 4.28: Levha yüzeylerine uygulanan hibrit esaslı toz boyanın yapışma direnç değerlerine ait Duncan testi karşılaştırma sonucu (MPa).

Levha Türü	n	Alt Küme		
		1	2	3
Yongalevha	20	1.7225		
MDF	20		2.0910	
Kontrplak	20			2.9365
Sig.		1.000	1.000	1.000

Levha yüzeylerine uygulanan hibrit esaslı toz boyanın yapışma direnç değerleri üzerine etkisini incelemek için yapılan Duncan testinin sonuçlarına göre, yapışma direnci en yüksek kontrplak grubunda (2.9 MPa), en düşük ise yongalevha grubunda (1.7 MPa) tespit edilmiştir.

Tablo 4.29: Levha yüzeylerine uygulanan epoksi esaslı toz boyanın yapışma direnç değerlerine ait Duncan testi karşılaştırma sonucu (MPa).

Levha Türü	n	Alt Küme		
		1	2	3
Yongalevha	20	1.6005		
Kontrplak	20		1.9835	
MDF	20			2.3305
Sig.		1.000	1.000	1.000

Levha yüzeylerine uygulanan epoksi esaslı toz boyanın yapışma direnç değerleri üzerine etkisini incelemek için yapılan Duncan testinin sonuçlarına göre, yapışma direnci en yüksek MDF grubunda (2.3 MPa), en düşük ise yongalevha grubunda (1.6 MPa) tespit edilmiştir.

Tablo 4.30: Levha yüzeylerine uygulanan polyester esaslı toz boyanın yapışma direnç değerlerine ait Duncan testi karşılaştırma sonucu (MPa).

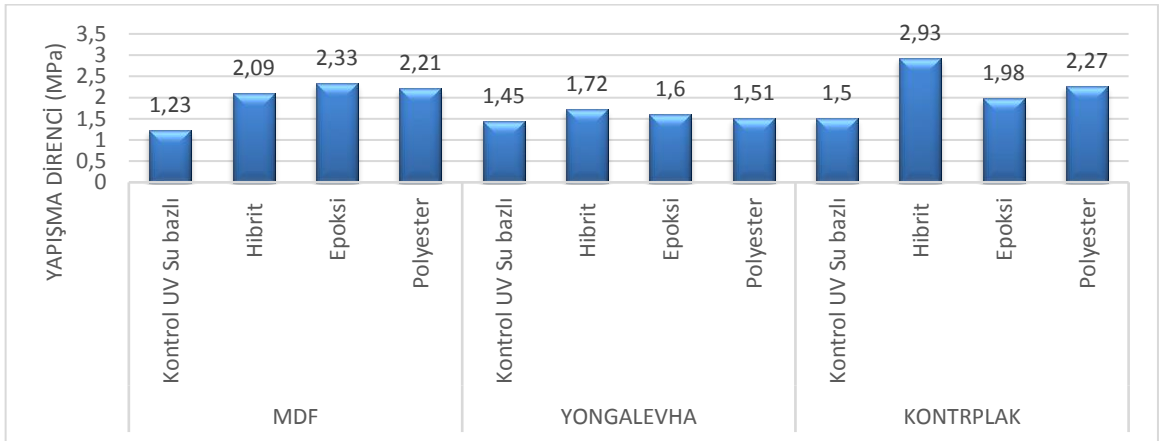
Levha Türü	n	Alt Küme	
		1	2
Yongalevha	20	1.5175	
MDF	20		2.2155
Kontrplak	20		2.2775
Sig.		1.000	.371

Levha yüzeylerine uygulanan polyester esaslı toz boyanın yapışma direnç değerleri üzerine etkisini incelemek için yapılan Duncan testinin sonuçlarına göre, yapışma direnci en yüksek Kontrplak grubunda (2.27 MPa), en düşük ise yongalevha grubunda (1.51 MPa) tespit edilmiştir. MDF ve kontrplak yüzeylerine uygulanan polyester esaslı toz boyaların yapışma direnç değerleri arasında anlamlı bir farklılık bulunmamaktadır. Hem levha türü hem de boya çeşidi etkileşimi düzeyinde yapılan Duncan testi karşılaştırma sonuçları Tablo 4.31’de gösterilmiştir.

Tablo 4.31: Levha türü ve boya çeşidi etkileşiminin yapışma direnç değerlerine ait Duncan testi karşılaştırma sonuçları (MPa).

Boyanmış Levha Grupları	n	Alt Küme						
		1	2	3	4	5	6	7
MS	20	1.2365						
YS	20		1.4535					
KS	20		1.5045					
YP	20		1.5175					
YE	20		1.6005	1.6005				
YH	20			1.7225				
KE	20				1.9835			
MH	20				2.0910	2.0910		
MP	20					2.2155	2.2155	
KP	20					2.2775	2.2775	
ME	20						2.3305	
KH	20							2.9365
Sig.		1.000	.163	.201	.260	.065	.258	1.000

Levha türü ve boya çeşidi etkileşimi sonucunda yapışma direnci en yüksek hibrit esaslı toz boya uygulanmış kontrplak levhalarda, en düşük ise su bazlı sıvı boya uygulanmış MDF levhalarda belirlenmiştir. MDF, yongalevha ve kontrplak levha yüzeylerine uygulanan epoksi, polyester, hibrit toz boya ve su bazlı sıvı boyaların yapışma direnç değerlerinin karşılaştırılması Şekil 4.4’de verilmiştir.



Şekil 4.4: Çeşitli boya uygulaması gerçekleştirilmiş levha gruplarına ait yapışma direnç değerlerinin karşılaştırılması.

Şekil 4.4’de görüldüğü gibi, boyaların levha yüzeylerine yapışma direnci en yüksek, ortalama 2.15 MPa ile kontrplak levhalarda, daha sonra ortalama 1.96 MPa ile MDF levhalarda, en düşük ise 1.94 MPa ile yongalevhalarda tespit edilmiştir.

4.5. AŞINMA DİRENCİ

MDF, yongalevha ve kontrplak levha yüzeylerine uygulanan epoksi, polyester, hibrit toz boya ve su bazlı sıvı boya numunelerine ait aşınma direnç değerleri incelenmiştir. Boyalı levha gruplarının aşınma direnç testinden elde edilen sonuçlara ait tanımlayıcı istatistik değerler Tablo 4.32’de verilmiştir.

Tablo 4.32: MDF ve yongalevha yüzeylerine uygulanan boyaların aşınma direncine ait tanımlayıcı istatistik değerler.

Malzeme Türü	Aritmetik Ortalama (Devir)	Standart Sapma (Devir)	n
MK (MDF Su bazlı)	35	2.45	10
MH (MDF Hibrit boya)	451	28.20	10
ME (MDF Epoksi)	238	54.58	10
MP (MDF Polyester)	345	46.46	10
YK (Yongalevha su bazlı)	35	8.11	10
YH (yongalevha hibrit)	514	52.78	10
YE (Yongalevha epoksi)	401	40.57	10
YP (Yongalevha polyester)	468	35.45	10
KK (Kontrplak Kontrol Su Bazlı)	77	5.49	10
KH (Kontrplak Hibrit)	486	31.94	10
KE (Kontrplak Epoksi)	396	34.38	10
KP (Kontrplak Polyester)	328	20.20	10

Tablo 4.32’de görüldüğü gibi MDF, yongalevha ve kontrplak levha yüzeylerine uygulanan boyaların aşınma direnç değeri 35 – 514 devir arasında değişmektedir. Aşınma direnç değeri üzerine, levha türü, boya çeşidi ve bu faktörlerin karşılıklı etkileşimlerini tespit etmek amacıyla çoklu varyans analizi yapılmıştır ve sonuçlar Tablo 4.33’de verilmiştir.

Tablo 4.33: MDF, yongalevha ve kontrplak yüzeylerine uygulanan boyaların aşınma direncine ait çoklu varyans analizi.

Kaynak	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kare	F Değeri	Önem Düzeyi
Düzeltilen Model	3455129.092 ^a	11	314102.64	262.925	.000
Kesişim	11881184.008	1	11881184.	9945.349	.000
Levha Türü	155551.667	2	77775.833	65.104	.000
Boya Çeşidi	3134731.692	3	1044910.5	874.660	.000
Etkileşim (boya+levh)	164845.733	6	27474.289	22.998	.000
Hata	129021.900	108	1194.647		
Toplam	15465335.000	120			
Doğrulanmış Toplam	3584150.992	119			

Yapılan çoklu varyans analizi sonucuna göre boya çeşidi, levha türü ve bu iki faktörlerinin etkileşimleri anlamlı çıkmıştır (Sig.=0.05). Her iki faktör için farklı ve eşit kabul edilebilecek grup ve grupları belirlemek için her bir levha türü kendi içinde Duncan testine tabi tutulmuş olup, sonuçlar Tablo 4.34, Tablo 4.35 ve Tablo 4.36’da karşılaştırılması yapılmıştır.

Tablo 4.34: MDF levha yüzeylerine uygulanan boya gruplarının aşınma direnç değerlerine ait Duncan test sonucu (devir).

Boya	n	Alt Küme			
		1	2	3	4
Su Bazlı	10	35.3000			
Epoksi	10		238.0000		
Polyester	10			345.0000	
Hibrit	10				451.0000
Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000

MDF yüzeylerine uygulanmış boyaların aşınma direnç değerlerini incelemek için yapılan Duncan testinin sonuçlarına göre, tüm boya grupları arasında anlamlı bir farklılık olduğu tespit edilmiştir. MDF yüzeylerinde en yüksek aşınma direnç değeri hibrit esaslı toz boya uygulanmış MDF grubunda (451 devir), en düşük ise su bazlı sıvı boya uygulanmış MDF grubunda (35 devir) bulunmuştur.

Tablo 4.35: Yongalevha yüzeylerine uygulanan boya gruplarının aşınma direnç değerlerine ait Duncan test sonucu (devir).

Boya	n	Alt Küme			
		1	2	3	4
Su Bazlı	10	34.6000			
Epoksi	10		400.6000		
Polyester	10			468.6000	
Hibrit	10				514.5000
Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000

Tablo 4.35’de, yongalevha yüzeylerine uygulanmış boyaların aşınma direnç değerlerini incelemek için yapılan Duncan testinin sonuçlarına göre, tüm boya grupları arasında anlamlı bir farklılık olduğu tespit edilmiştir. En yüksek aşınma direnç değeri hibrit esaslı toz boya uygulanmış yongalevha grubunda (514 devir), en düşük ise su bazlı sıvı boya uygulanmış yongalevha grubunda (35 devir) belirlenmiştir.

Tablo 4.36: Kontrplak levha yüzeylerine uygulanan boya gruplarının aşınma direnç değerlerine ait Duncan test sonucu (devir).

Boya	n	Alt Küme			
		1	2	3	4
Su Bazlı	10	77.2000			
Polyester	10		328.9000		
Epoksi	10			396.0000	
Hibrit	10				486.2000
Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000

Kontrplak levha yüzeylerine uygulanmış boyaların aşınma direnç değerlerini incelemek için yapılan Duncan testinin sonuçlarına göre, sıvı esaslı su bazlı boya ve toz boya grupları arasında anlamlı bir farklılık oluşturduğu belirlenmiştir. En yüksek aşınma direnç değeri hibrit esaslı toz boya uygulanmış yongalevha grubunda (486 devir), en düşük ise su bazlı sıvı boya uygulanmış yongalevha grubunda (77 devir) belirlenmiştir.

Levha yüzeylerinde kullanılan boyaların aşınma direnç değerleri bakımından, farklı ve eşit kabul edilebilecek grup ve grupları belirlemek için her bir boya çeşidi kendi içinde Duncan testine tabi tutulmuş olup, sonuçlar Tablo 4.37, Tablo 4.38, Tablo 4.39 ve Tablo 4.40'da karşılaştırılması yapılmıştır.

Tablo 4.37: Levha yüzeylerine uygulanan su bazlı boyanın aşınma direnç değerlerine ait Duncan testi karşılaştırma sonucu (devir).

Levha Türü	n	Alt Küme	
		1	2
Yongalevha	10	34.6000	
MDF	10	35.3000	
Kontrplak	10		77.2000
Sig.		.790	1.000

Levha yüzeylerine uygulanan su bazlı boyanın aşınma direnç değerleri üzerine etkisini incelemek için yapılan Duncan testinin sonuçlarına göre, aşınma direnci en yüksek kontrplak grubunda (77 devir), en düşük ise yongalevha grubunda (35 devir) tespit edilmiştir. Yongalevha ve MDF grupları arasında aşınma direnç değerleri anlamlı bir farklılık oluşturmamıştır.

Tablo 4.38: Levha yüzeylerine uygulanan hibrit esaslı toz boyanın aşınma direnç değerlerine ait Duncan testi karşılaştırma sonucu (devir).

Levha Türü	n	Alt Küme	
		1	2
MDF	10	451.00	
Kontrplak	10	486.20	486.20
Yongalevha	10		514.50
Sig.		.055	.118

Levha yüzeylerine uygulanan hibrit esaslı toz boyanın aşınma direnç değerleri üzerine etkisini incelemek için yapılan Duncan testinin sonuçlarına göre, aşınma direnci en yüksek yongalevha grubunda (514 devir), en düşük ise MDF grubunda (451 devir) tespit edilmiştir. Aşınma direnci değeri bakımından, kontrplak grubu, hem MDF hem de yongalevha grupları arasında anlamlı bir farklılık oluşturmamıştır.

Tablo 4.39: Levha yüzeylerine uygulanan epoksi esaslı toz boyanın aşınma direnç değerlerine ait Duncan testi karşılaştırma sonucu (devir).

Levha Türü	n	Alt Küme	
		1	2
MDF	10	238	
Kontrplak	10		396
Yongalevha	10		400.6
Sig.		1.000	.817

Levha yüzeylerine uygulanan epoksi esaslı toz boyanın aşınma direnç değerleri üzerine etkisini incelemek için yapılan Duncan testinin sonuçlarına göre, aşınma direnci en yüksek yongalevha grubunda (400 devir), en düşük ise MDF grubunda (238 devir) tespit edilmiştir. Yongalevha ve kontrplak grupları arasında aşınma direnç değerleri anlamlı bir farklılık oluşturmamıştır.

Tablo 4.40: Levha yüzeylerine uygulanan polyester esaslı toz boyanın aşınma direnç değerlerine ait Duncan testi karşılaştırma sonucu (devir).

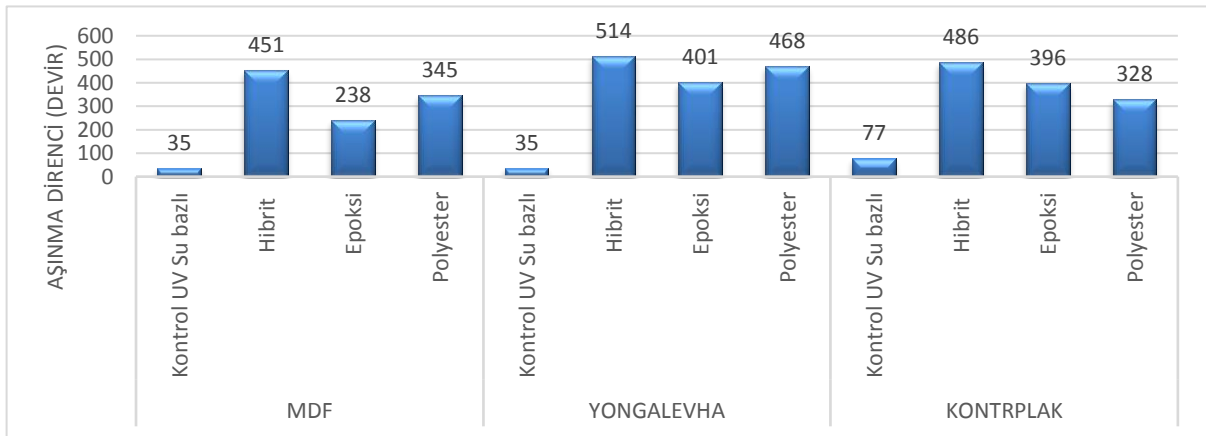
Levha Türü	n	Alt Küme	
		1	2
Kontrplak	10	328.9	
MDF	10	345	
Yongalevha	10		468.60
Sig.		.322	1.000

Levha yüzeylerine uygulanan polyester esaslı toz boyanın aşınma direnç değerleri üzerine etkisini incelemek için yapılan Duncan testinin sonuçlarına göre, aşınma direnci en yüksek yongalevha grubunda (468 devir), en düşük ise kontrplak grubunda (328 devir) tespit edilmiştir. MDF ve kontrplak grupları arasında aşınma direnç değerleri anlamlı bir farklılık oluşturmamıştır. Hem levha türü hem de boya çeşidi ikili etkileşimi düzeyinde yapılan Duncan testi karşılaştırma sonuçları Tablo 4.41’de gösterilmiştir.

Tablo 4.41: Levha türü ve boya çeşidi etkileşiminin aşınma direnç değerlerine ait Duncan testi karşılaştırma sonuçları (devir).

Boyanmış Levha Grupları	n	Alt Küme							
		1	2	3	4	5	6	7	8
YS	10	34.60	77.20	238	328.90 345.00	396 400.6	451 468.6	468.6 486.2	486.2 514.5
MS	10	35.30							
KS	10								
ME	10								
KP	10								
MP	10								
KE	10								
YE	10								
MH	10								
YP	10								
KH	10								
YH	10								
Sig.		.964	1.000	1.000	.300	.767	.257	.257	.070

Levha türü ve boya çeşidi etkileşimi sonucunda aşınma direnci en yüksek hibrit esaslı toz boya uygulanmış yongalevha grubunda, en düşük ise su bazlı boya uygulanmış yongalevha grubunda tespit edilmiştir. MDF, yongalevha ve kontrplak levha yüzeylerine uygulanan epoksi, polyester, hibrit toz boya ve su bazlı sıvı boyaların aşınma direnç değerlerinin karşılaştırılması Şekil 4.5’de verilmiştir.



Şekil 4.5: Toz boya ve su bazlı boya uygulaması gerçekleştirilmiş levha gruplarına ait aşınma direnç değerlerinin karşılaştırılması.

Şekil 4.5’de görüldüğü gibi, levha yüzeylerine uygulanan boyaların aşınma direnci en yüksek, ortalama 354 devir ile yongalevhelerde, daha sonra ortalama 322 devir ile kontrplak levhalarda, en düşük ise 267 devir ile MDF levhalarda tespit edilmiştir.

4.6. ÇİZİLME DİRENCİ

MDF, yongalevha ve kontrplak levha yüzeylerine uygulanan toz boya ve su bazlı sıvı boyaların çizilme direnç değerleri incelenmiştir. Boyalı levha gruplarının çizilme direnç testinden elde edilen sonuçlara ait tanımlayıcı istatistik değerler Tablo 4.42’de verilmiştir.

Tablo 4.42: MDF, yongalevha ve kontrplak yüzeylerine uygulanan boyaların çizilme direncine ait tanımlayıcı istatistik değerler.

Malzeme Türü	Aritmetik Ortalama (Newton)	Standart Sapma	n
MDF Su bazlı	2.35	0.241	10
MDF Hibrit boya	2.50	0.333	10
MDF Epoksi	2.55	0.158	10
MDF Polyester	2.65	0.241	10
Yongalevha Su Bazlı	2.45	0.158	10
Yongalevha Hibrit	2.80	0.258	10
Yongalevha Epoksi	2.55	0.158	10
Yongalevha Polyester	2.65	0.241	10
Kontrplak Su Bazlı	2.40	0.210	10
Kontrplak Hibrit	2.65	0.241	10
Kontrplak Epoksi	2.85	0.241	10
Kontrplak Polyester	2.65	0.241	10

Tablo 4.42’de görüldüğü gibi MDF, yongalevha ve kontrplak levha yüzeylerine uygulanan boyaların çizilme direnç değeri 2.35 ile 2.85 N arasında değişmektedir. Çizilme direnç değeri üzerine, levha türü, boya çeşidi ve bu faktörlerin karşılıklı etkileşimlerini tespit etmek amacıyla çoklu varyans analizi yapılmıştır ve sonuçlar Tablo 4.43’de verilmiştir.

Tablo 4.43: MDF, yongalevha ve kontrplak levha yüzeylerine uygulanan boyaların çizilme direncine ait çoklu varyans analizi.

Kaynak	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kare	F Değeri	Önem Düzeyi
Düzeltilen Model	2.506 ^a	11	.228	4.224	.000
Kesişim	803.419	1	803.419	14896.00	.000
Levha Türü	.350	2	.175	3.245	.043
Boya Çeşidi	1.406	3	.469	8.691	.000
Etkileşim (boya+levha)	.750	6	.125	2.318	.038
Hata	5.825	108	.054		
Toplam	811.750	120			
Doğrulanmış Toplam	8.331	119			

Yapılan çoklu varyans analizi sonucuna göre boya çeşidi, levha türü ve bu iki faktörlerinin etkileşimleri anlamlı çıkmıştır (Sig.=0.05). Her iki faktör için farklı ve eşit kabul edilebilecek grup ve grupları belirlemek için her bir levha türü kendi içinde Duncan testine tabi tutulmuş olup sonuçlar Tablo 4.44, Tablo 4.45 ve Tablo 4.46’da karşılaştırılması yapılmıştır.

Tablo 4.44: MDF levha yüzeylerine uygulanan boya gruplarının çizilme direnç değerlerine ait Duncan test sonucu (N).

Boya	n	Alt Küme	
		1	2
Su Bazlı	10	2.3500	
Hibrit	10	2.5000	2.5000
Epoksi	10	2.5500	2.5500
Polyester	10		2.6500
Sig.		.101	.216

Duncan testi sonucunda tüm grupları iki kümede sınıflandırılmıştır. Epoksi ve hibrit esaslı toz boyalar her iki küme de sınıflandırılırken, su bazlı boyalar birinci kümede, polyester esaslı toz boyalar ikinci kümede değerlendirilmiştir. Bu sınıflandırma içinde, en yüksek çizilme direnç değeri Polyester esaslı toz boya uygulanmış MDF yüzeylerinde (2.65 N), en düşük ise su bazlı sıvı boya uygulanmış MDF yüzeylerinde (2.35 N) tespit edilmiştir.

Tablo 4.45: Yongalevha yüzeylerine uygulanan boya gruplarının çizilme direnç değerlerine ait Duncan test sonucu (N).

Boya	n	Alt Küme		
		1	2	3
Su Bazlı	10	2.4500		
Epoksi	10	2.5500	2.5500	
Polyester	10		2.6500	2.6500
Hibrit	10			2.8000
Sig.		.292	.292	.118

Duncan testi sonucunda, tüm gruplar üç kümede sınıflandırılmıştır. Epoksi esaslı toz boya hem birinci hem de ikinci kümede, polyester esaslı toz boya hem ikinci hem de üçüncü kümede sınıflandırılırken, su bazlı boya birinci kümede, hibrit esaslı toz boya ise üçüncü kümede değerlendirilmiştir. Bu sınıflandırma içinde, en yüksek çizilme direnç değeri hibrit esaslı toz boya uygulanmış yongalevha yüzeylerinde (2.80 N), en düşük ise su bazlı sıvı boya uygulanmış yongalevha gruplarında (2.45 N) tespit edilmiştir.

Tablo 4.46: Kontrplak levha yüzeylerine uygulanan boya gruplarının çizilme direnç değerlerine ait Duncan test sonucu (N).

Boya	n	Alt Küme	
		1	2
Su Bazlı	10	2.4000	
Hibrit	10		2.6500
Polyester	10		2.6500
Epoksi	10		2.8500
Sig.		1.000	.078

Duncan testi sonucunda tüm grupları iki kümede sınıflandırılmıştır. Su bazlı boya birinci kümede, tüm toz boya grupları ikinci kümede sınıflandırılmıştır.. Yapılan duncan testi sonucunda iki kümede değerlendirilen veriler içinde, en yüksek çizilme direnci epoksi esaslı toz boya uygulanmış kontrplak levha grubunda (2.83 N), en düşük ise su bazlı sıvı boya uygulanmış kontrplak grubunda (2.4 N) elde edilmiştir.

Levha yüzeylerinde kullanılan boyaların çizilme direnç değerleri bakımından, farklı ve eşit kabul edilebilecek grup ve grupları belirlemek için her bir boya çeşidi kendi içinde Duncan testine tabi tutulmuş olup, sonuçlar Tablo 4.47 ve Tablo 4.48’de karşılaştırılması yapılmıştır.

Tablo 4.47: Levha yüzeylerine uygulanan hibrit esaslı toz boya ve su bazlı boyaların çizilme direnç değerlerine ait Duncan testi karşılaştırma sonucu (N).

Levha Türü	n	Hibrit		Su Bazlı
		Alt Küme		Alt Küme
		1	2	1
MDF	10	2.500		2.350
Kontrplak	10	2.650	2.650	2.400
Yongalevha	10		2.800	2.450
Sig.		.242	.242	.316

Levha yüzeylerine uygulanan hibrit esaslı toz boyanın çizilme direnç değerleri üzerine etkisini incelemek için yapılan Duncan testinin sonuçlarına göre, çizilme direnci en yüksek yongalevha grubunda (2.8 N), en düşük ise MDF grubunda (2.5 N) tespit edilmiştir. Çizilme direnci değeri bakımından, kontrplak grubu, hem MDF hem de yongalevha grupları arasında anlamlı bir farklılık oluşturmamıştır.

Levha yüzeylerine uygulanan su bazlı boyanın çizilme direnç değerleri üzerine etkisini incelemek için yapılan Duncan testinin sonuçlarına göre, çizilme direnci en yüksek yongalevha grubunda (2.45 N), en düşük ise MDF grubunda (2.35 N) tespit edilmiştir. Fakat tüm levha grupları arasında çizilme direnç değerleri anlamlı bir farklılık oluşturmamıştır.

Tablo 4.48: Levha yüzeylerine uygulanan epoksi ve polyester esaslı toz boyanın çizilme direnç değerlerine ait Duncan testi karşılaştırma sonucu (N).

Levha Türü	n	Epoksi		Polyester
		Alt Küme		Alt Küme
		1	2	1
MDF	10	2.5500		2.6500
Yongalevha	10	2.5500		2.6500
Kontrplak	10		2.8500	2.6500
Sig.		1.000	1.000	1.000

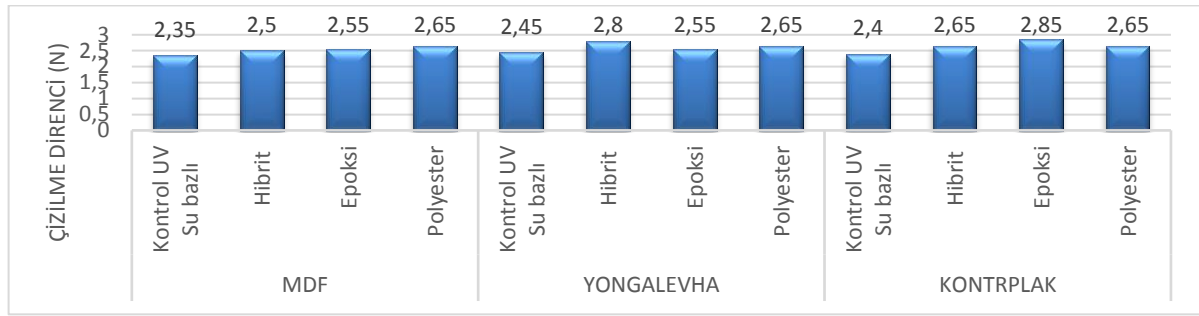
Levha yüzeylerine uygulanan epoksi esaslı toz boyanın çizilme direnç değerleri üzerine etkisini incelemek için yapılan Duncan testinin sonuçlarına göre, çizilme direnci en yüksek kontrplak grubunda (2.85 N), en düşük ise MDF grubunda (2.55 N) tespit edilmiştir. Yongalevha ve MDF grupları arasında çizilme direnç değerleri anlamlı bir farklılık oluşturmamıştır.

Levha yüzeylerine uygulanan polyester esaslı toz boyanın çizilme direnç değerleri üzerine etkisini incelemek için yapılan Duncan testinin sonuçlarına göre, tüm levha grupları arasında çizilme direnç değerleri anlamlı bir farklılık oluşturmamıştır. Hem levha türü hem de boya çeşidi etkileşimi düzeyinde yapılan Duncan testi karşılaştırma sonuçları Tablo 4.49'da gösterilmiştir.

Tablo 4.49: Levha türü ve boya çeşidi etkileşiminin çizilme direnç değerlerine ait Duncan testi karşılaştırma sonuçları (N).

Boyanmış Levha Grupları	n	Alt Küme		
		1	2	3
MS	10	2.350		
KS	10	2.400		
YS	10	2.450	2.450	
MH	10	2.500	2.500	
ME	10	2.550	2.550	
YE	10	2.550	2.550	
MP	10		2.650	2.650
YP	10		2.650	2.650
KH	10		2.650	2.650
KP	10		2.650	2.650
YH	10			2.800
KE	10			2.850
Sig.		.095	.104	.095

Levha türü ve boya çeşidi ikili etkileşimi sonucunda çizilme direnci en yüksek epoksi esaslı toz boya uygulanmış kontrplak levhalarda, en düşük ise su bazlı boya uygulanmış MDF levhalarda elde edilmiştir. Levhalara uygulanan epoksi, polyester ve hibrit esaslı toz boya grupları ile su bazlı sıvı boya grubuna ait çizilme direnç değerlerinin karşılaştırılması Şekil 4.6'da gösterilmektedir.



Şekil 4.6: Ahşap esaslı levhalara uygulanan epoksi, polyester, hibrit esaslı toz boyalar ve su bazlı sıvı boya gruplarına ait çizilme direnç değerlerinin karşılaştırılması.

Şekil 4.6’da görüldüğü gibi, levha yüzeylerine uygulanan boyaların çizilme direnci en yüksek, ortalama 2.63 N ile kontrplak levhalarda, daha sonra ortalama 2.61 N ile yongalevhalarda, en düşük ise 2.51 N ile MDF levhalarda tespit edilmiştir.

4.7. YANMA PERFORMANSI

Epoksi, polyester, hibrit esaslı toz boya ve su bazlı sıvı boya uygulanmış MDF, yongalevha ve kontrplak levhaların yanma performansını tespit etmek için MLC (Mass Loss Calorimeter) analizleri yapılarak çeşitli parametreler tespit edilmiştir. Bu analizde levha yüzeylerine uygulanmış hangi çeşit boyanın levhanın yanmasında ne kadar etkili olup olmadığını belirlemektir. Bunlardan ilk olarak, ortalama tutuşma süresi ve ısı yayılma hızına ait değerler Tablo 4.50’de gösterilmiştir.

Tablo 4.50: Boya uygulaması yapılmış levha gruplarına ait tutuşma süresi ve ısı yayılma hızı değerleri.

Malzeme Türü	Tutuşma Süresi Ortalama (sn)	Standart Sapma (sn)	Isı Yayılma Hızının Ortalaması (180 sn) kW/m²	Standart Sapma (kW/m²)	n
MK	71	12.49	133.60	25.44	3
MH	53	2.645	135.25	7.31	3
ME	55	4.041	134.30	17.66	3
MP	52	0.577	145.72	20.18	3
YK	83	1	140.59	26	3
YH	53	1.15	142.64	27.68	3
YE	53	2.64	148.24	25.98	3
YP	57	2.51	123.65	24.27	3
KK	61	3.21	126.80	10.18	3
KH	54	6.42	184.09	22.98	3
KE	44	2.30	182.71	35.27	3
KP	57	0.57	145.88	22.59	3

Su bazlı boya ve çeşitli toz boya uygulanmış MDF, yongalevha ve kontrplak levhalarına ait tutuşma süreleri 52 sn ile 83 sn arasında değişmektedir. Tutuşma süresi değeri üzerine, levha türü, boya çeşidi ve bu faktörlerin karşılıklı etkileşimlerini tespit etmek amacıyla çoklu varyans analizi yapılmıştır ve sonuçlar Tablo 4.51’de verilmiştir.

Tablo 4.51: Çeşitli toz boya ve sıvı su bazlı boya uygulanmış MDF, yongalevha ve kontrplak levhaların tutuşma süresine ait çoklu varyans analizi.

Kaynak	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kare	F Değeri	Önem Düzeyi
Düzeltilen Model	3378.222 ^a	11	307.111	14.586	.000
Kesişim	120640.444	1	120640.44	5729.62	.000
Levha Türü	330.389	2	165.194	7.846	.002
Boya Çeşidi	2432.444	3	810.815	38.508	.000
Etkileşim (boya+levh)	615.389	6	102.565	4.871	.002
Hata	505.333	24	21.056		
Toplam	124524.000	36			
Doğrulanmış Toplam	3883.556	35			

Yapılan çoklu varyans analizi sonucuna göre boya çeşidi, levha türü ve bu iki faktörlerinin etkileşimleri anlamlı çıkmıştır (Sig.=0.05). Her iki faktör için farklı ve eşit kabul edilebilecek grup ve grupları belirlemek için her bir levha türü kendi içinde Duncan testine tabi tutulmuş olup, sonuçlar Tablo 4.52, Tablo 4.53 ve Tablo 4.54’de karşılaştırılması yapılmıştır.

Tablo 4.52: Çeşitli toz boya ve sıvı su bazlı boya uygulanmış MDF levhaların tutuşma süresine ait Duncan test sonucu (sn).

Boya	n	Alt Küme	
		1	2
Polyester	3	52.33	
Hibrit	3	53.00	
Epoksi	3	54.67	
Kontrol	3		71.00
Sig.		.693	1.000

Epoksi, polyester, hibrit esaslı toz boya ve su bazlı boya uygulanmış MDF levhaların tutuşma sürelerini incelemek için yapılan Duncan testinin sonuçlarına göre epoksi, polyester ve hibrit

toz boya grupları kendi aralarında anlamlı bir farklılık oluşturmadığı, fakat su bazlı sıvı boya grubu ile toz boya grupları arasında anlamlı bir farklılık olduğu tespit edilmiştir. Bu durumda elde edilen değerler iki homojen alt grupta sınıflandırılmıştır. MDF grubunda en uzun tutuşma süresi su bazlı sıvı boya uygulanmış numunelerde (71 sn), en düşük ise polyester esaslı toz boya uygulanmış numunelerde (52 sn) tespit edilmiştir.

Tablo 4.53: Çeşitli toz boya ve sıvı su bazlı boya uygulanmış yongalevhaların tutuşma süresine ait Duncan test sonucu (sn).

Boya	n	Alt Küme		
		1	2	3
Epoksi	3	53.00	57.33	83.00
Hibrit	3	53.33		
Polyester	3			
Su Bazlı	3			
Sig.		.842	1.000	1.000

Epoksi, polyester, hibrit toz boya ve su bazlı boya uygulanmış yongalevhaların tutuşma sürelerini incelemek için yapılan Duncan testinin sonuçlarına göre epoksi ve hibrit esaslı toz boya uygulanmış numuneler arasında anlamlı bir farklılık olmadığı, fakat su bazlı sıvı boya uygulanmış numuneler ve polyester esaslı toz boya uygulanmış numuneler arasında anlamlı bir farklılık olduğu tespit edilmiştir. Yongalevha grubunda en uzun tutuşma süresi su bazlı sıvı boya uygulanmış numunelerde (83 sn), en kısa ise epoksi esaslı toz boya uygulanmış numunelerde (53 sn) tespit edilmiştir.

Tablo 4.54: Çeşitli toz boya ve su bazlı boya uygulanmış kontrplak levhaların tutuşma süresine ait Duncan test sonucu (sn).

Boya	n	Alt Küme		
		1	2	3
Epoksi	3	44.33	53.67	57.67
Hibrit	3			
Polyester	3			
Su Bazlı	3			61.33
Sig.		1.000	.232	.270

Epoksi, polyester, hibrit toz boya ve su bazlı boya uygulanmış yongalevhaların tutuşma sürelerini incelemek için yapılan Duncan testinin sonuçlarına göre değerler üç homojen alt grupta sınıflandırılmıştır. Epoksi esaslı toz boya uygulanmış numuneler birinci kümede, hibrit esaslı toz boya uygulanmış numuneler ikinci kümede, su bazlı sıvı boya uygulanmış numuneler üçüncü kümede ve polyester esaslı toz boya uygulanmış numuneler hem ikinci hem de üçüncü kümede sınıflandırılmıştır. Kontrplak levha grubunda en uzun tutuşma süresi su bazlı sıvı boya uygulanmış numunelerde (61 sn), en kısa ise epoksi esaslı toz boya uygulanmış numunelerde (44 sn) tespit edilmiştir.

Levha yüzeylerinde kullanılmış boya faktörü için farklı ve eşit kabul edilebilecek grup ve grupları belirlemek için her bir boya çeşidi kendi içinde Duncan testine tabi tutulmuş olup sonuçlar, Tablo 4.56 ve Tablo 4.57’de karşılaştırılması yapılmıştır.

Tablo 4.55: Su bazlı boya uygulanmış levhaların tutuşma süresine ait Duncan testi karşılaştırma sonucu (sn).

Levha Türü	n	Alt Küme	
		1	2
Kontrplak	3	61.33	
MDF	3	71.00	71.00
Yongalevha	3		83.00
Sig.		.164	.097

Levha yüzeylerine uygulanan su bazlı boyanın tutuşma süresi değerleri üzerine etkisini incelemek için yapılan Duncan testinin sonuçlarına göre, tutuşma süresi en uzun yongalevha grubunda (83 sn), en kısa ise kontrplak grubunda (61 sn) tespit edilmiştir. Tutuşma süresi bakımından MDF grubu, hem kontrplak hem de yongalevha grupları arasında anlamlı bir farklılık oluşturmamıştır.

Tablo 4.56: Polyester esaslı toz boya uygulanmış levhaların tutuşma süresine ait Duncan testi karşılaştırma sonucu (sn).

Levha Türü	n	Polyester		Hibrit
		Alt Küme		Alt Küme
		1	2	1
MDF	3	52.33		53.00
Yongalevha	3		57.33	53.33
Kontrplak	3		57.67	53.67
Sig.		1.000	.798	.852

Levha yüzeylerine uygulanan polyester esaslı toz boyanın tutuşma süresi değerleri üzerine etkisini incelemek için yapılan Duncan testinin sonuçlarına göre, tutuşma süresi en uzun kontrplak grubunda (58 sn), en kısa ise MDF grubunda (52 sn) tespit edilmiştir. Yongalevha ve kontrplak grupları arasında tutuşma süresi anlamlı bir farklılık oluşturmamıştır.

Hibrit esaslı toz boya uygulanmış levhaların tutuşma süresi değerleri üzerine etkisini incelemek için yapılan Duncan testinin sonuçlarına göre, tüm levha grupları arasında tutuşma süresi değerleri anlamlı bir farklılık oluşturmamıştır.

Tablo 4.57: Epoksi esaslı toz boya uygulanmış levhaların tutuşma süresine ait Duncan testi karşılaştırma sonucu (sn).

Levha Türü	n	Alt Küme	
		1	2
Kontrplak	3	44.33	
Yongalevha	3		53.00
MDF	3		54.67
Sig.		1.000	.534

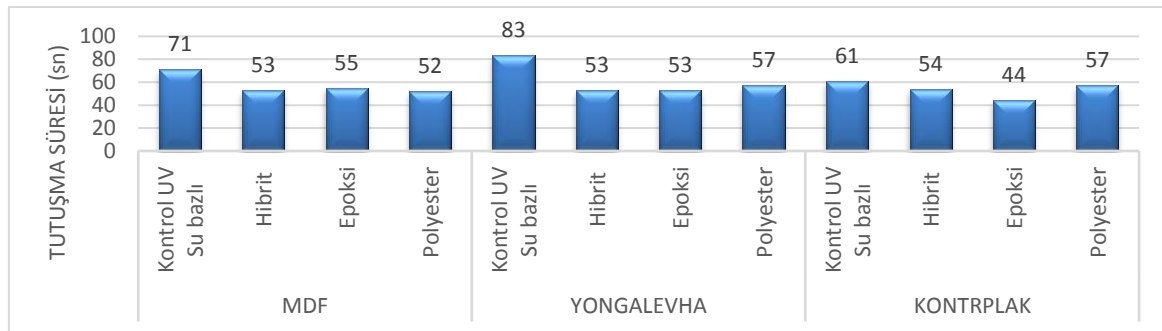
Epoksi esaslı toz boya uygulanmış levhaların tutuşma süresi değerleri üzerine etkisini incelemek için yapılan Duncan testinin sonuçlarına göre, tutuşma süresi en yüksek MDF grubunda (55 sn), en düşük ise kontrplak grubunda (44 sn) tespit edilmiştir. Yongalevha ve MDF grupları arasında tutuşma süresi anlamlı bir farklılık oluşturmamıştır. Hem levha türü

hem de boya çeşidi ikili etkileşimi düzeyinde yapılan Duncan testi karşılaştırma sonuçları Tablo 4.58’de gösterilmiştir.

Tablo 4.58: Levha türü ve boya çeşidi etkileşiminin tutuşma süresi değerlerine ait Duncan testi karşılaştırma sonuçları (sn).

Boyanmış Levha Grupları	n	Alt Küme				
		1	2	3	4	5
KE	3	44.3333				
MP	3		52.3333			
MH	3		53.0000	53.0000		
YE	3		53.0000	53.0000		
YH	3		53.3333	53.3333		
KH	3		53.6667	53.6667		
ME	3		54.6667	54.6667		
YP	3		57.3333	57.3333		
KP	3		57.6667	57.6667		
KS	3			61.3333		
MS	3				71.00	
YS	3					83.00
Sig.		1.000	.229	.064	1.000	1.000

Levha türü ve boya çeşidi etkileşimi sonucunda tutuşma süresi en uzun su bazlı boya uygulanmış yongalevha grubunda, en kısa ise epoksi esaslı toz boya uygulanmış kontrplak grubunda tespit edilmiştir. Epoksi, polyester, hibrit esaslı toz boya ve su bazlı sıvı boya uygulanmış MDF, yongalevha ve kontrplak levhalarına ait tutuşma sürelerinin karşılaştırılması Şekil 4.7’de gösterilmektedir.



Şekil 4.7: Su bazlı ve çeşitli toz boya ile kaplanmış MDF, yongalevha ve kontrplak levhalarına ait tutuşma sürelerinin karşılaştırılması.

Şekil 4.7’de görüldüğü gibi, epoksi, polyester, hibrit esaslı toz boya ve su bazlı boya uygulanmış levhalarda, tutuşma süresi en yüksek, ortalama 61 sn ile yongalevhalarda, daha

sonra ortalama 58 sn ile MDF levhalarda, en düşük ise 54 sn ile kontrplak levhalarda tespit edilmiştir.

Su bazlı boya ve çeşitli toz boya uygulanmış MDF, yongalevha ve kontrplak levhalarına ait ısı yayılma hızı değeri ise 123 kW/m² ile 184.09 kW/m² arasında değişmektedir. Isı yayılma hızı değeri üzerine, levha türü, boya çeşidi ve bu faktörlerin karşılıklı etkileşimlerini tespit etmek amacıyla çoklu varyans analizi yapılmıştır ve sonuçlar Tablo 4.59’da verilmiştir.

Tablo 4.59: Çeşitli toz boya ve sıvı su bazlı boya uygulanmış MDF, yongalevha ve kontrplak levhaların ısı yayılma hızına ait çoklu varyans analizi.

Kaynak	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kare	F Değeri	Önem Düzeyi
Düzeltilen Model	12337.844 ^a	11	1121.622	2.066	.067
Kesişim	759985.258	1	759985.258	1399.773	.000
Levha Türü	3841.927	2	1920.964	3.538	.045
Boya Çeşidi	3186.545	3	1062.182	1.956	.148
Etkileşim (boya+levh)	5309.371	6	884.895	1.630	.182
Hata	13030.432	24	542.935		
Toplam	785353.534	36			
Doğrulanmış Toplam	25368.276	35			

Yapılan çoklu varyans analizi sonucuna göre levha türü bakımından anlamlı, fakat boya çeşidi ve bu iki faktörlerinin etkileşimlerinde anlamlı bir farklılık çıkmamıştır (Sig.=0.05). Her iki faktör için farklı ve eşit kabul edilebilecek grup ve grupları belirlemek için her bir levha türü kendi içinde Duncan testine tabi tutulmuş olup sonuçlar Tablo 4.60’da karşılaştırılması yapılmıştır.

Tablo 4.60: Çeşitli toz boya ve sıvı su bazlı boya uygulanmış MDF, yongalevha ve kontrplak levhaların ısı yayılma hızına ait Duncan test sonucu (kW/m²).

BOYA	n	MDF	YONGALEVHA	KONTRPLAK	
		Alt Küme	Alt Küme	Alt Küme	Alt Küme
		1	1	1	2
Su Bazlı	3	133.60733	140.59867	126.80600	
Epoksi	3	134.30267	148.24667		182.71433
Hibrit	3	135.25833	142.64567		184.09833
Polyester	3	145.72267	123.65300	145.88900	145.88900
Sig.		.479	.307	.367	.103

Epoksi, polyester, hibrit esaslı toz boya ve su bazlı sıvı boya uygulanmış MDF, yongalevha ve kontrplak levhaların ısı yayılma hızını incelemek için yapılan Duncan testinin sonuçlarına göre, MDF ve yongalevha gruplarına uygulanan boyalar arasında anlamlı bir farklılık oluşmadığı için değerler tek bir homojen alt grupta sınıflandırılmıştır. Kontrplak grubunda su bazlı sıvı boya uygulanmış numuneler ile hibrit ve polyester esaslı toz boya uygulanmış numuneler arasında anlamlı bir farklılık olduğu tespit edilmiştir. Epoksi esaslı toz boya uygulanmış kontrplak numuneleri hem birinci hem de ikinci kümede sınıflandırılmıştır. MDF grubunda en yüksek ısı yayılma hızı polyester esaslı toz boya uygulanmış numunelerde, en düşük ise su bazlı sıvı boya uygulanmış numunelerde elde edilmiştir. Yongalevha grubunda en yüksek ısı yayılma hızı epoksi esaslı toz boya uygulanmış numunelerde, en düşük ise polyester esaslı toz boya uygulanmış numunelerde tespit edilmiştir. Kontrplak grubunda en yüksek ısı yayılma hızı hibrit esaslı toz boya uygulanmış numunelerde, en düşük su bazlı sıvı boya uygulanmış numunelerde elde edilmiştir.

Epoksi, polyester, hibrit toz boya ve su bazlı sıvı boya uygulanan levhaların ısı yayılma hızı değerlerine dair farklı ve eşit kabul edilebilecek grup ve grupları belirlemek için her bir boya türü kendi içinde Duncan testine tabi tutulmuş olup sonuçlar Tablo 4.61’de karşılaştırılması yapılmıştır.

Tablo 4.61: Epoksi, polyester, hibrit esaslı toz boya ve su bazlı boyalar uygulanmış levhaların ısı yayılma hızına ait Duncan testi karşılaştırma sonucu (kW/m²).

Levha Türü	n	Su Bazlı	Polyester	Epoksi	Hibrit	
		Alt Küme	Alt Küme	Alt Küme	Alt Küme	Alt Küme
		1	1	1	1	2
MDF	3	133.60	145.72	134.30	135.25	
Yongalevha	3	140.59	123.65	148.24	142.64	142.64
Kontrplak	3	126.80	145.88	182.71		184.09
Sig.		.481	.284	.81	.684	.054

Su bazlı boya uygulanmış levhaların ısı yayılma hızı değerleri üzerine etkisini incelemek için yapılan Duncan testinin sonuçlarına göre, ısı yayılma hızı en yüksek yongalevha grubunda (140.59 kW/m²), en düşük ise kontrplak grubunda (126.80 kW/m²) tespit edilmiştir. Fakat tüm levha grupları arasında ısı yayılma hızı değerleri anlamlı bir farklılık oluşturmamıştır.

Polyester esaslı toz boya uygulanmış levhaların ısı yayılma hızı değerleri üzerine etkisini incelemek için yapılan Duncan testinin sonuçlarına göre, ısı yayılma hızı en yüksek kontrplak

grubunda (145.88 kW/m^2), en düşük ise yongalevha grubunda (123.65 kW/m^2) tespit edilmiştir. Fakat tüm levha grupları arasında ısı yayılma hızı değerleri anlamlı bir farklılık oluşturmamıştır.

Epoksi esaslı toz boya uygulanmış levhaların ısı yayılma hızı değerleri üzerine etkisini incelemek için yapılan Duncan testinin sonuçlarına göre, ısı yayılma hızı en yüksek kontrplak grubunda (182.71 kW/m^2), en düşük ise MDF grubunda (134.30 kW/m^2) tespit edilmiştir. Fakat tüm levha grupları arasında ısı yayılma hızı değerleri anlamlı bir farklılık oluşturmamıştır.

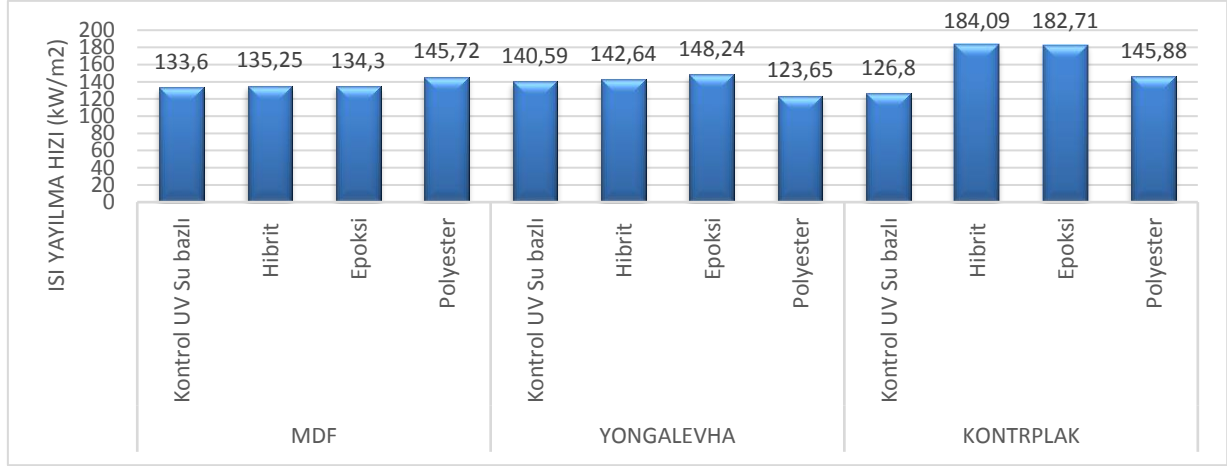
Hibrit esaslı toz boya uygulanmış levhaların ısı yayılma hızı değerleri üzerine etkisini incelemek için yapılan Duncan testinin sonuçlarına göre, ısı yayılma hızı en yüksek kontrplak grubunda (184.09 kW/m^2), en düşük ise MDF grubunda (135.25 kW/m^2) tespit edilmiştir. Isı yayılma hızı bakımından yongalevha grubu, hem kontrplak hem de MDF grupları arasında anlamlı bir farklılık oluşturmamıştır. Hem levha türü hem de boya çeşidi etkileşimi düzeyinde yapılan Duncan testi karşılaştırma sonuçları Tablo 4.62’de gösterilmiştir.

Tablo 4.62: Levha türü ve boya çeşidi etkileşiminin ısı yayılma hızı değerlerine ait Duncan testi karşılaştırma sonuçları (kW/m^2).

Boyanmış Levha Grupları	n	Alt Küme	
		1	2
YP	3	123.6530	
KS	3	126.8060	
MS	3	133.6073	
ME	3	134.3027	
MH	3	135.2583	
YS	3	140.5987	140.5987
YH	3	142.6457	142.6457
MP	3	145.7227	145.7227
KP	3	145.8890	145.8890
YE	3	148.2467	148.2467
KE	3		182.7143
KH	3		184.0983
Sig.		.277	.056

Levha türü ve boya çeşidi etkileşimi sonucunda ısı yayılma hızı en yüksek hibrit esaslı toz boya uygulanmış kontrplak levhalarda, en düşük ise polyester esaslı toz boya uygulanmış yongalevha grubunda elde edilmiştir. Epoksi, polyester, hibrit esaslı toz boya ve su bazlı sıvı boya

uygulanmış MDF, yongalevha ve kontrplak levhalarına ait ısı yayılma hızının karşılaştırılması Şekil 4.8’de gösterilmektedir.



Şekil 4.8: Su bazlı ve çeşitli toz boya ile kaplanmış MDF, yongalevha ve kontrplak levhalarına ait ısı yayılma hızının karşılaştırılması.

Şekil 4.8’de görüldüğü gibi, epoksi, polyester, hibrit esaslı toz boya ve su bazlı boya uygulanmış levhalarda ısı yayılma hızı en yüksek, 159.87 kW/m^2 ile kontrplak levhalarda, daha sonra ortalama 138.78 kW/m^2 ile yongalevhalar, en düşük ise 137.21 kW/m^2 ile MDF levhalarda tespit edilmiştir. Çeşitli toz boya ve su bazlı sıvı boya uygulanmış MDF, yongalevha ve kontrplak levhalarının yanma performans parametrelerinden etkili yanma ısı ve ortalama deney süresine bağlı olarak toplam ağırlık kaybına ilişkin değerler Tablo 4.63’de belirtilmiştir.

Tablo 4.63: Boya uygulaması yapılmış levha gruplarına ait etkili yanma ısı ve süreye bağlı toplam ağırlık kaybı değerleri.

Malzeme Türü	Etkili Yanma Isısı Değeri (180) (MJ/kg)	Standart Sapma (MJ/kg)	Deney Süresi (sn)	Toplam Ağırlık Kaybı (%)	n
MS	9.18	0.72	573	82	3
MH	8.35	6.94	557	83	3
ME	8.26	1.12	553	81	3
MP	8.89	1.37	500	80	3
YS	8.82	1.35	498	77	3
YH	8.80	1.18	502	79	3
YE	8.74	1.12	481	79	3
YP	7.67	1.02	563	76	3
KS	7.81	5.24	525	77	3
KH	9.17	8.68	528	81	3
KE	9.47	4.02	553	81	3
KP	7.20	1.02	518	77	3

Tablo 4.63’de belirtildiği gibi çeşitli toz boya ve sıvı boya uygulanmış MDF, yongalevha ve kontrplak levhaların etkili yanma ısısı 7.20 MJ/kg ile 9.47 MJ/kg arasında, toplam ağırlık kaybı % 83 ile % 77 arasında değişmektedir. Etkili yanma ısısı değeri üzerine, levha türü, boya çeşidi ve bu faktörlerin karşılıklı etkileşimlerini tespit etmek amacıyla çoklu varyans analizi yapılmıştır ve sonuçlar Tablo 4.64’de verilmiştir. Yanma analizi sonucunda elde edilen deney süresi 481 ile 573 saniye arasında değişim göstermektedir. Deney sonunda levhaların toplam ağırlık kaybı oranları ise % 77 ile % 83 arasında değiştiği tespit edilmiştir.

Tablo 4.64: Çeşitli toz boya ve su bazlı boya uygulanmış MDF, yongalevha ve kontrplak levhaların etkili yanma ısısına ait çoklu varyans analizi.

Kaynak	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kare	F Değeri	Önem Düzeyi
Düzeltilen Model	22.097 ^a	11	2.009	2.063	.067
Kesişim	2572.884	1	2572.884	2642.05	.000
Levha Türü	1.530	2	.765	.786	.467
Boya Çeşidi	4.959	3	1.653	1.697	.194
Etkileşim (boya+levha)	15.609	6	2.601	2.671	.040
Hata	23.372	24	.974		
Toplam	2618.353	36			
Doğrulanmış Toplam	45.469	35			

Yapılan çoklu varyans analizi sonucuna göre levha türü ve boya çeşidi bakımından anlamsız, fakat bu iki faktörlerin etkileşimlerinde anlamlı bir farklılık çıkmıştır. (Sig.=0.05). Her iki faktör için farklı ve eşit kabul edilebilecek grup ve grupları belirlemek için her bir levha türü kendi içinde Duncan testine tabi tutulmuş olup, sonuçlar Tablo 4.65’de gösterilmektedir.

Tablo 4.65: Çeşitli toz boya ve sıvı su bazlı boya uygulanmış MDF, yongalevha ve kontrplak levhaların etkili yanma ısısına ait Duncan test sonucu (MJ/kg).

BOYA	n	MDF	YONGALEVHA	KONTRPLAK	
		Alt Küme	Alt Küme	Alt Küme	Alt Küme
		1	1	1	2
Su Bazlı	3	9.17957	8.82500	6.86200	
Epoksi	3	8.26500	8.74100		9.47000
Hibrit	3	8.35467	8.80167		9.17667
Polyester	3	8.89298	7.67600	7.20267	
Sig.		.331	.293	.569	.623

Epoksi, polyester, hibrit esaslı toz boya ve su bazlı boya uygulanmış MDF, yongalevha ve kontrplak levhaların etkili yanma ısısını incelemek için yapılan Duncan testinin sonuçlarına göre MDF ve yongalevha gruplarına uygulanan boyalar arasında anlamlı bir farklılık oluşmadığı için değerler tek bir homojen alt grupta sınıflandırılmıştır. Kontrplak grubunda su bazlı sıvı boya ve polyester esaslı toz boya uygulanmış numuneler birinci kümede, hibrit ve epoksi esaslı toz boya grupları ikinci kümede sınıflandırılmıştır. MDF grubunda, en yüksek etkili yanma ısısı su bazlı sıvı boya uygulanmış numunelerde, en düşük ise epoksi esaslı toz boya uygulanmış numunelerde elde edilmiştir. Yongalevha grubunda, en yüksek etkili yanma ısısı su bazlı sıvı boya uygulanmış numunelerde, en düşük ise polyester esaslı toz boya uygulanmış numunelerde tespit edilmiştir. Kontrplak grubunda, en yüksek etkili yanma ısısı epoksi esaslı toz boya uygulanmış numunelerde, en düşük ise su bazlı sıvı boya uygulanmış numunelerde elde edilmiştir.

Epoksi, polyester, hibrit toz boya ve su bazlı sıvı boya uygulanan levhaların etkili yanma ısısı değerlerine dair farklı ve eşit kabul edilebilecek grup ve grupları belirlemek için her bir boya çeşidi kendi içinde Duncan testine tabi tutulmuş olup sonuçlar Tablo 4.66'da karşılaştırılması yapılmıştır.

Tablo 4.66: Epoksi, polyester, hibrit esaslı toz boya ve su bazlı boyalar uygulanmış levhaların etkili yanma ısısına ait Duncan testi karşılaştırma sonucu (MJ/kg).

Levha Türü	n	Hibrit	Polyester	Epoksi	Su Bazlı	
		Alt Küme	Alt Küme	Alt Küme	Alt Küme	Alt Küme
		1	1	1	1	2
Kontrplak	3	9.17667	7.20267	9.47000	6.86200	
Yongalevha	3	8.80167	7.67600	8.74100		8.82500
MDF	3	8.35467	8.89298	8.26500		9.17957
Sig.		.284	.133	.183	1.000	.643

Su bazlı boya uygulanmış levhaların etkili yanma ısısı değerleri üzerine etkisini incelemek için yapılan Duncan testinin sonuçlarına göre, etkili yanma ısısı en yüksek MDF grubunda (9.17 MJ/kg), en düşük ise kontrplak grubunda (6.86 MJ/kg) tespit edilmiştir. MDF ve yongalevha grupları arasında etkili yanma ısı değerleri anlamlı bir farklılık oluşturmamıştır.

Polyester esaslı toz boya uygulanmış levhaların etkili yanma ısı değerleri üzerine etkisini incelemek için yapılan Duncan testinin sonuçlarına göre, etkili yanma ısısı en yüksek MDF grubunda (8.89 MJ/kg), en düşük ise kontrplak grubunda (7.20 MJ/kg) tespit edilmiştir. Fakat tüm levha grupları arasında etkili yanma ısı değerleri anlamlı bir farklılık oluşturmamıştır.

Epoksi esaslı toz boya uygulanmış levhaların etkili yanma ısı değerleri üzerine etkisini incelemek için yapılan Duncan testinin sonuçlarına göre, etkili yanma ısısı en yüksek kontrplak grubunda (9.47 MJ/kg), en düşük ise MDF grubunda (8.26 MJ/kg) tespit edilmiştir. Fakat tüm levha grupları arasında etkili yanma ısı değerleri anlamlı bir farklılık oluşturmamıştır.

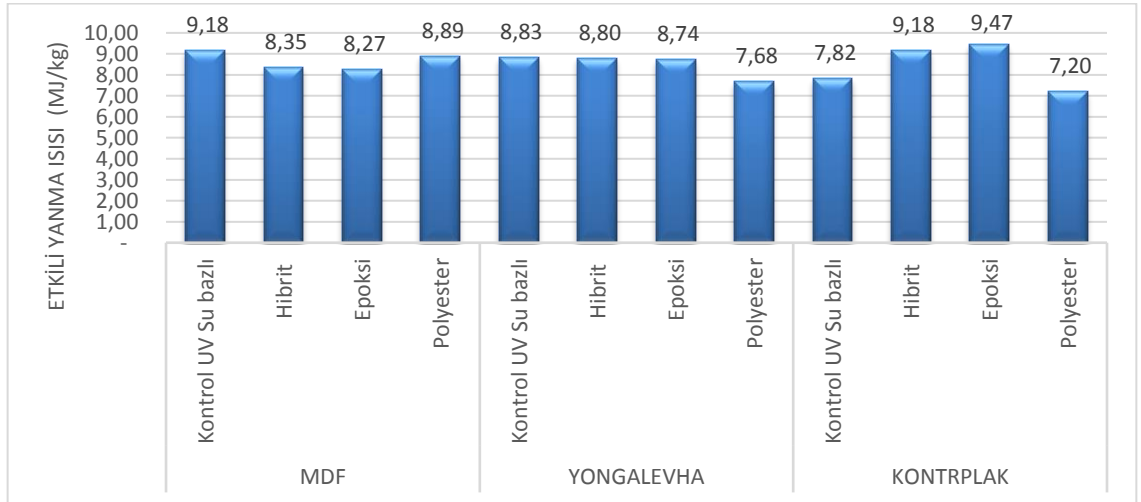
Hibrit esaslı toz boya uygulanmış levhaların etkili yanma ısı değerleri üzerine etkisini incelemek için yapılan Duncan testinin sonuçlarına göre, etkili yanma ısısı en yüksek kontrplak grubunda (9.17 MJ/kg), en düşük ise MDF grubunda (8.35 MJ/kg) tespit edilmiştir. Fakat tüm levha grupları arasında etkili yanma ısı değerleri anlamlı bir farklılık oluşturmamıştır.

Hem levha türü hem de boya çeşidi ikili etkileşimi düzeyinde yapılan Duncan testi karşılaştırma sonuçları Tablo 4.67’de gösterilmiştir.

Tablo 4.67: Levha türü ve boya çeşidi etkileşiminin etkili yanma ısı değerlerine ait Duncan testi karşılaştırma sonuçları (MJ/kg).

Boyanmış Levha Grupları	n	Alt Küme		
		1	2	3
KS	3	6.8620		
KP	3	7.2027	7.2027	
YP	3	7.6760	7.6760	7.6760
ME	3	8.2650	8.2650	8.2650
MH	3	8.3547	8.3547	8.3547
YE	3		8.7410	8.7410
YH	3		8.8017	8.8017
YS	3		8.8250	8.8250
MP	3		8.8930	8.8930
KH	3			9.1767
MS	3			9.1796
KE	3			9.4700
Sig.		.109	.080	.067

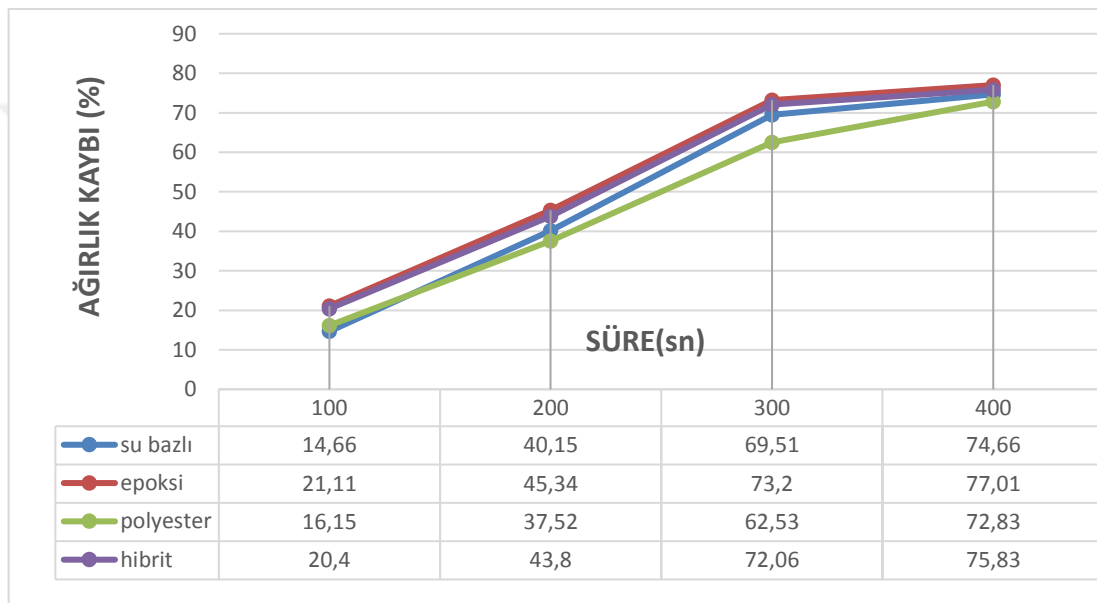
Levha türü ve boya çeşidi etkileşimi sonucunda etkili yanma ısı en yüksek epoksi esaslı toz boya uygulanmış kontrplak grubunda, en düşük ise su bazlı boya uygulanmış kontrplak grubunda belirlenmiştir. Epoksi, polyester, hibrit esaslı toz boya ve su bazlı sıvı boya uygulanmış MDF, yongalevha ve kontrplak levhalarına ait etkili yanma ısılarının karşılaştırılması Şekil 4.9'da gösterilmektedir.



Şekil 4.9: Su bazlı ve çeşitli toz boya ile kaplanmış MDF, yongalevha ve kontrplak levhalarına ait etkili yanma ısılarının karşılaştırılması.

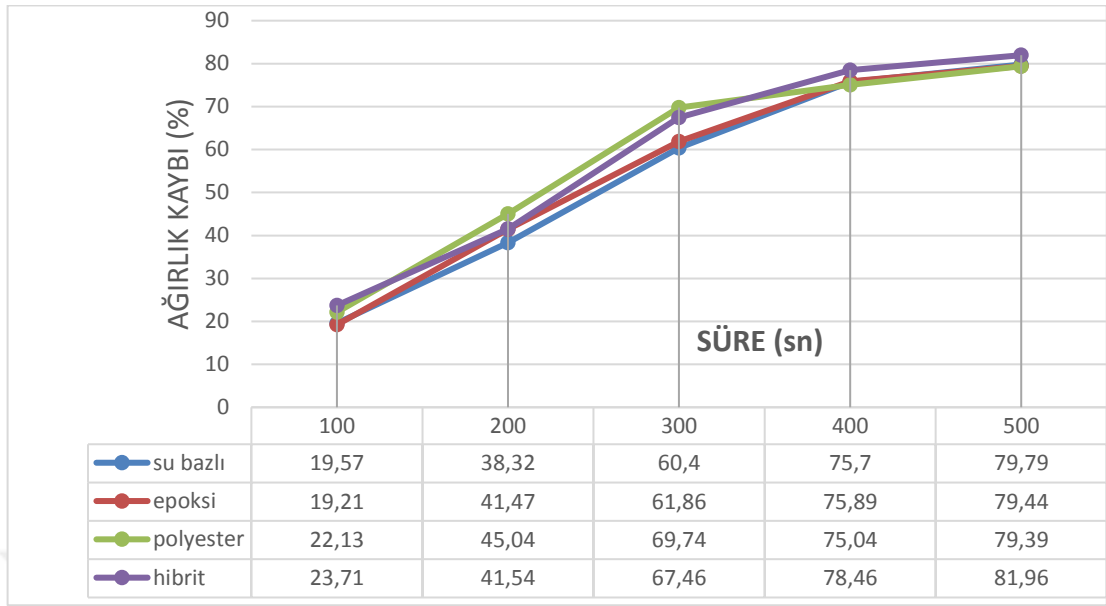
Şekil 4.9’da görüldüğü gibi, epoksi, polyester, hibrit esaslı toz boya ve su bazlı boya uygulanmış levhalarda etkili yanma ısı en yüksek, ortalama 8.67 MJ/kg ile MDF levhalarda, daha sonra ortalama 8.51 MJ/kg ile yongalevhalarda, en düşük ise 8.41 MJ/kg ile kontrplak levhalarda tespit edilmiştir.

Yanma deneyi esnasında örneklerin analiz bitiş süresine bağlı olarak 100, 200, 300, 400 ve 500 saniye sonunda meydana gelen ağırlık kayıp oranları yongalevha grupları için Şekil 4.10’da, MDF grupları için Şekil 4.11’de ve kontrplak levha grupları için Şekil 4.12’de gösterilmektedir.



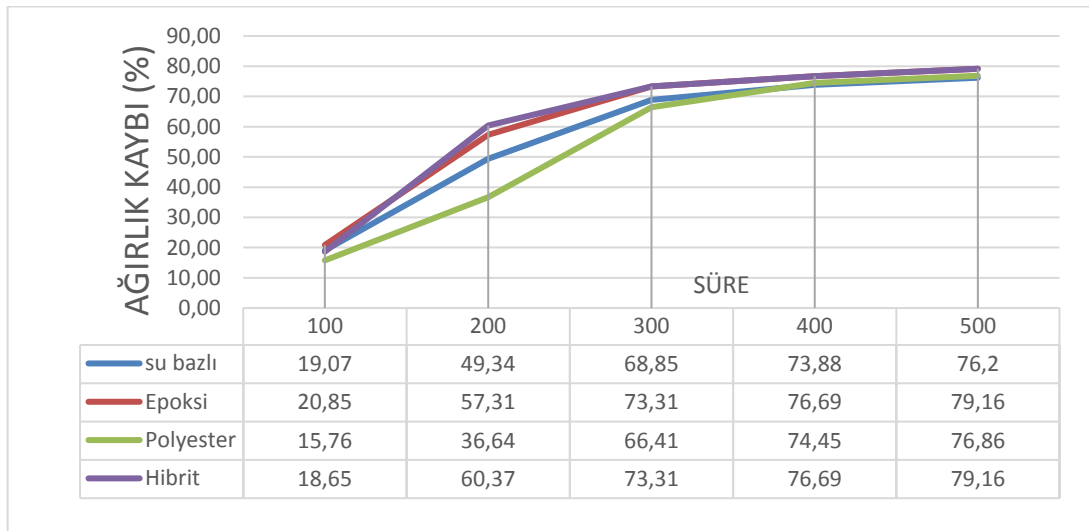
Şekil 4.10: Yanma analizi sonucunda boyanmış yongalevha gruplarına ait süreye bağlı ağırlık kayıp oranları (%).

Levha üzerine uygulanmış boyalar, yanmanın başladığı ilk saniyelerinde yanma direnci değeri üzerinde çok büyük etkisi olduğu düşünülmektedir. Bu nedenle levha yüzeylerine uygulanan boyaların ilk 100 saniyede ve test sonunda levhada ne kadarlık bir ağırlık kaybına neden olduğu tespit edilerek, boyaların yanma performansı üzerinde etkisi belirlenmeye çalışılmıştır. Şekil 4.10’da görüldüğü gibi yanmanın başladığı ilk 100 saniyede, en yüksek ağırlık kayıp oranı (% 21.11) epoksi esaslı toz boya uygulanmış yongalevha grubunda, en düşük ise (% 14.66) su bazlı sıvı boya uygulanmış yongalevha grubunda belirlenmiştir.



Şekil 4.11: Yanma analizi sonucunda boyanmış MDF gruplarına ait süre bağlı ağırlık kaybı oranları (%).

MDF levhalar üzerine uygulanmış boyaların yanma direnç değerleri üzerinde ne kadar etkili olduğu belirlenmeye çalışılmıştır. Şekil 4.11’de görüldüğü gibi yanmanın başladığı ilk 100 saniyede, en yüksek ağırlık kayıp oranı hibrit esaslı toz boya uygulanmış MDF grubunda(% 23.71), en düşük ise epoksi esaslı toz boya uygulanmış MDF grubunda (%19.21) belirlenmiştir.



Şekil 4.12: Yanma analizi sonucunda boyanmış kontrplak levha gruplarına ait süre bağlı ağırlık kaybı oranları (%).

Kontrplak levha yüzeylerine uygulanan boyaların yanma esnasında ağırlık kaybına nasıl bir etkiye sahip olduğu belirlenmeye çalışılmıştır. Buna göre yanmanın başladığı ilk 100 saniyede

en yüksek ağırlık kayıp oranı (% 20.85) epoksi esaslı toz boya uygulanmış kontrplak grubunda, en düşük ise (% 15.76) polyester esaslı toz boya uygulanmış kontrplak grubunda belirlenmiştir.

4. 8. FORMALDEHİT MİKTARI

Epoksi, polyester, hibrit esaslı toz boya ve su bazlı sıvı boya uygulanmış MDF, yongalevha ve kontrplak levhaların formaldehit salınım değerleri incelenmiştir. Levha gruplarının formaldehit emisyon testinden elde edilen sonuçlara ait tanımlayıcı istatistik değerler Tablo 4.68’de verilmiştir.

Tablo 4.68: Boyanmış MDF, yongalevha ve kontrplak gruplarının formaldehit emisyon miktarına ait tanımlayıcı istatistik değerler.

Malzeme Türü	Ortalama (mg/m ² h)	Standart Sapma (mg/m ² h)	n
MDF Su bazlı	1.68	0.02	3
MDF Hibrit boya	3.12	0.14	3
MDF Epoksi	2.51	0.18	3
MDF Polyester	2.12	0.22	3
Yongalevha Su Bazlı	1.75	0.13	3
Yongalevha Hibrit	1.13	0.02	3
Yongalevha Epoksi	2.05	0.03	3
Yongalevha Polyester	1.40	0.06	3
Kontrplak Su Bazlı	0.48	0.05	3
Kontrplak Hibrit	1.29	0.08	3
Kontrplak Epoksi	0.33	0.01	3
Kontrplak Polyester	0.55	0.13	3

Tablo 4.68’de belirtildiği gibi çeşitli toz boya ve su bazlı sıvı boya uygulanmış MDF, yongalevha ve kontrplak levhalarının formaldehit salınım miktarları 0.33 ile 3.126 mg/m²h arasında değişmektedir. Formaldehit salınım değeri üzerine, levha türü, boya çeşidi ve bu faktörlerin karşılıklı etkileşimlerini tespit etmek amacıyla çoklu varyans analizi yapılmıştır ve sonuçlar Tablo 4.69’da verilmiştir.

Tablo 4.69: Boyanmış MDF, yongalevha ve kontrplak levhaların formaldehit emisyon miktarına ait çoklu varyans analizi.

Kaynak	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kare	F Değeri	Önem Düzeyi
Düzeltilen Model	35.014 ^a	11	3.183	261.861	.000
Kesişim	127.651	1	127.651	1.050E4	.000
Levha Türü	23.713	2	11.857	975.401	.000
Boya Çeşidi	2.579	3	.860	70.718	.000
Etkileşim (boya+levha)	8.466	6	1.411	116.079	.000
Hata	.583	48	.012		
Toplam	211.488	60			
Doğrulanmış Toplam	35.597	59			

Yapılan çoklu varyans analizi sonucuna göre, boya çeşidi, levha türü ve bu iki faktörün etkileşimleri %95 güven düzeyinde anlamlı bir farklılık oluşturduğu tespit edilmiştir. Her iki faktör için farklı ve eşit kabul edilebilecek grup ve grupları belirlemek için her bir levha türü kendi içinde Duncan testine tabi tutulmuş olup, sonuçlar Tablo 4.70, Tablo 4.71 ve Tablo 4.72’de karşılaştırılması yapılmıştır.

Tablo 4.70: Boyanmış MDF levhaların formaldehit emisyon değerlerine ait Duncan test sonucu (mg/m²h).

Boya	n	Alt Küme			
		1	2	3	4
Su Bazlı	3	1.6800			
Polyester	3		2.1267		
Epoksi	3			2.5167	
Hibrit	3				3.1267
Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000

Yapılan Duncan testi sonucunda, MDF levha yüzeylerine uygulanan tüm boyalar, formaldehit salınım değeri üzerinde anlamlı bir farklılık oluşturduğu belirlenmiştir. Tablo 4.70’de görüldüğü üzere, en yüksek formaldehit salınım değeri hibrit esaslı (Epoksi+Polyester) toz boya

uygulanmış MDF levha grubunda ($3.12 \text{ mg/m}^2\text{h}$), en düşük ise su bazlı sıvı boya uygulanmış MDF levha grubunda ($1.68 \text{ mg/m}^2\text{h}$) tespit edilmiştir.

Tablo 4.71: Boyanmış yongalevhaların formaldehit emisyon değerlerine ait Duncan test sonucu ($\text{mg/m}^2\text{h}$).

Boya	n	Alt Küme			
		1	2	3	4
Hibrit	3	1.1333			
Polyester	3		1.4067		
Su Bazlı	3			1.7533	
Epoksi	3				2.0500
Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000

Yapılan Duncan testi sonucunda, yongalevha yüzeylerine uygulanan tüm boyalar, formaldehit salınım değeri üzerinde anlamlı bir farklılık oluşturduğu tespit edilmiştir. Tablo 4.71’de görüldüğü üzere, en yüksek formaldehit salınım değeri epoksi esaslı toz boya uygulanmış yongalevha grubunda ($2.05 \text{ mg/m}^2\text{h}$), en düşük ise hibrit (Epoksi+Polyester) esaslı toz boya uygulanmış yongalevha grubunda ($1.13 \text{ mg/m}^2\text{h}$) tespit edilmiştir.

Tablo 4.72: Boyanmış kontrplak levhaların formaldehit emisyon değerlerine ait Duncan test sonucu ($\text{mg/m}^2\text{h}$).

Boya	n	Alt Küme		
		1	2	3
Epoksi	3	0.3300		
Su Bazlı	3	0.4867	0.4867	
Polyester	3		0.5500	
Hibrit	3			1.2900
Sig.		.054	.388	1.000

Duncan testi sonucunda, kontrplak levha yüzeylerine uygulanan tüm boyalar, formaldehit salınım değeri üzerinde anlamlı bir farklılık oluşturduğu belirlenmiştir. Fakat su bazlı sıvı boya uygulanmış kontrplak levha grubu hem birinci hem de ikinci alt kümede sınıflandırılmış, epoksi

ve polyester esaslı toz boya uygulanmış levha grupları arasında anlamlı bir farklılık belirlenmemiştir. Tablo 4.72’de görüldüğü üzere, en yüksek formaldehit salınım değeri hibrit esaslı toz boya uygulanmış kontrplak levha grubunda ($1.29 \text{ mg/m}^2\text{h}$), en düşük ise epoksi esaslı toz boya uygulanmış kontrplak levha grubunda ($0.33 \text{ mg/m}^2\text{h}$) tespit edilmiştir.

Levha yüzeylerinde kullanılmış boya faktörü için farklı ve eşit kabul edilebilecek grup ve grupları belirlemek için her bir boya çeşidi kendi içinde Duncan testine tabi tutulmuş olup, sonuçlar Tablo 4.73, Tablo 4.74, Tablo 4.75 ve Tablo 4.76’da karşılaştırılması yapılmıştır.

Tablo 4.73: Su bazlı boya uygulanmış levhaların formaldehit salınım değerlerine ait Duncan testi karşılaştırma sonucu ($\text{mg/m}^2\text{h}$).

Levha Türü	n	Alt Küme	
		1	2
Kontrplak	3	0.4867	
MDF	3		1.6800
Yongalevha	3		1.7533
Sig.		1.000	.333

Su bazlı boya uygulanmış levhaların formaldehit salınım değerleri üzerine etkisini incelemek için yapılan Duncan testinin sonuçlarına göre, formaldehit salınım değeri en yüksek yongalevha grubunda ($1.75 \text{ mg/m}^2\text{h}$), en düşük ise kontrplak grubunda ($0.48 \text{ mg/m}^2\text{h}$) tespit edilmiştir. MDF ve yongalevha grupları arasında formaldehit salınım değerleri anlamlı bir farklılık oluşturmamıştır.

Tablo 4.74: Polyester esaslı toz boya uygulanmış levhaların formaldehit salınım değerlerine ait Duncan testi karşılaştırma sonucu ($\text{mg/m}^2\text{h}$).

Levha Türü	n	Alt Küme		
		1	2	3
Kontrplak	3	0.5500		
Yongalevha	3		1.4067	
MDF	3			2.1267
Sig.		1.000	1.000	1.000

Polyester esaslı toz boya uygulanmış levhaların formaldehit salınım değerleri üzerine etkisini incelemek için yapılan Duncan testinin sonuçlarına göre, formaldehit salınım değeri en yüksek MDF grubunda ($2.12 \text{ mg/m}^2\text{h}$), en düşük ise kontrplak grubunda ($0.55 \text{ mg/m}^2\text{h}$) tespit edilmiştir.

Tablo 4.75: Epoksi esaslı toz boya uygulanmış levhaların formaldehit salınım değerlerine ait Duncan testi karşılaştırma sonucu ($\text{mg/m}^2\text{h}$).

Levha Türü	n	Alt Küme		
		1	2	3
Kontrplak	3	0.3300		
Yongalevha	3		2.0500	
MDF	3			2.5167
Sig.		1.000	1.000	1.000

Epoksi esaslı toz boya uygulanmış levhaların formaldehit salınım değerleri üzerine etkisini incelemek için yapılan Duncan testinin sonuçlarına göre, formaldehit salınım değeri en yüksek MDF grubunda ($2.5 \text{ mg/m}^2\text{h}$), en düşük ise kontrplak grubunda ($0.33 \text{ mg/m}^2\text{h}$) tespit edilmiştir.

Tablo 4.76: Hibrit esaslı toz boya uygulanmış levhaların formaldehit salınım değerlerine ait Duncan testi karşılaştırma sonucu ($\text{mg/m}^2\text{h}$).

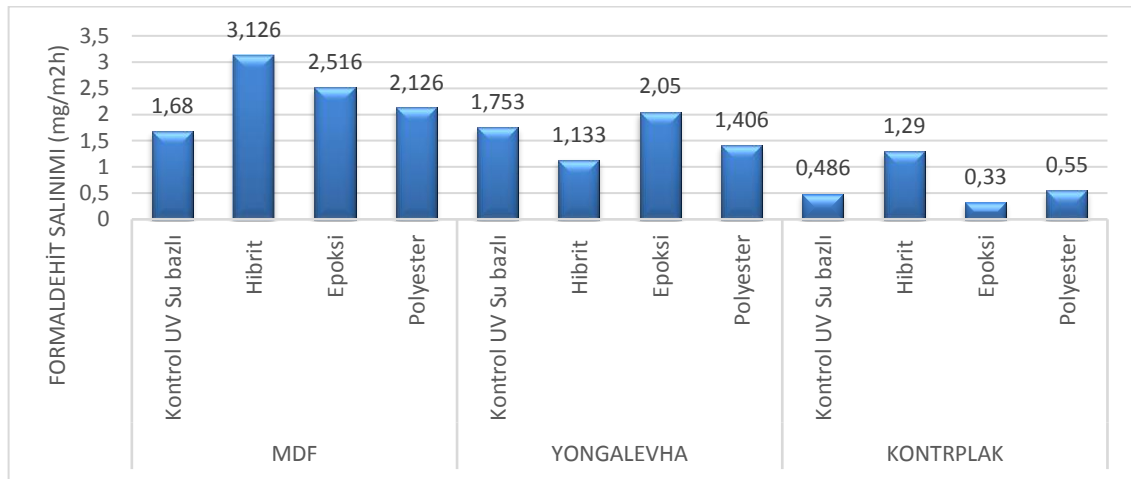
Levha Türü	n	Alt Küme	
		1	2
Yongalevha	3	1.1333	
Kontrplak	3	1.2900	
MDF	3		3.1267
Sig.		.102	1.000

Hibrit esaslı toz boya uygulanmış levhaların formaldehit salınım değerleri üzerine etkisini incelemek için yapılan Duncan testinin sonuçlarına göre, formaldehit salınım değeri en yüksek MDF grubunda ($3.12 \text{ mg/m}^2\text{h}$), en düşük ise yongalevha grubunda ($1.13 \text{ mg/m}^2\text{h}$) tespit edilmiştir. Yongalevha ve kontrplak grupları arasında formaldehit salınım değerleri anlamlı bir farklılık oluşturmamıştır. Hem levha türü hem de boya çeşidi ikili etkileşimi düzeyinde yapılan Duncan testi karşılaştırma sonuçları Tablo 4.77’de gösterilmiştir.

Tablo 4.77: Levha türü ve boya çeşidi etkileşiminin formaldehit salınım değerlerine ait Duncan testi karşılaştırma sonuçları (mg/m²h).

Boyanmış Levha Grupları	n	Alt Küme							
		1	2	3	4	5	6	7	8
KE	3	0.330							
KS	3	0.486	0.486						
KP	3		0.550						
YH	3			1.133					
KH	3			1.290	1.290				
YP	3				1.406				
MS	3					1.680			
YS	3					1.753			
YE	3						2.050		
MP	3						2.126		
ME	3							2.516	
MH	3								3.126
Sig.		.110	.509	.110	.228	.445	.425	1.000	1.000

Levha türü ve boya çeşidi ikili etkileşimi sonucunda formaldehit salınımı en yüksek hibrit esaslı toz boya uygulanmış MDF levhalarda, en düşük ise epoksi esaslı toz boya uygulanmış kontrplak levhalarda elde edilmiştir. Epoksi, polyester, hibrit toz boya ve su bazlı sıvı boya uygulanmış MDF, yongalevha ve kontrplak levha gruplarına ait formaldehit salınım değerlerinin karşılaştırılması Şekil 4.13’de verilmiştir.



Şekil 4.13: Çeşitli boya uygulaması gerçekleştirilmiş levha gruplarına ait formaldehit salınım değerlerinin karşılaştırılması.

Şekil 4.13’de görüldüğü gibi, epoksi, polyester, hibrit esaslı toz boya ve su bazlı boya uygulanmış levhaların formaldehit yayılımı yüksek, ortalama 2.35 mg/m²h ile MDF levhalarda,

daha sonra ortalama 1.58 mg/m²h ile yongalevhelerde, en düşük ise 0.66 mg/m²h ile kontrplak levhalarda tespit edilmiştir.

4.9. YAŞLANDIRILMIŞ ÖRNEKLERDE TOPLAM RENK DEĞİŞİMİ

Epoksi, polyester, hibrit esaslı toz boya ve su bazlı sıvı boya uygulanmış MDF, yongalevha ve kontrplak levhaların hızlandırılmış yaşlandırma testinden sonra meydana gelen toplam renk değişim değerleri incelenmiştir. Boyalı levha gruplarının 144 saat hızlandırılmış yaşlandırma testi sonucunda meydana gelen toplam renk değişim (ΔE) değerlerine ait tanımlayıcı istatistik değerler Tablo 4.78’de verilmiştir.

Tablo 4.78: Toz boya ve su bazlı sıvı boya uygulanmış MDF, yongalevha ve kontrplak levhalarda yaşlandırma sonucu meydana gelen renk değişimine ilişkin tanımlayıcı istatistik değerler.

Malzeme Türü	Ortalama Renk Değişim Değeri (ΔE)	Standart Sapma (ΔE)	n
MS	10.21	0.52	10
MH	14.48	1.98	10
ME	22.36	2.23	10
MP	2.214	0.04	10
YS	10.49	1.17	10
YH	15.65	0.79	10
YE	14.07	2.29	10
YP	1.93	0.47	10
KS	11.88	0.11	10
KH	17.72	5.25	10
KE	19.56	4.33	10
KP	1.79	0.11	10

Epoksi, polyester, hibrit esaslı toz boya ve su bazlı sıvı boya uygulanmış MDF, yongalevha ve kontrplak levha grupları, 144 saat UV esaslı hızlandırılmış yaşlandırma testi sonucunda meydana gelen toplam renk değişim değerleri ΔE 1.79 – 22.36 arasında değişmektedir. En yüksek renk değişim değeri epoksi esaslı toz boya uygulanmış MDF grubunda, en düşük ise polyester esaslı toz boya uygulanmış kontrplak grubunda tespit edilmiştir. Yaşlandırma sonucunda toplam renk değişim değeri üzerine, levha türü, boya çeşidi ve bu faktörlerin karşılıklı etkileşimlerini tespit etmek amacıyla çoklu varyans analizi yapılmıştır ve sonuçlar Tablo 4.79’da verilmiştir.

Tablo 4.79: 144 saat yaşlandırma sonucunda renk değişim değerlerine ait varyans analizi sonuçları.

Kaynak	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kare	F Değeri	Önem Düzeyi
Düzeltilen Model	2544.977 ^a	11	182.271	33.522	.000
Kesişim	6693.051	1	6693.061	1159.110	.000
Levha Türü	1844.081	2	648.027	142.981	.000
Boya Çeşidi	42.934	3	21.987	3.730	.031
Etkileşim (boya+levha)	125.962	6	21.470	3.69	.006
Hata	208.486	108	5.746		
Toplam	9054.515	120			
Doğrulanmış Toplam	2451.463	119			

Varyans analizi sonuçlarına göre, boya çeşidi, levha türü ve bu iki faktörün etkileşimleri 144 saat yaşlandırma sonucunda renk değişimi değerleri bakımından %95 güven düzeyinde anlamlı bir farklılık oluşturduğu tespit edilmiştir. Faktörler içinde farklılık gösteren grupları belirlemek ve birbirinden eşit kabul edilebilecek alt grupları tespit etmek için kendi içinde MDF, yongalevha ve kontrplak gruplarına ait Duncan Testi ile Tablo 4.80, Tablo 4.81 ve Tablo 4.82’de karşılaştırılması yapılmıştır.

Tablo 4.80: Boyanmış MDF levhaların yaşlandırma sonucunda oluşan toplam renk değişim değerlerine ait Duncan test sonucu (ΔE).

Boya	n	Alt Küme			
		1	2	3	4
Polyester	10	2.2145			
Su Bazlı	10		10.2175		
Hibrit	10			14.4850	
Epoksi	10				22.3625
Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000

Yapılan Duncan testi sonucunda, MDF levha yüzeylerine uygulanan tüm boyalar, yaşlandırma sonucunda meydana gelen toplam renk değişim değerleri üzerinde, birbirleri arasında anlamlı

bir farklılık olduğu belirlenmiştir. Tablo 4.80’de görüldüğü üzere, yaşlandırma sonucunda en yüksek renk değişim değeri epoksi esaslı toz boya uygulanmış MDF levha grubunda ($\Delta E:22.37$), en düşük ise polyester esaslı toz boya uygulanmış MDF levha grubunda ($\Delta E:2.21$) tespit edilmiştir.

Tablo 4.81: Boyanmış yongalevhaların yaşlandırma sonucunda oluşan toplam renk değişim değerlerine ait Duncan test sonucu (ΔE).

Boya	n	Alt Küme		
		1	2	3
Polyester	10	1.9300		
Su Bazlı	10		10.4900	
Epoksi	10			14.0700
Hibrit	10			15.6575
Sig.		1.000	1.000	.127

Tablo 4.81’de verilen Duncan testi sonucunda, yongalevha yüzeylerine uygulanan epoksi ve hibrit (epoksi + polyester) toz boyları arasında anlamlı bir farklılık belirlenmediği, fakat diğer gruplar arasında anlamlı bir farklılık olduğu tespit edilmiştir. Elde edilen verilere göre en yüksek toplam renk değişim değeri hibrit esaslı toz boya uygulanmış yongalevha grubunda ($\Delta E:15.65$), en düşük ise polyester esaslı toz boya uygulanmış yongalevha grubunda ($\Delta E:1.93$) belirlenmiştir.

Tablo 4.82: Boyanmış kontrplak levhaların yaşlandırma sonucunda oluşan toplam renk değişim değerlerine ait Duncan test sonucu (ΔE).

Boya	n	Alt Küme		
		1	2	3
Polyester	10	1.7900		
Su Bazlı	10		11.8800	
Hibrit	10			17.7200
Epoksi	10			19.5600
Sig.		1.000	1.000	.480

Tablo 4.82’de verilen Duncan testi sonucunda, kontrplak levha yüzeylerine uygulanan epoksi ve hibrit (epoksi + polyester) toz boyalar arasında anlamlı bir farklılık belirlenmediği, fakat diğer gruplar arasında anlamlı bir farklılık olduğu tespit edilmiştir. Elde edilen verilere göre en yüksek toplam renk değişim değeri epoksi esaslı toz boya uygulanmış kontrplak levha grubunda (ΔE :19.59), en düşük ise polyester esaslı toz boya uygulanmış kontrplak levha grubunda (ΔE :1.78) belirlenmiştir.

Levha yüzeylerinde kullanılan boyaların yaşlandırma sonucunda meydana gelen toplam renk değişim değerleri bakımından, farklı ve eşit kabul edilebilecek grup ve grupları belirlemek için her bir boya çeşidi kendi içinde Duncan testine tabi tutulmuş olup sonuçlar Tablo 4.83’de karşılaştırılması yapılmıştır.

Tablo 4.83: Epoksi, polyester, hibrit esaslı toz boya ve su bazlı boyalar uygulanmış levhaların toplam renk değişim değerine ait Duncan testi karşılaştırma sonucu (ΔE).

Levha Türü	n	Hibrit	Polyester	Su Bazlı	Epoksi	
		Alt Küme	Alt Küme	Alt Küme	Alt Küme	Alt Küme
		1	1	1	1	2
Yongalevha	10	15.6575	1.9300	10.4900	14.0700	
Kontrplak	10	17.7200	1.7900	11.8800		19.5600
MDF	10	14.4850	2.2145	10.2175		22.3625
Sig.		.215	.066	.176	1.000	.238

Levha yüzeylerine uygulanan hibrit esaslı toz boyanın yaşlandırma sonucunda oluşan toplam renk değişim değerleri üzerine etkisini incelemek için yapılan Duncan testinin sonuçlarına göre, toplam renk değişim değeri, en yüksek kontrplak grubunda (ΔE 17.72), en düşük ise MDF grubunda (ΔE 14.48) tespit edilmiştir. Fakat tüm levha grupları arasında toplam renk değişim değerleri anlamlı bir farklılık oluşturmamıştır.

Levha yüzeylerine uygulanan polyester esaslı toz boyanın yaşlandırma sonucunda oluşan toplam renk değişim değerleri üzerine etkisini incelemek için yapılan Duncan testinin sonuçlarına göre, toplam renk değişim değeri, en yüksek MDF grubunda (ΔE 2.21), en düşük ise kontrplak grubunda (ΔE 1.79) tespit edilmiştir. Fakat tüm levha grupları arasında toplam renk değişim değerleri anlamlı bir farklılık oluşturmamıştır.

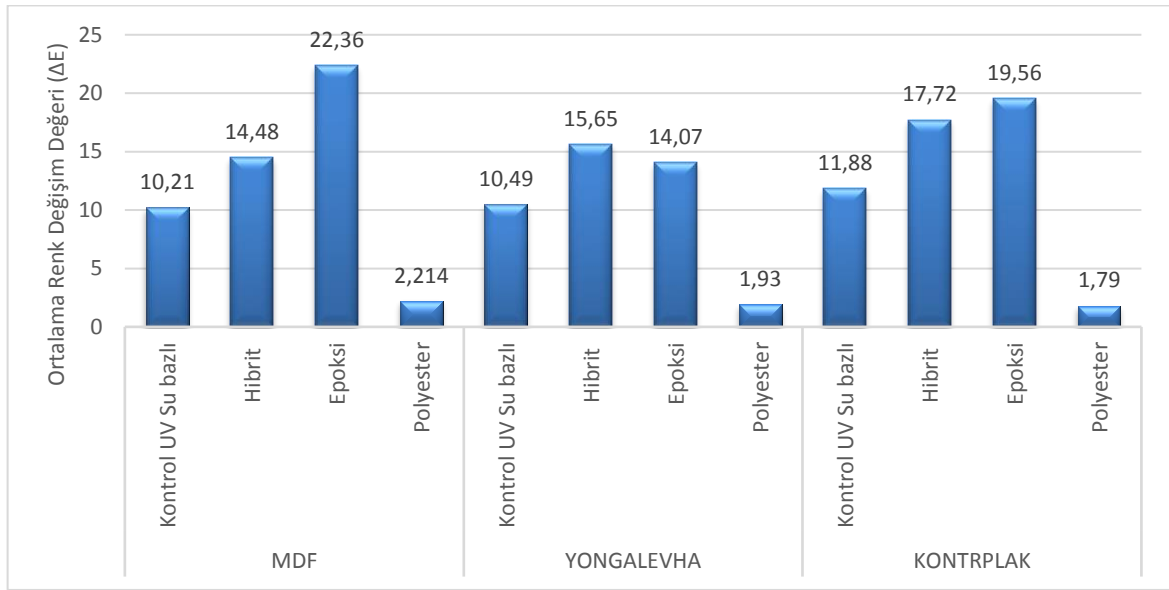
Levha yüzeylerine uygulanan su bazlı boyanın yaşlandırma sonucunda oluşan toplam renk değişim değerleri üzerine etkisini incelemek için yapılan Duncan testinin sonuçlarına göre, toplam renk değişim değeri, en yüksek kontrplak grubunda (ΔE 11.88), en düşük ise MDF grubunda (ΔE 10.2) tespit edilmiştir. Fakat tüm levha grupları arasında toplam renk değişim değerleri anlamlı bir farklılık oluşturmamıştır.

Levha yüzeylerine uygulanan epoksi esaslı toz boyanın yaşlandırma sonucunda oluşan toplam renk değişim değerleri üzerine etkisini incelemek için yapılan Duncan testinin sonuçlarına göre, toplam renk değişim değeri, en yüksek MDF grubunda (ΔE 22.36), en düşük ise yongalevha grubunda (ΔE 14.07) tespit edilmiştir. Kontrplak ve MDF grupları arasında toplam renk değişim değeri anlamlı bir farklılık oluşturmamıştır. Hem levha türü hem de boya çeşidi etkileşimi düzeyinde yapılan Duncan testi karşılaştırma sonuçları Tablo 4.84’de gösterilmiştir.

Tablo 4.84: Levha türü ve boya çeşidi etkileşiminin toplam renk değişim değerlerine ait Duncan testi karşılaştırma sonuçları (ΔE).

Boyanmış Levha Grupları	n	Alt Küme						
		1	2	3	4	5	6	7
KP	10	1.7900						
YP	10	1.9300						
MP	10	2.2145						
MS	10		10.2175					
YS	10		10.4900	10.4700				
KS	10		11.8800	11.8900	11.8900			
YE	10			14.0700	14.0700	14.0700		
MH	10				14.4850	14.4850		
YH	10					15.6675		
KH	10					17.7200	17.7200	
KE	10						19.5900	19.5900
ME	10							22.3625
Sig.		.810	.356	.050	.155	.055	.279	.109

Levha türü ve boya çeşidi etkileşimi sonucunda toplam renk değişimi en yüksek epoksi esaslı toz boya uygulanmış MDF levhalarda, en düşük ise polyester esaslı toz boya uygulanmış kontrplak levhalarda tespit edilmiştir. Epoksi, polyester, hibrit toz boya ve su bazlı sıvı boya uygulanmış MDF, yongalevha ve kontrplak levha gruplarına ait toplam renk değişim değerlerinin karşılaştırılması Şekil 4.14’de verilmiştir.



Şekil 4.14: 144 saat yaşlandırma sonucunda boyanmış levha yüzeylerinde meydana gelen toplam renk değişim değerlerinin karşılaştırması.

Şekil 4.14’de görüldüğü gibi, epoksi, polyester, hibrit esaslı toz boya ve su bazlı boya uygulanmış levhaların yaşlandırması sonucunda meydana gelen toplam renk değişim değeri en yüksek, ortalama 12.73 ile kontrplak levhalarda, daha sonra ortalama 12.31 ile kontrplak levhalarda, en düşük ise 10.56 ile yongalevhalarla tespit edilmiştir.

4.10. YAŞLANDIRILMIŞ ÖRNEKLERDE PARLAKLIK DEĞİŞİMİ

Epoksi, polyester, hibrit esaslı toz boya ve su bazlı sıvı boya uygulanmış MDF, yongalevha ve kontrplak levhaların hızlandırılmış yaşlandırma testinden sonra meydana gelen parlaklık kaybına ilişkin değerler incelenmiştir. Boyalı levha gruplarının 144 saat hızlandırılmış yaşlandırma testi sonucunda meydana gelen parlaklık kaybına ilişkin tanımlayıcı istatistik değerler Tablo 4.85’de verilmiştir.

Tablo 4.85: Toz boya ve su bazlı sıvı boya uygulanmış MDF, yongalevha ve kontrplak levhalarda yaşlandırma sonucu meydana gelen parlaklık kaybına ilişkin tanımlayıcı istatistik değerler.

Malzeme Türü	Parlaklık Kaybı (%)	Standart Sapma (%)	n
MS	25.15	3.98	10
MH	41.6	15.95	10
ME	87.35	8.53	10
MP	8.32	2.62	10
YS	54.26	17.36	10
YH	31.24	16.71	10
YE	54.6	22.41	10
YP	14.4	9.33	10
KS	44	18.31	10
KH	41.78	16.83	10
KE	49.17	19.04	10
KP	32.47	19.87	10

Epoksi, polyester, hibrit esaslı toz boya ve su bazlı sıvı boya uygulanmış MDF, yongalevha ve kontrplak levha grupları, 144 saat UV esaslı hızlandırılmış yaşlandırma testi sonucunda meydana gelen parlaklık kaybı % 8.25 – 22.37 arasında değişmektedir. En yüksek parlaklık kaybı epoksi esaslı toz boya uygulanmış MDF grubunda, en düşük ise polyester esaslı toz boya uygulanmış MDF grubunda tespit edilmiştir. Yaşlandırma sonucunda parlaklık kaybının, levha türü, boya çeşidi ve bu faktörlerin karşılıklı etkileşimlerini tespit etmek amacıyla çoklu varyans analizi yapılmıştır ve sonuçlar Tablo 4.86’da verilmiştir.

Tablo 4.86: 144 saat yaşlandırma sonucunda parlaklık kaybına ait varyans analizi sonuçları.

Kaynak	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kare	F Değeri	Önem Düzeyi
Düzeltilen Model	18657.728 ^a	11	1685.457	5.352	.000
Kesişim	825412.035	1	82785.048	246.130	.000
Levha Türü	358.245	2	158.572	.482	.622
Boya Çeşidi	12356.729	3	41145.920	12.276	.000
Etkileşim (boya+levha)	7073.848	6	1179.138	3.514	.008
Hata	12074.240	108	325.574		
Toplam	114414.001	120			
Doğrulanmış Toplam	31643.979	119			

Varyans analizi sonuçlarına göre. 144 saat yaşlandırma testi sonucunda parlaklık kaybı bakımından %95 güven düzeyinde, levha türünün etkili olmadığı fakat boya çeşidi ve bu iki faktörün etkileşimleri anlamlı bir farklılık oluşturduğu tespit edilmiştir. Faktörler içinde farklılık gösteren grupları belirlemek ve birbirinden eşit kabul edilebilecek alt grupları tespit etmek için kendi içinde MDF, yongalevha ve kontrplak gruplarına ait Duncan Testi ile Tablo 4.87, Tablo 4.88 ve Tablo 4.89’da karşılaştırılması yapılmıştır.

Tablo 4.87: Boyanmış MDF levhaların yaşlandırma sonucunda oluşan parlaklık kaybına ait Duncan test sonucu (%).

Boya	n	Alt Küme		
		1	2	3
Polyester	10	8.32		
Su Bazlı	10	25.15	25.15	
Hibrit	10		41.60	
Epoksi	10			87.35
Sig.		.098	.094	1.000

Yapılan Duncan testi sonucunda, MDF levha yüzeylerine uygulanan su bazlı sıvı boya grubunun, polyester ve hibrit esaslı toz boya grupları arasında anlamlı bir farklılık oluşturmazken, epoksi esaslı toz boya grubu arasında anlamlı bir farklılık oluşturduğu tespit edilmiştir. Polyester, hibrit ve epoksi esaslı toz boya grupları arasında anlamlı bir farklılık oluşturduğu tespit edilmiştir. Yaşlandırma sonucunda en yüksek parlaklık kaybı epoksi esaslı toz boya uygulanmış MDF levha grubunda (%87.35), en düşük ise polyester esaslı toz boya uygulanmış MDF levha grubunda (% 8.32) tespit edilmiştir.

Tablo 4.88: Boyanmış yongalevhaların yaşlandırma sonucunda oluşan parlaklık kaybına ait Duncan test sonucu (%).

Boya	N	Alt Küme	
		1	2
Polyester	10	14.40	
Hibrit	10	31.24	31.24
Su Bazlı	10		54.26
Epoksi	10		54.60
Sig.		.287	.177

Duncan testi sonucunda, polyester esaslı toz boya uygulanmış yongalevha grubu birinci alt kümede, su bazlı sıvı boya ve epoksi esaslı toz boya uygulanmış yongalevha grupları ikinci alt kümede, hibrit esaslı toz boya uygulanmış yongalevha grubu ise hem birinci hem de ikinci alt kümede sınıflandırılmıştır. Yaşlandırma sonucunda en yüksek parlaklık kaybı epoksi esaslı toz boya uygulanmış yongalevha grubunda (% 54.60), en düşük ise polyester esaslı toz boya uygulanmış yongalevha grubunda (% 14.40) tespit edilmiştir.

Tablo 4.89: Boyanmış kontrplak levhaların yaşlandırma sonucunda oluşan parlaklık kaybına ait Duncan test sonucu (%)

Boya Çeşidi	N	Alt Küme
		1
Polyester	10	32.47
Hibrit	10	41.78
Su Bazlı	10	44.00
Epoksi	10	49.17
Sig.		.154

Tablo 4.89’da verilen Duncan testi sonucunda, kontrplak levha yüzeylerine uygulanan boya çeşitleri arasında anlamlı bir farklılık oluşturmadığı tespit edilmiştir. Aynı küme içinde sınıflandırılmış boya grupları arasında, en yüksek parlaklık kaybı epoksi esaslı toz boya uygulanmış kontrplak levha grubunda (% 49.17), en düşük ise polyester esaslı toz boya uygulanmış kontrplak levha grubunda (% 32.47) tespit edilmiştir.

Levha yüzeylerinde kullanılan boyaların yaşlandırma işlemi neticesinde meydana gelen parlaklık kaybı değerleri bakımından, farklı ve eşit kabul edilebilecek grup ve grupları belirlemek için her bir boya çeşidi kendi içinde Duncan testine tabi tutulmuş olup, sonuçlar Tablo 4.90, Tablo 4.91 ve Tablo 4.92’de karşılaştırılması yapılmıştır.

Tablo 4.90: Levha yüzeylerine uygulanan su bazlı boyanın parlaklık kaybı değerlerine ait Duncan testi karşılaştırma sonucu (%).

Levha Türü	n	Alt Küme	
		1	2
Mdf	10	25.15	
Kontrplak	10	44.00	44.00
Yongalevha	10		54.26
Sig.		.106	.351

Levha yüzeylerine uygulanan su bazlı boyanın yaşlandırma sonucunda oluşan parlaklık kaybı üzerine etkisini incelemek için yapılan Duncan testinin sonuçlarına göre, parlaklık kaybı en yüksek yongalevha grubunda (% 54.26), en düşük ise MDF grubunda (% 25.15) tespit edilmiştir. Yaşlandırma sonucunda meydana gelen parlaklık kaybı bakımından kontrplak grubu, hem yongalevha hem de MDF grupları arasında anlamlı bir farklılık oluşturmamıştır.

Tablo 4.91: Levha yüzeylerine uygulanmış polyester esaslı toz boyanın parlaklık kaybı değerlerine ait Duncan testi karşılaştırma sonucu (%).

Levha Türü	n	Alt Küme	
		1	2
Mdf	10	8.32	
Yongalevha	10	14.40	14.40
Kontrplak	10		32.47
Sig.		.506	.081

Levha yüzeylerine uygulanan polyester esaslı toz boyanın yaşlandırma sonucunda oluşan parlaklık kaybı üzerine etkisini incelemek için yapılan Duncan testinin sonuçlarına göre, parlaklık kaybı en yüksek kontrplak grubunda (% 32.47), en düşük ise MDF grubunda (% 8.32) tespit edilmiştir. Yaşlandırma sonucunda meydana gelen parlaklık kaybı bakımından

yongalevha grubu, hem kontrplak hem de MDF grupları arasında anlamlı bir farklılık oluşturmamıştır.

Tablo 4.92: Levha yüzeylerine uygulanmış epoksi ve hibrit esaslı toz boyanın parlaklık kaybı değerlerine ait Duncan testi karşılaştırma sonucu (%).

Levha Türü	n	Epoksi		Hibrit
		Alt Küme		Alt Küme
		1	2	1
Kontrplak	10	49.17		41.78
Yongalevha	10	54.60	54.60	31.24
Mdf	10		87.35	41.60
Sig.		.733	.056	.208

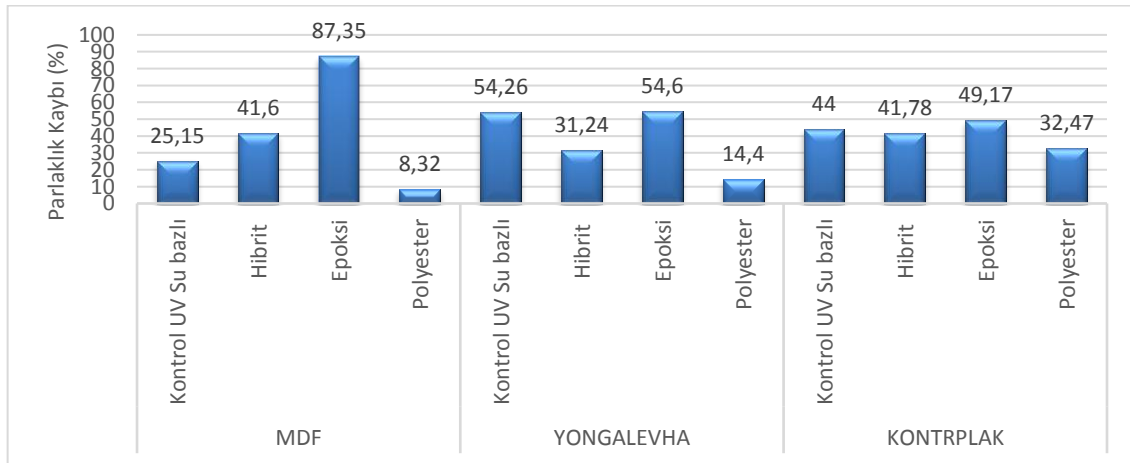
Levha yüzeylerine uygulanan epoksi esaslı toz boyanın yaşlandırma sonucunda oluşan parlaklık kaybı üzerine etkisini incelemek için yapılan Duncan testinin sonuçlarına göre, parlaklık kaybı en yüksek MDF grubunda (% 87.35), en düşük ise kontrplak grubunda (% 49.17) tespit edilmiştir. Yaşlandırma sonucunda meydana gelen parlaklık kaybı bakımından yongalevha grubu, hem kontrplak hem de MDF grupları arasında anlamlı bir farklılık oluşturmamıştır.

Levha yüzeylerine uygulanan hibrit esaslı toz boyanın yaşlandırma sonucunda oluşan parlaklık kaybı üzerine etkisini incelemek için yapılan Duncan testinin sonuçlarına göre, parlaklık kaybı en yüksek kontrplak grubunda (% 41.78), en düşük ise yongalevha grubunda (% 31.24) tespit edilmiştir. Fakat, tüm levha grupları arasında parlaklık kaybı değerleri anlamlı bir farklılık oluşturmamıştır. Hem levha türü hem de boya çeşidi ikili etkileşimi düzeyinde yapılan Duncan testi karşılaştırma sonuçları Tablo 4.93’de gösterilmiştir.

Tablo 4.93: Levha türü ve boya çeşidi etkileşiminin parlaklık kaybı değerlerine ait Duncan testi karşılaştırma sonuçları (%).

Boyanmış Levha Grupları	n	Alt Küme			
		1	2	3	4
MP	10	8.3200			
YP	10	14.400	14.400		
MS	10	25.150	25.150	25.150	
YH	10	31.240	31.240	31.240	
KP	10	32.470	32.470	32.470	
MH	10		41.600	41.600	
KH	10		41.780	41.780	
KS	10		44.000	44.000	
KE	10			49.170	
YS	10			54.260	
YE	10			54.600	
ME	10				87.350
Sig.		.106	.051	.060	1.000

Levha türü ve boya çeşidi etkileşimi neticesinde parlaklık kaybı en yüksek epoksi esaslı toz boya uygulanmış MDF levhalarda, en düşük ise polyester esaslı toz boya uygulanmış levhalarda belirlenmiştir. Epoksi, polyester, hibrit toz boya ve su bazlı sıvı boya uygulanmış MDF, yongalevha ve kontrplak levha gruplarına ait parlaklık kaybı değerlerinin karşılaştırılması Şekil 4.15’de verilmiştir.



Şekil 4.15: 144 saat yaşlandırma sonucunda boyanmış levha yüzeylerinde meydana gelen parlaklık kaybı değerlerinin karşılaştırılması.

Şekil 4.15’de görüldüğü gibi, epoksi, polyester, hibrit esaslı toz boya ve su bazlı boya uygulanmış levhaların yaşlandırması sonucunda meydana gelen parlaklık kaybı en yüksek,

ortalama % 41.85 ile kontrplak levhalarda, daha sonra ortalama % 40.6 ile MDF levhalarda, en düşük ise % 38.62 ile yongalevhalarda tespit edilmiştir.



5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada, epoksi, polyester, hibrit (epoksi + polyester) esaslı toz boyalar ve su bazlı sıvı boya uygulanmış MDF, yongalevha ve kontrplak levhaların, suda bekletme sonucunda kalınlığında şişme miktarı, su alma miktarı, boyaların levha yüzeylerine yapışma direnci, kuru film kalınlık değeri, aşınma direnci, çizilme direnci, formaldehit salınım miktarı, yanma direnci ve yaşlandırma sonucu oluşan toplam renk değişim değeri ile parlaklık kaybına ilişkin özellikleri üzerine etkilerinin ortaya konulması araştırılmıştır. Araştırma sonucunda, elde edilen verilerin neden – sonuç ilişkisi içinde tartışılmıştır.

5.1. KURU FİLM KALINLIK DEĞERİ

Bu çalışmada; MDF grubunda en yüksek kuru film kalınlığı hibrit esaslı toz boya uygulanmış levhalarda ($112.6 \mu\text{m}$), en düşük ise su bazlı boya uygulanmış levhalarda ($75.2 \mu\text{m}$) tespit edilmiştir. Yongalevha grubunda, en yüksek kuru film kalınlığı epoksi esaslı toz boya uygulanmış levhalarda ($149.6 \mu\text{m}$), en düşük ise su bazlı sıvı boya uygulanmış levhalarda ($70.6 \mu\text{m}$) elde edilmiştir. Kontrplak grubunda, en yüksek kuru film kalınlığı hibrit esaslı toz boya grubunda ($171.4 \mu\text{m}$), en düşük ise su bazlı sıvı boya uygulanmış levha grubunda ($146.6 \mu\text{m}$) elde edilmiştir. Aynı levha grubu içinde kullanılan toz boyaların kuru film kalınlıklarının farklı çıkmasında, laboratuvar ölçekli manuel toz boyama işlemi yapılmasından kaynaklanabilir. Otomatik seri üretim toz boyama sistemlerinde elde edilen kuru film kalınlıkları arasındaki fark minimum seviyelerdedir. Kontrplak levha yüzeylerine, UV kurumalı su bazlı boya iki kat halinde uygulanmıştır. Bu nedenle kontrplak kontrol grubu, diğer levhaların kontrol grupları ile karşılaştırıldığında kuru film kalınlığı daha yüksek çıkmıştır. Kontrol grubu olarak uygulanan su bazlı sıvı boyada, kuruma esnasında çözücü buharlaşması gerçekleştiği için kuru film kalınlıkları düşük çıktığı düşünülmektedir. Toz boya uygulanmış levha gruplarında, çözücü buharlaşması olmadığından ve kullanılan toz boyanın neredeyse tamamında film oluşumu gerçekleştiği için kuru film kalınlıkları daha yüksek çıktığı düşünülmektedir. Yongalevha ve kontrplak levhalarda daha düzgün boyanmış yüzeyler elde etmek amacıyla m^2 'ye 150 gr toz boya uygulanmıştır. MDF levhalara ise bu miktar m^2 'ye 120 gr olarak uygulanmıştır. Uygulanan toz boya miktarının artması sonucunda, boyaların levha üzerindeki oluşturduğu kuru film kalınlık değerinin arttığı belirlenmiştir. Bu nedenle yongalevha ve kontrplak levha yüzeylerine uygulanan toz boya miktarının oluşturduğu kuru film kalınlık değerlerinin yüksek

ıkmasında etkili olmuştur. Literatürde, daha yüksek katı madde ihtiva eden ve yüzeye uygulama miktarının fazlalığından dolayı, sıvı esaslı verniklerde kuru film kalınlıklarının yüksek çıktığı ifade edilmektedir [73]. Toz boyalarda film kalınlığı boyanın partikül boyutu ve toz boya cihazının taşıyıcı hava basıncı ve dozaj ayar basıncı ayarlarına göre değişmektedir. Ayrıca tabancanın doğru ayarlanması ve nozul tipi etkili olmaktadır [31].

5.2. KALINLIĞINA ŞİŞME

Test sonuçlarından elde edilen veriler neticesinde, MDF grubunda en yüksek kalınlığında şişme oranı (%6.67) su bazlı sıvı boya uygulanmış levhalarda, en düşük ise (% 1.93) polyester esaslı toz boya uygulanmış levhalarda tespit edilmiştir. Hibrit ve epoksi esaslı toz boya uygulanmış MDF levha grupları arasında yakın değerler (% 2.41, % 2.57) elde edilmiştir. Yongalevha grubunda, en yüksek kalınlığında şişme oranı su bazlı boya uygulanmış numunelerde (% 21.64), en düşük ise polyester esaslı toz boya uygulanmış numunelerde (% 18.54) belirlenmiştir. Kontrplak levha grubunda en yüksek kalınlığında şişme oranı epoksi esaslı toz boya uygulanmış numunelerde (% 2.41), en düşük ise su bazlı sıvı boya uygulanmış numunelerde (% 1.88) tespit edilmiştir. Kalınlığında şişmede, yongalevha ve MDF levhalarda polyester esaslı toz boya, kontrplak levhalarda ise hibrit esaslı toz boya uygulanmış gruplarda en iyi sonuçlar elde edilmiştir. Kontrplak levhalarda hibrit esaslı toz boyanın yüksek çıkmasında, boya karışımında % 50 oranında polyester reçinesi içermesidir. Literatürde belirtildiği gibi polyester esaslı toz boyaların dış ortam koşullarına karşı daha dirençli olduğu belirtilmektedir [94, 95]. Bu nedenle polyester esaslı toz boyaların levha yüzeylerine uygulanması sonucunda levhaların suda bekletilmesi sonucunda kalınlığındaki artış miktarları daha düşük seviyelerde gerçekleşmiştir. Suda bekletme sonucunda kalınlığına artışın meydana gelmesinde boyanın taşıyıcı yüzeyde oluşturduğu kuru film kalınlığı ve boyanın kendi arasında meydana gelen çapraz bağlanma (sertleşme) reaksiyonun da etkili olabileceği düşünülmektedir. Literatürde termoset esaslı polimerlerin birçok özellikleri yüksek çapraz bağlanma yapılarından kaynaklandığı belirtilmektedir [106]. Toz boyaların film oluşturma mekanizmaları sıvı boyalara göre farklı olması ve toz boyaların fırınlama esnasında film oluşumunun temel evreleri, erime, akışkan hale gelme, jelleşme noktası ve kürlenme süreci özellikleri hem boyanın estetik hem de koruma özelliklerini etkilediği belirtilmektedir [101]. Levha yüzeylerine uygulanan su bazlı boyaların kalınlığına şişme oranlarının yüksek çıkmasında, düşük film kalınlıklarına sahip olması ve su çözücülü reçine uzun süre su ile

etkileşime girdiğinde boyanın adezyon kuvvetini azaltarak levha yüzeylerinden ayrılmasına neden olduğu gözlemlenmiştir. Bu test için, levha yüzeyleri boyandıktan sonra numunelerin kesim işlemi gerçekleştirilmiş ve kenarları kaplanmamıştır. Bu nedenle, elde edilen verilerin değerlendirilmesinde sadece üstyüzey işlemleri göz önünde bulundurulmuştur.

Su bazlı boya uygulanmış levhalarda, 24 saat su içerisinde bekletilmesi sonucunda kalınlığına şişmede en az etkilenen kontrplak levha iken, en fazla etkilenen yongalevha grubu olduğu tespit edilmiştir. Hibrit esaslı toz boya uygulanmış levhalarda, kalınlığına şişmede en az etkilenen kontrplak levha iken, en fazla etkilenen yongalevha grubu olduğu belirlenmiş ve kontrplak ile MDF levhalar arasında anlamlı bir farklılık bulunmamıştır. Epoksi esaslı toz boya uygulanmış levhalarda, kalınlığına şişmede en az etkilenen kontrplak levha iken, en fazla etkilenen yongalevha grubu olduğu belirlenmiş ve kontrplak ile MDF levhaları arasında anlamlı bir farklılık oluşmadığı tespit edilmiştir. Polyester esaslı toz boya uygulanmış levhalarda, kalınlığına şişmede en az etkilenen MDF levha iken, en fazla etkilenen yongalevha grubu olduğu belirlenmiştir. Kalınlığına şişmede, genel olarak en olumlu sonuçlar kontrplak levhalarda elde edilmiştir. Kontrplak levhaların, kalınlığına şişmesinde en az etkilenmesinin nedeni, üretim esnasında dış ortam koşullarına dayanıklı fenol formaldehit tutkalının kullanılması ve kaplama esaslı kompozit malzeme olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Levhaların üretimi esnasında, kullanılan odun türü, yonga boyutları, levhanın yoğunluğu, tutkal türü ve oranı, parafin miktarı, yonga-tutkal karıştırma işleminin uygunluğu ve presleme şartları (pres sıcaklığı, süresi ve basıncı) bağlı olduğu bildirilmiştir [74]. Yongalevha, OSB, ve MDF levhaların kalınlığına şişmesi ağaç malzemenin lif yönüne dik şişmesinden çok daha fazladır. Bu durum ahşap esaslı levhalarda kullanılan partiküllerin yoğunlaştırılması ile ilişkilendirilmiştir [107].

Ahşap ve ahşap esaslı levhaların çeşitli kaplamalarla kaplanması sonucunda, kalınlığında şişmede azalmalar kaydedildiği, fakat suda bekletme süresi uzadıkça kalınlık artışını iyileştirici etkisinin azaldığı ifade edilmektedir. [75, 76]. Sentetik reçine emdirilmiş dekor kâğıdı ile kaplanmış yongalevhaların su alma ve kalınlığına şişme değerleri, kaplanmamış kontrol örneklerine göre çok az oranda azaldığı belirtilmektedir [77]. Bu çalışmada kullanılan kaplanmamış MDF'nin 24 saat sonunda kalınlığına şişme oranı % 6.63'dür. Bu değeri ele

aldığımızda, su bazlı boyanın kalınlığına şişmede herhangi bir etkisi olmazken, toz boya ile kaplanmış MDF levhaların kalınlığına şişmesinde önemli oranda azaltığı tespit edilmiştir.

Boya çeşidi ve levha türü ikili etkileşimi sonucunda, 24 saat suda bekletilmiş numunelerin kalınlığına şişmede en az etkilenen ve en önerilebilir sonuçlar; akrilik esaslı su bazlı boya uygulanmış kontrplak levhalarda, polyester esaslı toz boya uygulanmış MDF ve kontrplak levha gruplarında belirlenmiştir.

5.3. SU ALMA MİKTARI

Araştırma kapsamında, epoksi, polyester, hibrit esaslı toz boyalar ve su bazlı sıvı boya uygulanmış MDF, yongalevha ve kontrplak levha grupları, 24 saat suda bekletme sonucunda su alma miktarı üzerine etkisi incelenmiştir. Test sonuçlarından elde edilen veriler neticesinde, MDF grubunda en yüksek su alma oranı su bazlı sıvı boya uygulanmış levhalarda (%31.64), en düşük ise polyester esaslı toz boya uygulanmış levhalarda (%12.35) tespit edilmiştir. Hibrit ve epoksi esaslı toz boya uygulanmış MDF levhalardan birbirine yakın değerler elde edilmiştir. Yongalevha grubunda, en yüksek su alma oranı su bazlı sıvı boya uygulanmış levhalarda (%147.51), en düşük ise polyester esaslı toz boya uygulanmış numunelerde (%54.71) belirlenmiştir. Hibrit ve epoksi toz boya uygulanmış yongalevhalar arasında yakın değerler (%86.04, %87.89) elde edilmiştir. Kontrplak grubunda, en yüksek su alma oranı su bazlı sıvı boya uygulanmış levhalarda (% 23.03), en düşük ise epoksi esaslı toz boya uygulanmış numunelerde (% 27.77) tespit edilmiştir. Su alma miktarı üzerinde kullanılan toz boyaların, su bazlı sıvı boyaya göre olumlu yönde daha etkili sonuçlar verdiği belirlenmiştir. Kullanılan boyaların içerisinde, polyester esaslı toz boya uygulanmış MDF ve yongalevhaların su alma oranlarında olumlu yönde belirgin bir fark tespit edilmiştir. Bu fark, polyester esaslı toz boyanın, diğer toz boyalara göre dış ortam koşullarına karşı daha dirençli olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Ayrıca boyaların kuru film kalınlıkları, kohezyon ve adezyon kuvvetleri su alma oranında etkili olabilir. Bu çalışmada, yaşlandırma testi sonuçlarından elde edilen bulgular göre, polyester esaslı toz boyaların dış ortam şartlarına karşı mukavemetli olduğunu desteklemektedir. Nemli 2000 [75] Yongalevha yüzeylerine çeşitli kaplama işlemi sonucunda, 2 ve 24 saat suda bekletilmiş numunelerinin su alma miktarı ve kalınlık artışı üzerine yüzey kaplama malzeme türlerinin etkisinin önemli olduğunu bildirmiştir. Su alma miktarı ve kalınlık artışları sıralaması en fazladan itibaren; lake boya ile kaplı, melamin

emdirilmiş kâğıtlar ile kaplı, ahşap kaplama levhaları ile kaplı ve rulo laminatı ile kaplı yongalevha gruplarından elde ettiğini ve yüzey kaplama malzemesi türlerinin suya karşı farklı dayanım özellikleri gösterdiğini açıklamıştır. Ayrıca, yüzey kaplama malzemelerinin içerdiği reçine, vernik ve boya maddelerinin özellikleri de su alma miktarı ve kalınlık artışıındaki değişikliklere neden olabileceği ifade edilmiştir [75].

Su bazlı boya uygulanmış levhalar, 24 saat su içerisinde bekletilmesi sonucunda, en fazla bünyesine su alan yongalevha grubu iken, en az kontrplak levha grubu olmuştur. Hibrit esaslı toz boya uygulanmış levhalarda, en fazla bünyesine su alan yongalevha grubu iken, en az MDF levha grubu olmuştur. Epoksi esaslı toz boya uygulanmış levhalarda, en fazla bünyesine su alan yongalevha grubu olurken, en az bünyesine su alan MDF levha grubu olmuştur. Polyester esaslı toz boya uygulanmış levhalarda, en fazla bünyesine su alan yongalevha grubunda, en az ise MDF grubunda belirlenmiştir. Ahşap esaslı levhaların su alma oranları, levhaların üretimi esnasında, kullanılan odun türü, yonga boyutları, levhanın yoğunluğu, tutkal türü ve oranı, parafin miktarı, yonga-tutkal karıştırma işleminin uygunluğu ve presleme şartları (pres sıcaklığı, süresi ve basıncı) bağlı olduğu bildirilmiştir [75]. Literatürde, üre formaldehit ve fenol formaldehit tutkalları kullanılarak farklı yonga boyutlarında üretilmiş yongalevhaların su alma oranı ve kalınlığına şişme değerlerinin incelenmesi neticesinde, büyük boyutlu yongalar ve fenol formaldehit tutkalı kullanılarak üretilen yongalevhaların su alma ve kalınlığına şişme değerleri daha az olduğu belirtilmektedir [108]. Ahşap esaslı levhalarda kalınlığına şişme ve su alma miktarları levha üretiminde kullanılan tutkalın özellikleri ve oluşturduğu bağ kalitesi etkilediği ifade edilmiştir [109]. Büyüksarı ve diğ. [110] Farklı basınç ve sıcaklıklarda ahşap kaplama ile kaplanmış MDF levhalarda, 2 ve 24 saat suda bekletilmesi sonucunda, pres basıncı ve sıcaklığın artması ile birlikte levhalarda meydana gelen su alma oranının azaldığını bildirmişlerdir. Bu durumu yapılan yoğunlaştırma işlemi neticesinde kaplamaların gözenekli yapılarının azalmasından kaynaklandığı ifade edilmiştir [110]. Literatürden elde edilen bilgiler ışığında, yongalevhalar su alma oranının yüksek çıkmasında levha yapısının diğer levhalara göre daha gözenekli bir yapıya sahip olmasından kaynakladığı da düşünülmektedir. MDF levhalarda su alma oranının düşük çıkmasında, levha yoğunluğu ve daha az gözenekli yapısından kaynaklanabilir.

Boya çeşidi ve levha türü ikili etkileşimi sonucunda, 24 saat suda bekletilmiş numunelerin su almasında en az etkilenen ve en önerilebilir sonuçlar; polyester, epoksi ve hibrit esaslı toz boya uygulanmış MDF levhalarda elde edilmiştir.

5.4. BOYALARIN YAPIŞMA DİRENCİ

MDF, yongalevha ve kontrplak levha yüzeylerine uygulanan epoksi, polyester ve hibrit esaslı toz boyalar ile su bazlı sıvı boya gruplarının levha yüzeylerinde oluşturdukları yapışma direnç değerleri üzerine etkileri araştırılmıştır. Çalışmadan elde edilen sonuçlara göre; MDF gruplarında, en yüksek yapışma direnç değeri (2.33 MPa) epoksi esaslı toz boya uygulanmış numunelerde, en düşük ise (1.23 MPa) su bazlı sıvı boya uygulanmış numunelerde tespit edilmiştir. Yongalevha gruplarında, en yüksek yapışma direnç değeri hibrit esaslı toz boya uygulanmış numunelerde (1.72 MPa), en düşük ise (1.45 MPa) su bazlı sıvı boya uygulanmış numunelerde elde edilmiştir. Kontrplak grubunda, en yüksek yapışma direnç değeri hibrit esaslı toz boya uygulanmış örneklerde (2.93 MPa), en düşük ise su bazlı sıvı boya uygulanmış örneklerde (1.50 MPa) tespit edilmiştir. Genel olarak su bazlı boya grubunda yapışma direncinin düşük çıkması kuru film kalınlığı ve reçine çözücüsü olarak su kullanılmasından kaynaklanabilir. Literatürde mobilya yüzeyleri için hazırlanan su çözücülü verniklerin yapışma direnci değerlerinin, solvent çözücülü poliüretan ve akrilik verniklere göre daha düşük olduğu bildirilmiştir [115]. Koruyucu katman hazırlamada kullanılacak üstyüzey malzemesinin hem kendi molekülleri arasında kurulan bağların hem de yüzeyle bağlantısının çok iyi olması gerekir. Bu durum katman sağlamlığı bakımında önem arz ettiği ifade edilmektedir [81]. MDF ve yongalevha yüzeylerine uygulanan boyalarda kopma genellikle levha içinden gerçekleşmiştir. Bu durum boya ve levha arasındaki adezyon kuvvetinin taşıyıcı yüzeyin kohezyon kuvvetinden yüksek olması ile açıklanmıştır [36]. Kontrplak yüzeylerine uygulanan boyalar genellikle yapışma hattında kopmuştur. Bu durumda kopma bölgesinde boya kalıntıları varsa adezyon ve kohezyon kuvvetleri birbirine yakın olması olarak değerlendirilmektedir. Yapışma testi sonucunda kopma alanında boya kalıntıları yoksa taşıyıcı yüzey boyanın kohezyon kuvveti adezyon kuvvetinden büyük olmasından kaynaklanabileceği ifade edilmiştir [36]. Levha yüzeylerine uygulanan toz boyaların IR fırın içerisinde kurlenme esnasında birbirleri arasında çapraz bağlanma yapmaları ve bu esnada ısıнын etkisi ile levha içerisinden çıkan gazların boyanın matriksini etkilediği düşünülmektedir. Bunun sonucu olarak levha türüne göre çıkan gaz akışı, boyanın o levhaya yapışmasını olumsuz yönde etkileyebilir. Levha

yüzeylerine uygulanan boyalar arasında meydana gelen yapışma direnç değeri farkının, boya kuru film kalınlıkları ile ilişkili olabileceği düşünülmektedir. Polimerik yapıdaki verniklerde katman kalınlığı arttığında yüzeye yapışma direncinin arttığı ifade edilmektedir [115]. Dilik ve diğ. [80] yaptıkları araştırmada, farklı kuru film kalınlıklarında selülozik ve poliüretan esaslı sıvı boyalar ile MDF ve yongalevha yüzeylerini kaplanmaşlar ve boyaların oluşturdukları kuru film kalınlıklarına göre farklı yapışma direnç değerlerinin elde edildiğini bildirmişlerdir. Bu çalışmada, boyaların levhalar üzerindeki yapışma direnç değerleri arasındaki farkların, boyaların formülasyonlarına bağlı olarak meydana gelen adezyon ve kohezyon çekim kuvvetlerinden ve ısıнын etkisi ile levha içerisinden çıkan gazlardan kaynaklandığı da düşünülmektedir. Literatürden ve bu araştırma sonucundan elde edilen bilgiler ışığında, güçlü bir yapıştırma direnci elde edilebilmesi için, uygulanacak taşıyıcı yüzey tipi ve boya çeşidine bağlı olarak optimum kuru film kalınlıklarının belirlenmesi büyük önem arz etmektedir.

Su bazlı boya uygulanmış levhalarda en yüksek yapışma direnci kontrplak grubunda elde edilirken, en düşük yapışma direnci MDF grubunda elde edilmiştir. Hibrit esaslı toz boya uygulanmış levhalarda en yüksek yapışma direnci kontrplak levhalarda elde edilirken, en düşük yapışma direnci yongalevha grubunda tespit edilmiştir. Epoksi esaslı toz boya uygulanmış levhalarda en yüksek yapışma direnci MDF levhalarda elde edilirken, en düşük yapışma direnci yongalevha grubunda elde edilmiştir. Polyester esaslı toz boya uygulanmış levhalarda en yüksek yapışma direnci MDF levhalarda elde edilirken, en düşük yapışma direnci yongalevha grubunda elde edilmiştir. Boyaların yapışma direnci bakımından, genel olarak en başarılı taşıyıcı yüzeyler MDF ve kontrplak levhalarda elde edilmesinde levhaların yüzey düzgünlüğü ve yüzey yoğunlukları, levha üretiminde kullanılan odun çeşitleri, tutkal tipi, pres sıcaklığı ve basıncı gibi etmenler boyaların yapışma direnç değerlerinin farklı çıkmasında etkili olduğu düşünülmektedir. Budakçı ve Pelit [114] sarıçam, doğu kayını ve sapsız meşe kaplama ile kaplanmış 18 mm yonga levha yüzeylerine, renksiz, yağ bazlı tahta koruyucu uygulandıktan polyester vernik uygulaması sonucunda ağaç türü düzeyinde yapışma direnci en yüksek doğu kayınında, en düşük sarıçamda tespit etmişlerdir. Budakçı ve Sönmez [116] Sarıçam, göknar Doğu kayını ve meşe yüzeylerine, selülozik, poliüretan, akrilik ve su bazlı vernik uygulamışlar ve çalışmada yapraklı ağaç odunlarında daha yüksek, iğne yapraklı ağaç odunlarında daha düşük yapışma direnci değerleri tespit edildiği, vernik çeşidi düzeyinde en yüksek yapışma direncinin poliüretan ve akrilik verniklerde elde etmişlerdir. Ayrıca iklimlendirme sonucunda MDF, yongalevha ve kontrplak levhalarda oluşan denge rutubet miktarlarının farklı olması

boyaların yapışma dirençlerinin farklı çıkmasında etkili olabilir. Sönmez ve diğ., [117] %8, %12 ve %15 rutubet miktarına sahip farklı ağaç malzeme yüzeylerine uyguladıkları selüloz, poliüretan ve su bazlı vernik uygulaması sonucunda, verniklerin yapışma direnci değerlerine ağaç malzemenin rutubet miktarının etkili olduğunu belirtmişlerdir.

Boya çeşidi ve levha türü ikili etkileşimi neticesinde, boyaların levha yüzeylerine yapışmasında en önerilebilir sonuçlar; hibrit esaslı toz boya uygulanmış kontrplak levhalarda ve epoksi esaslı toz boya uygulanmış MDF levha gruplarında belirlenmiştir.

5.5. AŞINMA DİRENCİ

Çeşitli toz boyalar ve su bazlı sıvı boya uygulanmış MDF, yongalevha ve kontrplak levhaların aşınma direnci değeri üzerine etkileri araştırılmıştır. Elde edilen bulgulara göre, MDF grubunda en yüksek aşınma direnç değeri hibrit esaslı toz boya uygulanmış numunelerde (451 devir), en düşük ise su bazlı sıvı boya uygulanmış numunelerde (35 devir) elde edilmiştir. Yongalevha grubunda, en yüksek aşınma direnç değeri (514 devir) hibrit esaslı toz boya uygulanmış örneklerde, en düşük ise su bazlı sıvı boya uygulanmış örneklerde (35 devir) belirlenmiştir. Kontrplak grubunda, en yüksek aşınma direnci hibrit esaslı toz boya uygulanmış örneklerde (486 devir), en düşük ise su bazlı sıvı boya uygulanmış örneklerde (77) tespit edilmiştir. Termoset esaslı polyester ve hibrit esaslı toz boyaların aşınma direnci “iyi” olarak kategorize edilirken epoksi esaslı toz boyaları aşınma direnci “çok iyi” olarak sınıflandırılmıştır [31]. Fakat boyaların genel formülasyonları, çapraz bağlanma reaksiyonu, yoğunlukları ve levha yüzeyinde oluşturdukları kuru film kalınlıkları aşınma direnci değeri üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu düşünülmektedir. Literatürde, toz boyaların görünüş özellikleri mekanik özellikleri, dayanıklılık, yapışma ve aşınma dayanımı malzemenin formülasyonu ile birlikte özellikle fırınlanma süresi ve sıcaklığa bağlı olduğu belirtilmektedir [93]. Çizilme ve aşınma dirençleri bakımından tamamen kürlenmiş film maksimum potansiyele ulaştığı ve genel olarak polimerik filmlerin çizilme direnci, yapışma direnci ile ilişkili olduğu bildirilmiştir [93]. Su bazlı sıvı boya uygulanmış MDF, yongalevha ve kontrplak levha yüzeylerinde oluşan boya kuru film kalınlıkları sırasıyla 75 µm, 71 µm ve 147 µm olduğundan dolayı aşınma direnç değerlerinin düşük çıkmasında etkili olduğu düşünülmektedir. Literatürde, su çözücülü vernikler ile yapılan araştırmalarda sertlik değerinin fazla olmadığı ve dolayısı ile bu vernik katmanlarının darbe, aşınma ve çizilme değerlerinin düşük olduğu belirtilmiştir [79]. Keskin ve Tekin [111] farklı ağaç malzeme yüzeylerine, sentetik, selülozik, poliüretan su bazlı ve asit sertleştirici vernik

uygulamaları sonucunda, vernik düzeyinde en düşük aşınma direncini su bazlı vernik grubunda tespit etmişlerdir. Yüzey kaplama malzeme türü aşınma direnci üzerinde etkili olduğu ve en düşük aşınma direnci değerleri lake kaplı örneklerde, en yüksek değerler ise rulo laminatı kaplı örneklerde elde edildiği ifade edilmiştir [75]. Muğla [78] farklı yüzey kaplama malzemelerinin MDF levhaların yüzey özellikleri üzerine etkileri konulu yaptığı çalışmada, aşınmaya karşı mukavemet değerleri, lake boyalı, PVC ve melamin kaplamalı levha yüzeylerinde farklılık olduğunu bildirmiştir. En yüksek değerden en düşük değere doğru sırasıyla PVC kaplamalı, melamin kaplamalı, ve lake boya kaplamalı yüzeylerde elde edildiğini belirtmiştir.

Su bazlı boya uygulanmış levhalarda aşınma direnci en yüksek kontrplak levhalarda, en düşük ise yongalevhalar elde edilmiştir. Yongalevha ve MDF grupları arasında aşınma direnç değerleri anlamlı bir farklılık oluşturmamıştır. MDF ve yongalevha gruplarına tek kat su bazlı boya uygulaması gerçekleştirilirken, kontrplak yüzeyleri tek kat su bazlı boyama işleminin yetersiz kalmasından dolayı iki kat su bazlı boyama işlemi gerçekleştirilmiştir. İki kat su bazlı boyama işlemi gerçekleştirilmiş kontrplak levhalarda kuru boya film kalınlıkları yüksek çıkmıştır. Bu nedenle aşınma direncinin kontrplak grubunda yüksek çıkmasında kuru film kalınlığının büyük bir etkisinin olduğu düşünülmektedir. Hibrit esaslı toz boya uygulanmış levhalarda aşınma direnci en yüksek yongalevha grubunda, en düşük ise MDF levhalarda elde edilmiştir. Kontrplak grubu, hem MDF hem de yongalevha grupları arasında anlamlı bir farklılık oluşturmamıştır. Epoksi esaslı toz boya uygulanmış levhalarda aşınma direnci en yüksek yongalevha grubunda, en düşük ise MDF levhalarda elde edilmiştir. Yongalevha ve kontrplak grupları arasında anlamlı bir farklılık oluşturmamıştır. Polyester esaslı toz boya uygulanmış levhalarda aşınma direnci en yüksek yongalevha grubunda, en düşük ise kontrplak levhalarda tespit edilmiştir. MDF ve kontrplak grupları arasında anlamlı bir farklılık oluşturmamıştır. Genel olarak aşınma direnci yongalevha gruplarında yüksek çıkmasında, kuru film kalınlıklarının yüksek olması ve yongalevhanın gözenekli yapısından dolayı uygulanan toz boyalar levha gözenekleri içerisine girerek daha derinlere nüfuz etmesinden kaynaklanabilir. Ayrıca levha üretiminde kullanılan odun çeşitleri, tutkal türü ve oranı, pres basıncı ve sıcaklığı gibi faktörler, levha yüzeylerine uygulanan boyalar ile etkileşime girme reaksiyonlarını etkilemesi neticesinde, aşınma direncinde farklılıklara neden olabileceği düşünülmektedir. Keskin ve Tekin [111] Sarıçam, doğu kayını, meşe, kavak, ıhlamur ve ceviz ağaç malzeme yüzeylerine farklı vernik türleri uygulamaları sonucunda, ağaç malzeme düzeyinde en yüksek aşınma direnci ceviz ağacında tespit etmişler ve bu durummu ceviz ağacının gözenekli

yapısından kaynaklandığını ifade etmişlerdir. Aşınma direncinin MDF levhalarda düşük çıkmasında boya kuru film kalınlığının az olması, levha yüzey yoğunluğunun yüksek olması ve daha az gözenekli yapıya sahip olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Kaplanmış levhaların aşınma, çizilme vb. özellikleri, levhanın kalitesi ve boya çeşidine bağlı olduğu bildirilmektedir [112].

Boya çeşidi ve levha türü ikili etkileşimi neticesinde, aşınma testinden en az etkilenen ve en önerilebilir sonuçlar; hibrit esaslı toz boya uygulanmış yongalevha ve kontrplak gruplarında tespit edilmiştir.

5.6. ÇİZİLME DİRENCİ

Araştırmadan elde edilen sonuçlara göre; MDF grubunda, en yüksek çizilme direnç değeri polyester esaslı toz boya uygulanmış levhalarda (2.65 N), en düşük ise hibrit esaslı toz boya uygulanmış levhalarda (2.16 N) tespit edilmiştir. Yongalevha grubunda, en yüksek çizilme direnç değeri hibrit esaslı toz boya uygulanmış levhalarda (2.83 N), en düşük ise su bazlı sıvı boya uygulanmış levhalarda (2.45) tespit edilmiştir. Kontrplak grubunda, en yüksek çizilme direnci epoksi esaslı toz boya uygulanmış örneklerde (2.85 N), en düşük ise su bazlı sıvı boya uygulanmış örneklerde (2.40 N) elde edilmiştir. En düşük çizilme direnç değerleri su bazlı boya uygulanmış levhalarda çıkmasında, düşük kuru film kalınlıklarına sahip olmasından kaynaklanabilir. Su çözücülü vernikler ile yapılan araştırmalarda sertlik değerinin fazla olmadığı ve dolayısı ile bu vernik katmanlarının darbe, aşınma ve çizilme değerlerinin düşük olduğu belirlenmiştir [79]. Toz boya uygulanmış levhalarda en yüksek çizilme direnci değerleri farklı boyalarda elde edilmesinde, manuel boyama yapıldığından ve dolayısıyla homojen kuru film kalınlıkları elde edilemediğinden kaynaklanabilir. Ayrıca boya formülasyonu içerisindeki reçine, sertleştiriciler, katkı maddeleri ve dolgu maddelerinin çeşidi ve katılım oranları çizilme direnci değeri üzerinde etkili olabilir. Toz boyalarda kullanılan, reçine, kürlenme ajanı, dolgu maddeleri, katkı maddeleri boyanın film özelliklerini etkilediği ifade edilmektedir [102]. Boyanın bağlayıcı maddesi (reçine) sertlik, aşınma, çizilme vb. mekanik özellikleri üzerine belirleyici bir etkisinin olduğunu, fakat katkı maddeleri kullanılarak boyanın mekanik özelliklerinin geliştirilebileceği belirtilmektedir [113]. Boya formülasyonları içerisinde yüksek sertlik değerlerine sahip silikon dioksit, alüminyum oksit çeşitli metal silikatlar ve sülfatlar kullanılarak boyanmış yüzeylerin aşınma ve çizilme dirençlerini büyük ölçüde artırdığı ifade edilmektedir [113]. Yapılan literatür çalışmalarında; farklı katı ve sıvı yüzey malzemeleri ile

kaplanmış yongalevha yüzeylerinin çizilme direnci değeri üzerinde etkili olduğu, çizilme direnç değerleri küçükten büyüğe doğru sırasıyla; Lake boya ile kaplanmış, ahşap kaplama levhaları ile kaplanmış, melamin emdirilmiş kağıtlarla kaplanmış ve rulo laminatı ile kaplanmış örneklerde gerçekleştiği bildirilmiştir [75]. Lake boya, PVC ve melamin kaplamalı MDF levhaların çizilmeye karşı mukavemet farklı olduğu görüldüğü ve PVC yüzeyler çizilmeye karşı diğer iki yüzey malzemesine göre daha yüksek mukavemet değerine sahip olduğunu belirtilmiştir. Sıvı esaslı Lake boya kaplamalı levhalar diğer yüzey kaplı levhalara göre devamlı çizgiler net görüldüğü ve lake boyalı yüzeylerin çizilme mukavemetleri standart değerlerden daha düşük olduğunu bildirmiştir [78].

Su bazlı boya uygulaması yapılmış MDF, yongalevha ve kontrplak levha grupları arasında çizilme direnç değerleri birbirine çok yakın sonuçlar elde edildiğinden dolayı, anlamlı bir farklılık meydana gelmemiştir. Hibrit esaslı toz boya uygulanmış levhalarda en yüksek çizilme direnci yongalevha grubunda, en düşük ise MDF levhalarda elde edilmiştir. Kontrplak grubu, hem MDF hem de yongalevha grupları arasında anlamlı bir farklılık oluşturmamıştır. Epoksi esaslı toz boya uygulanmış levhalarda, en yüksek çizilme direnci kontrplak grubunda, en düşük ise MDF levhalarda tespit edilmiştir. Yongalevha grubu, MDF grubu ile anlamlı bir farklılık oluşturmamıştır. Polyester esaslı toz boya uygulaması yapılmış MDF, yongalevha ve kontrplak levha grupları arasında çizilme direnç değerleri birbirine çok yakın sonuçlar elde edildiğinden dolayı, anlamlı bir farklılık oluşturmamıştır. Su bazlı boya ve polyester esaslı toz boya uygulaması gerçekleştirilmiş taşıyıcı levha yüzeylerinde belirgin bir fark olmadığı tespit edilmiştir. Hibrit esaslı ve epoksi esaslı toz boya uygulanmış yongalevha ve kontrplak levhalarda çizilme direncinin yüksek çıkması boyaların oluşturdukları kuru film kalınlıkları ve taşıyıcı yüzey ile oluşturdukları bağlanma reaksiyonu ile ilişkili olabilir. Literatürde, fırınlanma esnasında toz boyanın değişen viskozitesi aynı ısı değeri elde edilmiş DSC termogramı eşleştirilmiş ve hem çapraz bağlanma reaksiyonun ilerlemesi hem de aktivasyon enerjisi ile ilişkilendirilmiştir. Çapraz bağlanma derecesi boyanmış malzemenin yüzey özellikleri ile ilişkili olabileceği ifade edilmektedir [98].

Boya çeşidi ve levha türü ikili etkileşimi neticesinde, çizilme testinden en az etkilenen ve en önerilebilir sonuçlar; epoksi esaslı toz boya uygulanmış kontrplak levhalarda ve hibrit esaslı toz boya uygulanmış yongalevha gruplarında tespit edilmiştir.

5.7. YANMA DİRENCİ

MDF grubunda, en yüksek tutuşma süresi su bazlı sıvı boya uygulanmış örneklerde (71 saniye), en düşük ise polyester esaslı toz boya uygulanmış örneklerde (52 saniye) elde edilmiştir. Yongalevha grubunda, en yüksek tutuşma süresi su bazlı sıvı boya uygulanmış örneklerde (83 saniye), en düşük ise polyester esaslı toz boya uygulanmış örneklerde (57 saniye) tespit edilmiştir. Kontrplak grubunda, en yüksek tutuşma süresi su bazlı sıvı boya uygulanmış örneklerde (61 saniye), en düşük ise epoksi esaslı toz boya uygulanmış örneklerde (44 saniye) elde edilmiştir. Tutuşma süresi ısı enerjisini maruz kalan malzemenin ilk olarak yanmaya karşı göstermiş olduğu direnç olarak tanımlanabilir. Çalışmada tüm levha çeşitlerinde akrilik esaslı su bazlı sıvı boyanın ilk yanmaya karşı göstermiş olduğu direnç, diğer toz boyalardan daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Boyalarda kullanılan reçine türü, katkı maddesi, kürlenme ajanı ve elde edilmek istenen boya formülasyonu ve kürlenme aşmasında film oluşum mekanizması tutuşma süresini etkilediği düşünülmektedir. Literatürde film oluşumu esnasında gerçekleşen bu evreler hem boyanın estetik hem de koruma özelliklerini etkilediği ve boyanın yapısı film oluşum evrelerinin süresini belirlediği bildirilmiştir [101]. Bağlayıcı tipi ve çapraz bağlayıcı, pigmentlenme (doğal ve partikül boyutu, boyayı sarması ve dağılımı) katalizör, katkı maddeleri, kürlenme ve uygulama şartları film oluşum evrelerini etkilediği ve dolayısıyla bu faktörler boyanın önemli özellikleri olan yüzey düzgünlüğünü, yapışma direncini, parlaklığını, kimyasallara karşı direncini, dış ortam koşulları ve yanmaya karşı direncine karar veren önemli parametreler olduğu ifade edilmektedir [101]. Melamin reçine emdirilmiş kağıt ile kaplanmış 768 kg/m^3 yoğunlukta MDF levhanın tutuşma süresi 45 saniye, melamin reçine emdirilmiş kağıt ile kaplanmış 695 kg/m^3 yoğunlukta yongalevhanın tutuşma süresi 53 saniye, kaplanmamış 846 kg/m^3 yoğunlukta MDF levhanın tutuşma süresi 39 saniye, kaplanmamış 713 kg/m^3 yoğunlukta yongalevhanın tutuşma süresi 36 saniye, kaplanmamış 718 kg/m^3 yoğunlukta kontrplak levhanın tutuşma süresi 29 saniye tespit edildiği bildirilmiştir [85].

Su bazlı boya uygulanmış levhalarda, sıcaklığın etkisi ile en hızlı tutuşma yongalevha grubunda, en yavaş tutuşma kontrplak levhalarda elde edilmiştir. Polyester esaslı toz boya uygulanmış levhalarda sıcaklığın etkisi ile en hızlı tutuşma kontrplak levhalarda, en yavaş MDF levhalarda tespit edilmiştir. Epoksi esaslı toz boya uygulanmış levhalarda sıcaklığın etkisi ile en hızlı tutuşma MDF levhalarda, en düşük ise kontrplak levhalarda belirlenmiştir. Hibrit esaslı toz boya uygulanmış levhaların sıcaklığın etkisi ile tutuşma süreleri birbirine yakın değerler

elde edildiğinden dolayı gruplar arasında anlamlı bir farklılık oluşturmamıştır. Levha türü düzeyinde, sıcaklığın etkisi ile tutuşma sürelerindeki farklılıklar levha üretiminde kullanılan ham maddeler ve üretim parametreleri ile ilişkili olduğu düşünülmektedir. Literatürde, ahşap esaslı levhalarda tutuşma süresinin, ağaç türü, yoğunluk, rutubet miktarı, malzeme kalınlığı ve yüzey alanı, yüzey absorpsiyonu, piroliz (odunun yüksek sıcaklık sonucu kimyasal yapısının geri dönüşümsüz bozulması) karakteristikleri, ısı iletkenliği, spesifik ısı ve ekstraktif madde miktarı ile ilişkili olduğu bildirilmiştir [83]. Odun tutuştuğunda yüzeyinde alevin ilerleme hızı büyük ölçüde odunun ısı iletimine ve ısı kapasitesine bağlı olduğu belirtilmiştir [83]. Byoung-Ho [84] Tutuşma sıcaklığı, çevre şartları ve sıcaklığa maruz kalma şiddetine bağlı olarak, odunla ilgili birçok faktörden etkilenmekte olduğunu ve ISO 5660-1 standardına göre ahşap esaslı levhalar üzerine yapılan yanma testi sonucunda, en yüksek tutuşma süresinden en düşük tutuşma süresi incelemesi sonucunda, laminat parke, HDF (Yüksek yoğunluklu liflevha), kontrplak, yongalevha ve MDF levhalar olarak tespit edildiğini belirtmişlerdir [84]. Ayrılmış 2006 [83] DIN 4102 – 1 standardına göre MDF 180 saniye, kontrplak 120 saniye alev kaynağına maruz bırakılmış ve kontrol MDF'nin tutuşma süresi 62 saniye, kontrol kontrplak levhanın tutuşma süresi 35 saniye olarak belirlendiği ifade edilmiştir [83].

Boya çeşidi ve levha türü ikili etkileşimleri neticesinde tutuşma süresi açısından en uzun ve en önerilebilir sonuçlar, akrilik esaslı su bazlı boya uygulanmış yongalevha, MDF ve kontrplak gruplarında elde edilmiştir.

MDF, yongalevha ve kontrplak levha yüzeylerine uygulanan epoksi, polyester ve hibrit esaslı toz boyalar ile su bazlı sıvı boya gruplarının tutuşma başladıktan 180 saniye boyunca ısı yayılma değerleri incelenmiştir. Isı yayılma değeri bir malzemenin yanabilirlik derecesini ve potansiyel yanma tehlikesini gösteren bir parametre olarak değerlendirilir. Oda içerisinde alevin yayılmasında ve yangının büyümesinde kritik bir faktördür. Bu değer malzemede ne kadar düşük olursa ortamın yanabilirlik derecesini o kadar azaltmaktadır. MDF grubunda, en yüksek ısı yayılma hızı polyester esaslı toz boya uygulanmış numunelerde (145.72 kW/m^2), en düşük ise su bazlı sıvı boya uygulanmış numunelerde (133.60 kW/m^2) tespit edilmiştir. Yongalevha grubunda, en yüksek ısı yayılma hızı epoksi esaslı toz boya uygulanmış numunelerde (148.24 kW/m^2), en düşük ise polyester esaslı toz boya uygulanmış numunelerde (123.65 kW/m^2) elde edilmiştir. Kontrplak grubunda, en yüksek ısı yayılma hızı hibrit esaslı toz boya uygulanmış numunelerde (184.09 kW/m^2), en düşük ise su bazlı sıvı boya uygulanmış numunelerde (126.80

kW/m^2) tespit edilmiştir. 180 saniyede gerçekleşen ısı yayılma değeri, levha yüzeylerinde kullanılan hem boya çeşidi hem de levha türünün de etkili olduğu düşünülmektedir. Genel olarak ısı yayılma değeri su bazlı sıvı boya uygulanmış numunelerde daha olumlu sonuçlar elde edilmiştir. Melamin reçine emdirilmiş kağıt ile kaplanmış 768 kg/m^3 yoğunlukta MDF levhanın 300 saniyede ısı yayılma hızı 142 kW/m^2 , melamin reçine emdirilmiş kağıt ile kaplanmış 695 kg/m^3 yoğunlukta yongalevhanın ısı yayılma hızı 133 kW/m^2 , kaplanmamış 846 kg/m^3 yoğunlukta MDF'nin ısı yayılma hızı 171 kW/m^2 , kaplanmamış 713 kg/m^3 yoğunlukta yongalevhanın ısı yayılma hızı 144 kW/m^2 , kaplanmamış 718 kg/m^3 yoğunlukta kontrplak levhanın ısı yayılma hızı 138 kW/m^2 tespit edildiği bildirilmiştir [85]. Literatürde elde edilen bu bilgiler doğrultusunda, kaplanmış levhalar ısı yayılma değerinin düşmesinde olumlu bir etki yaptığı söylenebilir. Kikuchi ve Hasemi [86] odunun alev yayılma özelliği ve ısı yayılma miktarı üzerine yüzey yapısının etkisini araştırmış olup yüzeyin yivli olması durumunda pürüzlülüğün ve ısı yayılma miktarının arttığını, alev yayılmanın ise daha komplike olduğunu belirtmişlerdir. Yüzeydeki yiv sayısı arttıkça levhanın ısı yayılma miktarının artmasını yivlerden dolayı yüzey alanının artmasına bağlamışlardır. Toz boya uygulanmış numune yüzeylerinde görülen hafif portakallaşma görüntüsü levhaların ısı yayılma değerlerinde artışa neden olabileceği düşünülmektedir. Harada ve diğ., [87] Ahşap esaslı levhaların yanma direnci tespiti için yaptıkları çalışmada, levhaların yüzey yoğunluklarının tutuşma sürelerini ve başlangıç ısı yayılma değerlerini etkilediği ifade etmişler ve başlangıç ısı yayılma hızı ve tutuşma sürelerinin malzemenin ortalama yoğunluklarından ziyade yüzey yoğunluklarına göre değiştiğini bildirmişlerdir.

Polyester, epoksi, ve su bazlı boya uygulanmış levha grupları arasında, ısı yayılma hızı değerleri birbirlerine yakın sonuçlar elde edildiğinden dolayı gruplar arasında anlamlı bir farklılık oluşturmamıştır. Hibrit esaslı toz boya uygulanmış levhalarda ısı yayılma hızı değeri en yüksek kontrplak levhalarda, en düşük ise MDF levhalarda tespit edilmiştir. Fakat hibrit esaslı toz boya uygulanmış yongalevha grubu, hem kontrplak hem de MDF grupları arasında belirgin bir farklılık elde edilememiştir. Genel olarak 180 sn sonunda ısı yayılma değeri açısından, levha türünün çok fazla etkili olmadığı tespit edilmiştir.

Boya çeşidi ve levha türü ikili etkileşimleri neticesinde ısı yayılma hızı açısından en düşük ve en önerilebilir sonuçlar, polyester esaslı toz boya uygulanmış yongalevha grubu, Hibrit esaslı

toz boya uygulanmış MDF grubu, su bazlı boya uygulanmış kontrplak ve MDF gruplarında elde edilmiştir.

MDF, yongalevha ve kontrplak levha yüzeylerine uygulanan epoksi, polyester ve hibrit esaslı toz boyalar ile su bazlı sıvı boya gruplarının tutuşma başladıktan 180 saniye boyunca etkili yanma ısıları değerleri incelenmiştir. MDF grubunda en yüksek etkili yanma ısıları değeri su bazlı sıvı boya uygulanmış örneklerde (9.17 MJ/kg), en düşük ise epoksi esaslı toz boya uygulanmış örneklerde (8.26 MJ/kg) tespit edilmiştir. Yongalevha grubunda en yüksek etkili yanma ısıları değeri su bazlı sıvı boya uygulanmış örneklerde (8.82 MJ/kg), en düşük ise polyester esaslı toz boya uygulanmış örneklerde (7.67 MJ/kg) elde edilmiştir. Kontrplak grubunda, en yüksek etkili yanma ısıları değeri epoksi esaslı toz boya uygulanmış örneklerde (9.47 MJ/kg), en düşük ise polyester esaslı toz boya uygulanmış numunelerde (7.20 MJ/kg) tespit edilmiştir. Termoset esaslı epoksi ve hibrit esaslı boyaların ısı direnci “çok iyi” olarak kategorize edilirken, polyester esaslı toz boyaların ısı direnci “iyi” olarak sınıflandırılmıştır [31]. 180 saniye boyunca elde edilen etkili yanma ısıları değeri levha türü, uygulanan boya türü ve formülasyonlarına bağlı olarak değiştiği düşünülmektedir. Genel olarak etkili yanma ısıları değeri polyester esaslı toz boya uygulanmış numunelerde daha olumlu sonuçlar elde edilmiştir. Lazaros ve Birgit 1999 [85] yapmış oldukları araştırmada, melamin reçine emdirilmiş kağıt ile kaplanmış 768 kg/m³ yoğunlukta MDF levhanın etkili yanma ısıları 13.3 MJ/kg, melamin reçine emdirilmiş kağıt ile kaplanmış 695 kg/m³ yoğunlukta yongalevhanın etkili yanma ısıları 12.7 MJ/kg, kaplanmamış 846 kg/m³ yoğunlukta MDF'nin etkili yanma ısıları 12.7 MJ/kg, kaplanmamış 713 kg/m³ yoğunlukta yongalevhanın 13.7 MJ/kg, kaplanmamış 718 kg/m³ yoğunlukta kontrplak levhanın etkili yanma ısıları 12 MJ/kg olarak tespit edildiği bildirilmişlerdir [85]. Lazaros ve Birgit 1999 [85] yapmış oldukları araştırmadan elde edilen veriler ile, bu çalışmada boyanmış levhalardan alınan veriler karşılaştırıldığında, çalışmada kullanılan toz boya ve su bazlı boyalar, levhaların etkili yanma ısılarını düşürdüğü ifade edilebilir.

Polyester, epoksi, ve hibrit esaslı toz boya uygulanmış levha grupları arasında, etkili yanma ısıları değerleri birbirlerine yakın sonuçlar elde edildiğinden dolayı, gruplar arasında anlamlı bir farklılık oluşturmamıştır. Su bazlı boya uygulanmış levhalarda etkili yanma ısıları değeri en yüksek MDF levhalarda, en düşük ise kontrplak levhalarda tespit edilmiştir. Fakat su bazlı boya uygulanmış yongalevha grubu ile MDF grubu arasında belirgin bir farklılık elde edilememiştir.

Genel olarak 180 sn sonunda etklili yanma ısısı değeri açısından, levha türünün çok fazla etkili olmadığı tespit edilmiştir.

Boya çeşidi ve levha türü ikili etkileşimleri neticesinde etkili yanma ısısı en düşük ve en önerilebilir sonuçlar; su bazlı boya uygulanmış kontrplak, Hibrit esaslı toz boya uygulanmış MDF grubu, polyester esaslı toz boya uygulanmış yongalevha ve kontrplak gruplarında elde edilmiştir.

Levha üzerine uygulanmış boyalar, yanmanın başladığı ilk saniyelerinde yanma direnci değeri üzerinde çok büyük etkisi olduğu düşünülmektedir. Bu nedenle levha yüzeylerine uygulanan boyaların ilk 100 saniyede levhada ne kadarlık bir ağırlık kaybına neden olduğu tespit edilerek, boyaların yanma sonucunda meydana gelen kütle kaybına etkisi belirlenmeye çalışılmıştır. Yanmanın başladığı ilk 100 saniyede, en yüksek ağırlık kayıp oranı (%21.11) epoksi esaslı toz boya uygulanmış yongalevha grubunda, en düşük ise (%14.66) su bazlı sıvı boya uygulanmış yongalevha grubunda belirlenmiştir. Polyester esaslı toz boya ile su bazlı sıvı boya uygulanmış yongalevha numunelerinin, yanma sonucunda ilk 100 saniyede meydana gelen ağırlık kayıp değerleri arasında yakın değerler elde edilmiştir (%14.66, %16.15). Aynı şekilde yongalevha grubunda, epoksi esaslı toz boya ile hibrit esaslı toz boyalar arasında yakın değerler (%21.11, %20.4) elde edilmiştir. MDF grubunda, yanmanın başladığı ilk 100 saniyede, en yüksek ağırlık kayıp oranı (%23.71) hibrit esaslı toz boya uygulanmış MDF grubunda, en düşük ise (%19.21) epoksi esaslı toz boya uygulanmış MDF grubunda belirlenmiştir. Epoksi esaslı toz boya ile su bazlı sıvı boya uygulanmış MDF gruplarının, yanma sonucunda ilk 100 saniyede meydana gelen ağırlık kayıp değerleri arasında yakın değerler (%19.21, %19.57) elde edilmiştir. Aynı şekilde MDF grubunda, polyester esaslı toz boya ile hibrit esaslı toz boyalar arasında yakın değerler (%22.13, %23.71) tespit edilmiştir. Yanmanın başladığı ilk 100 saniyede, kontrplak grubunda en yüksek ağırlık kaybı epoksi esaslı toz boya uygulanmış numunelerde (%20.85), en düşük ise polyester esaslı toz boya uygulanmış numunelerde (% 15.76) belirlenmiştir. Yanma testi sonucunda elde edilen bulgular arasındaki farkın levha türü, boya formülasyonunu oluşturan reçine, sertleştirici, katkı maddeleri ve dolgu maddelerinin çeşidi ve katılım oranlarının etkili olduğu düşünülmektedir.

5.8. FORMALDEHİT MİKTARI

MDF ve yongalevha yüzeylerine uygulanan epoksi, polyester ve hibrit esaslı toz boyalar ile su bazlı sıvı boya gruplarının levhaların formaldehit salınımı üzerine etkileri incelenmiştir. MDF grubunda en yüksek formaldehit salınım miktarı ($3.126 \text{ mg/m}^2\text{h}$) hibrit esaslı toz boya uygulanmış numunelerde, en düşük ise ($1.68 \text{ mg/m}^2\text{h}$) su bazlı sıvı boya uygulanmış numunelerde elde edilmiştir. Yongalevha grubunda, en yüksek formaldehit salınım miktarı ($2.05 \text{ mg/m}^2\text{h}$) epoksi esaslı toz boya grubunda, en düşük ise ($1.133 \text{ mg/m}^2\text{h}$) hibrit esaslı toz boya grubunda tespit edilmiştir. Kontrplak levha grubunda, en yüksek formaldehit salınım miktarı hibrit esaslı toz boya grubunda ($1.29 \text{ mg/m}^2\text{h}$), en düşük ise epoksi esaslı toz boya grubunda ($0.33 \text{ mg/m}^2\text{h}$) elde edilmiştir. Formaldehit testi sonucunda elde edilen bu değerler, TS EN 14322 [122] standardına göre E1 (Salınım $\leq 3.5 \text{ mg/m}^2\text{h}$) sınıfına girmektedir. Formaldehit salınım miktarı sonuçları arasındaki farkın, kullanılan levha türü, levhaların rutubet içeriği, levha yüzeyinde oluşturulan boya kuru film kalınlıkları, boya çeşidi ve formülasyonuna bağlı olarak gerçekleştiği düşünülmektedir. Literatürde, gaz analiz metoduna göre melamin kaplı liflevhaların formaldehit salınım miktarı ilk ölçümleri $1.70 \text{ mg/m}^2\text{h}$, melamin kaplı yongalevha ise bu değer $0.73 \text{ mg/m}^2\text{h}$ olarak elde edildiği bildirilmiştir [89]. Salem ve diğ., [90] Farklı tutkallarla ve 12, 16 ve 18 mm kalınlıklarında üretilmiş MDF ($0.77 \text{ mg/m}^2\text{h}$), laminat kaplı MDF (MDFL), yongalevha (P2), ahşap kaplama ile kaplanmış yongalevha (PV), laminat kaplı yongalevha (PL), kayın kaplamadan elde edilmiş kontrplak (PLY) ve huş kaplamadan elde edilmiş kontrplak (PLYs) levhalarının EN 717-2 standardına göre formaldehit salınım değerleri Tablo 5.1’de gösterildiği gibi incelemişler ve salınım değerleri üzerinde levha kalınlığı, ağaç türü, tutkal çeşidi ve kaplama çeşidi gibi faktörlerin etkili olduğunu ifade etmişlerdir.

Tablo 5.1: Farklı kalınlıklarda ve çeşitli tutkallarla üretilmiş MDF, yongalevha ve kontrplak levhalarına ait formaldehit salınım miktarı [90].

LEVHA TÜRÜ	TUTKAL	KALINLIK		
		T12	T16	T18
P2	UF	$(0.67 \pm 0.16)^{*f}$	$(0.63 \pm$	$(1.68 \pm 0.02)^b$
PV		$(0.96 \pm 0.02)^d$	$(1.19 \pm$	$(2.52 \pm 0.02)^a$
P		$(0.23 \pm 0.02)^{klm}$	$(0.54 \pm$	$(0.84 \pm 0.03)^e$
MDF	MUF	$(0.38 \pm 0.03)^{ij}$	$(0.47 \pm$	$(0.77 \pm 0.03)^e$
MDFL		$(0.29 \pm 0.02)^{jk}$	$(0.32 \pm$	$(0.61 \pm 0.01)^{fg}$
P	MUF	$(0.16 \pm 0.01)^{lmn}$	$(0.37 \pm$	$(0.35 \pm 0.06)^j$
PLYs	PF	$(0.11 \pm 0.01)^n$	$(0.25 \pm$	$(0.15 \pm 0.01)^{mn}$

Su bazlı boya uygulaması gerçekleştirilmiş levhalarda en fazla formaldehit salınımı yongalevha grubunda, en az salınım kontrplak levhalarda elde edilmiştir. Polyester esaslı toz boya uygulanmış levhalarda, en fazla formaldehit salınımı MDF grubunda, en az salınım kontrplak levhalarda tespit edilmiştir. Epoksi esaslı toz boya uygulanmış levharda en fazla formaldehit salınımı MDF grubunda, en az salınım kontrplak grubunda belirlenmiştir. Hibrit esaslı toz boya uygulanmış levhalarda en fazla formaldehit salınımı MDF grubunda, en az salınım yongalevha grubunda tespit edilmiştir. Kontrplak levhalarda formaldehit emisyon değerinin düşük çıkmasında, levha üretiminde kullanılan kayın kaplama, fenol formaldehit tutkalı ve üretim koşullarının etklili olduğu düşünülmektedir. Boehme [120], EN 717-1 standardına göre ağaç malzemelerde formaldehit salınımı üzerine yapmış olduğu çalışmada en yüksek formaldehit salınımı meşe ağacında (9 ppb), en düşük ise kayın ağacında (2 ppb) tespit etmiştir. Çolakoğlu [118] yapmış olduğu araştırmada, kontrplaktan ayrılan formaldehit miktarı, kayın kontrplakların kavak ve okume kontrplaklara göre daha düşük çıktığını ve levha kalınlığı ve katkı maddesi oranı ile pres süresi ve basıncının artması, üre ve melamin ilavesi yanında formaldehit oranı düşük UF tutkalının kullanılması ve kontrplak depolama süresinin uzaması formaldehit emisyonunu azaltıcı etkisinin olduğunu belirtmiştir. Akbulut ve diğ., [119] MDF levhalarda formaldehit salınımı üzerine yapmış oldukları çalışmada levha üretiminde kullanılan ağaç türünün formaldehit ayrışmasına etkisinin olmadığını bildirmişlerdir. Ahşap esaslı levhalarda formaldehit ve VOC salınımı üretimde kullanılan ham maddeler ve üretim tekniklerinin etkili olduğu belirtilmektedir [117]. Ayrıca levhaların farklı denge rutubet miktarına sahip olması formaldehit salınımını etkilediği düşünülmektedir. Gündül ve diğ., [91] Farklı rutubet miktarını sahip kayın ve kızılâğaç soyma kaplamalarından üretilen kontrplak levhaların EN 717-3 standardına göre formaldehit salınım değerlerinin ağaç türü ve rutubet miktarına bağlı olarak levhanın formaldehit salınım değerlerinin değiştiğini belirtmişlerdir

Yapılan bu çalışmada boya çeşidi ve levha türü ikili etkileşimi sonucunda, formaldehit salınımı en az ve en önerilebilir sonuçlar; epoksi esaslı toz boya ve su bazlı boya uygulanmış kontrplak gruplarında tespit edilmiştir.

5.9. YAŞLANDIRILMIŞ ÖRNEKLERDE RENK DEĞİŞİMİ

Epoksi, polyester, hibrit toz boya uygulanmış MDF, yongalevha ve kontrplak levhalar hızlandırılmış yaşlandırma testi sonucunda meydana gelen toplam renk değişim değerleri incelenmiştir. Araştırma sonucunda, MDF grubunda, en yüksek renk değişim değeri epoksi

esaslı toz boya uygulanmış örneklerde (ΔE 22.37), en düşük renk değişim değeri ise polyester esaslı toz boya uygulanmış örneklerde (ΔE 2.21) tespit edilmiştir. Hibrit esaslı toz boya ve su bazlı sıvı boya uygulanmış MDF levhaların renk değişiminde ara değerler (ΔE 14.49, 10.20) elde edilmiştir. Yongalevha grubunda, en yüksek renk değişim değeri hibrit esaslı toz boya uygulanmış örneklerde (ΔE 15.66), en düşük renk değişim değeri ise polyester esaslı toz boya uygulanmış örneklerde (ΔE 1.94) tespit edilmiştir. Epoksi toz boya ile hibrit esaslı toz boya uygulanmış yongalevha grupları arasında oluşan renk değişim değerleri birbirine yakın çıktığı belirlenmiştir. Kontrplak grubunda, en yüksek renk değişim değeri epoksi esaslı toz boya uygulanmış numunelerde (ΔE 19.59), en düşük renk değişim değeri polyester esaslı toz boya uygulanmış numunelerde (ΔE 1.78) tespit edilmiştir. Renk değişim değerinin düşük olması, rengin değişmediği ya da çok az değişim olduğunu gösterir. Yaşlandırma sonucunda, polyester esaslı toz boya ile boyanmış grupların çok fazla etkilenmemesinin nedeni; boyanın erime, jelleşme, akışkan hale gelme ve kurlenme parametreleri, boyanın reçinesi, kullanılan kurlenme ajanı, katkı ve dolgu maddelerinin etkili olduğu düşünülmektedir. Literatürde, boyaların reolojisi, akışkanlığı mekanik ve kimyasal özellikleri sararmaya karşı direnci ve film rengini etkileyen katkı maddeleri, reçine /sertleştirici sistemleri açısından istenilen boya özellikleri boyaların formülasyonları ile belirlendiği ifade edilmektedir [100]. Barletta ve diğ., [93] Toz boyaların görünüş özellikleri mekanik özellikleri, dayanıklılık yapışma ve aşınma dayanımı malzemenin formülasyonu ile birlikte özellikle fırınlanma süresi ve sıcaklığa bağlı olduğunu bildirmişlerdir. Termoset esaslı toz boyaların yaşlandırma özelliklerinin karşılaştırması sonucunda, epoksi esaslı toz boyaların çok zayıf, hibrit esaslı toz boyaların zayıf olduğu, fakat polyester esaslı toz boyaların mükemmel olduğu belirtilmektedir [31]. Dış hava koşullarına karşı geleneksel polyester sistemlerinin diğer sistemlerden daha dayanıklı olduğu ifade edilmektedir [94]. Dolayısıyla, dış ortam koşullarında polyester esaslı toz boyaların yapısı diğer boyalara göre daha dayanıklıdır. Bu nedenle tüm levha türlerinde yaşlandırma sonucunda polyester esaslı toz boyalı numunelerin rengin çok az değiştiği belirlenmiştir.

Polyester, hibrit esaslı toz boya ve su bazlı boya uygulanmış levha grupları arasında, yaşlandırma sonucunda toplam renk değişim değerleri birbirlerine yakın sonuçlar elde edildiğinden dolayı gruplar arasında anlamlı bir farklılık oluşturmamıştır. Epoksi esaslı toz boya uygulanmış levhalarda yaşlandırma sonucunda en fazla renk değişimi MDF grubunda, en az renk değişimi ise yongalevha grubunda elde edilmiştir. Genel olarak yaşlandırma sonucunda, toplam renk değişim değerine, levha türünün çok fazla etkili olmadığı tespit edilmiştir.

Boya çeşidi ve levha türü ikili etkileşiminin yaşlandırma sonucunda toplam renk değişimi en az ve en önerilebilir sonuçlar; polyester esaslı toz boya uygulanmış kontrplak, yongalevha ve MDF gruplarında tespit edilmiştir.

5.10 YAŞLANDIRILMIŞ ÖRNEKLERDE PARLAKLIK DEĞİŞİMİ

Epoksi, polyester, hibrit toz boya uygulanmış MDF, yongalevha ve kontrplak levhalar hızlandırılmış yaşlandırma testi sonucunda meydana gelen parlaklık kaybı incelenmiştir. Araştırma sonucunda, MDF grubunda, en yüksek parlaklık kaybı epoksi esaslı toz boya uygulanmış örneklerde (% 87.25), en düşük ise polyester esaslı toz boya uygulanmış örneklerde (% 8.25) tespit edilmiştir. Hibrit esaslı toz boya ve su bazlı sıvı boya uygulanmış MDF levhaların parlaklık kaybında ara değerler (% 42.5, %25.25) elde edilmiştir. Yongalevha grubunda, en yüksek parlaklık kaybı epoksi esaslı toz boya uygulanmış örneklerde (% 54.5), en düşük ise polyester esaslı toz boya uygulanmış örneklerde (% 14.5) tespit edilmiştir. Epoksi toz boya ile su bazlı sıvı boya uygulanmış (%54.25) yongalevha grupları arasında oluşan renk değişim değerleri birbirine yakın çıktığı belirlenmiştir. Kontrplak grubunda, en yüksek parlaklık kaybı epoksi esaslı toz boya uygulanmış numunelerde (% 49.25), en düşük ise polyester esaslı toz boya uygulanmış numunelerde (% 32.25) tespit edilmiştir. Yaşlandırma testi sonucunda meydana gelen renk değişimi değerinde olduğu gibi, tüm levha gruplarında yaşlandırma sonucunda, polyester esaslı toz boya uygulanmış numunelerde en az parlaklık kaybı değerleri elde edilmiştir. Yaşlandırma testi sonucunda toplam renk değişim değerleri ile parlaklık kaybı oranları arasında benzer sonuçlar elde edildiğinden dolayı bu iki parametre arasında pozitif doğrusal bir ilişki olduğu düşünülmektedir.

Su bazlı boya uygulanmış levhalarda yaşlandırma sonucunda parlaklık kaybı en fazla yongalevha grubunda, en az parlaklık kaybı ise MDF levhalarda elde edilmiştir. Polyester esaslı toz boya uygulanmış levhalarda en fazla parlaklık kaybı kontrplak levhalarda, en az ise MDF levhalarda tespit edilmiştir. epoksi esaslı toz boya uygulanmış levhalarda en fazla parlaklık kaybı MDF levhalarda, en az ise kontrplak levhalarda elde edilmiştir. Hibrit esalı toz boya uygulanmış levhaların parlaklık kaybı değerleri arasında anlamlı bir farklılık belirlenmemiştir. Yaşlandırma işlemi esnasında termoset esaslı boya polimerlerin, camsı geçiş sıcaklığı (Tg) düşmesi, çapraz bağlanma derecesinde azalmalar, bağ yapısı ve kimyasal yapısında meydana gelen değişimler sonucunda, boyanın kuru film kalınlığının azalması ve çatlama gibi oluşumlar levhalar arasındaki parlaklık kaybı farklılıklarına neden olduğu düşünülmektedir. Literatürde, renkli

filmin ve bağlayıcı yapısının bozunmasından dolayı yüzeyde meydana gelen kabarma veya pürüzlü yüzeyler parlaklık kaybına neden olduğu bildirilmiştir [103].

Boya çeşidi ve levha türü ikili etkileşiminin yaşlandırma sonucunda parlaklık kaybı en az ve en önerilebilir sonuçlar; polyester esaslı toz boya uygulanmış yongalevha ve MDF gruplarında tespit edilmiştir

Bu çalışma kapsamında elde edilen bütün veriler topluca değerlendirildiğinde aşağıdaki sonuç ve öneriler ortaya konulmuştur.

- MDF levha yüzeylerine uygulanmış boyalarda, kalınlığına şişmede **polyester** esaslı toz boya, su alma miktarında **polyester** esaslı toz boya, yapışma direncinde **epoksi** esaslı toz boya, aşınma direncinde **hibrit** (epoksi + polyester) esaslı toz boya, çizilme direncinde **polyester** esaslı toz boya, yanma direncinde **epoksi** esaslı toz boya, formaldehit salınımında **su bazlı** sıvı boya ve yaşlandırma testi sonucunda **polyester** esaslı toz boyada daha başarılı sonuçlar elde edilmiştir.
- Yongalevha yüzeylerine uygulanmış boyalarda ise, kalınlığına şişmede **polyester** esaslı toz boya, su alma miktarında **polyester** esaslı toz boya, yapışma direncinde **hibrit** esaslı toz boya, aşınma direncinde **hibrit** esaslı toz boya, çizilme direncinde **hibrit** esaslı toz boya, yanma direncinde **su bazlı** sıvı boya, formaldehit salınımında **hibrit** esaslı toz boya ve yaşlandırma testi sonucunda **polyester** esaslı toz boyada daha olumlu sonuçlar tespit edilmiştir.
- Kontrplak levha yüzeylerine uygulanmış boyalarda, kalınlığına şişmede **su bazlı** sıvı boya, su alma miktarında **su bazlı** sıvı boya, yapışma direncinde **hibrit** esaslı toz boya, aşınma direncinde **hibrit** (epoksi + polyester) esaslı toz boya, çizilme direncinde **epoksi** esaslı toz boya, yanma direncinde **su bazlı** sıvı boya, formaldehit salınımında **epoksi** esaslı toz boya ve yaşlandırma testi sonucunda **polyester** esaslı toz boyada daha başarılı sonuçlar elde edilmiştir.
- Herhangi bir işlem yapılmamış MDF levhalarının yüzeyleri yongalevhaya göre daha düzgün, pürüzsüz ve homojen bir yapıdadır. Bu nedenle toz boya sisteminin MDF levha yüzeylerine uygulanması ile daha düzgün ve parlak yüzeyler elde edilmiştir.
- Yongalevha yüzeyleri daha gözenekli bir yapıya sahip olduğundan dolayı, toz boya uygulanmış yongalevha yüzeylerinde hafif portakallaşma oluşumları tespit edilmiştir.

Yongalevha yüzeylerine astar kat atılması veya yüzeye atılan boya kat sayısının artırılması ile bu olumsuz durumun giderileceği düşünülmektedir.

- Toz boyama uygulaması sonucunda kontrplak levha yüzeylerinde deliklenme gibi kusurlar meydana gelmiştir.
- Ahşap ve ahşap esaslı levhaların yüzeyleri düşük iletkenlik değerlerine sahiptir. Levhanın üretimi esnasında veya toz boya uygulaması öncesinde, yüzeylerine çeşitli katkı maddelerinin ilave edilmesi ile daha iletken yüzeyler elde edilebilir. Böylece elektrostatik toz boya uygulamasında daha kaliteli yüzeyler ortaya çıkarılabilir.
- Elektrostatik toz boya üreticileri plastik, ahşap ve ahşap esaslı levhalar gibi iletken olmayan malzemeler için boya formülasyonlarında çeşitli modifikasyon işlemleri yapabilir. Böylece toz boya uygulamasının bu tip ürünleri kullanan endüstrilerde kullanımının yaygınlaşmasına yardımcı olunabilir.
- Son zamanlarda toz boya üreticileri şeffaf toz verniklerinin üretimi konusunda yoğun bir AR-GE çalışması gerçekleştirmektedirler. Bu çalışmalardan etkili sonuçların elde edilmesi ile ağaç malzeme yüzeyleri de şeffaf toz vernikler ile kaplanabilir.

KAYNAKLAR

- [1]. AS-KİM., 2012, Genel boya bilgisi, http://www.askimboya.com/pdf/genel_boya_bilgisi_boyanin_tanimi.pdf, [Ziyaret tarihi: 07 Ekim 2017].
- [2]. Okutan, Ö. H., Özcan, A., 2014, Elektrostatik toz boya ile kaplama yöntem, Pulver Kimya San, Tic. Aş., Patent, 2014/03721.
- [3]. Tunçgenç, M., 2004. *Genel boya bilgileri*, Teknik Bülten. Akzo Nobel Kemipol A.Ş.
- [4]. Misev, T.A., Linde, R. V., 1998, Powder coatings technology: new developments at the turn of the century, *Progress in organic coatings*, 34 (1), 160-168.
- [5]. Jocham, C., Schmidt, T. W., Wuzella, G., Teischinger, A., Kandelbauer, A., 2011, Adhesion improvement of powder coating on medium density fibreboard (MDF) by thermal pre-treatment. *Journal of adhesion science and technology*, 25 (15), 1937-1946.
- [6]. Akbulut, T., 2005, *Liflevha endüstrisi ders notu*, İstanbul Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, İstanbul.
- [7]. Orta Anadolu İhracatçı Birlikleri, 2015, Levha sanayi sektör raporu, <http://www.turkishwood.org/>, [Ziyaret tarihi: 01 Temmuz 2016].
- [8]. Akbulut, T., 2014, *Yongalevha endüstrisi ders notu*, İstanbul Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, İstanbul.
- [9]. Bowyer, J. L., Haygreen, G. J., 1996, *Forest products and wood science an introduction*, Blackwell Publishing. Third edition. Australia.
- [10]. Evergreen, 2017, Particleboard Manufacturing Process, http://evergreengroup.com.my/en/MDF_Particleboard_Process, [Ziyaret tarihi: 09 Ekim 2017].
- [11]. Akbulut, T., 2001, *Liflevha endüstrisi ders notu*, İstanbul Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği, İstanbul.
- [12]. Alpine, 2011, *MDF production process*, <https://issuu.com/pryorweb/docs/mdf-production-process>, [Ziyaret tarihi: 09 Ekim 2017].
- [13]. TS 2128 EN 313-2, 2005, Kontrplâk - sınıflandırma ve terimler – bölüm 2: terimler, ICS 01.040.79; 79.060.10. TSE, Ankara.
- [14]. Tan, H., 2011, *Farklı bölgelerde yetişen ladin ve göknar tomruklardan üretilmiş lvl ve kontrplakların bazı teknolojik özellikleri*, Doktora, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

- [15]. AS Latvijais Finieris, 2010, *Plywood handbook*. http://www.rigawood.se/pdf/Plywood_handbook_2010.pdf, [Ziyaret tarihi: 10 Temmuz 2017].
- [16]. TS 3103 EN 313-1, 1998, Kontrplak – sınıflandırma ve terimler-bölüm 1, TSE, ICS 79.060.10, Ankara.
- [17]. Akbulut, T., 2007, *Sentetik kaplamalar ders notu*, İstanbul Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği, İstanbul.
- [18]. Kolmann, F., 1966, *Holzspanwerkstoffe*, Springer-Verlag, Berlin.
- [19]. Kalaycıoğlu, H., Nemli, G., 1995, Yongalevhada laminasyon, *Mobilya dekorasyon dergisi*, Sayı 11, 30-45.
- [20]. Anonim, 1989, *Handbook of wood and wood-based panels*, Forest Products Lab. Madison, ABD.
- [21]. Özdemir, T., 1996, *Mutfak mobilyası üretiminde kullanılan yüzey kaplama malzemelerinin yongalevha kalitesi üzerine etkileri*, Yüksek lisans, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- [22]. Anonim, 1993, A users Manuel, Euro MDF Board, Germany,
- [23]. Anonim, 2001, Glossary of terms, laminating materials association, Inc., ABD.
- [24]. Anonim, 2006, Decorative surfaces buyers and specifiers guide, www.pbmdf.com [Ziyaret tarihi: 10 Şubat 2016].
- [25]. Anonim, 2001, Glossary of terms, laminating materials association, Inc., ABD.
- [26]. Anonim, 2005, Product data sheet for decorative high pressure laminates (hpl), international committee of the decorative laminate industry, www.icdli.com, [Ziyaret tarihi: 10 Şubat 2016].
- [27]. Nemli, G., 2000, Yüzey kaplama malzemeleri ve uygulama parametrelerinin yongalevha teknik özellikleri üzerine etkileri, Doktora tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- [28]. Finnish Forest Industries Federation, 2010, Handbook of finnish plywood, http://www.wisaplywood.com/cn/plywood/Documents/Handbook_EN.pdf, [Ziyaret tarihi: 11 Temmuz 2017].
- [29]. Dilik, T., 1993, Lamine levhalar (Laminatlar), Orman Ürünleri Ahşap Araştırma Teknoloji Tasarım ve Dekorasyon Dergisi, 7(2), 45-47.
- [30]. Güngör, G., 2007, Boya bilgisi, Kimya mühendisleri odası yayınları.
- [31]. Boymak Bülten, 2017, Elektrostatik Toz Boya Rehberi, http://www.boymak.com.tr/tr/_know_how/img/elektrostatik_toz_boya_rehberi.pdf, [Ziyaret tarihi: 11 Temmuz 2017].

- [32]. Pulver, 2008, Toz boya eğitim kitapçığı, Pulver Kimya San. ve Tic. A.Ş., Gebze Organize Sanayi Bölgesi (GOSB), Gebze 41400 Kocaeli / Türkiye.
- [33]. Boymak Bülten, 2017, Toz boya uygulaması eğitim programı, http://www.boymak.com.tr/tr/_know_how/img/01_toz_boyaya_giris.pdf, [Ziyaret tarihi: 11 Temmuz 2017].
- [34]. Akzo Nobel, 1999, Complete guide to powder coatings, Interpon powder coatings.
- [35]. Kemal Sarı, M., 2015, Elektrostatik toz boya tesislerinde tehlikeli bölgeler ve örnek bir patlamadan koruma dokümanı, http://www.emo.org.tr/ekler/698afbf33204416_ek.pdf, [Ziyaret tarihi: 12 Temmuz 2017].
- [36]. Müller, B. and Poth, U., 2011, Coatings formulation, 2nd ed., Vincentz Network, Hanover, Germany, ISBN: 978-3-86630-891-6.
- [37]. Megep Yayınları, 2012, Elektrostatik Toz Boyama, Kimya Teknolojisi, http://www.megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Elektrostatik%20Toz%20Boyama.pdf, [Ziyaret tarihi: 12 Temmuz 2017].
- [38]. Technical Brief PCI, Powder coating technology of the future here today, <http://infohouse.p2ric.org/ref/39/38189.pdf>, [Ziyaret tarihi: 12 Ekim 2017].
- [39]. Sistem Teknik A.Ş., 2015, Elektron HI-tech KM 400 dijital kontrollü elektrostatik toz boya cihazı.
- [40]. Misev, TA., and Van der Linde, R., 1998, Powder coatings technology: new developments at the turn of the century, Progress in organic coatings 34 (1), 160-168.
- [41]. BOSAD Bülten 2., Küresel Toz Boya Pazarı, www.bosad.org/images/pdf/KureselTozBoyaPazari.pdf, [Ziyaret tarihi: 25 Şubat 2015].
- [42]. Greenberg, T., 2015, Powder coat MDF for an enviable finished product, Products Finishing, Gardner Publications, <http://www.pcimag.com/articles/95320-modern-powders-for-mdf>, [Ziyaret tarihi: 23 Kasım 2016].
- [43]. Wuzella, G., Kandelbauer, A., Mahendran, A. R., Müller, U., Teischinger, A., 2014, Influence of thermo-analytical and rheological properties of an epoxy powder coating resin on the quality of coatings on medium density fibreboards (MDF) using in-mould technology, Progress in organic coatings, 77 (10), 1539-1546.
- [44]. Marelli, E.P., Dinning, S., Hobbs, H., Bolm, C., Santamarta, V., Rekowski, R., 2007, Modern Powders for MDF, <http://www.pcimag.com/articles/95320-modern-powders-for-mdf>, PCI Magazine, [Ziyaret tarihi: 25 Şubat 2015].
- [45]. Barletta, M., 2006, Electrostatic fluidized bed (efb) coating of heat sensitive and electrical insulating substrates with low-curing thermoset epoxy-polyester (ep) powders, Progress in organic coatings, 56, 185-198.

- [46]. Jocham, C., Schmidt, T. W., Wuzella, G., Teischinger, A., & Kandelbauer, A. 2011, "Adhesion improvement of powder coating on medium density fibreboard (MDF) by thermal pre-treatment", Journal of Adhesion Science and Technology, 25(15), 1937-1946.
- [47]. Knoblauch, M., 2013, High-gloss, uv-cured powder coating on mdf – a one-of-a-kind finish, Radtech Report (4).
- [48]. Schmidt, T.,W. and Jocham. C., 2009, Application of mdf powder coatings and decor design by inkjet print, Proceedings of decor surfaces conference, 1-3 April Barcelona, Spain, 77-82.
- [49]. Jocham, C., 2009, Analyse der Vorwärmung und untersuchungen zur rissbeständigkeit bei thermischer beanspruchung bei der pulverbeschichtung von mitteldichten faserplatten (MDF), Master thesis, University of Applied Sciences, Salzburg.
- [50]. Barbu, M.C., Schmidt, T., 2009, Pulverbeschichtung von MDF-entwicklung einer neuen umweltfreundlichen technologie, Holztechnologie, 50 (1), 32-36.
- [51]. Schmidt, T., Jocham, C., Mayer, C., Blatter, A., Schwarz, T., Hauber, P., & Kandelbauer, A. 2013, Review-influence of panel moisture content on powder coating of medium density fibreboard (MDF), In Proceedings of the 9th International Conference "Wood Science and Engineering in the Third Millenium (ICWSE 2013), Braşov 15-21.
- [52]. Karateke, A., 2016, Ahşap ürünler üzerine statik boya (toz boya) transfer edilebilmesi için geliştirilmiş yöntem, Patent, 2016/00308.
- [53]. Okutan, Ö. H., Piyade, R., Güvem, İ., Özcan, A., 2015, Isıya duyarlı levhaların toz boya kaplanması işleminde kullanılan ısıtma sisteminde yenilik, Pulver Kimya San, Tic. Aş., Patent, 2015/09467.
- [54]. Okutan, Ö.H. ve Özcan. A., 2014, Elektrostatik toz boya ile kaplama yöntem, Pulver Kimya San. Tic. Aş., Patent, 2014/03721.
- [55]. Altuntaş, M., 2012, Yalıtkan ürünlerin elektrostatik toz boya ile boyanmasına olanak veren astar boya karışımı, Patent, 2012/07395.
- [56]. Akzo Nobel Bülten, 2012, Woodcote: Solution for MDF. <http://www.interpon.gr/files/2012/10/MDF-Coating-Guide.pdf>, [Ziyaret tarihi: 17 Ekim 2017].
- [57]. TS EN 622 – 5, 2008, Lif Levhalar - Özellikler - Bölüm 5: Kuru İşlemler Levhalar (Mdf) İçin Gereklere, ICS 79.060.20.
- [58]. TS EN 312, 2005, Yonga levhalar – özellikler, ICS 79.060.20.
- [59]. ISO 13927, 2001, Plastics — simple heat release test using a conical radiant heater and a thermopile detector. The International Organization for Standardization, Geneva. Switzerland.

- [60]. TS EN 317, 1999, Yonga levhalar ve lif levhalar – Su içerisine daldırma işleminden sonra kalınlığına şişme tayini, TSE. Ankara.
- [61]. ASTM D 1037, 2012, Standard methods of evaluating the properties of wood – based fiber and particle panel materials. Philadelphia, PA. USA.
- [62]. TS EN 717 – 2, 1999, Ahşap esaslı levhalar - formaldehit ayrışması tayini - Bölüm 2: Gaz analiz metodu ile formaldehit ayrışması, ICS 79.060.01. TSE. Ankara.
- [63]. TS EN 15186, 2012, Mobilya – çizilmeye karşı yüzey mukavemetinin değerlendirilmesi, ICS 97.140, TSE, Ankara.
- [64]. TS EN 15185, 2013, Mobilya – Aşınmaya karşı yüzey mukavemetinin belirlenmesi, ICS 97.140, TSE, Ankara.
- [65]. ASTM D 4541, Standard test method for pull-off strength of coatings using portable adhesion testers, Philadelphia. PA, USA.
- [66]. ASTM D6132, 2013, Standard test method for nondestructive measurement of dry film thickness of applied organic coatings using an ultrasonic coating thickness gage1, Philadelphia PA, USA.
- [67]. ISO 2808, 2013, Paints and varnishes — determination of film thickness. Fourth Edition.
- [68]. ASTM G 154, 2006, Standard practice for operating fluorescent light apparatus for uv exposure of nonmetallic materials. Annual book of astm standards, West Conshohocken, PA. USA.
- [69]. ASTM G151, 2006, Standard practice for exposing nonmetallic materials in accelerated test devices that use laboratory light sources, Annual book of ASTM standards, West Conshohocken PA, USA.
- [70]. ASTM D, 2244, 2016, Standard practice for calculation of color tolerances and color differences from instrumentally measured color coordinates. West Conshohocken, PA 19428-2959, United States.
- [71]. Akkuş. M.. 2012, Renk açma işleminin termal modifikasyon yapılmış bazı ağaç malzemelere etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Düzce Üniversitesi.
- [72]. TS EN ISO 2813, 2014, Boyalar ve vernikler - Metalik olmayan boya filmlerinin 20, 60 ve 85 açılarda parlaklık tayini, TSE, Ankara.
- [73]. Sönmez, A., Atar, M., Budakçı, M., 2012, Karağaç (*Ulmus campestris* Spach.) Odununda Renk Açma İşleminin Vernik Katmanının Yapışma Direncine Etkisi, Karabük Üniversitesi Teknoloji Dergisi, 1 (2), 35-42.
- [74]. Bozkurt, Y., Göker, Y., 1990, Yongalevha Endüstrisi, İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları.

- [75]. Nemli, G., 2000, *Yüzey kaplama malzemeleri ve uygulama parametrelerinin yongalevha teknik özellikleri üzerine etkileri*, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [76]. Nemli, G., Çolakoğlu, G., 2004, The influence of lamination technique on the properties of particleboard, *Building and environment*, 40 (1), 83–87.
- [77]. Aksu, S., 2009, *Dekor kâğıdı ve reçine tipinin yongalevhaların fiziksel – mekanik ve yüzey kalitesine etkisi*, *Yüksek Lisans*, Bartın Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [78]. Muğla, K., 2010, Farklı yüzey kaplama malzemelerinin mdfl levhaların yüzey özellikleri üzerine etkileri, *Yüksek Lisans*, Bartın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [79]. Sönmez, A., Budakçı, M., 2004, Ağaçışlerinde üstyüzey işlemleri II, Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, , ISBN: 975 – 97281 – 0 – 9 (TK).
- [80]. Dilik, T., Erdinler, S., Hazır E., Koç H., Hiziroglu, S., 2015, Adhesion strength of wood based composites coated with cellulosic and polyurethane paints, Hindawi Publishing Corporation Advances in Materials Science and Engineering, <http://dx.doi.org/10.1155/2015/745675>.
- [81]. Sönmez, A., 2000, Ağaçışlerinde Üstyüzey İşlemleri I, Gazi Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Ankara.
- [82]. Candan, Z., 2012, Ahşap sandviç panel ve laminat parke üretiminde nanopartikül kullanımı ve teknolojik özellikler üzerine etkisi, *Doktora*, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [83]. Ayrılmış, N., 2006, Çeşitli kimyasalların bazı ahşap levha ürünlerinde yanma ve teknolojik özellikler üzerine etkisi, *Doktora*, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [84]. Byoung-Ho, L., Hee-Soo K., Sumin, K., Hyun-Joong K., Bongwoo L., Yuhe D., Qian F., Jiayan L., 2011, Evaluating the flammability of wood-based panels and gypsum particleboard using a cone calorimeter, *Construction and building materials*, 25 (7), 3044-3050.
- [85]. Lazaros, T., Birgit, Ö., 1999, Cone Calorimeter Data And Comparisons For The Sb1 Rr Products, Trätekt, Rapport I 9812090, ISSN: 1102 – 1071.
- [86]. Kikuchi, S., and Hasemi Y., 2004, Influence of surface finish on heat release and the flame spreading properties of wood, *Journal of the Japan Wood Research Society*.
- [87]. Harada, T., Saburou U., Hideaki M., 2006, Fire resistance of thick wood-based boards, *Journal of wood science*, 52 (6), 544-551.
- [88]. Özalp, M., 1996, Kontrplaklarda dolgu maddesi oranının eğilme mukavemeti ve formaldehit ayrışmasına etkisi, *Yüksek Lisans*, Tezi, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

- [89]. Gündüz, M., Ayan, S., 2014, Melamin kaplı yonga ve lif levhalarda formaldehit emisyonu belirleme yöntemleri, *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 2 (2) 433-443.
- [90]. Salem, M. Z., Böhm, M., Barčík, Š., Beránková, J., 2011, Formaldehyde emission from wood-based panels bonded with different formaldehyde-based resins, *Wood Industry/Drvna Industrija*, 62 (3), 177-183.
- [91]. Gündül H., Demir A., Aydın İ., 2016, Kaplama rutubetinin formaldehit emisyonu ve kontrplak teknolojik özelliklerine etkisi, *İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi*, 5 (2), 144-150.
- [92]. Avcı, E., 2012, *Ahşap plastik kompozitlerin kullanım performansları üzerine araştırmalar*, Doktora, İstanbul Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü.
- [93]. Barletta, M., Lusvardi, L., Mantini, F. P., & Rubino, G. (2007). Epoxy-based thermosetting powder coatings: surface appearance, scratch adhesion and wear resistance. *Surface and Coatings Technology*, 201(16-17), 7479-7504.
- [94]. Okada, K., Yamaguchi, K., & Takeda, H. (1998). Acrylic/polyester hybrid powder coating system having excellent weather durability. *Progress in organic coatings*, 34(1-4), 169-17.
- [95]. Jochen K., 2008, Powder Coatings instead of Liquid Paints, *International Surface Technology* 20-24.
- [96]. Ajer, M. R. (2012) Studies of epoxy powder coated galvanized steel substrate via electrostatic powder coating system *Doctoral dissertation*, Universiti Tun Hussein Onn Malaysia
- [97]. Fawer, B., Polymer, R., thin-film powder coatings: design and applications issues, thin film powder coatings series, powder coating consultants.
- [98]. Wuzella, G., Kandelbauer, A., Mahendran, A. R., Teischinger, A. (2011). Thermochemical and isoconversional kinetic analysis of a polyester–epoxy hybrid powder coating resin for wood based panel finishing. *Progress in Organic Coatings*, 70(4), 186-191.
- [99]. Schmidt, T., Jocham, C., Mayer, C., Blatter, A., Schwarz, T., Hauber, P., Ve Kandelbauer, A., 2013, Influence of panel moisture content on powder coating of medium density fibreboard (MDF), *Pro Ligno*, 9(4), 15-21.
- [100]. Freitag, W., Stoye, D., 2008, *Paints, coatings and solvents*, John Wiley & Sons, ISBN: 978-3-527-61185-0.
- [101]. Belder, E. G., Rutten, H. J. J., Perera, D. Y., 2001, Cure characterization of powder coatings, *Progress in organic coatings*, 42(3-4), 142-149.
- [102]. Lambourne, R., Strivens, T. A., 1999, *Paint and surface coatings: theory and practice*, Elsevier, ISBN: 978-1-85573-348-0.

- [102]. Li, Y., Liu, L., Gu, Y., Xie, J., Zhang, J., Qu, J., 2016, Improve surface levelling of powder coating with semi-crystalline polyester resin, *Progress in organic coatings*, 99, 191-196.
- [103]. Gheno, G., Ganzerla, R., Bortoluzzi, M. Paganica, R., 2016, Accelerated weathering degradation behaviour of polyester thermosetting powder coatings, *Progress in organic coatings*, 101, 90-99.
- [104]. Badila, M., Jocham, C., Zhang, W., Schmidt, T., Wuzella, G., Müller, U., Kandelbauer, A., 2014, Powder coating of veneered particle board surfaces by hot pressing, *Progress in organic coatings*, 77(10), 1547-1553.
- [105]. Mazumder, M. K., Wankum, D. L., Sims, R. A., Mountain, J. R., Chen, H., Pettit, P., Chaser, T., 1997, Influence of powder properties on the performance of electrostatic coating process, *Journal of electrostatics*, 40, 369-374.
- [106]. Levita, G., De Petris, S., Marchetti, A., Lazzeri, A., 1991, Crosslink density and fracture toughness of epoxy resins, *Journal of materials science*, 26(9), 2348-2352.
- [107]. Thoemen, H., Irle, M., Sernek, M., 2010, *Wood-Based Panels. An Introduction for Specialist*, Brunel University Press, ISBN: 978-1-902316-82-6.
- [108]. Viswanathan, R., Gothandapani, L., Kailappan, R., 2000, Water absorption and swelling characteristics of coir pith particle board *Bioresource technology*, 71(1), 93-94.
- [109]. Mo, X., Cheng, E., Wang, D., Sun, X. S., 2003, Physical properties of medium-density wheat straw particleboard using different adhesives, *Industrial crops and Products*, 18(1), 47-53.
- [110]. Büyüksarı, Ü., Hiziroglu, S., Akkılıç, H., Ayrılmış, N., 2012, Mechanical and physical properties of medium density fiberboard panels laminated with thermally compressed veneer, *Composites part b: engineering*, 43(2), 110-114.
- [111]. Keskin, H., Tekin, A., 2011, Abrasion resistances of cellulosic, synthetic, polyurethane, waterborne and acidhardening varnishes used woods, *Construction and building materials*, 25(2), 638-643.
- [112]. Nemli, G., Kalaycıoğlu, H., 2006, The resistances of several types of overlaying materials against cigarette burn, scratch, and abrasion, *Building and environment*, 41(5), 640-645.
- [113]. Veigel, S., Grüll, G., Pinkl, S., Obersriebnig, M., Müller, U., Gindl-Altmutter, W, 2014, Improving the mechanical resistance of waterborne wood coatings by adding cellulose nanofibres. *Reactive and functional polymers*, 85, 214-220.
- [114]. Budakçı, M., 2015, Yağ bazlı tahta koruyucunun polyester verniğin yapışma direncine etkisi, *Selçuk-Teknik Dergisi*, 14(2), 886-895.

- [115]. Sönmez, A., Budakçı, M., Yakın, M., 2004, Ağaç malzemede su çözücülü vernik uygulamalarının sertlik, parlaklık ve yüzeye yapışma direncine etkileri, *Politeknik dergisi*, 7(3), 229-235.
- [116]. Budakci, M., Sonmez, A., 2010, Determining adhesion strength of some wood varnishes on different wood surfaces, *Journal of the faculty of engineering and architecture of gazi university*, 25(1), 111-118.
- [117]. He, Z., Zhang, Y., Wei, W., 2012, Formaldehyde and VOC emissions at different manufacturing stages of wood-based panels, *Building and environment*, 47, 197-204.
- [118]. G. Çolakoğlu, 1993, *Kontrplak üretim şartlarının formaldehit emisyonu ve teknik özelliklere etkisi*, doktora tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü
- [119]. Akbulut, T., Hiziroglu, S., Ayrılmış, N., 2000, Surface absorption, surface roughness, and formaldehyde emission of Turkish medium density fiberboard, *Forest products journal*, 50(6), 45-48.
- [120]. Boehme, C., 2000, Über die Formaldehydabgabe von Holz und ihre Veränderung während technischer Prozesse der Holzwerkstoffherstellung, Shaker.
- [121]. Custódio, J. E. P., Eusébio, M. I., 2006, Waterborne acrylic varnishes durability on wood surfaces for exterior exposure, *Progress in Organic Coatings*, 56(1), 59-67.
- [122]. TS EN 14322, 2006, Ahşap Esaslı Levhalar – İç Mekân Kullanımları İçin Melamin Yüzlü Levhalar – Tarifler, Gereklere Ve Sınıflandırma, ICS 79.060.20.
- [123]. Kurtoğlu, A., 2000, *Ağaç malzeme yüzey işlemleri 1. cilt genel bilgiler*, İstanbul Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, ISBN: 975-404-590-9.
- [124]. Kurtoğlu, A., Dilik, T., 2014, Yüzey işlemleri uygulama teknikleri, *Ders notu*, İstanbul Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı	Memiş AKKUŞ
Doğum Yeri	KONYA / BEYŞEHİR
Doğum Tarihi	01.04.1984
Uyruğu	☒ T.C. ☐ Diğer:
Telefon	
E-Posta Adresi	memis.akkus@istanbul.edu.tr
Web Adresi	



Eğitim Bilgileri	
Lisans	
Üniversite	Muğla Üniversitesi
Fakülte	Teknik Eğitim Fakültesi
Bölümü	Mobilya ve Dekorasyon Öğretmenliği
Mezuniyet Yılı	06.06.2008

Yüksek Lisans	
Üniversite	Düzce Üniversitesi
Enstitü Adı	Fen Bilimleri Enstitüsü
Anabilim Dalı	Mobilya ve Dekorasyon Eğitimi
Programı	Mobilya ve Dekorasyon Eğitimi
Mezuniyet Tarihi	19.03.2012

Doktora	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi
Enstitü Adı	Fen Bilimleri Enstitüsü
Anabilim Dalı	Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı
Programı	Odun Mekaniği ve Teknolojisi Programı
Mezuniyet Tarihi	27.04.2018

Makale ve Bildiriler	
Akbulut, T., Akkuş M., 2017, Application of electrostatic powder coatings to surfaces of wood based panels, <i>International furniture and decoration congress</i> , 19-21 October, Düzce.	
Akbulut, T., Akkuş, M., Ayrılmış, N., 2016, Mechanical properties of wood polypropylene composites produced by using resin impregnated paper waste, <i>International journal for science, technics and innovations for the industry</i> , (2), 38-40.	

- Akkuş, M., Budakçı, M., 2015, Effects of color change of heat - treated some wood materials, *The XXVII. international conference research for furniture industry*, Ankara, 17 Eylül - 18 Kasım, 206-215.
- Akkuş, M., Kaymakçı, A., Akbulut T., Ayrılmış N., 2015, Reçine emdirilmiş kâğıt atıkları kullanılarak üretilen ahşap polipropilen kompozitlerin karakterizasyonu, *3.Ulusal mobilya kongresi*, 10-12 Nisan, Konya, 833-842.
- Akkuş, M., Ulay, G., Ayrılmış, N., 2016, Characterization of wood polypropylene composites by reinforced pumice's powder, *Uluslararası Malzeme Bilimi ve Teknolojisi Konferansı*, 6-8 Nisan, Nevşehir, 476-481.
- Ayrılmış, N., Akkuş, M., 2016, Some physical and mechanical properties of osb panels faced with thin mdf, *II. International furniture congress*, 13-15 Ekim, 595-598.
- Ayrılmış, N., Akkuş, M., Akbulut, T., 2016, Surface quality of wood plastic composites coated with solvent and water based paints, *International journal for science, technics and innovations for the industry*, (2), 33-35.
- Budakçı, M., Akkuş, M., 2011, Bazı ahşap esaslı levhalarda kaplama yapışma direncinin yapay sinir ağları ile modellenmesi, *Gazi üniversitesi politeknik dergisi*, (14), 63-71.
- Budakçı, M., Akkuş, M., 2011, Su bazlı boya ve verniklerin Türkiye'deki üretimi ve kullanımı, *International advanced technologies symposium*, 16-18 Mayıs, Elazığ, 176-182.
- Budakçı, M., Akkuş, M., Bazı ahşap esaslı levhalarda kaplama yapışma direncinin belirlenmesi, *International advanced technologies symposium*, 16-18 Mayıs, Elazığ, 169-175.
- Dündar, T., Ayrılmış, N., Akkuş, M., Ulay, G., 2016, Effect of the marble powder and wood powder content on the technological properties of thermoplastic, *International journal for science, technics and innovations for the industry*, (2), 13-16.
- İlçe, A.C., Budakçı, M., Özdemir, S., Akkuş, M., 2015, Analysis of usability in furniture production of wood plastic laminated board, *Bioresources*, 10 (3), 4300-4314.
- Kaymakçı, A., Akkuş M., Ayrılmış N., Akbulut T., 2015, Zeolit kullanılarak üretilen ahşap polipropilen kompozitlerin karakterizasyonu, *3. Mobilya Kongresi*, 10-12 Nisan, Konya, 674-680.
- Sönmez, A., Budakçı, M., Demirci, Z., Akkuş, M., 2011, Effects of thermal aging on the film hardness of some wood varnishes, *Bioresources*, 6 (4), 4594-4605.