



T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ-CERRAHPAŞA
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



DOKTORA TEZİ

**Ahşap Yüzey Performans Parametrelerinin Optimizasyonuna Yönelik
Deney Tasarımı ve Yapay Zekâ Modeli Entegrasyonu**

Ender HAZIR

DANIŞMAN
Prof. Dr. K. Hüseyin KOÇ

II. DANIŞMAN
Prof. Dr. Şakir ESNAF

Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Orman Endüstri Mühendisliği Programı

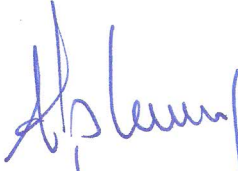
İSTANBUL-2018

Bu çalışma 27.12.2018 Tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Orman Endüstri Mühendisliğı Anabilim Dalı, Orman Endüstri Mühendisliğı Programı Doktora Tezi olarak kabul edilmiştir.

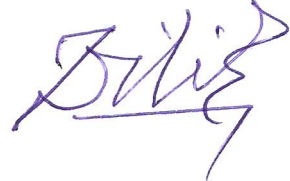
TEZ JÜRİSİ



Prof. Dr. K. Hüseyin KOÇ
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Orman Fakültesi



Prof. Dr. Ş. Alp BARAY
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Mühendislik Fakültesi



Prof. Dr. Tuncer DİLİK
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Orman Fakültesi



Prof. Dr. Ahmet Kurtoğılu
Doğıuş Üniversitesi
Mimarlık Fakültesi



Prof. Dr. A. Sevinç GÜLSEÇEN
İstanbul Üniversitesi
Enformatik Bölüm



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

Bu tez, 1649B031500905 numaralı TÜBİTAK 2211-D Sanayiye Yönelik Doktora Tezi projesi ile desteklenmiştir.

ÖNSÖZ

“Ahşap Yüzey Performans Parametrelerinin Optimizasyonuna Yönelik Deney Tasarımı ve Yapay Zekâ Modeli Entegrasyonu” isimli bu çalışma İstanbul Üniversitesi - Cerrahpaşa, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Orman Endüstri Mühendisliği Programı’nda Doktora Tezi olarak hazırlanmıştır. Doktora tezi ECZACIBAŞI YAPI GEREÇLERİ SAN. VE TİC. A.Ş. ve TÜBİTAK tarafından Sanayiye Yönelik Doktora tezi kapsamında desteklenmiştir.

Doktora öğrenimim ve tez çalışmalarım boyunca, maddi ve manevi her konuda desteğini esirgemeyen, bilgi ve tecrübesini bana aktaran, önerileriyle çalışmalarımı yönlendiren danışmanlarım, değerli hocalarım Sayın Prof. Dr. K. Hüseyin KOÇ ve Prof. Dr. Şakir ESNAF’a çalışmalarım sırasında değerli bilgi ve tecrübelerini bana aktaran, önerileriyle çalışmalarımı yönlendiren değerli hocalarım Sayın, Prof. Dr. Ş. Alp BARAY, Sayın Prof. Dr. Ahmet KURTOĞLU, Sayın Prof. Tuncer DİLİK, Sayın Dr. Öğr. Üye. Seda ERDİNLER, Sayın Dr. Öğr. Üye. Emel ÖZTÜRK ve Sayın Dr. Öğr. Üye. Tuncay ÖZCAN’a tüm ilgi ve alakalarından dolayı teşekkür ederim. Mesai arkadaşım Sayın Sedanur ŞEKER’e desteğinden dolayı teşekkür ederim.

TÜBİTAK bilim insanı destekleme kapsamında 2211-D Sanayiye Yönelik Doktora Tezi kapsamında TÜBİTAK’ın tez boyunca sağladığı maddi ve manevi desteğinden dolayı teşekkür ederim.

Çalışmaların gerçekleştirilmesinde, Türkiye’nin önde gelen sayılı mobilya üreticisi ECZACIBAŞI YAPI GEREÇLERİ SAN. VE TİC. A.Ş.’nin Fabrika Direktörü Sayın Tayfun GÖKŞEN, Satın Alma Yöneticisi Sayın Serhat BAKKALCI, Üretim Sorumlu Uzmanı Sayın Muzaffer SÖZÜBİR ve Kalite Güvence Teknisyeni Sayın Bekir GÜNÇALDI ve tüm Eczacıbaşı çalışanlarına teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca Sayın Umut Genç’e sağladığı destekten dolayı teşekkür ederim.

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

Aralık 2018

Ender HAZIR

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ.....	iv
İÇİNDEKİLER	v
ŞEKİL LİSTESİ.....	ix
ÖZET.....	xvi
SUMMARY	xviii
1. GİRİŞ.....	20
2. GENEL KISIMLAR	24
2.1. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	24
2.2. YÜZEY İŞLEM PERFORMANSINI ETKİLEYEN FAKTÖRLER.....	35
2.1.1. Ağaç Malzemenin Kalitesi.....	36
2.1.2. Ağaç Malzemenin Anatomik Yapısı.....	36
2.1.3. Özgül Ağırlık	37
2.1.4. Permaabilite	37
2.1.5. Ağaç Malzemenin Rutubeti	37
2.1.6. Yüzey Özellikleri	38
2.1.7. Zımparalama İşlemi	38
2.1.8. Ağaç Malzemedeki Ekstraktif Madde Miktarı.....	41
2.1.9. Renk	41
2.2. YÜZEY İŞLEMİ UYGULAMA SİSTEMLERİ.....	41
2.2.1. Yüzey Temaslı Metotlar.....	42
2.2.1.1. Fırçalama Metodu.....	42
2.2.1.2. Emdirme Yöntemi	42
2.2.1.3. Daldırma Metodu	42
2.2.1.4. Basınçlı Kap Uygulamaları.....	42
2.2.1.5. Silindir ile Boya Uygulaması	43
2.2.1.6. Renklendirici Silindir Uygulamaları.....	44
2.2.1.7. İki Başlıklı Silindir Sistemler.....	45
2.2.1.8. Dolgu Silindir Sistemleri.....	45

2.2.1.9. Ters Yönlü Silindir Sistemler.....	46
2.2.2. Atomize Sistemler.....	47
2.2.2.1. Konvansiyonel (Havalı) Püskürtme Uygulamaları.....	47
2.2.2.2. Yüksek Hacimli Düşük Basınçlı (HVLP) Püskürtme Uygulamaları	48
2.2.2.3. Düşük Hacimli Düşük Basınçlı (LVLP) Püskürtme Uygulamaları.....	49
2.2.2.4. Havasız Püskürtme Uygulamaları	49
2.3. YÜZEY İŞLEM PERFORMANSINI BELİRLEME YÖNTEMLERİ	50
2.3.1. Yaş Boya Testleri.....	50
2.3.1.1. Gözle İnceleme	50
2.3.1.2. Viskozite	51
2.3.1.3. Yoğunluk.....	51
2.3.1.4. Katı Madde Miktarı.....	51
2.3.2. Kuru Film Testleri.....	52
2.3.2.1. Film Kalınlığı	52
2.3.2.2. Yapışma Performansı	53
2.3.2.3. Yüzey Sertlik Testi	54
2.3.2.4. İstiflenme Testi	55
2.3.3. Boya ve Verniklere Uygulanan Mekaniksel Testler	56
2.3.3.1. Çizilme Testi.....	56
2.3.3.2. Aşındırma Testi	56
2.3.3.3. Düşürme Testi	56
2.4. DENEY TASARIMI.....	57
2.5. YANIT YÜZEYİ YÖNTEMİ.....	59
2.5.1. Yanıt Yüzeyinin Eniyilenmesinde Kullanılan Yöntemler	62
2.5.1.1. İzohips Eğrileri Yöntemi.....	62
2.5.1.2. Çekicilik fonksiyonu	62
2.5.1.3. Hedef programlama	62
2.5.1.4. Robust Tasarım	63
2.5.1.5. Yapay Zekâ Algoritmaları	63
2.6. GENİŞLETİLMİŞ BULANIK ANALİTİK HİYERARŞİ SÜRECİ YÖNTEMİ .	65
3. MALZEME VE YÖNTEM	69
3.1. PROSESİN ÖZELLİKLERİ.....	69
3.1.1. Kalibre Zımpara Uygulaması.....	69
3.1.2. UV Boya Hattı Prosesi.....	71

3.1.3. Püskürtme Boya Uygulaması.....	73
3.1.4. Macun ve Verniğin Özellikleri	74
3.1.5. Uygulanan Boyanın Özellikleri	75
3.1.6. Malzemenin özellikleri	75
3.1.7. Uygulanan Yüzey İşlem Performans Testleri	76
3.1.7.1. Yapışma Testi	76
3.1.7.2. Sertlik Testi.....	77
3.1.7.3. Film Kalınlığının Belirlenmesi.....	78
3.1.8. Prosesin Kalite Karakteristikleri ve Faktörleri.....	80
3.1.9. Merkezi Kompozit Tasarım (CCD)	82
3.1.9.1. Deney Sayısının Belirlenmesi.....	87
3.1.9.2. Faktör Seviyelerinin Belirlenmesi.....	87
3.1.10. Model Seçimi ve Analizi.....	88
3.1.10.1. Press İstatistiği.....	90
3.1.10.2. Aykırı Değer Analizi.....	90
3.1.10.3. Modelin Uyum Eksikliği Testi	92
3.1.10.4. Belirleme Katsayısı(R^2).....	93
3.1.10.5. Düzeltilmiş Belirleme Katsayısı ($Adj-R^2$).....	93
3.2. FAKTÖRLERİN DÜZEYLERİNİN ENİYİLENMESİ.....	93
3.2.1. İstenebilirlik Fonksiyonu	94
3.2.2. Genetik Algoritma.....	96
4. BULGULAR	102
4.1. PROSESİN BİRİNCİ BÖLÜMÜNÜN DEĞERLENDİRİLMESİ	103
4.1.1. Yüzeyle Uygulanan Macun ve Vernik Miktarının Değerlendirilmesi.....	103
4.1.2. Yapışma Performansının Değerlendirilmesi.....	109
4.1.3. Yüzey Sertlik Performansının Değerlendirilmesi	112
4.2. PROSESİN İKİNCİ BÖLÜMÜNÜN DEĞERLENDİRİLMESİ.....	115
4.2.1. Yüzeyle Uygulanan Boya Miktarının Değerlendirilmesi	115
4.2.2. Yüzey Sertlik Performansının Değerlendirilmesi	118
4.2.3. Kuru Film Kalınlıklarının Değerlendirilmesi	121
4.3. DENEY TASARIMIN UYGULANMASI.....	124
4.3.1. Prosesin Birinci Bölümünün Deney Tasarımı Sonuçlarının Değerlendirilmesi	127
4.3.1.1. Yapışma Direncinin Varyans Analizi Sonuçlarının Değerlendirilmesi ve Matematiksel Modellerin Geliştirilmesi.....	128

4.3.1.2. Yüzey Sertlik direncinin Varyans Analizi Sonuçlarının Değerlendirilmesi ve Matematiksel Modellerin Geliştirilmesi	136
4.3.2. Prosesin İkinci Bölümünün Deney Tasarımı Sonuçlarının Değerlendirilmesi	143
4.3.2.1. Sertlik Direncinin Varyans Analizi Sonuçlarının Değerlendirilmesi ve Matematiksel Modellerin Geliştirilmesi.....	144
4.3.2.2. Film Kalınlığının Varyans Analizi Sonuçlarının Değerlendirilmesi ve Matematiksel Modellerin Geliştirilmesi	150
4.4. PROSESİN ENİYİLENMESİ	157
4.4.1. Bulanık-AHP ile Kalite Karakteristiklerinin Ağırlıklarının Belirlenmesi ...	157
4.4.2. Prosesin Birinci Bölümünün Eniyilenmesi	160
4.4.2. Prosesin İkinci Bölümünün Eniyilenmesi.....	173
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	186
KAYNAKLAR	197
EKLER.....	206
EK 1. Prosesin Birinci Bölümünün Kalite Karakteristikleri ve Faktörleri.....	206
EK 2. Prosesin İkinci Bölümünün Kalite Karakteristikleri ve Faktörleri.....	208
EK 3. Prosesin Birinci Bölümünde Uygulanan Deney Tasarımı ve Sonuçları.....	210
EK 4. Prosesin İkinci Bölümünde Uygulanan Deney Tasarımı ve Sonuçları.....	219
EK 5. Karar Vericilerin Değerlendirme Sonuçları.....	231
EK 6. Sonuçların Üçgensel Bulanık Sayıya Dönüştürülmesi.....	232
EK 7. Ön Yüzey Genetik Algoritmanın Ortalama ve Standart Sapma Sonuçları.....	232
EK 8. Arka Yüzey Genetik Algoritmanın Ortalama ve Standart Sapma Sonuçları.....	235
EK 9. Ön Yüzey Genetik Algoritmanın Ortalama ve Standart Sapma Sonuçları.....	235
EK 10. Arka Yüzey Genetik Algoritmanın Ortalama ve Standart Sapma Sonuçları.....	235
ÖZGEÇMİŞ.....	236

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa No
Şekil 2.1: CNC kontrollü zımpara makinası [46].	39
Şekil 2.2: Fırça tipi zımparalama makinası [46].	40
Şekil 2.3: Silindirlerin farklı yönlerdeki çalışma şekilleri [48].	44
Şekil 2.4: Renklendirici silindir uygulamaları [48].	44
Şekil 2.5: İki başlıklı silindir makinası [48].	45
Şekil 2.6: Dolgu silindir sistemleri [48].	46
Şekil 2.7: Ters yönlü silindir sistemler [48].	47
Şekil 2.8: Alttan hazneli boya tabancası görünümü [49].	48
Şekil 2.9: Havasız püskürtme boya uygulaması [49].	49
Şekil 2.10: Film kalınlığı ölçüm yöntemleri [53].	53
Şekil 2.11: Boya ve verniklerde yapışma direnci için çapraz kesme metodu [55].	54
Şekil 2.12: Deney tasarımı yöntemlerinin genel bir özet şeması [75].	61
Şekil 2.13: Bulanık-Mantık üçgen bulanık sayı gösterimi [103].	66
Şekil 3.1: Kalibre zımpara ve UV boya hattında hazırlanan örneklerin görünümü.	70
Şekil 3.2: UV boya hattına ait bir görünüm.	72
Şekil 3.3: Yapışma testi uygulamasına ait bir görünüm.	77
Şekil 3.4: Sertlik testi uygulamasına ait bir görünüm.	78
Şekil 3.5: Tahribatsız film kalınlığının belirlenmesine ait bir görünüm.	80
Şekil 3.6: Balık kılçığı diyagramı.	81
Şekil 3.7: Merkezi kompozit tasarım türleri [104].	83
Şekil 3.8: Merkezi kompozit tasarımın deneysel tasarım noktaları [105].	85
Şekil 3.9: Genetik algoritmanın adımları [112].	100

Şekil 4.1: A ve B yüzeyine uygulanan ortalama macun miktarlarının değerlendirilmesi.	104
Şekil 4.2: A ve B yüzeylerine uygulanan ortalama vernik miktarının değerlendirilmesi.	105
Şekil 4.3: A ve B yüzeylerine uygulanan macun miktarlarının varyans eşitlik testi.	106
Şekil 4.4: A ve B yüzeylerine uygulanan vernik miktarının varyans eşitlik testi.	107
Şekil 4.5: Uygulanan macun miktarının aykırı değer analiz sonuçları.	108
Şekil 4.6: A ve B yüzeylerinde yapışma direnci ortalamalarının değerlendirilmesi.	110
Şekil 4.7: A ve B yüzeylerindeki yapışma direnci için varyans eşitliği testi.	110
Şekil 4.8: Yapışma testi için aykırı değer analizi sonuçları.	111
Şekil 4.9: A ve B yüzeyinin sertlik direnci için ortalama değerleri.	113
Şekil 4.10: A ve B yüzeylerinin film sertliği direnci için varyans eşitlik testi.	113
Şekil 4.11: A ve B yüzeylerinin sertlik direncinin aykırı değer analiz sonuçları.	114
Şekil 4.12: A ve B yüzeylerine uygulanan boya miktarlarının değerlendirilmesi.	116
Şekil 4.13: A ve B yüzeylerinin boya miktarlarının varyans eşitlik testi.	116
Şekil 4.14: A ve B yüzeylerinin boya miktarlarının aykırı değer analiz sonuçları.	118
Şekil 4.15: A ve B yüzeylerinin sertlik direnci değerlerinin değerlendirilmesi.	119
Şekil 4.16: A ve B yüzeylerinin film sertliğinin varyans eşitlik testi.	119
Şekil 4.17: A ve B yüzeylerinin sertlik dirençlerinin dış değer analiz sonuçları.	120
Şekil 4.18: A ve B yüzeylerinin film kalınlıklarının değerlendirilmesi.	122
Şekil 4.19: A ve B yüzeylerinin film kalınlıklarının varyans eşitlik testi.	123
Şekil 4.20: A ve B yüzeylerinin film kalınlıklarının dış değer analiz sonuçları.	124
Şekil 4.21: Yapışma direncinin ön yüzey için modelin değerlendirilmesi.	131
Şekil 4.22: Yapışma direnci B yüzeyi için modelin değerlendirilmesi.	135
Şekil 4.23: Sertlik direnci ön yüzey için modelin değerlendirilmesi.	139
Şekil 4.24: Sertlik direnci arka yüzey için modelin değerlendirilmesi.	143
Şekil 4.25: Sertlik direnci ön yüzey için modelin değerlendirilmesi.	147

Şekil 4.26: Sertlik direnci arka yüzey için modelin değerlendirilmesi.	150
Şekil 4.27: Film kalınlığı ön yüzey için modelin değerlendirilmesi.	153
Şekil 4.28: Film kalınlığı arka yüzey için modelin değerlendirilmesi.	157
Şekil 4.29: Yapışma direnci A yüzeyi için yüzey grafikleri.	161
Şekil 4.30: Sertlik direnci ön yüzey için yüzey grafikleri.	162
Şekil 4.31: Ön yüzey için istenebilirlik fonksiyonun çözüm sonuçları.	163
Şekil 4.32: Genetik algoritmanın farklı parametre değerlerinin grafiksel sonuçları.	166
Şekil 4.33: Genetik algoritmanın farklı parametre değerlerinin grafiksel sonuçları.	166
Şekil 4.34: A yüzeyi için pareto ve ortalama yayılımın grafiksel değerleri.	167
Şekil 4.35: Yapışma direnci B yüzey için yüzey grafikleri.	168
Şekil 4.36: Sertlik direnci B yüzeyi için yüzey grafikleri.	169
Şekil 4.37: Arka yüzey için istenebilirlik fonksiyonun çözüm sonuçları.	170
Şekil 4.38: Genetik algoritmanın farklı parametre değerlerinin grafiksel sonuçları.	172
Şekil 4.39: Genetik algoritmanın farklı parametre değerlerinin grafiksel sonuçları.	172
Şekil 4.40: Pareto ve ortalama yayılımın grafiksel değerleri.	173
Şekil 4.41: Film kalınlığı ön yüzey için yüzey grafikleri.	174
Şekil 4.42: Sertlik direnci ön yüzey için yüzey grafikleri.	175
Şekil 4.43: Ön yüzey için istenebilirlik fonksiyonun çözüm sonuçları.	176
Şekil 4.44: Genetik algoritmanın farklı parametre değerlerinin grafiksel sonuçları.	178
Şekil 4.45: Genetik algoritmanın farklı parametre değerlerinin grafiksel sonuçları.	178
Şekil 4.46: Pareto ve ortalama yayılımın grafiksel değerleri.	179
Şekil 4.47: Film kalınlığı arka yüzey için yüzey grafikleri.	180
Şekil 4.48: Sertlik direnci arka yüzey için yüzey grafikleri.	181
Şekil 4.49: Ön yüzey için istenebilirlik fonksiyonun çözüm sonuçları.	182
Şekil 4.50: Genetik algoritmanın farklı parametre değerlerinin grafiksel sonuçları.	184
Şekil 4.51: Genetik algoritmanın farklı parametre değerlerinin grafiksel sonuçları.	184
Şekil 4.52: Pareto ve ortalama yayılımın grafiksel değerleri.	185

TABLO LİSTESİ

	Sayfa No
Tablo 3.1: Kalibre zımpara makinasının parametreleri ve değerleri.	70
Tablo 3.2: Proses sonu kalibre zımpara makinasının parametreleri ve değerleri.	71
Tablo 3.3: UV boya hattı prosesinin parametreleri ve değerleri.	73
Tablo 3.4: UV macununun özellikleri.	74
Tablo 3.5: UV dolgu verniğinin özellikleri.	75
Tablo 3.6: Poliüretan boyanın özellikleri.	75
Tablo 3.7: MDF özelliklerinin seçim kriterleri.	76
Tablo 3.8: MDF teknik özellikleri.	76
Tablo 3.9: Prosesin birinci bölümüne ait faktörler ve seviyeleri.	81
Tablo 3.10: Prosesin ikinci bölümüne ait faktörler ve seviyeleri.	82
Tablo 3.11: Değişken sayısı ve merkezi noktalara bağlı α değerleri [106].	84
Tablo 3.12: Faktörlerin gerçek değerlerinin hesaplanması [105].	85
Tablo 3.13: Farklı GA parametrelerinin değerlendirilmesi [112].	101
Tablo 4.1: Mevcut prosesin faktörleri ve seviyeleri.	102
Tablo 4.2: Prosesin birinci bölümünün faktörleri ve seviyeleri.	125
Tablo 4.3: Prosesin ikinci bölümünün faktörleri ve seviyeleri.	126
Tablo 4.4: Prosesin birinci bölümüne ait deneyin tekrar sayısı.	127
Tablo 4.5: Prosesin ikinci bölümüne ait deneyin tekrar sayısı.	127
Tablo 4.6: A yüzeyi için yapışma direnci varyans analizi sonuçları.	128
Tablo 4.7: Ön yüzeylerde A (ALO) ve B (SiC) zımparaları için geliştirilen matematiksel modeller.	130
Tablo 4.8: B yüzeyi için yapışma direnci varyans analizi sonuçları.	132
Tablo 4.9: Arka yüzeylerde A (ALO) ve B (SiC) zımparaları için geliştirilen matematiksel modeller.	134
Tablo 4.10: A yüzeyi sertlik direnci için varyans analizi sonuçları.	136

Tablo 4.11: Ön yüzeylerde A (<i>ALO</i>) ve B (<i>SiC</i>) zımparaları için geliştirilen matematiksel modeller.	138
Tablo 4.12: B yüzeyi sertlik direnci için varyans analizi sonuçları.	140
Tablo 4.13: Arka yüzeylerde A (<i>ALO</i>) ve B (<i>SiC</i>) zımparaları için geliştirilen matematiksel modeller.	142
Tablo 4.14: A yüzeyi sertlik direnci için varyans analizi sonuçları.	144
Tablo 4.15: Ön yüzey sertlik direnci için A (320-500), B(320-500-600) için geliştirilen matematiksel modeller.	146
Tablo 4.16: Arka yüzey sertlik direnci için varyans analizi sonuçları.	148
Tablo 4.17: B yüzeyi sertlik direnci A (320-500), B(320-500-600) için geliştirilen matematiksel modeller.	149
Tablo 4.18: A yüzeyi film kalınlığı için varyans analizi sonuçları.	151
Tablo 4.19: A yüzeyi film kalınlığı A (320-500), B(320-500-600) için geliştirilen matematiksel modeller.	152
Tablo 4.20: B yüzeyinin film kalınlığı için varyans analizi sonuçları.	154
Tablo 4.21: B yüzeyi film kalınlığı A (320-500), B(320-500-600) için geliştirilen matematiksel modeller.	155
Tablo 4.22: Önem derecelerinin üçgensel bulanık sayı gösterimi.	158
Tablo 4.23: İkili karşılaştırma matrisi sonuçları.	158
Tablo 4.24: Kalite karakteristiklerinin ağırlık değerleri.	160
Tablo 4.25: Yapışma ve sertlik direncini eniyileyen faktör seviyeleri.	164
Tablo 4.26: Genetik algoritmanın farklı parametre değerlerine karşılık gelen sonuçlar.	165
Tablo 4.27: Genetik algoritma kullanılarak ön yüzey için elde edilen sonuçlar.	166
Tablo 4.28: Arka yüzey için optimum değerler.	170
Tablo 4.29: Genetik algoritmanın farklı parametre değerlerindeki sonuçları.	171
Tablo 4.30: Genetik algoritma kullanılarak arka yüzey için elde edilen optimum sonuçlar.	172
Tablo 4.31: Ön Yüzey için optimum değerler.	176
Tablo 4.32: Genetik algoritmanın farklı parametre değerlerindeki sonuçları.	177

Tablo 4.33: Genetik algoritma kullanılarak ön yüzey için elde edilen optimum sonuçlar.	179
Tablo 4.34: Arka yüzey için optimum değerler.	182
Tablo 4.35: Genetik algoritmanın farklı parametre değerleri için sonuçlar.	183
Tablo 4.36: Genetik algoritma kullanılarak arka yüzey için elde edilen optimum sonuçlar.	184
Tablo 5.1: Prosesin birinci bölümünün değerlendirilmesi.	186
Tablo 5.2: Prosesin ikinci bölümünün değerlendirilmesi.	187
Tablo 5.3: Prosesin birinci bölümünün ön yüzeyler için eniyilenmesine ait sonuçlar.	190
Tablo 5.4: Prosesin birinci bölümünün arka yüzeylerinin eniyilenmesine ait sonuçlar.	190
Tablo 5.5: Prosesin ikinci bölümünün ön yüzeylerinin eniyilenmesine ait sonuçlar.	191
Tablo 5.6: Prosesin ikinci bölümünün arka yüzeylerinin eniyilenmesine ait sonuçlar.	192
Tablo 5.7: Prosesin birinci bölümünün kalite karakteristiklerinin değerlendirilmesine ait sonuçlar.	193
Tablo 5.8: Prosesin birinci bölümünün faktörleri ve faktör seviyelerinin değerlendirilmesi.	193
Tablo 5.9: Prosesin ikinci bölümünün kalite karakteristiklerinin değerlendirilmesine ait sonuçlar.	194
Tablo 5.10: Prosesin ikinci bölümünün faktörleri ve faktör seviyelerinin değerlendirilmesi.	194
Tablo 5.11: Prosesin birinci ve ikinci bölümünün birlikte değerlendirilmesi.	195

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler	Açıklama
R_a	: Ortalama Yüzey Pürüzlülük Değeri
D₁₂	: % 12 Rutubette Yoğunluk Değeri
Mpa	: Mega Paskal
n	: Örnek sayısı
sn	: Saniye
dk	: Dakika
µc	: Mikron

Kısaltmalar	Açıklama
MDF	: Medium Density Fiberboard
RSM	: Response Surface Method
GA	: Genetik Algoritma
CCD	: Central Composite Design
DF	: Desirability Function
ASTM	: American Society FOR Testing Materials
EN	: Avrupa Standardı
ISO	:International Organization For Standardization

ÖZET

DOKTORA TEZİ

AHŞAP YÜZEY PERFORMANS PARAMETRELERİNİN OPTİMİZASYONUNA YÖNELİK DENEY TASARIMI ve YAPAZ ZEKÂ MODELİ ENTEGRASYONU

Ender HAZIR

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman : Prof. Dr. K. Hüseyin KOÇ

II. Danışman : Prof. Dr. Şakir ESNAF

Ahşap esaslı malzemelerde yüzey işlem uygulamalarında, artan kalite beklentisi ve yüksek maliyetler nedeniyle yüzey işlem performansının iyileştirilmesi gerek üretici gerek tüketicinin önemli bir beklentisidir. Ancak bu beklentilerin karşılanabilmesi ve yüzey işlem uygulamalarına ait performans kalite karakteristikleri birçok faktöre bağlıdır. Faktörlerin kalite karaktersileri üzerindeki etkilerinin araştırılması ve faktör düzeylerinin eniyilenmesi için farklı yöntemlerin bir arada kullanılmasını gerektirmektedir. Tezin amacı; ahşap yüzeyin kullanıma hazırlanmasında önemli iki aşama olan yüzey işleme ve yüzey işleminde etkili olan parametrelerine yönelik bir deney tasarımı ve yapay zeka uygulamasının birbiriyle entegre edilerek proseste uygulanan boya miktarının eniyilenmesinin gerçekleştirilmesidir. Tezin amacının gerçekleştirilmesi 5 aşamada planlanmıştır: (1) Eczacıbaşı Vitra grubunda gerçekleştirilen uygulamalarda mevcut prosesin kalite karakteristikleri ve faktörleri belirlenmiştir. (2) Deney tasarımı yöntemi

olarak merkezi kompozit tasarım kullanılarak kalite karakteristikleri üzerindeki önemli faktörler ve faktör düzeyleri bulunmuştur. (3) Yanıt yüzeyi yöntemi ile farklı matematiksel modeller geliştirilmiştir. (4) Matematiksel modellerin değerlendirilmesinde R^2 , $Adj-R^2$ ve $Press$ istatistik değerleri kullanılarak en uygun modeller seçilmiştir. (5) Faktör düzeylerinin eniyilenmesi için, istenebilirlik fonksiyonu ve genetik algoritma birlikte kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, yüzeylere uygulanan toplam yüzey işlem maddesinde % 10,15'lik ve film kalınlığında %25,65'lik bir azalma sağlanırken, yapışma direncinde % 6,25 ve sertlik direncinde % 11,1'lik bir artış sağlanmıştır. Sonuçlar gösteriyor ki, parametreleri kontrol altında olduğu düşünülen UV-boya hattında bile amaca göre faktör düzeylerinin deney tasarımı ve yapay zeka optimizasyon yöntemleri ile birlikte kullanılması ile prosesin iyileştiği görülmektedir.

Aralık 2018, 238. sayfa.

Anahtar kelimeler: Optimizasyon, Genetik Algoritma, Deney Tasarımı, UV-Boya, Ahşap Esaslı Malzeme, Yapay Zekâ.

SUMMARY

Ph.D. THESIS

INTEGRATION of EXPERIMENTAL DESIGN and ARTIFICIAL INTELLIGENCE MODELS to OPTIMIZE WOOD SURFACE PERFORMANCE PARAMETERS

Ender HAZIR

Istanbul University-Cerrahpasa

Institute of Graduate Studies

Department of Forest Industry Engineering

Supervisor : Prof. Dr. K. Hüseyin KOÇ

Co-Supervisor : Prof. Dr. Şakir ESNAF

In surface treatment applications in wood based materials, increasing the surface process performance is a significant expectation of both the consumer and the producer. However, the performance quality characteristics of surface treatment applications depend on many factors. It requires the use of different methods to investigate the effects of factors on quality characteristics and to optimize factor levels. The aim of this study is to optimize the surface treatment and finishing parameters using design of experiment with artificial intelligence method. The aim of the thesis was applied in 5 stages: (1) The quality characteristics and factors of the current process were determined Eczacıbaşı Vitra UV painting process. (2) Significant factors on the quality characteristics and the factor levels were found by using central composite design method. (3) Different mathematical models were developed by applying response surface method. (4) In the evaluation of mathematical models, the most appropriate models were selected by using R^2 , $Adj-R^2$ and

Press statistical values. (5) Desirability function and genetic algorithm were used to optimize the process parameters. According to the results, a decrease of 10,15% in the total surface treatment applied to the surfaces and a 25,65% decrease in the film thickness were achieved. In addition, an increase of 6,25% in adhesion resistance and 11,1% in hardness resistance was provided. The results show that a significant improvement in the UV-paint line process was achieved with the use of experimental design and artificial intelligence optimization methods.

December 2018, 238 pages.

Keywords: Optimization, Genetic Algorithm, Design of Experiment, UV Paint, Wood-Based Material, Artificial Intelligence

1. GİRİŞ

Günümüzde ahşap ve ahşap esaslı malzemelerin, kolay işlenmesi, dış etkilere karşı dirençli olması, kimyasal maddeler ile tepkimeye az girmesi, farklı renk ve desenlere sahip olması, farklı özelliklerdeki yüzey işlem uygulamalarında kullanılabilmesi ve tüketici için cazip olanaklar sunması nedenlerinden dolayı birçok alanda kullanılmaktadır. Bunun yanında masif ahşap malzemelerin homojen bir yapıya sahip olmaması, havadaki ya da ortamdaki rutubetten etkilenecek çalışması, doğal kusurlar içermesi, yanabilmesi, böcek ve mantar gibi ağaç malzeme zararlılarından etkilenmesi önemli olumsuz yönleri olarak belirtilmektedir. Ancak bu olumsuz parametrelerin tekniğine uygun olarak kurutulması, farklı kimyasal maddeler ile emprenye uygulanması, kullanım alanına uygun yüzey işlem maddeleri ile boya ya da verniklenmesi bu dezavantajları azaltabilmektedir. Ayrıca son yıllarda geliştirilen nano parçacıklar ile farklı ve etkin emprenye uygulamaları yapılmaktadır. Bunun yanı sıra yaygın olmamakla beraber ahşap malzemelerde farklı yüzey modifikasyon yöntemlerinden biri olan plazma uygulamaları ile ahşap malzemenin dış etkilere karşı direnci artırılabilir. Yeni teknolojiler ve yöntemler geliştirilmesine rağmen ahşap ve ahşap esaslı malzemelerde en etkin koruyucu yöntem yüzey işlem uygulamalarıdır.

Mobilya endüstrisinde önemli bir süreç olan yüzey işlemleri ürünün son görünümünde önemli bir rol oynamaktadır. Tüketicinin beğenesinde önemli bir faktör olmakla beraber iş akışı içerisinde de önemli bir işgücü ve maliyet kalemi olarak görülmektedir. Yüzey işlemleri uygulamalarında, uygulamaların başarısı tüm iş istasyonlarının etkin bir şekilde uygulanması ile ortaya çıkmaktadır.

Ahşap ve ahşap esaslı ürünlerde dezavantaj oluşturacak bu faktörlerin ve maliyetlerin azaltılmasında, yüzey işlem ve yüzey işleme uygulamalarının birlikte değerlendirilmesini gerekli kılmaktadır. Yüzey işleme uygulamaları, ahşap ve ahşap esaslı malzemelerde yüzey kalitesini doğrudan etkilemekle beraber yüzey işlemleri uygulamaları için önemli bir altlık oluşturmaktadır. Bu malzemelerde düzgün yüzey elde etmenin amacı, yüzey işlem

uygulamalarında macunlama ve astarlama işlemlerinde, vernik ve boya uygulamalarının yanında tutkallama proseslerinde kalitenin artırılmasında önemli bir rol oynamasıdır.

Ahşap ve ahşap esaslı malzemelerin iş istasyonlarındaki uygulamaların kalitesi mobilyanın da görünüm kalitesini etkilemektedir. Üretim aşamalarından üst yüzey uygulamalarına gelinceye kadarki aşamalar yüzey işlemin etkinliği açısından önemlidir. Ayrıca masif ahşap malzemelerde ve lif levha ve yonga levhalar, ağaç malzemenin türü, yoğunluğu, tekstür yapısı, lif yapısı, anatomik yapısı, kesme yönü, zımparalama çeşidi, malzemenin rutubeti vb. birçok faktör yüzey işlemi kalitesini etkilemektedir.

Yüzey işleme uygulamalarında yüzey işlemi performansını etkileyen önemli bir kalite karakteristiği yüzey pürüzlülüğüdür. Yüzey pürüzlülüğü, yüzey işleme uygulamalarında önemli bir kalite göstergesi olmakla beraber birçok faktörden de etkilenmektedir. Özellikle masif ağaç malzemelerde, anatomik yapısı, yoğunluğu, rutubet, kesme yönü, yıllık halka oranı, yaz odun ve ilkbahar odun oranları gibi malzemeye özgü parametrelerden etkilenmektedir. Ayrıca yüzey işleme uygulamalarında kullanılan planyalama, frezeleme, tormalama, zımparalama, CNC uygulamalar ile şekillendirme gibi makinaların kendine özgü olan kesme hızı, kesme bıçak geometrisi, bıçak türü ve sayısı, zımpara çeşidi ve numarası, kesme derinliği gibi parametrelerden de etkilenmektedir. Özellikle planyalama işlemi yapılmayan ahşap yüzeylerde yüzey bozuklukları meydana gelmesi nedeniyle boyama ve vernikleme işlemlerinde zorluklar yaşanabilmektedir. Ayrıca yüzey işlem öncesi ve sonrası önemli bir iş istasyonu olan zımparalama işlemi sayesinde hücre boşlukları tıkanmakta, boya nüfuzu azalmakta ve daha homojen bir boya tabakasının oluşmasını sağlamaktadır. Bu nedenle yüzey işlem performansının belirlenmesinde en önemli süreçlerinden biri zımparalama işlemlerinin kalitesidir. Yüzey işlem uygulamalarında yüzey performansı için önemli kalite karakteristikleri yüzey işlem maddesinin yüzeye yapışma oranı, yüzeyde oluşturduğu film kalınlığı ve film sertliği dır. Özellikle zımparalama sürecinden sonra yüzey işlem uygulamalarında bu kalite karakteristiklerinin önemli derecede etkilendiği bilinmektedir. Aynı zamanda kullanılan yüzey işlem maddesinin miktarı, türü, uygulama şekli bu değerleri etkilemektedir. Kullanılan yüzey işlem maddesinin artması yüzey yapışma performansını arttırabilmekte ancak gereğinden fazla kullanılması yapışma oranını düşürmekle beraber, yüzeyde çatlama gibi yüzey kusurlarına neden olabilmektedir. Ayrıca kullanılan yüzey

işlem maddesinin gereğinden fazla kullanılması malzeme maliyetlerini arttırmakta ve işlem süresinin uzamasına sebep olmaktadır. Bu nedenle optimum yüzey işlem miktarının belirlenmesi önem teşkil etmektedir. Ancak bu miktar birçok parametreye bağlı olarak değişmektedir. Bu faktörlerin etkilerinin belirlenmesi 2 temel aşamada incelenmesi gerekmektedir. İlk aşama ahşabın kullanıma hazırlanması amacıyla yüzey işlemede beklenen özelliklerin ortaya konmasıdır. İkinci aşama ise, yüzey işlemi olarak tanımlanan ahşap yüzey üzerine boya ve vernik gibi koruyucu üst yüzey uygulamalar ile yüzey işlem performans beklentilerini karşılanmasıdır. Bu iki temel amacın birbiriyle örtüşmesi farklı tekniklerin birbiriyle entegre kullanımına gerekli kılmaktadır. Bu amaçların etkin bir şekilde ortaya konması ve uygulanacak deney düzeninin düşük maliyette ve kısa sürede sistematik bir şekilde ele alınmasını zorunlu kılmaktadır. Bu nedenle son yıllarda geniş bir kullanım alanına sahip olan ve birçok mühendislik probleminde kullanılmakta olan gelişmiş deney tasarımı yöntemi ve yapay zeka optimizasyon algoritması birlikte kullanılmaktadır. Özellikle genetik algoritma son yıllarda yaygın olarak kullanılan yapay zekâ algoritması olup birçok mühendislik alanına uygulanmaktadır.

Tezin temel amacı; ahşap yüzeyin kullanıma hazırlanmasında kritik iki aşama olan yüzey işleme ve yüzey işleminde etkili olan parametrelerin optimizasyonuna yönelik bir deney tasarımı ve yapay zeka uygulamasının birbiriyle entegre edilerek gerçekleştirilmesidir.

Tezin önemi; ahşap malzemede yüzey işlemini öncesi ahşabın işlenme durumu, türü ve yapısal özellikleri, uygulanacak yüzey işlem maddesinin türü, fiziksel ve kimyasal özellikleri, uygulama yöntemi gibi yüzey işlem performansını doğrudan etkileyen çok sayıda parametre vardır. Dolayısıyla bu parametrelerin kontrol edilebilir ve birbiriyle ilişkilendirebilir şekilde optimize edilmesi uygulamadaki beklentilerin karşılanması açısından önem taşımaktadır. Tez, hem ahşap yüzey işleme hem de yüzey işlemi uygulamalarında yapılacak yeni çalışmaların ve daha nitelikli endüstriyel uygulamaların yapılmasının önünü açabilecektir. Ayrıca farklı modellerin entegrasyonu ile daha etkin eniyileme uygulamalarına altlık oluşturabilecektir.

Tez çalışması, Eczacıbaşı Intema firması ile ortak yürütülen sanayiye yönelik bir proje olarak gerçekleştirilmiştir. Firma bünyesinde kullanılmakta olan boya hattı üzerinde deney tasarım yöntemi ve genetik algoritma birlikte uygulanmış, faktörlerin eniyilenmesi gerçekleştirilmiş ve prosesin iyileştirilmesi sağlanmıştır.

Tez kapsamında uygulamalar ve prosesin optimizasyonu Eczacıbaşı Vitra tesislerinde gerçekleştirilmiştir. Türkiye’de yoğun bir kullanım alanına sahip olan ahşap esaslı bir kompozit malzeme olan lif levhalar kullanılmıştır. Minimum malzeme miktarı ile maksimum yüzey işlem performansı sağlayan optimum düzeyler deney tasarımı ve yapay zeka optimizasyon algoritmaları birlikte kullanılarak araştırılmıştır. Ayrıca çalışmada kullanılan MDF’lerin aynı teknolojik özelliklerine sahip olduğu, kullanılan boyanın aynı niteliksel ve niceliksel özelliklere sahip olduğu çalışmanın varsayımlarını oluştururken, çalışmada kullanılan malzemenin firmaya özgü olması nedeniyle MDF’lerin seçilmesi ve prosesin UV boya hattına özgü olması çalışmanın sınırlarını kapsamaktadır. Bu kapsamda çalışma 4 aşamadan oluşmaktadır.

Tezin giriş bölümünde; çalışmanın önemi ve amaçları hakkında özet bilgiler verilmiştir. Genel kısımlar bölümünde; günümüze kadar yapılmış olan çalışmaların bir literatür özeti, yüzey işlem performansını etkileyen faktörler, yüzey işlemi uygulama sistemleri, yüzey işlem performansını belirleme yöntemleri, deney tasarımı, yanıt yüzeyi yöntemi ve genişletilmiş bulanık ahp ve yapay zeka optimizasyon konularında bilgiler sunulmuştur.

Tezin malzeme ve yöntem bölümünde; Eczacıbaşı Intema tesislerinde gerçekleştirilen uygulamalarda kullanılan prosesin özellikleri, seçilen kalite karakteristikleri, merkezi kompozit tasarım, model seçimi ve genetik algoritma konularında bilgiler verilmiştir.

Tezin bulgular bölümünde, uygulanan macun, vernik ve boya miktarlarını değerlendirilmesi, deney tasarımını uygulanması ve prosesin optimizasyonu sonuçları ortaya konulmuştur.

Tezin tartışma ve sonuç bölümünde, mevcut prosesin özellikleri ile iyileştirilmiş prosesin değerleri karşılaştırılmıştır. Bu süreçte kullanılan optimizasyon tekniklerinin sonuçları değerlendirilmiştir. Kalite karakteristiklerindeki iyileşmeler ortaya konmuş ve tartışılmıştır. Ayrıca daha sonraki çalışmalar içinde bir perspektif sunulmuştur.

2. GENEL KISIMLAR

2.1. LİTEATÜR ARAŞTIRMASI

Literatür araştırması iki bölümden oluşmaktadır.

Birinci bölüm, ahşap malzemenin yüzey işlem öncesi önemli bir proses olan ve yüzey pürüzlülüğünü etkileyen faktörlerden biri olan zımparalama operasyonu alanında yapılan çalışmalar ortaya konmuştur. İkinci bölümde ise, yüzey işlem performansını etkileyen zımparalama operasyonunun parametreleri ile yüzey işlem uygulama parametrelerinin etkileri birlikte araştırılmıştır. Bu alanda yapılan çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

Mobilya, yapı elemanlarının ve diğer yan ürünlerin tamamlanmasında, yüzeydeki bıçak izlerinin azaltılması ile yüzey işlemi uygulamalarında yüzeyin hazırlanmasında önemli bir operasyondur. Zımparalama ahşap malzemenin doğal renginin ve yapısının ortaya çıkarılmasında uygulanan temel bir süreçtir.

Davis [1] ağaç malzemenin kaliteli işlenmesinde üç koşul belirtmiştir;

1. Keseci özellikleri iyi bir makine,
2. Makinenin işleme ayarlarının belirlenmesi,
3. Ağaç malzemenin rutubet değerleri ve kusur içermemesi.

Kurtoğlu [2] yaptığı çalışmada frezeleme, tornalama, zıvana ve lamba açma, delme, zımparalama ve diğer işleme proseslerinin, ahşabın yüzey kalitesi üzerindeki etkilerini açıklamıştır. Ahşap malzeme için, iyi işleme koşullarını 3 ana başlıkta açıklamıştır;

1. Makine ve kesme ekipmanlarının mekanik durumu
 - Bıçağın özellikleri ve keskinliğinin durumu,
 - Bıçakların, işleme makinesine yerleştirilmesi,
 - Bıçak türünün fiziksel ve mekanik özellikleri.
2. Makine işleme ayarlarının durumu
 - Kesiş açısının etkisi,
 - Kesme derinliği,
 - Bıçağın dönme hızı,

- Malzemeyi itme hızı,
 - Birim mesafedeki bıçak izi sayısı.
3. Ağaç malzemenin seçimi ve özellikleri
- Ahşap malzemenin rutubeti,
 - Ahşap malzemenin özgül ağırlığı
 - Büyüme hızı, yıllık halka sayısı ve yaz odun oranı,
 - Çapraz liflilik ve çekme odunun yüzey kalitesine etkisi.

Örs ve Baykan [3] masif ağaç malzemede rendeleme ve zımparalamanın yüzey pürüzlülüğüne etkileri adlı çalışmada doğu kayını ve sarıçam türlerinin farklı hızlarda ve zımpara numarası, kesiş yönü ve besleme hızlarının ağaç malzemelerde yüzey kalitesi üzerine etkilerini araştırmışlardır. Doğru kayını sarıçama göre daha düzgün yüzeyler elde edilmiştir. Bu ağaç türleri için yüzey pürüzlülükleri yıllık halkalara teğet yönde daha düzgün bulunmuştur. Ağaç türü ve rendelemede en düşük yüzey pürüzlülük değerleri 4 bıçaklı rendelemede doğu kayını, en pürüzlü yüzeyler 2 bıçaklı rendelege ile sarıçam türünde bulunmuştur. Ayrıca, 120 numara zımpara kullanılarak ve 5 m/dak hızla işlenen doğu kayınında sarıçama göre daha düzgün yüzeyler elde edilmiştir.

İlker ve diğ. [4] yaptıkları çalışmada göknar örnekleri % 12 ve % 30 rutubette, farklı besleme hızlarında, farklı bıçak sayılarında ve farklı zımpara numaralarında işlenmiştir. 512 adet örnek üzerinde çalışılmış ve yüzey pürüzlülük değerleri iğne esaslı yöntem ile ölçülerek yüzey kaliteleri belirlenmiştir. Çalışmanın sonucuna göre, %12 rutubet, radyal kesit ve 2 bıçaklı, 5 m/dak besleme hızında en düzgün yüzeyler elde edilmiştir. Zımpara numarası büyüdükçe yüzey pürüzlülüğünün azaldığı görülmüştür.

Örs ve Demirci [5] meşe (*Quercus petrea L.*) ve akasya (*Robinia pseudoacacia L.*) örneklerinin 40, 60 ve 80 numaralı zımparalarda ve kesiş yönünün yüzey pürüzlülük üzerine etkileri araştırılmıştır. Yüzey kalitesinin belirlenmesinde iğne taramalı yöntem kullanılmıştır. Çalışmanın sonucunda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- Meşe odununun trahe çaplarının büyük olması ve hücre çeper kalınlığının akasya odunundan fazla olması nedeniyle daha pürüzlü yüzeyler elde edilmiştir.

- Her iki ağaç türü içinde, teğet yönde zımparalanmış örnekler radyal yöne göre daha düzgün yüzeyler elde edilmiştir.
- Akasya odununda teğet kesitte 80 numaralı zımpara ile işlenmesi sonucunda en düşük yüzey pürüzlülük değerleri bulunmuştur.

Aslandoğan [6] Karaçam (*Pinus nigra Arnold*) odununun yüzey pürüzlülük değerlerinin belirlenmesi üzerinde yaptıkları çalışmada, rendeleme ve zımparalama işleminin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Çalışmasının sonuçlarına göre, teğet kesitte, 80 numaralı zımpara ve 3 bıçaklı kesme ile işlenen örneklerin yüzeylerinin daha düzgün olduğunu belirtmiştir.

Söğütlü [7] çalışmasında, doğal türlerimiz olan akasya (*Rubinia pseudoacacia L.*), armut (*Pirus communis L.*), kestane (*Castanea sativa Mill.*), sapsız meşe (*Quercus petraea Lieble*) ve Toros sedirinin (*Cedrus libani A. Rich*) 80 ve 120 numaralı zımparalama işlemi uygulanmıştır. Pürüzlülük değerleri karşılaştırıldığında en düşük değer armutta iken en yüksek değeri meşede bulunmuştur. Zımpara numarası 120 zımpara ve radyal yönde işlenmiş örneklerde yüzey pürüzlülük değerleri düşük bulunmuştur.

Carrano ve diğ. [8] zımparalama parametrelerinin sert akçaağaç, beyaz meşe ve doğu beyaz çam üzerindeki etkileri incelenmiştir. Çalışmada makine işleme parametreleri; bant hızı, devir hızı, kesme derinliği, zımpara numarası, zımparalama yönü ve kesme başlığı türü olarak belirlenmiştir. Çıktı parametresi yüzey pürüzlülüğü olarak belirlenmiştir. Bu amaçla split-plot deney tasarımı dizaynı kullanılmıştır. Çalışmanın sonuçlarına göre; zımpara numarası, kesme başlığının türü ve zımparalama yönü bütün türler için önemli faktörler olarak belirlenmiştir. Ayrıca, bant hızı sadece, beyaz meşe ve doğu beyaz çamında önemli faktör olarak belirlenmiştir.

Carrano ve diğ. [9] yaptıkları çalışmada iki farklı tahmin metodu geliştirmişlerdir. Bu amaç için, farklı ağaç türlerinin yüzey sertlik değerleri (850, 1.450, 1.360, 380), zımparalama yönü (liflere paralel ve dik yönde), zımpara türü (Aliminyum oksit ve silikon karpit), zımpara numarası (100, 150, 220) ve kasnak basınç değerleri (0.50, 0.75) girdi parametrelerini oluşturmuştur. Çıktı parametresi olacakta yüzey pürüzlülük değerleri kullanılmıştır. Çalışmada tam faktöriyel tasarım kullanılmıştır. Deney 2 kere tekrarlanmış ve toplamda 192 deney uygulanmıştır. Çalışmada; polinomal regresyon

model ile bulanık mantık tabanlı iki yöntem karıştırılmıştır. Bulanık tabanlı yöntemin regresyon modele göre daha iyi sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir.

Saloni ve diğ. [10] geniş bantlı zımpara makinesinde farklı kasnak basınçları, farklı ağaç türleri, farklı zımpara türleri ve farklı kesme hızında ağaç malzemenin yüzey kaliteleri üzerine olan etkilerini artırmış ve aynı zamanda talaş kaldırma oranlarını incelemiştir. Çalışma sonucunda, enerji tüketiminin kasnak basıncının artması ile arttığını ve en düzgün yüzeylerin kesme hızının artması ile meydana geldiğini belirtmişlerdir.

Carrano ve diğ. [11] yapay sinir ağları bazlı bir sınıflandırma algoritması kullanarak zımparaların ömrünün belirlenmesinde ve hangi zaman aralıklarında değişmesi gerektiğini gösteren bir model geliştirmişlerdir. Bu amaç için, zımparayı takip eden bir kamere sistemiyle görüntü işleme tekniği ve yapay sinir ağlar (ANN) kullanılarak zımpara arasında malzemelerin birikme durumuna göre bir model geliştirmişlerdir.

Aslan ve diğ. [12] Toros sedarı (*Cedrus Libani A.Rich*) üzerinde yaptıkları çalışmada zımparalama yönünün, zımpara numarasının ve kasnak sayısının yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Çalışmanın sonuçlarına göre, zımparalama yönünü yüzey pürüzlülüğü üzerinde etkisi olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca, daha düzgün yüzeylerin zımpara numarasının artması ile elde edildiğini belirtmişlerdir.

Iskra ve Hernandez [13] yapay sinir ağlarını (ANN) ve regresyon modeli kullanarak ahşap malzemede işleme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne bağlı olarak tahmin etmişlerdir. Çalışmada kesme derinliği, kesme hızı, kesme yönü ve ağaç türü bağımsız değişken olarak belirlenirken yüzey pürüzlülüğü bağımlı değişken olarak belirlenmiştir. Çalışma sonucunda, yapay sinir ağlarının çok değişkenli regresyon modeline göre daha iyi sonuçlar bulunduğunu belirtmişlerdir.

Varanda ve diğ. [14] geniş bantlı zımpara makinesi kullanılarak yapılan çalışmada kesme hızının ve zımpara numarasının yüzey kalitesi üzerinde önemli faktörler olduğunu belirtmişlerdir.

Varasquim ve diğ. [15] yaptıkları çalışmada zımparalama parametrelerinin *Eucalyptus grandis* ağaç türü üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Literatürde yapılan çalışmalardan farklı olarak girdi parametreleri olarak kesme hızı, zımpara numarası ve kasnak basıncını

belirlerken çıktı parametreleri olarak yüzey pürüzlülüğü, kesme gücü ve enerji tüketiminin belirlenmesi olarak çalışılmıştır. Çalışmada 80, 100 ve 120 numaralı zımparalar, 10 m/dak, 11 m/dak ve 12 m/dak kesme hızları ve 219.89 g/cm², 283.44 g/cm² kasnak hızları belirlenmiş ve yüzey pürüzlülüğü, enerji tüketimi ve kesme hızı parametreleri ile olan ilişkileri belirlemiştir. Çalışma sonucunda, en düşük kesme gücü 100 numaralı zımpara kullanılması durumunda bulunmuştur. Zımpara numaraları, keme hızı ve kasnak başçılarının yüzey pürüzlülüğü, enerji tüketimi ve keme gücü üzerinde etkili olduğu bulunmuştur. Ayrıca en düzgün yüzeylerin yüksek basınçta olduğunu belirtmişlerdir.

Tan ve diğ. [16] yaptıkları çalışmada iki farklı ağaç türü için farklı zımparalama hızlarında ve farklı zımpara numaralarında yanıt yüzeyi yöntemi kullanılarak (RSM) yüzey pürüzlülüğünü etkileyen parametreleri belirlemişler ve matematiksel modeller geliştirmişlerdir. Çalışma sonucunda, ağaç türünün, zımpara numarasının ve bant hızının önemli olduğunu bulmuşlardır.

Zhong ve diğ. [17] yaptıkları çalışmada Singapur'da mobilya üretimde kullanılan lif levha ve yonga levhalarda farklı zımparalama işlemlerinde, yüzey kalitelerini etkilerini araştırmışlardır. Çalışmada yüzey kalitelerini belirlemek için iki farklı yöntem kullanmışlardır. Yüzey pürüzlülüklerini ölçmek için iğne esaslı ve 3D-lazer taramalı yöntemler kullanmışlardır. Her iki yöntemde de sonuçlar tutarlı çıkmış ve 3D-lazer tarama ile tüm yüzey değerlendirme olanağı sunduğu için daha kullanışlı olduğu belirtilmiştir. Ayrıca zımpara numarasının artması ile her iki malzemede de yüzey pürüzlülüğünün azaldığını belirtmişlerdir.

Tiryaki ve diğ. [18] farklı ağaç türlerinde yaptıkları çalışmada zımparalama prosesinde kesme derinliği, kesme hızı, bıçak sayısı, bant hızı, zımpara numarası ve zımparalama yönü parametrelerine bağlı olarak yüzey pürüzlülüğü yapay sinir ağlarını kullanarak (ANN) modellemişlerdir. Modelin başarılı bir şekilde kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

Vitosyte ve diğ. [19] farklı ağaç türlerinin zımparalama prosesinde zımpara numarası ve zımparalama yönünün yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Çalışmada 5 farklı ağaç türü, 6 farklı zımpara numarası ve 2 farklı zımparalama yönü

seçilmiştir. Çalışmada 1800 ölçüm yapılmış ve zımpara numarasının artması ile pürüzlülüğünün azaldığını belirtmişlerdir.

Alves ve diğ. [20] yaptıkları çalışmada ahşap malzemede zımparalama faktörlerinin etkilerini incelemişlerdir. Çalışmada, girdi parametreleri olarak kesme hızı, kasnak basıncı ve zımpara numarası olarak belirlenirken, çıktı parametresi olarak yüzey pürüzlülüğü ve sıcaklık belirlemiştir. Çalışmada, kesme hızı 3 düzey, kasnak basıncı 3 düzeyde ve zımpara numarası da 4 düzeyde belirlenmiştir. Çalışmada deney tasarımı 6 kez tekrarlanmış ve 216 ölçüm alınmıştır. Çalışma sonucunda zımpara numarasının hem yüzey pürüzlülüğü için hem de sıcaklıkta etkili olduğunu belirtmişlerdir.

Kılıç [21] Türkiye’de yetişen yedi farklı bölgedeki kırmızı çam (*Pinus bruti Ten*) örenlerini 80 numaralı zımpara ve farklı yönlerdeki (radyal ve teğet) zımparalamanın yüzey pürüzlülüğü üzerine etkilerini araştırmıştır. Çalışma sonucunda, Muğla ve Samsun bölgelerinde ve teğet yönlerdeki zımparalama işleminde daha düşük yüzey pürüzlülükleri belirlenmiştir.

Sulaiman [22] yaptığı çalışmada zımparalama parametrelerinin Rubberwood (*Hevea brasiliensis*) üzerindeki yüzey kalitesi açısından değerlendirmeler yapmış ve zımpara numarasının artması ile ahşap yüzey kalitesinin iyileştiği sonucu görülmüştür.

Hazır ve diğ.[23] farklı ağaç türlerinin teğet radyal yönde farklı zımparalama parametreleri kullanarak yüzey kalitelerinin lazer sensör ve iğne esaslı ölçüm yöntemleri kullanarak değerlendirmesilerdir. Lazer sensör yüzeyde daha fazla veri toplaması nedeniyle iğne esaslı ölçüm yöntemine göre daha iyi sonuçlar bulmuştur. Prosesin değerlendirilmesinde yanıt yüzey yöntemi kullanılmıştır.

Hazır ve Koç [24] yaptıkları çalışmada geliştirdikleri kartezyen robota entegre edilmiş lazer sensör ile ahşap yüzeylerden her 7 mm de 800 veri toplayarak yüzey kalitelerinin değerlendirilmeleri üzerine araştırmışlardır. Farklı zımparalama parametrelerinde ve numaralarında işlenen yüzeylerde oluşan yüzey kalitelerini karşılaştırmışlardır. Zımpara numarasının artması ile yüzey kalitesinin iyileştiği görülmüştür.

Hazır ve Koç [25] yaptıkları çalışmada ahşap yüzeyler farklı değerlerde oluşturulmuş zımpara hızı, kesme hızı, kesme derinliği ve zımpara numarasında örnekler

hazırlanmıştır. Örneklerin hazırlanmasında ve değerlendirilmesinde deney tasarımı varyans analiz kullanılmıştır. Lazer sensör ve iğne esaslı ölçüm yöntemi kullanılarak yüzeyden elde edilen veriler yapay sinir ağları kullanılarak modellenmiştir. Sonuçlar değerlendirildiğinde, lazer sensör ile oluşturulan model daha iyi bulunmuştur.

Literatürün birinci bölümü değerlendirildiğinde, CNC zımparalama makinalarında gerçekleşen bu proses mobilya endüstrisinde çok yaygın bir kullanım alanına sahip olan bu prosesinin ahşap yüzey kalitesi üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu görülmektedir. Bu makinaların kontrol edilebilir parametreleri, kesme hızı, bant hızı, uygulama basıncı, zımpara numarası ve kesme derinliğidir. Literatürün ikinci bölümünde, zımparalama prosesi ile yüzey işlem performans kalitesi üzerindeki çalışmalar özetlenmiştir.

Moura ve Hernandez [26] bir masif ağaç türü üzerinde üç farklı işleme yönteminin yüzey işlem performansı üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Ahşap malzeme üzerindeki yapışma direncinin 100 numaralı zımparada daha iyi sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir.

Budakçı ve Sönmez [27] dört farklı ağaç türü üzerinde yaptıkları çalışmada, farklı katman kalınlıklarında su bazlı, akrilik, poliüretan ve selülozik vernik uygulamaları yapılarak yüzey işlem performans değerleri belirlenmiştir. Yüzey işlem performansının belirlenmesinde yüzey yapışma direnç değerleri kullanılmıştır. Çalışma sonucunda, katman kalınlıklarının yapışma direnci üzerinde etkisinin önemsiz olduğu bulunurken ağaç türlerinin ve vernik türlerinin önemli faktörler olduğu görülmüştür. Sert ağaç türlerin yumuşak ağaç türlerine göre daha yüksek yapışma direnç sonuçları vermiştir. Ayrıca vernik türleri arasından en yüksek yapışma direnci akrilik ve poliüretan verniklerde bulunmuştur.

Sönmez ve diğ. [28] yaptıkları çalışmada su bazlı vernik uygulamalarında ahşap malzemelerin farklı rutubetlerdeki yüzey işlem performansları üzerindeki, etkilerini araştırmışlardır. Çalışmada iki farklı ağaç türü kullanılmıştır. Örnekler %12, %15 ve %18 rutubet değerlerine getirildikten sonra su bazlı vernik uygulaması yapılmıştır. Yüzey işlem performansını belirlemek için sertlik testi, parlaklık testi ve yapışma testleri yapılmıştır. Çalışma sonucunda, rutubetin yüzey işlem performansı üzerinde oldukça etkili olduğu belirtilmiştir. Ayrıca su bazlı vernik uygulamalarında en yüksek yüzey işlem performans değerleri % 8 ve % 10 rutubet değerlerinde bulunmuştur.

Cool ve Hernandez [29] su bazlı boyaların ahşap yüzey uygulamalarında, önemli bir yüzey işlem performans ölçütü olan yapışma direncinin zımparalama işlemi ile iyileştirilmesi için bir çalışma yapmışlardır. Kesme hızının artması ile yüzey pürüzlülüğünün ve yüzey enerjisinin arttığını belirtmişlerdir. Ayrıca yapışma direncini zımparalama hızı ve zımpara numarasının önemli değişkenler olduğunu göstermişlerdir. Düzgün yüzeyler ve yapışma direnci 17 m/dak ve iki aşamalı 100-150 numaralı zımparalar kullanılması ile arttığını belirtmişlerdir.

Landry ve Blanchet [30] yaptıkları çalışmada bir ağaç türü üzerine su bazlı ve solvent bazlı vernik uygulaması yapmışlardır. Çalışmada farklı zımpara numaralarında (150, 180), zımparalama işlemine tabi tutulduktan sonra vernikleme uygulamaları yapılmıştır. Çalışma sonucunda, 150 zımpara numarası ile yapılan uygulamalarda, düzgün yüzeyler elde edilmiş ancak yapışma direncinin düşük olduğu bulunmuştur. 180 numaralı zımpara ile yapılan uygulamalarda, düzgün yüzeylerde yüksek yapışma direnç değerleri bulunmuştur.

Cool ve Hernandez [31] su bazlı akrilik verniklerde yüzey yapışma performansını iyileştirmek için ahşap işleme parametrelerinin optimizasyonu üzerine çalışmışlardır. Çalışma sonucunda, kesme açısı ve kesme hız arasındaki etkileşimin yüzey pürüzlülüğü, yüzey enerjisi ve yapışma direnci üzerinde önemli olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca yüzey yapışma direnci 10° kesme açısında daha iyi sonuçlar verdiği belirtilmiştir.

Vitosyte ve diğ. [32] farklı ağaç türlerinin yapışma direncinin ve yüzey pürüzlülüğünün etkisi üzerine yaptıkları çalışmada, 80, 120, 150, 180, 220 ve 240 numaralı zımparalar ile örnekler yüzey işlem öncesi hazırlanmıştır. Çalışmada akrilik poliüretan boyalar kullanılmıştır. Örnekler, 1 kat son kat, 1 kat astar ve 1 kat son kat, 1 kat astar ve 2 kat son kat, üç farklı uygulama ile hazırlanmıştır. Çalışma sonucunda 1 kat astar ve 1 kat son kat uygulamalarında daha iyi sonuçlar çıkmasına rağmen prosesin zımpara numarasından önemli ölçüde etkilendiği görülmüştür. Ayrıca prosesin ağaç türünden etkilendiğini de belirtmişlerdir.

Landry ve diğ. [33] su bazlı ve solvent bazlı yüzey işlem uygulamalarında, masif ağaçta lif kalkıklığı üzerindeki etkileri araştırmışlardır. Çalışma sonucunda, zımparalama işleminin lif kalkıklığı üzerinde önemli bir etkisi olduğu görülmüştür.

Dilik ve diğ. [34] liflevha ve yonga levha örneklerine farklı katman kalınlıklarında selülozik ve poliüretan boya uygulaması yapılmıştır. Çalışmada, yüzey işlem performansının belirlenmesinde yapışma direnç özelliklerine bakılmıştır. Örneklere 2 kat astar ve 1 kat son kat, 2 kat astar ve 2 kat son kat, 2 kat astar ve 3 kat son kat boya uygulaması yapılmıştır. Çalışma sonucunda liflevha örneklerinin yonga levha örneklerine göre daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Ayrıca, 1 kat astar ve 2 kat son kat uygulamalarında yapışma direncinin daha yüksek bulunduğu belirtilmiştir.

Özdemir ve diğ. [35] kayın, göknar, kızılğaç ve ladin örneklerini 80 ve 180 numaralı zımparalar uygulanarak selülozik vernik ile yüzey işlem uygulaması yapılmış ve yapışma dirençleri belirlenmiştir. Çalışmada yüzey pürüzlülüğünün yapışma direncini etkilediği görülmüştür. Yüzey pürüzlülüğünün artması ile yapışma direncinin arttığı belirtilmiştir. Özellikle, kızılğaç ve kayında yapışma direncinin 80 numaralı zımpara ile yapışma direncinin daha yüksek çıktığını belirtmişlerdir.

Söğütlü ve diğ. [36] kayın, çam ve kiraz örneklerini 80, 120 ve 180 numaralı zımparalar ile yüzeyler işlendikten sonra su bazlı, poliüretan ve akrilik vernikler ile yüzey işlem uygulaması yapılmıştır. Çalışmanın amacı, yüzey pürüzlülüğünün yüzey işlem maddesi ile yapışma direnci arasındaki ilişkiyi araştırmışlardır. Çalışma sonucunda, en yüksek yapışma direnci 80 numaralı zımpara kullanılarak hazırlanan kiraz örneklerinde bulunur iken en düşük yapışma direnci çam örneklerinde bulundu. Ayrıca, poliüretan vernik uygulamalarında yapışma direnci yüksek iken su bazlı vernik uygulamalarında direncin düştüğü gözlemlenmiştir. Bunun yanında, su bazlı vernik uygulanan örnekler ile yüzey pürüzlülüğü arasında güçlü bir ilişki bulunurken, poliüretan vernik ile uygulanan örneklerde bu ilişki daha zayıf bulunmuştur.

Ugulino ve Hernandez [37] kırmızı meşe türü üzerinde yaptıkları çalışmada, optimum zımparalama parametrelerine bağlı olarak, örneklere uygulanan yüzey işlem maddesinin performansını arttırmayı amaçlamışlardır. Çalışmada, 100, 100-120 ve 100-150 numaralı zımparalar kullanılarak örneklerin yüzeyleri yüzey işlem öncesi hazırlanmıştır. Ayrıca zımparanın kesme hızı da 7 m/dak, 10 m/dak ve 14 m/dak olarak belirlenmiştir. Çalışma sonucunda, düzgün yüzeylere zımpara numarasını artması ile bulunmuştur. Ancak yüzey işlem uygulamalarında önemli bir performans ölçütü olan yapışma direncinin 100-150 numaralı zımpara ve 14 m/dak kesme hızıyla arttığı belirtilmiştir. Ancak örnekler

yaşlandırma testine tabi tutulduktan sonra yapışma direnç değerleri tekrar araştırıldığında 100 numaralı zımpara ve 7 m/dak kesme hızında daha yüksek değerler çıktığı görülmüştür.

Salça ve diğ. [38] yaptıkları çalışmada, mobilya imalatında kullanılmakta olan siyah kızılağaç ağacının zımparalama parametreleri ile yüzey işlem performansını optimize etmişlerdir. Proses optimizasyonu için iki kriter uygulanmıştır: örneklerin minimum yüzey pürüzlülüğü ve çeşitli zımparalama sistemlerinin bir fonksiyonu olarak zımparalama sırasında güç tüketimleri de göz önüne alınmıştır. Zımparalanmış numunelerin yüzey pürüzlülüğü ve zımparalama sırasında güç tüketimi, kullanılan zımparamın tanecik sayısına bağlı olarak bulunmuştur. Numunelere püskürtme yoluyla iki eko-vernük uygulanmıştır. Ayrıca, yapışması ve yüzey parlaklığı ile ifade edilen kaplama özellikleri üzerindeki etkisi değerlendirilmiştir. Daha iyi parlaklık değerleri için UV ile sertleştirilmiş vernük tercih edilmiştir

Salça ve diğ. [39] iki uygulama sistemi ile su bazlı ve UV vernükleri ile kaplanmış siyah kızılağaç ağacının (*Alnus glutinosa* Gaertn. L.) yapışma mukavemetini ve parlaklığını değerlendirmişlerdir. Yüzey işlem öncesi, numuneler dört farklı zımpara numarası ile hazırlanmıştır. Örneklerin yüzey kalitesi beyaz ışık profilometre ile ölçülmüştür. Zımpara numarasının artması yüzey pürüzlülüğünü azalttığı görülmüş ve yüzey işlem performansını da etkilemiştir. Rulo ile uygulanan UV vernük, püskürtme ile karşılaştırıldığında daha yüksek yapışma mukavemeti ve parlaklık sağlamıştır. Püskürtülerek su bazlı bir son kat boyandığı numuneler, aynı yöntemle UV vernükli örneklerden daha iyi bir yapışma sergiledi ve aynı aralıkta 60 ° 'lik parlaklıkta parlaklık sağlamıştır. Bu sonuçlar, katma değerli ürünler elde etmek için daha iyi bir kullanım ve ikincil ağaç kaynaklarının verimliliğini sağlamak için mobilya imalat sanayii için değerli görülmüştür.

Ramanantoandro ve diğ. [40] zımparalama prosesinin, yüzey işlem öncesinde ahşap yüzeylerin hazırlanmasında kullanılan en yaygın işleme olduğunu belirtmişlerdir. Bu nedenle, bu işlem sırasında yüzey kalitesini ve yüzey işlem performansını iyileştirmek için, ahşap türlerine ve nihai kullanımına göre optimal bir işleme parametreleri kümesi oluşturmaya çalışmışlardır. Zımpara numarasının ve kesme hızının kırmızı meşe ağacının yüzey özellikleri ve yüzey işlem performansı üzerindeki etkilerini incelenmişlerdir.

Yüzey işlem performansı, hızlandırılmış bir hava koşulundan önce ve sonra yüzeylerde çekme yapışma testleri kullanılarak değerlendirilmiştir. Sonuçlar, aşındırıcının tane büyüklüğü sayısı arttıkça daha düzgün yüzeylerin elde edildiğini göstermiştir. Besleme hızı değiştikçe hücre hasarları ve yüzey pürüzlülüğünde küçük farklılıklar gözlemlenmiştir. Çekme mukavemeti, zımpara numarası değişikliklerinden, besleme hızından daha fazla etkilenmiştir. 7 m / dk'lık bir besleme hızına sahip bir P 100-150 zımpara boyutlu program, yaşlandırma testinden sonra iyi yapışma ve yüksek çekme mukavemeti sağlamıştır.

Cool ve Hernandez [41] ahşabın yüzey işlem performansı, yüzey hazırlandığı şekilde farklı yönlerden değerlendirmişlerdir. Planya, ağaç işlerinde en çok kullanılan işleme süreçlerinden biridir. Bu işlemin iyileştirilmesi, kaplama performansının artırılmasına önemli bir etkisi vardır. Sonuç olarak, işleme ve eğim açısının yüzey özellikleri ve yüzey işlem performansı üzerindeki etkileri kırmızı meşe ağacının planlamasını iyileştirmek amacıyla değerlendirilmiştir. Yüzey kalitesi pürüzlülük ve taramalı elektron mikroskobu ile değerlendirilmiştir. Yüzey işlem performansı, hızlandırılmış yaşlanmadan önce ve sonra yapışma kuvveti ile belirlenmiştir. 25'lik bir eğim açısı ile hazırlanan yüzeyler, daha fazla yüzey-duvar fibrilasyonuna sahip olmasından dolayı artan yüzey enerjisinden ve hava koşullarından sonra kaplama yapışmasının artmasını sağlamıştır.

Kuljich ve diğ. [42] dış mekân kullanımı için akrilik su bazlı bir kaplama uygulamasından önce siyah ladin ahşabı yüzeyinde eğik kesme, yüz frezeleme ve sarmal planya kullanılmıştır. Yüzey karakteristikleri alan taramalı elektron mikroskobu kullanılarak değerlendirilmiş ve yüzey işlem performansı 3 yıllık doğal hava koşullarına maruz kalmadan önce ve sonra çekme ölçümleri ile değerlendirilmiştir. Sonuç olarak, hava koşullarına maruz kalma sırasında erozyona maruz bırakılmış, bu da genel kalitelerini ve çekilme mukavemetini daha da düşürmüştür. Eğik kesilmiş numuneler, daha yüksek başlangıç çekme mukavemeti vermişlerdir, ancak daha yüksek yapışma kaybı ile ilişkilendirilmiştir. Sonuçlara göre, sarmal planya, 3 yıllık bir doğal yaşlandırma sonucunda, yüzey işlem uygulamalarında yapışma kaybını azaltmakta olduğunu belirtmişlerdir. Bu nedenle, yüzeye hala sıkı bir şekilde bağlanmış belli bir fibrilasyon seviyesine sahip olan yüzeyler ve açık ladinler, siyah ladin ahşap yüzeylerinde

kaplamanın mekanik olarak sabitlenmesini arttırmak için tercih edilmesi gerektiğini önermişlerdir.

Rios ve diğ. [43] çevresel düz kenar bıçak planlaması ve zımparalama ile hazırlanan siyah ladin örneklerinin yüzey kalitesi ve yapıştırma performansı incelenmiştir. Dört dalga boyu (1.5, 1.9, 3.1 ve 6.5 mm) ve dört adet eğim açısı (15, 20, 25 ve 30) periferik planlamaya yönelik olarak test edilmiştir. Zımparalama için üç besleme hızı (4, 10.5 ve 17 m / dak) ve üç farklı zımpara numarası (80, 100 ve 120) incelenmiştir. Elde edilen yüzeyler bir izosiyanat yapıştırıcısı ile yapıştırılmış ve yapıştırma performanslarını (kesme mukavemeti ve yüzde odun başarısızlığı) değerlendirmek için test edilmiştir. Sonuçlar, 20 mm'lik bir eğim açısı ve 3.1 mm'ye kadar olan dalga boyları ile planlamanın yeterli yapıştırıcı kesme dayanımı ile ahşap yüzeyler ürettiğini ortaya çıkarmıştır. 80-gritli zımpara kağıdı ile zımparalama, besleme hızından bağımsız olarak en iyi yapıştırıcı kesme mukavemetini üretmiştir. Hızlandırılmış yaşlandırmadan sonra, zımparalanan numuneler için tutkallama performansı kaybı, rendelenmiş numunelerinkiyle karşılaştırıldığında daha düşüktü. Genel olarak, zımpara işlemi, incelenen yapıştırıcı ile yapıştırılmak üzere daha iyi ahşap yüzeyler oluşmuştur.

Birinci bölümdeki literatür ile ikinci bölümdeki literatür beraber değerlendirildiğinde yüzey işlem performansı üzerinde zımparalama prosesin önemli bir faktör olduğu görülmektedir. Ancak zımparalama prosesi farklı kontrol edilebilir parametrelere sahip bir uygulamadır. Zımparalama parametreleri bant hızı, kesme hızı, zımpara numarası ve uygulama basıncı olarak değerlendirilebilir. Aynı zamanda yüzey işlem performansını etkileyen birçok faktör bulunmaktadır. Literatür çalışmalarında görüldüğü üzere yüzey işlem performansını etkileyen en önemli parametreler arasında zımparalama prosesi, boya ve uygulanan boyanın miktarıdır.

2.2. YÜZEY İŞLEM PERFORMANSINI ETKİLEYEN FAKTÖRLER

Ahşap ve ahşap esaslı malzemelerde yüzey işlem performansını etkileyen birçok faktör bulunmaktadır. Ahşap esaslı malzemelerden lif levha ve yonga levha gibi mobilya sektöründe geniş bir kullanım alanına sahip malzemelerde yüzey işlem uygulamaları, mobilya üretiminde önemli bir prosestir. Bu ürünler masif malzemelere göre daha homojen bir yapıya sahip olmaları nedeniyle, yüzey işlem performansı açısından daha kontrol edilebilir sonuçlar elde edilebilmektedir. Ayrıca, lif levha ve yonga levha ürünleri

kendi ürün grupları içerisinde farklı yoğunluklara da sahip olmakla beraber, yüzey işlem performansı; malzeme işleme şekli, yüzey işlem uygulama tipi, boya türü ve boyama prosesine bağlı parametrelerden etkilenmektedir.

Masif ağaç malzemeler ise, heterojen bir yapıya ve farklı karakteristik özelliklere sahip olmaları nedeniyle birçok faktörü yüzey işlem performansını etkilemektedir. Bu faktörler ağaç malzemenin kalitesi, anatomik yapısı, özgül ağırlığı, permaabilitesi, rutubeti, yüzey özellikleri, enteraktif madde miktarı, rengi ve işlenme özellikleri olarak sıralanabilir.

2.1.1. Ağaç Malzemenin Kalitesi

Yüzey işlem uygulanacak ağaç malzeme, reaksiyon odun içermemeli, lif kıvrıklığı ve budak oluşumu gibi kusurlar içermemelidir. Zamanla ağaç malzeme üzerindeki budakların düşmesi, yüzey işlem kalitesini düşürdüğü gibi düşen bölümlerde rutubet artışının meydana gelmesi tüm yüzey işlem görmüş malzemenin kalitesini etkileyebilir. Çünkü yüzey işlem uygulamalarında estetik, koruyucu özellikler amaçlanmasına rağmen önemli bir amaçta rutubet temasının azaltılması ya da yok edilmesidir [44, 45].

Kötü koşullar altında bekletilen masif ağaç malzemelerde çürüme, lekelenme ve ardaklanma gibi kusurlar oluşmaktadır. Yüzey işlem uygulamalarında uygulama sırasında bu kusurların olduğu bölümlerde homojen bir dağılım olmamakla beraber yüzey işlem kalitesini önemli ölçüde etkilemektedir. Özellikle renk değişiminin oluşması, yüzey işleminde yapışma direncinin düşmesi ve çürümeler meydana gelebilmektedir. Bu nedenle yüzey işlem öncesi bu tür kusurlar içeren malzemeler ayrılmalı ya da kusurların olduğu bölümler biçme sırasında kesilmelidir. Böylece bu bölümler ağaç malzemedен uzaklaştırılmış olur.

2.1.2. Ağaç Malzemenin Anatomik Yapısı

Ağaç malzeme heterojen bir malzeme olması nedeniyle, işlenme ve yüzey işlemi özellikleri de farklılık gösterebilmektedir. Ağaç malzeme işlenme sırasında teğet ve radyal yönde kesilmiş olabilir. Farklı yönlerdeki işleminde malzemenin yüzey kalitesi ve yüzey işlemi özellikleri de değişebilmektedir. Malzeme radyal şekilde işlenmesi durumunda ilkbahar ve yaz odun tabakaları dar şeritler halinde iken, teğet yüzeylerde geniş halde bulunmaktadır. Ağaç malzemedeki yaz odunun oranının artması malzemenin kalitesini düşürmekle beraber, dış hava koşullarından daha fazla etkilenmektedir. Bu

nedenle yüzey işlemi uygulanacak yüzeylerin radyal yönde olması gerekmektedir. Ayrıca yüzey işlem performansı açısından iğne yapraklı ağaçlar yapraklı ağaçlara göre daha iyi özellikler göstermektedir [45].

2.1.3. Özgül Ağırlık

Düşük yoğunluktaki ağaç malzemeler yüksek yoğunluktaki malzemelere göre daha iyi yüzey işlem performansı göstermektedir. Çünkü yoğunluğu yüksek olan malzemeler enine, radyal ve teğet yönde daha fazla çalışmaktadır ve bu durum yüzey işlemi uygulanmalarında yüzeylerde çatlama ve boya kusurlarının oluşmasına neden olmaktadır [45]. Özellikle su bazlı boya uygulamalarında malzemenin rutubetinin artması ile daralma ve genişlemeler daha fazla olması nedeniyle yüzey işlem kalitesi düşebilmektedir.

2.1.4. Permaabilite

Permaabilite, masif ağaç malzemelerde sıvıların içe ve dışarıya doğru hareketi sağlayan özelliktir. Permaabilite özelliğinin ortam ve malzeme rutubeti ile güçlü ilişkisi olmasıyla beraber, yüzey işlem uygulamalarında malzemeye nüfuzunda da önemli bir etkiye sahiptir. Özellikle yüzeye boya uygulamalarında, boyanın viskozitesinin düşmesi akıcılığı arttırmakla beraber, yüzey işlem maddesinin daha derine nüfuz etmesini sağlamaktadır [45].

2.1.5. Ağaç Malzemenin Rutubeti

Ağaç malzemedeki rutubet hem hücre çeperinde hem de hücre boşluklarında bulunmaktadır. Genellikle ağaç malzemedeki rutubet miktarı, % 25-30'dan fazla ise su hem hücre çeperi hem de hücre boşluğundadır.

% 25-30 odun rutubetinin altında lif doygunluk noktası (LDN) söz konusudur. Bu sınırlardaki ağaç malzemedeki daralma ve genişleme adı verilen çalışma meydana gelen çalışmalar oluşmaktadır. Yüzey işlem görmüş malzemelerde daralma ve genişlemeler yüzeylerde çatlama, kırılmalar ve dökülmeler meydana getirmektedir. Yüzey işlemi görmüş malzemelerde meydana gelen bu kusurların önemli sebeplerinden biride malzemenin kullanılacak ortama şartlarına uygun olup olmamasıdır. Dış mekânlarda kullanılacak malzemeler % 15-18 rutubette önerilirken, iç mekânlarda kullanılacak malzemeler % 10-12 rutubette olması önerilir.

Yüzey işlem uygulamaları, ağaç malzemelerde dış ortamdan rutubet alış verişini önleyen önemli bir uygulamadır. Ancak ağaç malzeme içerisinde yüksek oranlarda rutubet bulunması durumunda, malzeme içerisinde rutubet dışarıya çıkamamış olur. Bu durum yüzey işlem uygulamalarında önemli kusurlar oluşturabilmektedir. Çünkü ahşap malzeme dış ortamda rutubeti hızlı bir şekilde almasına rağmen, bünyesindeki rutubeti de yavaş bir şekilde uzaklaştırır [45].

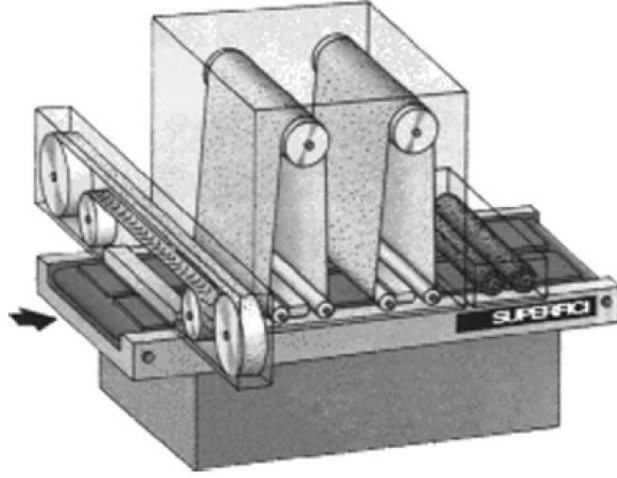
2.1.6. Yüzey Özellikleri

Yüzey işlem kalitesi için önemli olan diğer bir faktörde yüzeyin düzgün olması ve dalgalı liflerin olmamasıdır. Bir diğer faktör ise ağaç malzemenin kesim yönüdür. Teğet yönde hazırlanmış örneklerde yaz odunun etkisi ile yüzey işleme kalitesini düşürmektedir. Radyal yönde hazırlanan örnekler daha iyi sonuçlar vermektedir. Ayrıca, ağaç malzeme planlayanmış olmalı ve yüze kusurları içermemelidir [45].

2.1.7. Zımparalama İşlemi

Zımparalama işlemi yüzey işlem kalitesi açısından önemli bir faktördür. Zımparalanan ile ağaç malzemede hücre boşlukları dolması nedeniyle yüzey işlem maddesi malzeme içerisine nüfuz etmeden yüzeyde homojen bir görünüm sağlamasını sağlamaktadır [45]. Bu işlem mobilya üretim prosesinin en önemli aşamalarından birini oluşturmaktadır. Çünkü üretim hatlarında bilgisayar kontrollü bir geniş bantlı zımpara makinası olmakla beraber son yıllarda üretim hatlarında bu sayı 2 ile 4 arasında değişebilmektedir. Bilgisayar kontrollü geniş bantlı zımpara makinaları üretim proseslerinde yüzey işlem öncesi kullanıldığı gibi yüzey işlem sonrası zımparalama işlemi içinde kullanılmaktadır.

Masif ağaç malzemelerde düzgün bir yüzey elde etmek için 2 ya da 3 aşamalı zımparalama prosesinden geçirmek gereklidir. Birinci aşamada, malzemenin yüzeyinin düzeltilmesini gerektirirken ikinci aşamada, daha ince zımparalar kullanılarak yüzey işlem öncesi yüzeyi uygulanabilir hale getirilmesi gerekmektedir. Bilgisayar kontrollü geniş bantlı zımpara makinalarında masif ağaca malzemede yüzey kalitesini etkileyen birçok kontrol edilebilir faktörler bulunmaktadır. Bu faktörler zımparalama makinasının bant hızı, kesme hızı, uygulanan basıncı, zımpara türü ve numarasıdır [46].



Şekil 2.1: CNC kontrollü zımpara makinası [46].

Şekil 2.1’de görüldüğü üzere, bilgisayar kontrollü zımparalama makinası 2 yada 3 tamburlu özelliklerde olabilir. Tamburlara farklı zımparalar takılması ile 2 kademde gerçekleştirilecek olan zımparalama işleminde verimlilik kazancı sağlamaktadır. Birinci tamburdaki zımpara kaba bir zımparalama yapar iken ikinci tambur daha ince bir zımparalama işlemi yapmaktadır. Çünkü yüzey işlem uygulamalarında yüzeyde çiziklerin yada kusurların oluşmaması için kademeli bir zımparalama işlemi gerçekleştirilmektedir.

Bir diğer zımparalama makinası fırça tipi zımparalama makinasıdır. Eğri yüzeylerde zımparamın ulaşmadığı bölümlerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Şekil 2.2’de fırça tipi bir zımparalama makinası görülmektedir.



Şekil 2.2: Fırça tipi zımparalama makinası [46].

Literatür çalışmalarında görüldüğü üzere zımparalama parametreleri yüzey kalitesini etkilemektedir. Aynı zamanda malzeme türüne bağlı olarak zımparalama hızları değişebilmektedir. Genellikle, bantlı zımpara makinaları için ibreli ağaç odunlarında 15-20 m/sn, yapraklı ağaçlarda 20-30 m/sn ve yüzey işlemi görmüş vernikli yüzeylerde 10 m/sn olarak değişebilmektedir.

Genellikle masif ağaç malzemelerde liflere paralel yönde zımparalama işlemi 2 yada 3 aşamadan oluşmaktadır. Liflere paralel yönde yapılan uygulamalarda 80-240 numaralı zımparalar kullanılırken, yüzey işlemi uygulanmış malzemelerde liflere dik yönde 360-240 numaralı zımparalar kullanılmaktadır. Ancak bu uygulamalar ağaç malzemenin türüne, uygulanacak yüzey işlem maddesinin türüne ve yüzey işlemi uygulama prosesine bağlı olarak değişmektedir.

Selülozik vernikler ile masif ağaç malzemelerde yüzey işlem uygulamasında;

Akçaağaç ve kayın gibi dağınık traheli ağaçlarda boyuna yönde 2 kademeli zımpara uygulaması yapılmaktadır. Birinci aşamada 120 numaralı zımpara kullanılmakla beraber ikinci aşamada 150-180 numaralı zımpara kullanılması önerilmektedir.

Selülozik boyalar ile orta yoğunluktaki levhalarda yüzey işlem uygulamasında;

Öncelikli olarak 120 yada 150 numaralı zımparalar kullanılarak astar uygulaması yapılmaktadır. Uygulama sonrası astarın kuruma sürecinden sonra 180-220 numaralı zımpara ile uygulanmakla beraber son kat uygulamasında 360-400 numaralı zımparalar kullanılmaktadır [46].

2.1.7. Ağaç Malzemedeki Ekstraktif Madde Miktarı

Reçine oranı yüksek olan malzemelerde vernikle işlemleri sırasında renklenme gibi kusurlar oluşabilmektedir. Bu nedenle yüzey işlem uygulanacak malzemelerde reçine oranının düşük olması önemli bir faktördür.

Ekstraktif maddeler yüzey işlem uygulamalarında yüzey kusurları oluşturmalarına rağmen, dikkatli bir şekilde çalışması ile kusurlar azaltılabilmektedir. Özellikle, egzotik ağaç türlerinde ekstraktif maddeler yapışma direncini düşürmekte ve yüzey işlemi katmanının sertleşmesini önlemektedir. Bu nedenle bu maddeler belirlenmesi ve önlem alınması yüzey işlem performansı açısından önemli bir faktördür.

Bir diğer ekstraktif madde, kestane ve maun türlerinde de bulunmakta olan tanendir. Tanen rutubet ile etkileşime girdiğinde ve zımparalama sürecinde metal ile temas ettiği zaman yüzeylerde renklenmeler oluşabilmektedir. Bu nedenle ağaç malzemedeki tanen oranını belirlemesi bu tür kusurların oluşmasına engel olabilmektedir [46].

2.1.8. Renk

Yüzey işlem uygulamalarında yüzey işlem performansını etkileyen diğer önemli faktör renk ve yüzey parlaklığıdır. Ancak masif malzemelerde kendileri özgü renk ve desene sahip olmaları nedeniyle, uygulanan verniklerin yüzey dokusuna uygun olması gerekmektedir [46].

2.2. YÜZEY İŞLEMİ UYGULAMA SİSTEMLERİ

Yüzey işlem uygulamaları, genel olarak iki farklı uygulama ile mobilya sektöründe kullanılmaktadır. Bu uygulamalar sıvı yüzey işlemleri ve toz boyalardır. Her iki sistem de uygulama yöntemleri farklılık göstermektedir. Mobilya ve ahşap sektöründe en yaygın kullanım sıvı boya uygulamalarıdır. Sıvı yüzey işlem uygulama sistemleri iki prensip ile gerçekleştirilmektedir. Birinci prensip ve yaygın bir kullanım alanına sahip olan yüzey temaslı metottur. Bu yöntemde uygulanan malzeme, uygulama sistemi ve yüzey işlem

maddesi yüzeye doğrudan temas eder. Diğer prensip, boyanın küçük damlacıklar halinde atomize edilecek şekilde yüzeye püskürtülmesidir.

2.2.1. Yüzey Temaslı Metotlar

2.2.1.1. Fırçalama Metodu

Bu yöntem mobilya endüstrisinde küçük ölçekli firmalarda kullanımı yaygın ve kolay uygulanan yöntemlerden biridir. Yöntemin düşük maliyetli olması, transfer verimlilik oranlarının yüksek olması ve yatırım maliyetlerinin düşük olması gibi birçok avantaj sunmaktadır. Ancak, sipariş miktarının çok olması durumlarında ve seri üretim yapan firmalarda kullanım oranı düşük ve verimli bir yöntem değildir [47].

2.2.1.2. Emdirme Yöntemi

Bu yöntem fırçalama metodunda olduğu gibi küçük ölçekli firmalarda kullanılmakla beraber kolay bir uygulama yöntemidir. Yöntem, ahşap malzeme içine nüfuz etmesi açısından dekoratif malzemelerde kullanılmaktadır [47].

2.2.1.3. Daldırma Metodu

Daldırma metodu hem ekonomik hem de kullanışlı bir yöntemdir. Düşük viskozitede, hızlı bir şekilde uygulanması ve eğri yüzeyli parçalarda için önemli avantajlar sunmaktadır. Yöntem, malzemenin doğrudan boyaya daldırılması nedeniyle havaya karışan boya tanecikleri bulunmamasından dolayı kullanışlı bir yöntemdir. Özellikle su bazlı boya uygulamalarında çevreye zararlı maddelerin yayılmaması açısından avantajlı bir metottur. Solvent bazlı boyalarda açık alanda buharlaşma riskinden dolayı, su bazlı boyalar ile kullanımı daha uygundur. Ancak seri üretim yapan firmalar için uygun değildir. Daldırma metodu özellikle mobilya uygulamalarında, masif masa ayaklarının üretimi ve verniklenmesinde kullanılmaktadır [47].

2.2.1.4. Basınçlı Kap Uygulamaları

Basınçlı kap uygulamaları, özellikle ahşap malzemeye uygulanan koruyucu maddelerin malzemenin içine ve daha derine nüfuz etmesi amacıyla kullanılmaktadır. Bu uygulamalar dış mekân mobilyalarında ve özellikle dış ortam şartlarına maruz kalan ortamlardaki ahşap malzemenin biyolojik bozulmalara karşı korunması amacıyla uygulanmaktadır [47].

2.2.1.5. Silindir ile Boya Uygulaması

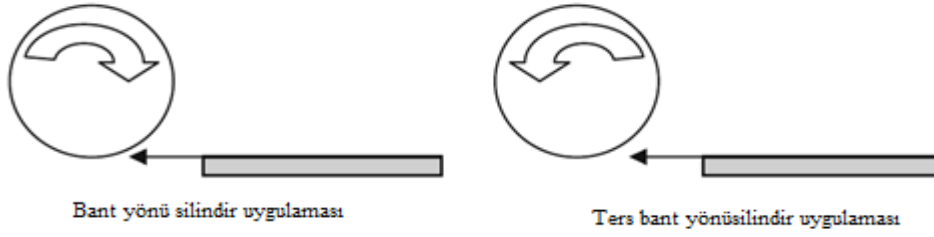
Ahşap yüzeylerde kullanılan endüstriyel silindir ile boya uygulamalarının temel prensibi uygun bir silindir ile yüzey işlem maddesini ahşap yüzeye dağıtmasıdır. Yüzey işlem maddesi basit bir şekilde rulonun yüzeye temas etmesi ile aktarılır. Bu uygulamalar su bazlı boyalarda, solvent bazlı boyalarda ve tek komponentli boyalarda kullanılabilir. Ayrıca, silindir ile yüzey işlem uygulamalarında özellikle radyon kürlenmeli uygulamalarda, yüksek viskozite ve katı madde miktarına izin verdiği için homojen yüzey ve film kalınlığı açısından iyi sonuçlar vermektedir.

Silindir ile yüzey işlem uygulamalarının avantajları şu şekilde sıralanabilir:

- Daha az boya kullanımına olanak sağlamakla beraber 1 m²'ye yaklaşık 50 gr boyaya kadar düşürebilmektedir.
- Otomatik sistemlere sahip olması nedeniyle yüksek oranda verimlilik sağlayabilmektedir.
- Yüksek viskozite ve yüksek katı madde miktarında kürlenmeli boyaların kullanılmasıyla beraber kaliteli yüzeylerin elde edilmesini sağlamaktadır
- Transfer verimlilik oranları % 100'e yakın olmaktadır.

Silindir ile yüzey işlem uygulamalarında silindirin sayısı ve yönüne bağlı olarak farklı uygulama yöntemleri de bulunmaktadır.

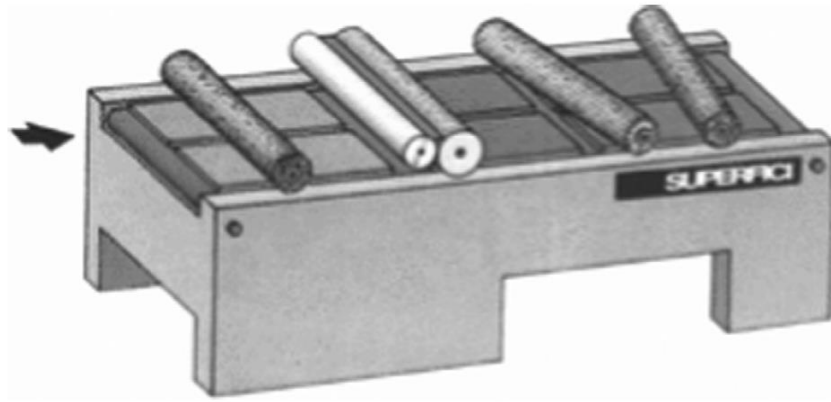
Şekil 2.3'de görüldüğü üzere yüzey işlem maddesinin yüzeye sürülmesinde hız ve aplikatör olmak üzere iki temel donanım vardır. Bu uygulamada silindirin dönüş yönü panel besleme yönü ile aynıdır. İki silindir doğrudan yada ters yönde olabilir. Bazı yüzey işlem uygulamalarında, panellerin hareket hızlarını bağımsızca kontrol edilmesine imkân verir. Bir silindirli yüzey işlem uygulamaları ahşap yüzeylerde renklendirmede, astar kat uygulamalarında ve son kat uygulamalarında kullanılır [48].



Şekil 2.3: Silindirlerin farklı yönlerdeki çalışma şekilleri [48].

2.2.1.6. Renklendirici Silindir Uygulamaları

Renklendirici silindir uygulamaları en basit silindir ile boyama sistemlerinden biridir. Bu sistem düz yüzeylerde ve astar yada dolgu uygulamalarında kullanılmaktadır. Bu uygulamalarda boyama işlemi yapılmadan önce boya silindirleri temizlenmelidir. Yüzeyle uygulanacak boya miktarları boyanın ve malzemenin türüne bağlı olarak değişmekle beraber genellikle 10-50 g/m² miktarında uygulanmaktadır.

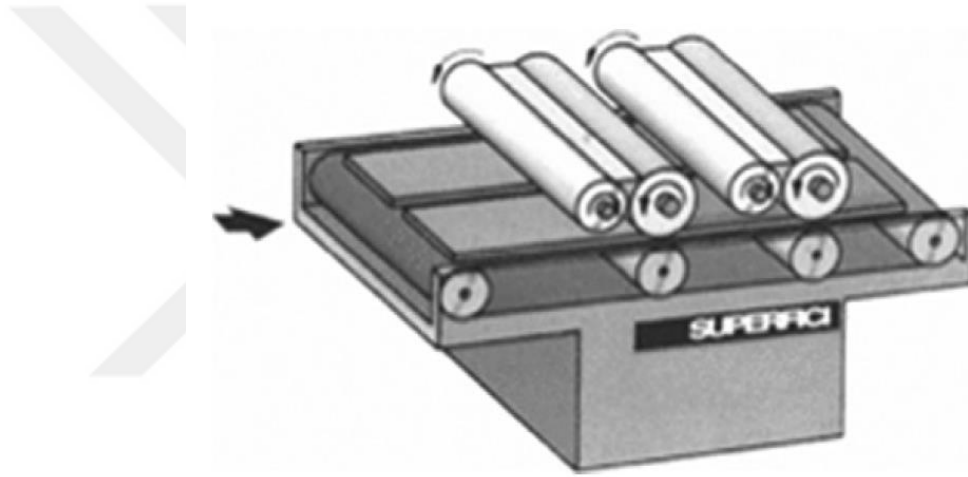


Şekil 2.4: Renklendirici silindir uygulamaları [48].

Renklendirme işleminde kullanılan bu silindirler farklı ağaç türlerinde de kullanılabilir. Özellikle meşe gibi geniş gözenekli ağaç türlerinde, renklendirici maddeler iyi bir şekilde ağaç malzemeye nüfuz etmesini sağlamakla beraber homojen bir yüzey elde edilmesinde ve yüzeyde kalacak fazla boya miktarını ortadan kaldırır. Şekil 2.4'de görüldüğü üzere boya uygulama silindirlerinin altında baskı silindirleri bulunmaktadır. Bu silindirler renklendiricinin yüzeye homojen bir şekilde dağılmasını sağlamaktadır [48].

2.2.1.7. İki Başlıklı Silindir Sistemler

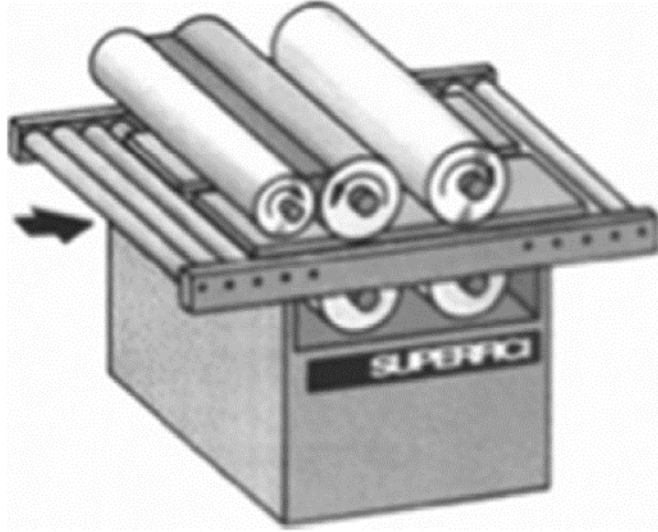
Bir başlıklı silindir uygulamalarında zımparalama işlemleri zorlaşır ve yüzey görünümünde negatif etkiler ortaya çıkar. Bu problemin bir çözümü, yüzey uygulanan boya miktarının azaltılması yada uygulama viskozitesinin azaltılması ile çözülebilir. Ancak yüzey işlem uygulamasındaki verimlilik azalır. Şekil 2.5’de iki başlıklı silindir ile donatılmış silindirik sistemlerde iki uygulama yapma imkânı sağladığı için yüzeydeki boyanın homojen bir şekilde yayılmasını yeterli bir uygulama miktarı ile sağlar. Bu sistemlerde ikinci silindir genellikle ilk silindire göre daha az boya uygulaması gerçekleştirir fakat ikili uygulamalarda daha homojen yüzeyler elde edilir [48].



Şekil 2.5: İki başlıklı silindir makinası [48].

2.2.1.8. Dolgu Silindir Sistemleri

Dolgu dairesel sistemler dozajlama, aplikatör ve düzleştirici olmak üzere üç bölümden oluşur. Bu sistemler bir silindirik sistemlere benzemektedir. Şekil 2.6’da görüldüğü üzere üçüncü merdane krom kaplı çelikten yapılmıştır ve konvör yönünün tersinde hareket etmektedir. Düzleştirici amaçlı kullanılan merdane iki ana fonksiyona sahiptir. Birinci önemli fonksiyonu; taşan yüzey işlem maddesini yüzeyden kaldırmaktır. İkinci fonksiyonu ise; tekdüze bir yüzey elde etmeyi sağlamaktır. Bu sistem aynı zamanda İtalyan yüzey işlem uygulaması olarak bilinir. Malzemeye karşı uygulanan hem farklı basınç hem de farklı hızlar ile uygulanan yüzey işlem maddesinin miktarının tam olarak düzgün bir şekilde uygulanmasını sağlar. Bu yüzey işlem uygulama sistemi yonga levha gibi malzemelerde 30-40 g/m² ilk kat uygulaması genellikle yapılmaktadır. Lif levha gibi malzemelerde 20 g/m² yüzey işlem uygulaması yapılmaktadır [48].

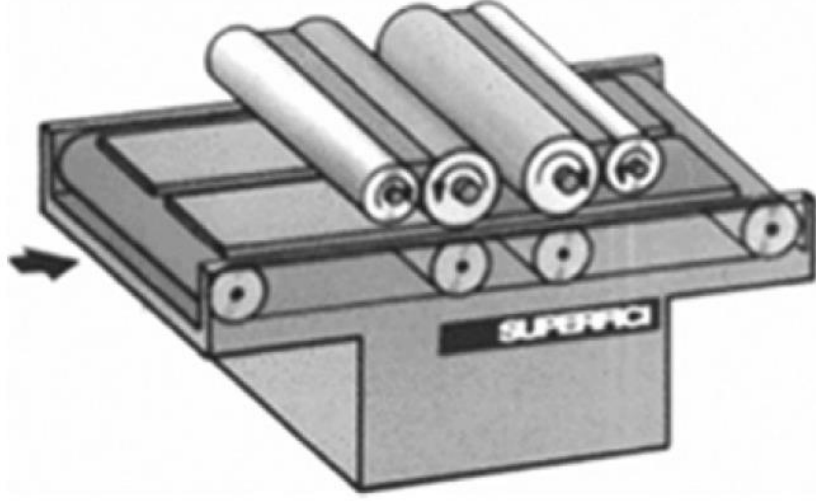


Şekil 2.6: Dolgu silindir sistemleri [48].

2.2.1.9. Ters Yönlü Silindir Sistemler

Bu sistemin ismi yüzey işlem uygulaması yapan aplikatörlerin yönünün malzeme yönüne ters uygulanmasından gelmektedir. Bu sistem dozajlama sistemini çok iyi ayarlayabilmesi nedeniyle yüzeye uygun miktarda ve doğru bir şekilde uygulanmasını sağlar. Bu sistem iki kategoriye ayrılır: (1) İki aplikatörlü sistem ve (2) dört aplikatörlü sistem olarak sınıflandırılır. İki aplikatörlü sistemlerde, yüzeye uygulanan yüzey işlem miktarı yaklaşık 30 g/m^2 ve UV son kat uygulamalarına da uygundur. Şekil 2.7’de görüldüğü üzere dört aplikatörlü sistemler ise, iki başlıklı silindirler ile kombine bir şekilde çalışmaktadır. Bu sistemlerde ikinci silindirler bir başlı silindirler gibi kullanılır. Yüzeye uygulama miktarları 10 g/m^2 ile 100 g/m^2 arasında değişmektedir. Yüzey uygulama miktarı birçok faktöre bağlı olarak değişmektedir [48]. Bunlar;

- ✓ Silindirlerin dönme hızı
- ✓ Aplikatörler ile silindirler arasındaki boşluk
- ✓ Silindirlerin yüzeye uyguladığı basınç
- ✓ Bant hızına bağlı olarak değişmektedir.



Şekil 2.7: Ters yönlü silindir sistemler [48].

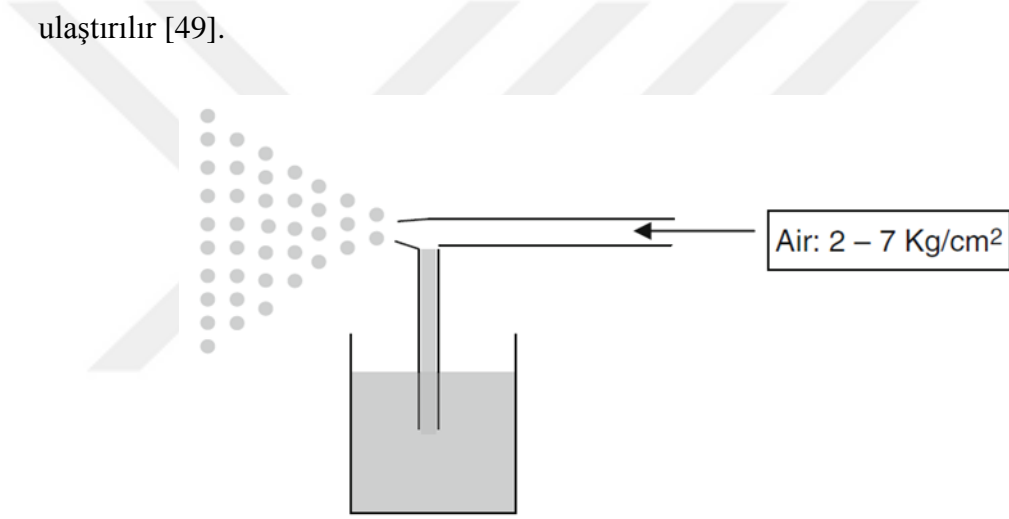
2.2.2. Atomize Sistemler

Atomize sistemler boya ve boya esaslı malzemelerde, yüzey işlem maddesinin atomize edilecek şekilde püskürtülmesi prensibine dayanır. Mobilya endüstrisinde ahşap ve ahşap esaslı malzemelerde üzerinde, kolay kullanımı ve farklı çeşit uygulamalar içermesinden dolayı yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Uygulama yapılan yüzeylerde homojen film kalınlığı oluşturması ve yüzeylerde iyi dağılması nedenleriyle birçok alanda kullanılmaktadır. Bu uygulamalar püskürtme sistemlerine dayanması nedeniyle uygulayıcı kişilerin maske ve iş güvenliği maddelerine uymasını gerektirmektedir. Birçok uygulama yöntemi ve sistemi içermesinden dolayı transfer verimlilik oranlarında farklılık gösterebilmektedir [49].

2.2.2.1. Konvansiyonel (Havalı) Püskürtme Uygulamaları

Konvansiyonel spreyci uygulamaları Dr. De Vilbiss tarafından 1890 yılında keşfedilmiş ve halen yaygın bir kullanım alanına sahip olmakla beraber, püskürtme uygulamaları olarak geniş bir tanımlamaya sahip olmuştur. Püskürtme uygulamaları manuel ve otomatik olarak çok yönlü kullanılmakla beraber birçok yüzey işlem uygulamasında da kullanılmaktadır. Bu sistemde boya havalı püskürtme tabancası ile ayarlanabilir bir memenin kullanılması ile basınçlı hava ile karışır ve atomize şekilde yüzeye püskürtülür. Bu uygulamalar, düzgün yüzeyler oluşturması ve film kalınlıklarının homojen olması gibi avantajlar sağlamasına rağmen önemli bir dezavantajı transfer verimlilik oranlarının düşük olması ve uygulamalara göre de farklılık göstermesidir.

Şekil 2.8’de görüldüğü üzere konvansiyonel sprey uygulamalarında boya tabancaları sayesinde sıvı boyanın yüzeye küçük damlacıklar halinde yayılması esasına dayanmakla beraber, boya tabancaları bir hazne, bir başlık ve bir meme kısımlarından oluşur. Tabancaya boya beslemesi beslemeli kaplı tabanca, üstten hazneli tabanca ve alttan hazneli tabanca olmak üzere üç farklı yöntem ile sağlanır. Basınçlı kaplı tabanca, yüzeye uygulanan boya 0,1-0,5 atm basınç ile hortumdan geçerek tabancaya gelir. İyi bir püskürtme sağlanır ve boya tanecikleri etrafa az yayılır. Üstten hazneli tabanca ise, uygulama yapılacak yüzeye tabancanın üstüne konulan bir hazne ve boyanın yerçekimi etkisiyle tabancayı besler ve yüzeye püskürtülür. Bir diğer yöntem olan alttan hazneli tabanca ise tabancanın altına yerleştirilen bir haznedeki boyanın emişi ile tabancaya ulaştırılır [49].



Şekil 2.8: Alttan hazneli boya tabancası görünümü [49].

2.2.2.2. Yüksek Hacimli Düşük Basınçlı (HVLP) Püskürtme Uygulamaları

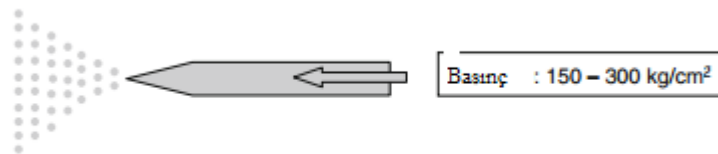
Yüksek hacimli düşük basınçlı sprey sistemleri geriye kaçan boya miktarının azaltılması ve konvansiyonel uygulamalarda % 35-% 40 olan transfer verimliliği, % 60-% 70 oranlarına yükseltmek amacıyla geliştirilmiştir. Bu sistemlerde atomize edilen boya tanecikleri konvansiyonel sistemlere göre daha iridir. Bu nedenle yüzey kalitesi konvansiyonellerden kötü beklenmesine rağmen son yıllarda geliştirilen sistemler ile yüzeyde oluşturduğu kalite konvansiyonel sistemlere yaklaşmıştır. Bu uygulamalar yüksek hacimli işler için uygun olmakla beraber operatörün uyguladığı teknik, tecrübe ve yetenekleri ile de doğrudan etkilidir. Mobilya ve ahşap endüstrisinde, uygulama yapılan örneklerde üç boyutlu ve eğrişel parçalar içermesi nedenleriyle beraber operatör özellikleri de göz önüne alındığında bu sektörlerdeki kullanımını kısıtlamaktadır [49].

2.2.2.3. Düşük Hacimli Düşük Basıncılı (LVLP) Püskürtme Uygulamaları

Yüksek hacimli düşük basınçlı sprey uygulamalarında, düşük basınçtan kaynaklı atomizasyon kalitesi düşük hacimli düşük basınçlı sistemler ile geliştirilmeye çalışılmıştır. HVLP sprey uygulamaları, yüksek hacimli hava gereksiniminden dolayı güçlü kompresörlerin kullanılmasının gerektirmesi ve uygulama yapan operatörler açısından zorluklar içermesinden dolayı LVLP sistemler geliştirilmiştir. LVLP uygulamalarda konvansiyonel uygulamalarda aynı hava tüketimi kullanıldığı belirlenmiştir. İhtiyaç duyulan hava hacmini azaltmak için, boyanın ve havanın bir kısmının tabancanın haznesinde karışması sağlamaktadır ancak bu uygulamalar tabanca üreticileri için çok uygun bir yöntem değildir [49].

2.2.2.4. Havasız Püskürtme Uygulamaları

Havasız püskürtme işleminde, ek hava olmaksızın atomizasyona neden olacak kadar hızlı bir oranda püskürtmeyi zorlamak için yüksek basınç kullanılır. Hareketli hava olmaması, iç büyük kapalı kaplar gibi çok yüksek uygulama hacimlerine ve erişemeyeceği alanlara havasız püskürtme penetrasyonunu geliştirir. Su ile taşınan boyalar solvent bazlı farklı nozullar gerektirir. Gerekli ek pompalarla ekipman daha maliyetli olmakla beraber yüksek basınç, güvenlik önlemlerine daha fazla dikkat gerektirir. Mobilyalarda havasız püskürtme potansiyel bir dezavantajı, yüksek miktarda malzeme hızla uygulanmasıdır ki kaplama kalınlığının kontrolü kaybolmaktadır [49].



Şekil 2.9: Havasız püskürtme boya uygulaması [49].

Havasız uygulama sistemlerinin avantajları aşağıdaki liste ile özetlenebilir:

- Tek geçişte yüksek kalınlıktaki tabakaları uygulama kabiliyeti
- Boşluklar veya eğrisel yüzeyler olmaksızın düz yüzeylerde yüzey işlem uygulaması için uygundur.
- Yüksek verimlilik sağlar.

- Su bazlı ve solvent bazlı yüzey işlem uygulamaları için uygundur (örneğin su bazlı boylar)
- Transfer verimlilik oranları pnömatik sistemlere göre daha yüksektir

Havasız uygulama sistemlerinin dezavantajları aşağıdaki liste ile özetlenebilir:

- Atomize edilmiş damlaların boyutları genellikle pnömatik sistemler tarafından üretilenlerden daha büyük olması nedeniyle görünüm açısından iyi sonuçlar vermez.
- Hidrolik püskürtme tabancaları genellikle pnömatik sistemlere göre daha pahalıdır.
- Yüksek uygulama oranı, örneğin açık gözenek efekti elde etmek için düşük kalınlıklı katmanların üretimini zorlaştırır. Yüzeyde kalın bir film kalınlığı bırakır.

2.3. YÜZEY İŞLEM PERFORMANSINI BELİRLEME YÖNTEMLERİ

Yüzey işlem performansının belirlenmesi iki ana başlık altında toplanabilir. Birinci başlıkta ahşap ve ahşap esaslı malzemelerde boya vernik uygulamalardan önce uygulanacak yüzey işlem maddesinin yani yaş boya testlerinin yapılması gerekir. İkinci başlıkta, yaş boya testi uygulanmış boya ve verniklerin kalitesi belirlendikten sonra, yüzeye uygulanan yüzey işlem maddesinin kuruma süreci tamamlandıktan sonra kuru film performansının belirlenmesine yönelik testleri kapsamaktadır.

2.3.1. Yaş Boya Testleri

2.3.1.1. Gözle İnceleme

Yaş boya uygulama öncesinde, boyada kaymaklaşma, jel oluşumu ve çökme durumları kontrol edilmelidir. Kaymaklaşma, boyanın yüzeyinde bir tabakanın oluşması olarak tanımlanır. Eğer kaymaklaşma söz konusu ise, boyanın yüzeyinden bu tabaka alınır ve süzülür. Jel oluşumu, boyanın kıvamı kontrol edilerek bir jel oluşumu olup olmadığı kontrol edilmelidir. Eğer bir jel oluşumu söz konusu ise, tiksotropik karıştırıcılar ile bu durum önlenmelidir. Çökme, boyada çökme ıspatula ile kontrol edilmelidir. Eğer bir çökme söz konusu ise, boya karıştırılarak çöken kısmın çözünmesi sağlanmalıdır [50].

2.3.1.2. Viskozite

Boyanın viskozitesi, yüzeye uygulama esnasında boyanın yayılma, sarkma, akma, fırça veya tabanca ile uygulanabilirliği gibi özelliklerini de etkilediğinden uygulama viskozitesinin iyi ayarlanması gerekmektedir. Gelişen boya teknolojisi ile birlikte viskozite ve viskoziteye özelliklerini ölçmek için birçok yöntem ve cihaz geliştirilmiştir. Boya ve astar ölçülmek istendiğinde akışkan ürünler için DINCUP (DIN4), FORD CUP (FORD4), viskozimetreleri, akışkan olmayan ürünler için BROOKFIELD vizkometreleri yaygın olarak kullanılırlar. DIN CUP 4 veya FORD CUP 4 ile viskozite ölçümü yapılmasında, viskozite ölçme cihazı temiz olmalı, arka arkaya ölçümler yapılıyorsa temizlenmeli ve özellikle boyanın akmasını sağlayan deliğin temizliğine dikkat edilmelidir. Su banyosunda boyanın sıcaklığı $20 \pm 0.50 \text{ C}^\circ$ ye getirilmelidir. İyice karıştırılan ve içinde hava kabarcığı olmayan boya DIN CUP içine deliği parmakla kapatılarak tamamen doluncaya kadar doldurulmalıdır. Parmak delikten çekildiği anda kronometre çalıştırılarak, kesintisiz boya akışı bitip boya damlamaya başladığı anda sıcaklık kontrolü yapılarak, kabın boşalması için geçen süre saniye olarak tespit edilmelidir [50, 51].

2.3.1.3. Yoğunluk

Ağırlık ve hacim arasındaki oranı gösteren bu değer, boyanın tüketiminin hesaplanabilmesi için gerekli olabilmektedir. Boyanın formülasyonu ve ambalajlanmasında hammaddelerin ve bitmiş boyanın yoğunlukları önemlidir. Yoğunluk genellikle 100 ml hacminde özel olarak yapılmış yoğunluk piknometre adı verilen kaplarda ölçülür. Yoğunluk kabı darası alındıktan sonra, çok az taşacak şekilde boya ile doldurulur ve kapağı kapatılır. Tekrar tartılır ve iki tartım arasındaki fark, 100 ml boyanın ağırlığı olup, hesaplanan değer kabın iç hacmine(100 ml) bölünerek yoğunluk bulunur. Ölçümler yapılırken boya sıcaklığı yine 20°C ve terazi en az 0.01 gr hassasiyetinde olmalıdır [51].

2.3.1.4. Katı Madde Miktarı

Bilindiği üzere boyayı oluşturan maddeler 4 grupta toplanır;

- Bağlayıcılar
- Pigmentler ve dolgu maddeleri

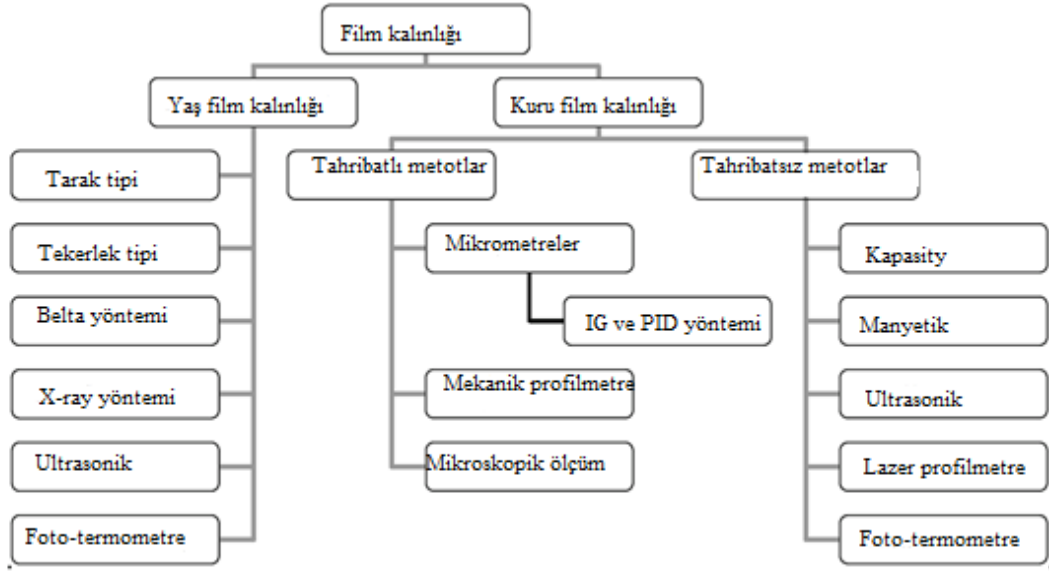
- Çözücüler
- Katkı maddeleri

Bağlayıcılar, pigmentler ve çözücü maddeler boyanın yaklaşık % 95-99'nu oluşturur. Bu nedenle katkı maddelerini göz ardı edersek boyanın katı madde miktarı boya içindeki bağlayıcı, pigment ve dolgu maddeleri miktarının toplam boya miktarına oranıdır. Bir başka deyişle, yaş boyaların uçucu olmayan kısmının kütesinin toplam yaş boya kütesine oranı, boyanın ağırlıkça katı maddesi olarak anılır. Ağırlıkça katı madde testleri, ortalama 2 gram yaş boyanın en az $\pm 0,01$ gr hassasiyetle ölçülmesinin ardından $\pm 1^\circ\text{C}$ 'deki fırında veya etüvde kurutulularak, buharlaşmayan kısmın aynı hassasiyetle tartılması ile gerçekleştirilir [52]. Katı madde miktarı özellikle, uygulama yapılacak yüzeye uygulanacak boya miktarının belirlenmesinde önemli bir özelliktir. Katı madde miktarının yüksek olması daha verimli film tabakasının oluşturulmasını sağlar.

2.3.2. Kuru Film Testleri

2.3.2.1. Film Kalınlığı

Film kalınlığı, yüzey işlem performansını ve görünümü etkileyen en önemli faktörlerden biridir. Film kalınlığı kesin bir ölçüm değildir ve film kalınlığının yanı sıra film kalınlığının dağılımlarını (profilleri) dikkate alan birçok yöntem vardır. EN ISO 2808 Boyalar ve vernikleri - Film kalınlığı tayini, uluslararası standartlardandır. Bir alt katmana uygulanan kaplamaların kalınlığının ölçülmesini içermektedir. Islak film kalınlığını, kuru film kalınlığını ve kurutulmamış toz katmanlarının film kalınlığını belirleme yöntemleri anlatılmıştır. Şekil 2.10'da kullanılan yöntemlere ait genel bir bakış sunmaktadır. Film kalınlığını ölçmek için bir mikroskop da kullanılabilir. Boya film kalınlığı ölçeri (PIG) olarak bilinen cihaz, boya filmine kama biçimli bir kesilir ve kesim daha sonra taşınabilir mikroskop altında incelenir ve kesit genişliği bir çubukla ölçülür. Kesme açısı, aletin bıçağı tarafından tanımlandığından, kesitin görünen genişliğini, trigonometrik işlemlerle film kalınlığına dönüştürmek mümkündür. Test tahribatlı olmasına rağmen, boya filmi birkaç belirgin katmandan oluşuyorsa, her tabakanın kalınlığı belirlenebilir [53].

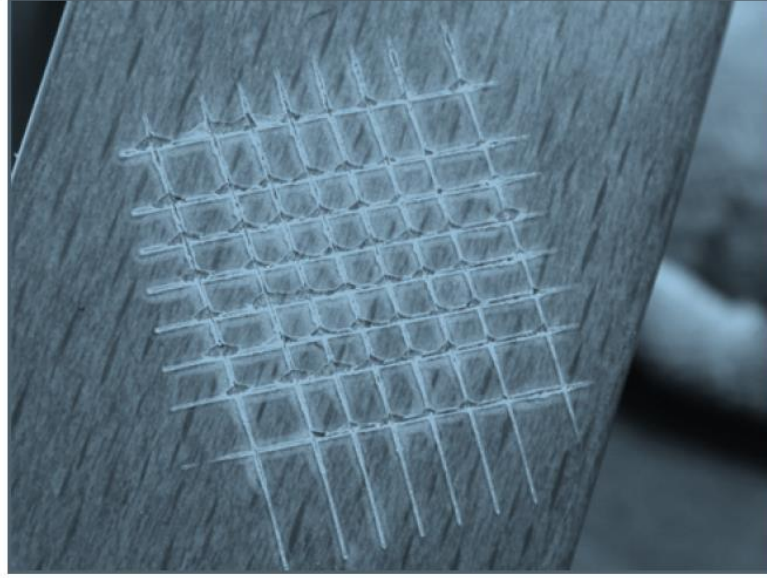


Şekil 2.10: Film kalınlığı ölçüm yöntemleri [53].

2.3.2.2. Yapışma Performansı

Yeterli yapışma, iyi kaplama performansı için temel bir gereksinimdir ve tüm direnç ve dayanıklılık özelliklerini etkilemektedir. Yapışmanın iki farklı yönü vardır: Birincisi, bir arayüz boyunca etki eden atomik veya moleküler kuvvetler ile ilgilidir; bu kuvvetler kolayca ölçülmez. Diğeri, yüzeyleri ayırmak için gereken kuvvetlerin bir ölçüsüdür (dolayısıyla normalde tahribatlı bir testtir), bu yöntem en iyi "yapışma performansı" olarak tanımlanır. Yapışmayı etkileyen önemli bir faktör, kurutma ve kürlenme nedeniyle hacim daralmasına bağlı filmin iç gerginliğidir. Uçucu organikler buharlaşması nedeniyle kayıplar önemli miktarda küçülmeyi gerektirir. Kimyasal kurutucu kaplamaların çapraz bağlama mekanizmaları serbest hacmi azaltır ve gerilmeyi artırır. Kalın film kalınlıkları ince film kalınlıklarına göre daha fazla gerilmeye neden olur. Ahşabın boyut değişimi durumunda, nem değişimine tepki olarak kaplamanın gerilmesine neden olan önemli bir rol oynar. Bu şekilde oluşan iç stresler, ayrışmaların kaplama filmlerinin kaynağı için genellikle belirleyici bir faktördür. Yapışma, özellikle açık havada kullanılan kaplamalar için ıslak koşullarda genellikle azalır. Yapışma hatalarından kaynaklanan tipik kusurlar pul pul görüntü içermesi ve kabarcıkların oluşumudur. Bu kusurlar, suyun plastikleştirici olarak veya zayıf bağlanması nedeniyle su ile temas eden yüzeylerde daha sık görülür. Bu durum ahşap ve alt tabakadaki yüzey işlem maddesi ile arasındaki yapışma

kuvvetlerini azaltır. Diğer bir yöntem ise ISO 2409 boya ve verniklerde çapraz kesme testidir. Bu testin sonucuna ait bir görünüm Şekil 2.11’de verilmiştir. Bununla birlikte, yapışma kaybı sıklıkla bir ayrılma nedeniyse de, ahşap birleşimde başarısız olursa ve özellikle de yüzey bozulursa, yapışmanın gerçekleşmediği görülür. Bu durumda, yapışmada karşılaşılan problemlerin araştırılması önem arz etmektedir [54, 55].



Şekil 2.11: Boya ve verniklerde yapışma direnci için çapraz kesme metodu [55].

2.3.2.3. Yüzey Sertlik Testi

Sertlik, bir kaplama filminin girinti oluşturmaya karşı veya katı bir cisim tarafından kaplamaya nüfuz etmeye karşı direnme kabiliyeti olarak tanımlanır [56]. Sertlik ayrıca solventlerin tutulmasına bağlı olarak kaplamanın kuru haliyle ve kimyasal kuru kaplamalar için çapraz bağlanma etkinliği ile ilgilidir. Kurutma sistemlerinin etkinliği, yeterli bir sertlik elde etmek için esastır. Kaplanmış bir yüzeyin sertliği, kaplanmış ürünün nakliye, imalat ve kullanım sırasındaki davranışını belirleyen önemli bir parametredir. Yumuşak bir yüzey paketleme veya genel kullanım sırasında kaplanmış yüzeyin zarar görmesine neden olabilir. Kaplama işleminin sonunda (örneğin, bileşenlerin istiflenmesi) gerçekleştirilen ortak işlemler veya nakliye sırasında sorunlara neden olabilir. Yüzeyin sertliği, bir miktar malzemenin mekanik davranışına da bağlıdır. Sertlik, yüzeyin darbelere, çizilmelere ve aşınma etkilerine karşı direnci olarak nihai ürünün birçok farklı özelliğini etkiler. ISO 2815, kuru bir filmin direncini değerlendirmek için kullanılan bir yöntemi açıklamaktadır. Bu testte kullanılan cihaz, Buchholz indentörü olarak bilinir.

Keskin kenarlı bir tekerleği (sertleştirilmiş alet çeliğinden imal edilmiş) içermektedir. İki ayaklı metal dikdörtgen bir bloğa monte edilmiştir.

ISO 1522, bir sarkacın salınım genliğini ölçerek boya, vernik veya ilgili ürünün kuru bir filminin sertliğini değerlendirmek için kullanılan bir sönümlenme yöntemidir [56].

Bu standartta tanımlanan iki tip sarkaç vardır:

(1) Konig sarkacı

(2) Persoz sarkacı

Her iki sarkaç da test altındaki kaplamanın üzerine oturan ve dayanak noktası oluşturan küresel toplara sahiptir. Her ikisi de aynı ilkeyi uygular, yani kaplamanın daha yumuşak olması sarkaç salınımlarının sönümlenmesine ve osilasyon genliklerinin belirli bir miktarda azaltılması için gereken süre kısalmır. ISO 15184, bilinen sertlik yollarına sahip bir dizi kurşun kalem kullanılarak organik kaplamaların sertliğini değerlendirmek için kullanılan bir yöntemi açıklamaktadır. Yüzey sertlik ölçüm test kalemleri sertliği 9H (çok sert) ile 6B (çok yumuşak) arasında değişen kalem tiplerinden oluşmaktadır. Test donanımı, bir kurşun kalem ile birlikte bir kalemle 45 ° açı ile test edilecek olan kaplamanın yüzeyi boyunca sıkıca itilirken yüzey sertliği ölçülür.

2.3.2.4. İstiflenme Testi

Yüzey sertliği ile ilgili özelliklerden biri, kaplama işleminden makul bir süre sonra bileşenlerin istiflenmesinden kaynaklı yüzey sertlik sorunlarıdır. Bileşenler, bu aşamada ya da nakliye esnasında ayrılmada hasara neden olacak kadar yeterince yapışmamalıdır. Nakliye ve istifleme problemleri güneş ışığının etkileri nedeniyle daha yüksek sıcaklıklarla istif yüzeylerinin yapışmasından dolayı daha büyük problemlere neden olabilir. Zayıf istiflenebilirlikten kaynaklanan kusurun, iki yüzeyli yüzeyler arasındaki temassız yapışma, yük altında temas halinde bırakılması olarak tanımlanır. İstiflenme testi, kullanılan bağlayıcıların tipik termoplastik davranışlarından ötürü dış ahşap kaplama sistemleri durumunda daha sık test edilir. Bu ürünlerin formülasyonu, termoplastik özelliklerin operasyonel gereksinimlerle dengelenmesi gerekir [57].

2.3.3. Boya ve Verniklere Uygulanan Mekaniksel Testler

2.3.3.1. Çizilme Testi

Çizilme direnci ölçülmesi ve değerlendirilmesi zor bir testtir. Çizilme testi kusurların sürtünmeye, aşınmaya, erozyona, aşınmaya ve mekanik kusurlar için çatlamaya kadar çeşitli terminolojiler kullanılmaktadır. Çizilme direnci, parlaklığın azaltılması, pusluluk, deformasyonun büyüklüğü, deformasyona karşı direnç, ağırlık kaybı ve renk değişikliği açısından değerlendirilebilir. Çizilmeye karşı direnç, ISO 4586 tarafından, kaplamanın yüzeyinde çıplak gözle görülebilen sürekli bir iz üreten tanımlanmış bir geometri iğnesine uygulanan minimum yük olarak tanımlanır. ISO 1518, boya, vernik veya ilgili ürünün kuru bir filminin bir iğne ile kazınarak penetrasyona direncini değerlendirmek için kullanılır. Donanım, üzerinde kaplamalı bir panelin monte edildiği yatay motorlu bir aşamadan oluşur. Ağır bir iğne, kaplanmış yüzeye dayanıyor ve bir elektrik devresinin bir parçasını oluşturmaktadır. İğne, yüzey işlem görmüş kaplamaya nüfuz ederse ve metalik alt tabaka ile temas ederse bu sayaç çalıştırılır. Test sırasında kaplanmış panel iğne altına alınır ve kaplamanın alt katmana nüfuz edip etmediğini görmek için sayaç gözlemlenir. [58-59].

2.3.3.2. Aşındırma Testi

Aşınma, doğal ya da suni vasıtaların yüzey üzerine sürtünme ya da sürtünme etkisi olarak tanımlanabilir. Sonuç yüzeyin deseni, rengi veya orijinal yönünü zımpara etkisi altında tutma kabiliyetine bağlı olarak değişir. ISO 7784-2, dönen aşındırıcı lastik tekerleği kullanarak boya, vernik veya ilgili ürünün kuru bir filminin aşınmaya karşı direncini belirlemek için tasarlanmış bir yöntemi açıklamaktadır. Kuru film, belirlenmiş şartlar altında, Taber aşındırıcısı olarak bilinen bir aşınma test cihazı kullanılarak aşındırıcı lastik tekerleklerle ile yüzey aşındırılır. Tekerlekler belirtilen ağırlıklar ile yüklenir ve test panelleri, belirli bir sayıda dönerek yüzey işlemi görmüş yüzeyin boya yada verniği kaldırır [60].

2.3.3.3. Düşürme Testi

Düşürme testleri, kullanım sırasında ortaya çıkabilecek kaza sonucu yüzeye kontak oluşmasına bağlı olarak ortaya çıkan hasarın etkilerini değerlendirir. Genellikle farklı yüksekliklerden küre veya düşen bir nesnenin test yüzeyine etkisinin doğrudan değerlendirilmesi ile gerçekleştirilirler. ISO 6272-1, standart koşullar altına düşen bir

ağırlık ile deformasyona maruz bırakılan kuru film tepkimesini tamamlamış bir boya, vernik veya ilgili ürünün bir alt tabakadan çatlama veya parçalanmaya karşı direncini değerlendirmek için kullanılır. Sonuçlar, ortaya çıkan çatlak sayısının, referans çatlak sayısı ile karşılaştırılarak değerlendirilir. Kaplanmış yüzeyler üzerindeki darbe sırasında, alt tabakanın deformasyonu ve sonuçların önemli derecede etkilenmesine neden olabilir. Kaplama filminin herhangi bir çatlama veya bölünme olmaksızın deformasyonun saçaklarındaki gerilmeye bir dereceye kadar dayanacak kadar esnek olması önem taşımaktadır. Yüzey görünümündeki değişiklikler dışında olası çatlakların üretilmesi, kir ve nemin yüzeyin içine nüfuz etmesini ve farklı kusurlara yol açmasına neden olur [60].

2.4. DENEY TASARIMI

Deneysel yaklaşımı, deneylerin planlanmasında ve uygulama sonucunda elde edilen verilerin objektif bir biçimde değerlendirilmesinde kullanılan bir yöntemdir [61]. Bir prosesin değerlendirilmesinde yada yeni bir ürünün geliştirilmesinde deney tasarımının kullanılmasıyla, proses hakkında bilgi toplanabilir, etkili parametreler ve parametrelerin arasındaki etkileşimler izlenebilir ve kalite karakteristiğinin türüne göre optimum seviyeler araştırılması temeline dayanır. Deneysel tasarımın amaçları aşağıdaki gibi özetlenebilir [62] :

- Yanıt değişken üzerindeki etkili yada etkisiz faktörlerin ortaya konması,
- Yanıt değişken yada değişkenleri etkileyen faktörlerin faktör seviyelerini araştırmak,
- Yanıt değişken yada değişkenleri varyasyonları en aza indirecek faktör seviyelerini araştırmak,
- Kontrol edilemeyen parametrenin yanıt değişkeni üzerindeki, etkisini azaltacak en az parametre seviyelerini araştırmak.

Deneysel tasarımın kullanıldığı alanlar [62]: Bir çok faktörün yanıt değişkeni üzerindeki etkisi aynı anda araştırılabilir, bu etkileri araştırırken faktörlerin arasındaki etkileşimleri belirleyebilir. Bunun yanında prosesin değerlendirilmesinde, maliyet kapsamında araştırılmasında, ürün ve süreç tasarımında kullanılır. Aynı zamanda mühendislik ve prototiplerin ilişkisini ortaya konmasında ve ürünün geliştirilmesinde tasarım parametrelerini kullanarak gerekli zamanın azaltılmasında kullanılabilir. Bu kapsamda özellikle ürün ve süreç kalitesinin iyileştirilmesinde, problemlerin ortay

konmasında, makine ve çalışma prosedürlerinin belirlenmesinde, kalibrasyon ve ölçüm ekipmanlarının, laboratuvar kabiliyetlerinin belirlenmesinde kullanılmaktadır. Farklı bir uygulama olarak, tedarikçi seçiminde, metotların karşılaştırılmasında ve ekipmanların değerlendirilmesinde kullanılmaktadır [63, 64, 65, 66, 67].

Deney tasarımı genel olarak üç ana çalışma prensibine sahiptir:

1. Deneyin rassal olarak tasarlanması: Fisher tarafından ilk olarak ortaya tartışılan bu kavram, herhangi bir kurala bağlı olmaksızın rastgele anlamını içermektedir. Deney tasarımında, deneysel hatanın ve varyasyonun azaltılmasında kullanılan bir yöntemdir[68]. Deney tasarımında parametre seviyeleri rassal olarak belirlenmekte ve değişken sayısına bağlı olarakta belirlenmektedir. Tasarlanmış bir deneyin sonuçları analiz yapıldığında hem istatistiksel hem de hataların azaltılmasında oldukça kullanışlı bir yöntemdir.
2. Deneyin tekrarlanması: Bu kavram, deneyin birden fazla rassal olarak uygulanması anlamına gelmektedir. Deneyin tekrarlanması sayesinde deneyin hatası azaltılabilmekte ve parametrelerin etkileri daha net anlaşılabilir hale gelebilmektedir [68]. Tasarlanan bir deneyin tekrar sayısı ne kadar fazla ise istatistiksel olarak güvenilirlik düzeyi daha iyi olacaktır ancak deneyin maliyeti de bir o kadar yüksek olacaktır. Ancak, bu iki kısıt birlikte değerlendirilmesi gereken bir konudur. Ayrıca deneyin tekrarlanması çevresel koşulların deney üzerindeki etkisini de düşüren önemli bir unsurdur.
3. Bloklama: Faktörlerin yanıt değişkenleri üzerindeki etkilerini varyasyonların azaltılmasını sağlayarak daha etkin bir deney tasarımı planının oluşturmasını sağlamak amacıyla kullanılmaktadır [68]. Bloklama, benzer deney unsurlarını gruplandırarak, faktörlerin ve bu faktör seviyelerinin üzerindeki etki etki derecesini ortaya koymak için kullanılmaktadır. Aynı zamanda deney sayısının fazla olduğu durumlarda deneyler aynı koşullarda aynı zaman içerisinde tamamlanamama durumları ortaya çıkabilmektedir. Deneyin daha sonraki günlerde de devam etmesi durumunda ortaya çıkabilecek hata ve varyasyonları azaltmak ve uygulamalar arasında oluşabilecek farklılıkları ortaya konması amacıyla kullanılmaktadır.

2.5. YANIT YÜZEYİ YÖNTEMİ

Ürün ve süreçlerin geliştirilmesi, belirli standartların gerektirdiği bir yapıya ulaşması, müşteri isteklerinin karşılanması gibi amaçların karşılanması için kullanılan, en önemli deney tasarımı tekniklerinden biri yanıt yüzeyi yöntemidir. Bu yöntem mevcut sistemlerin iyileştirilmesinin yanında yeni süreçlerin geliştirilmesinde ve iyileştirilmesinde de kullanılabilir.

Montgomery ve Runger'in [69] göre, belirlenen bir kalite karakteristiğinin (yanıt) farklı parametre ve seviyelerinden etkilendiği olduğu durumlarda, modelleme ve analizlerin yapılması için matematiksel ve istatistiksel yöntemlerden faydalanılarak bu kalite karakteristiğinin eniyilenmesini amaçlayan bir yöntemdir.

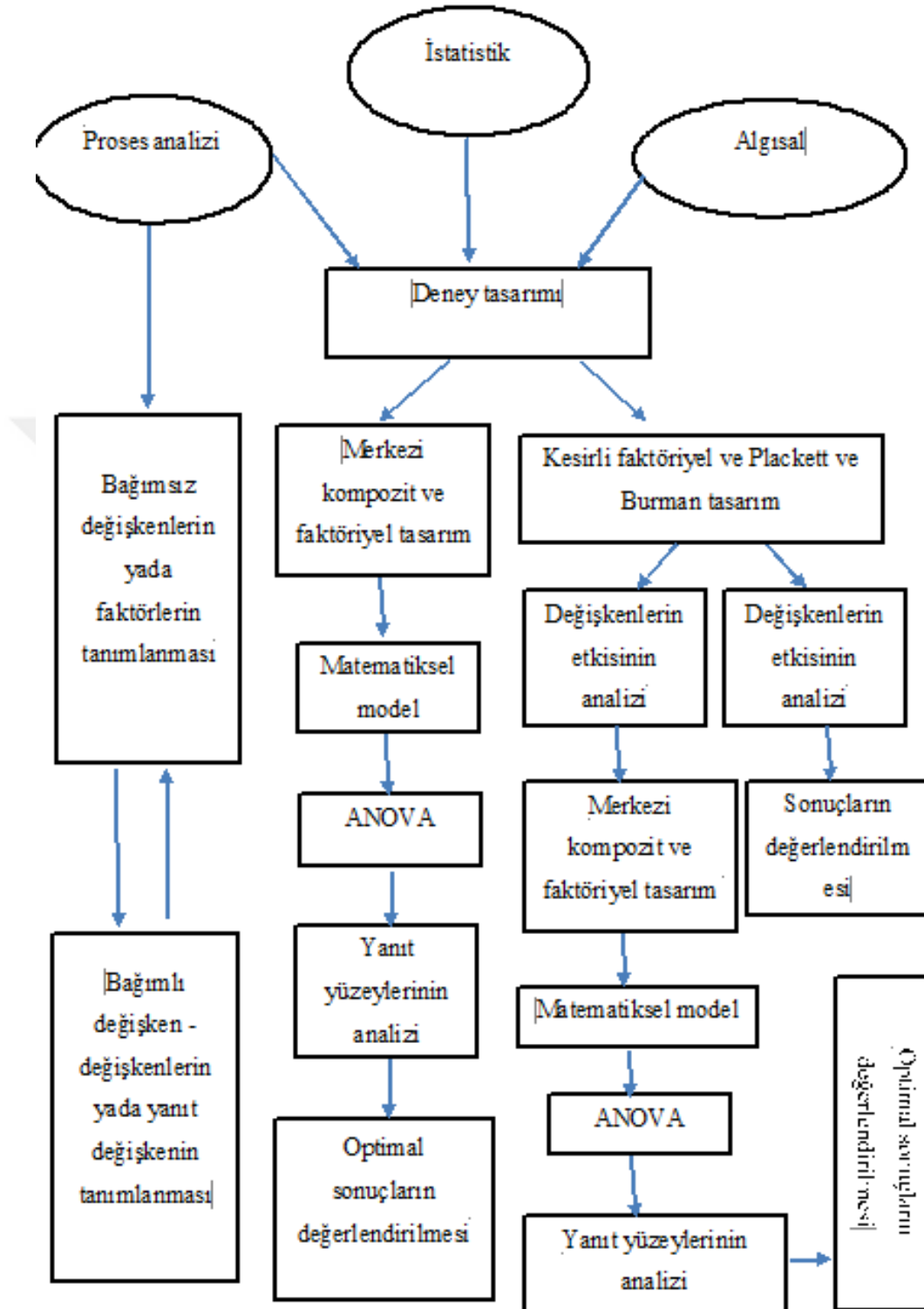
Yanıt yüzeyi yöntemi; deney tasarımı, regresyon analizi ve eniyileme tekniklerini kullanarak tasarıma uygun olarak ortaya çıkan deneysel veriler kullanılarak regresyon analizi uygulanması doğrultusunda değişkenleri ile yanıt yada yanıtlar arasındaki ilişkiyi ortaya koyar [70].

Gerçek hayat problemlerinin göz önüne alındığında ürün kalitesinden ödün vermeden, daha ucuz ve etkili yollar bularak üretim yapabilmek hedeflenmektedir. Bu amacı gerçekleştirebilmek için, yanıt yüzeyi yöntemi hem istatistiksel hem de matematiksel modelleri bir arada kullanabilmektedir [71].

Eniyileme; küçük daha iyi (smaller-the-better), büyük daha iyi (larger-the-better) veya hedef en iyi (nominal-the-best) olmak üzere üç farklı durumda değerlendirilmektedir. Hedef en iyi yaklaşımında amaç; kalite karakteristiğinin daha önce ortaya konulmuş spesifikasyon sınırları içinde hedef değere ulaşmasıdır. Küçük daha iyi ve büyük daha iyi yaklaşımlarında ise amaç; kalite karakteristiğinin en küçük ve en büyük sonuca gelebilmesi için en iyi parametre ve parametre seviyelerinin araştırılmasıdır. Bu parametrelerin çözüm uzayında aldığı değerler hem kesikli hem de sürekli olabilir. Parametrelerinin sürekli olduğu durumlarda genellikle birinci dereceden (first order) modeller kullanılmaktadır. Birinci dereceden fonksiyonların yetersiz kaldığı durumlarda ikinci dereceden modeller kullanılmaktadır. Çünkü birinci dereceden modeller fonksiyonundaki kıvrımları (curvature) tanımlamaya ve çözüm sunmaya uygun olmadığından ikinci dereceden (second order) modellere kullanılmaktadır. İkinci

dereceden modeller, çözüm uzayında araştırılan kalite karakteristiklerinin davranışlarını bir yüzey üzerinde göstererek, en iyi parametre düzeylerini bulmaya olanak sağlayacak bir esnekliğe sahiptir. Bu modeller istatistiksel bir yapıya sahip olması ve aynı zamanda matematiksel modellere sahip olması nedeniyle birçok alanda kullanılmaktadır [72, 73, 74, 75]. Yanıt yüzeyi yöntemi ile beraber kullanılması için farklı deney tasarımı metotları bulunmaktadır. Burada önemli bir konu seçilecek tasarımın uygulanacak olan proseste amacınıza uygun olması gerekmektedir. Aynı zamanda bu amacı gerçekleştirirken en az sayıda deney yapılarak ve güvenilir bir deney tasarımı geliştirilerek maliyetleri yükseltmeyecek bir tasarım seçilmesidir. Bu amaçla ikinci derece modellerde merkezi kompozit tasarım birlikte kullanılmaktadır.

Şekil 2.12’de görüldüğü üzere deney tasarımı ve yanıt yüzeyi yönteminin birlikte farklı tasarımlar nasıl kullanıldığı hakkında bir özet oluşturulmuştur. Merkezi, faktöriyel-kesirli ve Plackett ve Burman tasarımlar kullanılarak yanıt değişken üzerindeki etkileri varyans analizi ile ortaya konabilmekte ayrıca matematiksel modeller oluşturmaya olanak sağlamaktadır. Elde edilen sonuçlar ile yanıt yüzey yöntemi yada farklı optimizasyon yöntemleri ile optimum parametre seviyeleri araştırılabilmesine olanak sunmaktadır. Burada önemli olan konu beklenen çıktının parametreler ile olan ilişkisinin ortaya konmasıdır. Örneğin kesirli faktöriyel ve Plackett ve Burman tasarımlarda deneylerin bir kısmı yapılmadığı için parametreler arası etkileşimleri göz ardı edebilme durumu söz konusudur. Bu durumlarda 2^k , 3^k ve merkezi kompozit tasarımlar daha uygun olabilmektedir. Eğer parametre sayısı fazla ve etkileşimler önemli değil ise kesirli faktöriyel ve Plackett ve Burman tasarımların kullanılması deney sayısını azaltacağı için daha uygun olabilir.



Şekil 2.12: Deney tasarımı yöntemlerinin genel bir özet şeması [75].

2.5.1. Yanıt Yüzeyinin Eniyilenmesinde Kullanılan Yöntemler

2.5.1.1. İzohips Eğrileri Yöntemi

Bu yöntem hem tek yanıtlı hem de çoklu yanıt problemlerinde kullanılmaktadır. Yöntem, bir yanıt için bağımsız değişkenlerin optimum değerleri çizilen izdüşümün yani izohipslerin tepe noktası araştırılarak bulunur. Eğer amaç fonksiyonlarının birleştirilerek bir amaç fonksiyon ile tanımlanmasına izin veriyorsa bir yanıtlı çözüm olanağı sunmaktadır. Aksi durumda yani fonksiyonların birleştirilemediği durumlarda izohips eğrileri üst üste konularak değerlendirilmektedir. Ancak yanıt sayısı artarsa bu durum çözümü zorlaştırmaktadır [76].

Bu yöntem bağımsız değişken sayısının iki olduğu durumlara iyi sonuçlar verebilmektedir. Çünkü iki olan bu değişken sayısı kullanılarak iki boyutlu bir durum söz konusudur. Değişken sayısı ikiden fazla olduğu durumlarda çözüm zorlaşmaktadır [77].

2.5.1.2. Çekicilik fonksiyonu

Bu yöntem ilk olarak Harrington tarafından önerilmiştir. Uygulayıcı her bir yanıt için en küçük, en büyük değerleri ve hedef değerleri kabul edilebilir değerleri tanımlamaktadır. Çok yanıtli eniyilemesi problemlerinde çekicilik (desirability) fonksiyonu yanıtların eş zamanlı optimum parametre seviyelerinin hesaplanması için kullanılan bir yöntemidir. Bu fonksiyon birden fazla yanıtın bir fonksiyon altında hesaplama olanağı sağlaması ve arzu edilen bileşimin maksimize edilmesini sağlamaktadır. İstenebilirlik fonksiyonu ile arzu edilen değerlere ulaşıldığında, 0 ile 1 değerleri arasında bir çekicilik sonucu oluşturur ve bu değer 1'e yaklaşması arzu edilen değere yaklaştığını gösterir. Böylece bu amaç fonksiyonunun eniyilenmesi ile süreç değişkenleri için en iyi seviyeler bulunabilmektedir [78, 79].

2.5.1.3. Hedef programlama

Bu yöntemde, birçok karar probleminin amaç fonksiyonları tek bir amaç fonksiyonu olarak tanımlanır ve önem derecelerine göre öncelikleri belirlenip sırayla eniyileme araştırması yapılır. Yöntem birçok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır. İyi sonuçlar ortaya çıkarması ve uygulanması kolay olması nedeniyle etkin bir yöntemdir. Ayrıca bu yöntem uygulayıcının her bir amacın ortalama ve standart sapması için hedef değerler ve

yanıtların birbirlerine göre önem derecelerini belirleyen ağırlıklar belirlemesini olanak sağlar [80].

2.5.1.4. Robust Tasarım

Robust parametre tasarımı diğer tasarımlardan farklı olarak kontrol edilemeyen faktörler gürültü olarak adlandırılmakta ve tasarım bu kavrama göre şekillenmektedir. Başka bir anlatımla bu tasarım ana faktörlerin gürültü faktörlerde etkilenmeyecek şekilde tasarlanmasıdır. Taguchi'nin bu amacı gerçekleştirmek için kullanılan robust tasarımın iki ortogonal dizi uygulanmasını önermektedir. Bu tasarımda kontrol faktörleri için uygulanan diziye içsel (inner) dizi, gürültü (kontrol edilemeyen) faktörleri için uygulanan diziyi dışsal (outer) dizi olarak tanımlanmaktadır.

Tasarımın performansı hedeflerin ortalama ve varyansı bilgisi içeren sinyal-gürültü oranı hesaplanarak ölçülmektedir. Bu yöntemin avantajı, prosesi etkileyen ancak kontrol edilemeyen faktörleri de hesaba katarak ve bu faktörlerden etkilenmeyecek kadar iyi bir tasarım yapılmasını olanak vermesidir. Ancak bu yöntemin dezavantajı, sinyal-gürültü oranının uygun olmaması, parametrelerini modellenmesinde esneklik oluşturmaması, tasarım maliyetinin yüksek olması, optimum düzeylerin belirlenmesinde karşılaşılan sorunlardır [81].

2.5.1.5. Yapay Zekâ Algoritmaları

Sezgisel algoritmalar, bir amacı gerçekleştirmek için farklı alternatif metotları ve kriterleri kullanabilen algoritmalarlardır. Bunlar, çözüm uzayında optimum çözüme yakınsaması ispatlanamayan algoritmalar olarak tanımlanır. Bu algoritmalar yakınsama özelliğine sahiptir ama kesin çözümü garanti edemezler. Ancak kesin çözümün yakınındaki bir çözümü garanti edebilirler.

Sezgisel algoritmalar;

- Optimizasyon problemi, kesin bir çözümü olmayan bir problem olabilir.
- Karar verici açısından sezgisel algoritmalar, anlaşılır ve basit bir yapıya sahiptir.
- Bu algoritmalar, öğrenme amaçlı ve kesin çözümü bulma işlemiyle beraber kullanılabilen bir yapıya sahiptirler.

Sezgisel algoritmaların değerlendirilmesinde;

- Çözüm kalitesi ve problemi çözme süresi algoritmaların değerlendirilmesinde önemli bir kıstastır. Etkin algoritmalarda, parametreler ayarlanabilir olmalı ve bu parametreler kullanıcı açısından maliyet ve çözüm zamanının dengesini oluşturabilmelidir.
- Algoritmaların çalışma prensibi basit ve uygulanabilir olmalıdır. Çözümü aranan problem hakkında az bir bilgiye sahip olunsa bile çözümü sağlayabilmelidir.
- Problemin çözümünde kullanılan algoritmalar, oluşturulan modelde kısıtlarda ve amaç fonksiyonunda yapılacak değişiklikleri kolayca karşılayabilmeli ve esnek olmalıdır.

Birçok sezgisel algoritmalar, probleme dayalı algoritmalarlardır. Bir algoritma, bir problemi iyi bir performans ile çözerken başka bir problem için aynı şekilde başarılı çözüm gerçekleştiremeyebilir. Bu nedenle, problemlerin çözümünde daha genel uygulanabilen algoritmaların geliştirmesi devam etmekte ve her geçen gün algoritmaların sayısı artmaktadır. Son 30-40 yılda bu yeteneğe sahip birçok algoritma geliştirilmiştir. Bu algoritmalar; biyolojik, sosyal, zooloji, fizik, bilgisayar ve karar verme gibi yaklaşımlardan geliştirilmiştir. Bu nedenle bu tür algoritmalara, modern sezgisel yaklaşımlar yâda yapay zekâ yaklaşım adı verilmektedir [82, 83, 84, 85]. Bu algoritmalarından en yaygın olanları; yapay ısıl işlem, tabu araştırma algoritması, genetik algoritma, karınca koloni algoritması, yapay bağışıklık algoritması ve diferansiyel gelişim algoritmasıdır. Ayrıca, yapay sinir ağları ve bulanık programlama da, problemlerin çözümünde optimum seviyelerin araştırılmasında kullanılmaktadır. Yapay ısıl işlem algoritması fizik biliminden, tabu araştırma algoritması zeki problem çözenin genel kurallarından esinlenerek geliştirilmiştir. Genetik algoritma ve yapay bağışıklık algoritması ise biyoloji biliminden türetilmiştir. Karınca koloni algoritması, karınca kolonilerinin davranışlarını izleyerek geliştirilmiştir.

Son yıllarda deney tasarımı yöntemleri ile yapay zeka optimizasyon algoritmaları birlikte kullanılmaktadır. Özellikle farklı mühendislik problemlerinin çözümünde bu iki yöntemin birleştirilmesi ile oluşan modeller yaygın bir kullanım alanı bulmuştur [86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99]. Özellikle literatürde yapılan çalışmalar değerlendirildiğinde genetik algoritma, yanıt yüzey yöntemi ve istenebilirlik fonksiyonu birlikte kullanılmıştır. Buradaki amaç daha az sayıda deney ile proses hakkında daha fazla

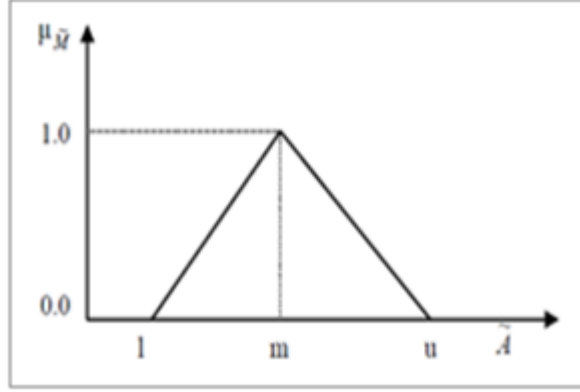
bilgi toplayabilmek ve farklı optimizasyon teknikleri kullanılarak optimum parametre seviyelerinin bulanmasını sağlamaktır. Çalışmalara genellikle metal ve alüminyum yani ahşap dışı malzemelerin CNC tezgâhlarında işlenmesi üzerine yoğunlaşmıştır. Bu tez kapsamında uygulanan bu yöntemler ahşap esaslı malzemeler için kullanılmış ve değerlendirilmiştir.

2.6. GENİŞLETİLMİŞ BULANIK ANALİTİK HİYERARŞİ SÜRECİ YÖNTEMİ

Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) birçok alanda kullanılan çok kriterli karar verme yöntemleri arasındadır. Ancak klasik AHP yöntemi, belirsizlik şartlarda, karar vermede yetersiz olabilmektedir. Ayrıca bu yöntem, uzman kişi ve kişilerinin görüşlerini yansıtsa da, insani düşünme mantığını yansıtamamaktadır. Çünkü gerçek uygulamalar karmaşık bir yapıya sahiptir. Bu dezavantajları üstesinden gelebilmek için bulanık AHP yöntemi geliştirilmiştir. Bu yöntem sayesinde, sözel değerlendirmeler sayısallaştırılarak karar verme sürecindeki belirsizliğin ortadan kaldırılabilir [100].

1965 yılında Lotfi A. Zadeh tarafından ilk kez bulanık küme kavramı ortaya atılmıştır. Devamlı üyelik derecesine sahip nesnelere kümesi bulanık küme olarak adlandırılmaktadır. Bu kümeler, her nesneyi 0 ile 1 arasında üyelik derecesine sahip üyelik fonksiyonu olarak tanımlamaktadır [101]. Bulanık sayılar ise dışbükey, normalleştirilmiş, sınırlı sürekli üyelik fonksiyonu olan ve gerçel sayılarda meydana gelmiş bulanık küme olarak tanımlanır.

Bulanık AHP yönteminde ikili karşılaştırmalarda uygulayıcılar üçgen bulanık sayıları kullanmaktadır. Ayrıca bulanık sayıların özel bir çeşidi olup (l, m, u) olarak tanımlanan üç tane gerçek sayı olarak tanımlanır [102]. (l, m, u) parametreleri en küçük olası değeri, en olası değeri ve en büyük olası değeri göstermektedir. Üçgen bulanık sayının gösterilişi Şekil 2.13' de verilmiştir.



Şekil 2.13: Bulanık-Mantık üçgen bulanık sayı gösterimi [103].

$$\mu(x/\tilde{M}) = \begin{cases} 0, & x < l, \\ \frac{x-l}{m-l}, & l \leq x \leq m, \\ \frac{u-x}{u-m}, & m \leq x \leq u, \\ 0, & x > u \end{cases} \quad (2.1)$$

$A=(l_1, m_1, u_1)$ ve $B=(l_2, m_2, u_2)$ iki bulanık sayı olacak şekilde oluşturulursa, üçgen bulanık sayılarının toplamı, çarpımı ve ters işlemleri aşağıdaki şekilde hesaplanacaktır:

$$A \oplus B = (l_1 + l_2, m_1 + m_2, u_1 + u_2) \quad (2.2)$$

$$A \otimes B = (l_1 \cdot l_2, m_1 \cdot m_2, u_1 \cdot u_2) \quad (2.3)$$

$$A^{-1} \approx \left(\frac{1}{u_1}, \frac{1}{m_1}, \frac{1}{l_1}\right) \quad (2.4)$$

Birçok bulanık AHP yöntemi bulunmakla beraber bu çalışmada Chang (1996) tarafından geliştirilmiş yöntem kullanılmıştır.

$X_n=1,2,\dots,n$ bir nesnel kümesi ve $U_m=1,2,\dots,m$ de bir amaç kümesi ise, her nesne bir amacı gerçekleştirmektedir. Bu sayede, m tane genişletilmiş değer elde edilir ve şu şekilde tanımlanır:

$$M_{g_i}^1, M_{g_i}^2, M_{g_i}^3, \dots, M_{g_i}^m \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (2.5)$$

$M_{g_i}^j$ ($j = 1, 2, \dots, m$) değerleri üçgen bulanık sayılardır. Chang'ın metodu aşağıda özetlenmiştir:

1.Adım:i. nesne için bulanık değer;

$$S_i = \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \otimes \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \right]^{-1} \quad (2.6)$$

S_i , i. amacın sentez sonucunu M_{gi}^j amaca yönelik genişletilmiş değeri gösterir.

2. Adım: $\tilde{M}_1 = (1_1, m_1, u_1)$ ve $\tilde{M}_2 = (1_2, m_2, u_2)$ iki üçgen bulanık sayı ise $\tilde{M}_2 \geq \tilde{M}_1$ eşitliğinin olabilirlik derecesi:

$$V(\tilde{M}_2 \geq \tilde{M}_1) = \sup[\min(\mu_{\tilde{M}_1}(x), \mu_{\tilde{M}_2}(y))] \quad (2.7)$$

$\tilde{M}_1 = (1_1, m_1, u_1)$ ve $\tilde{M}_2 = (1_2, m_2, u_2)$ konveks bulanık sayılar iken daha geniş bir ifadeyle:

$$V(\tilde{M}_2 \geq \tilde{M}_1) = \text{yükseklik}(\tilde{M}_1 \cap \tilde{M}_2) = \mu_{M_2}(d) \quad (2.8)$$

$$= \begin{cases} 1, & \text{eger } m_2 \geq m_1 \\ 0, & \text{eger } 1_1 \geq u_2 \\ \frac{1_1 - u_2}{(m_2 - u_2) - (m_1 - 1_1)}, & \text{diğer durumlarda} \end{cases} \quad (2.9)$$

3.Adım: Konveks bir bulanık sayının k adet bulanık sayıdan, M_i ($i=1, 2, \dots, k$), büyük olabilirlik derecesi:

$$V(M \geq M_1, M_2, \dots, M_k) = V[(M \geq M_1) \text{ ve } (M \geq M_2) \text{ ve } \dots (M \geq M_k)] \quad (2.10)$$

$$= \min V(M \geq M_i), \quad i = 1, 2, 3, \dots, k$$

Bu durumda S_j için varsayımlar:

$$k = 1, 2, \dots, n; \quad k \neq j \text{ için } d'(A_i) = \min V(S_i \geq S_k) \quad (2.11)$$

Ağırlık vektörü A_i ($i = 1, 2, \dots, n$) n elemandan oluştuğu ve:

$$W' = (d'(A_1), d'(A_2), \dots, d'(A_n))^T \quad (2.12)$$

4.Adım: Normalizasyon ile normalize edilmiş vektör W' 'nin bulanık bir sayı olmadığı aşağıdaki denklem ile tanımlanır.

$$W = (d(A_1), d(A_2), \dots, d(A_n))^T \quad (2.13)$$



3. MALZEME VE YÖNTEM

Tez çalışması kapsamında yüzey işlemi ve yüzey işleme uygulamaları Eczacıbaşı Vitra grubunda uygulanmış ve yüzey işlem performans değerlerinin ölçümleri İstanbul Üniversitesi Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü Ahşap Yüzey Değerlendirme ve Kalite İyileştirme Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Firmada uygulanan UV boya uygulamaları toplam üretimin yaklaşık % 10'nu oluşturmaktadır. UV boya hatları yüksek yatırım maliyetlerine gerektirmesine rağmen, üretim hacimlerinin yüksek olması durumunda, boya tasarrufu, üretim süresinin azaltılması ve daha iyi ürün kalitesi sağlanması nedenlerinden dolayı tercih edilmektedir.

Tez kapsamında UV boya hatlarının daha etkin kullanılabilmesi amacıyla prosesi etkileyen faktörler ve kalite karakteristikleri belirlenerek optimum parametre değerleri araştırılmıştır. Bu amaçla (1) öncelikle mevcut prosesin belirlenen kalite karakterlerine göre değerlendirilmesi gerçekleştirilmiştir, (2) kalite karakteristikleri ve prosesi etkileyen parametreler belirlenmiştir, (3) kalite karakteristiklerini “en büyük en iyi” ve “en küçük en iyi” optimizasyon problem esasına göre eniyi faktör düzeyleri yanıt yüzey yöntemi, istenebilirlik fonksiyonu ve genetik algoritma kullanılarak belirlenmiştir.

3.1. PROSESİN ÖZELLİKLERİ

3.1.1. Kalibre Zımpara Uygulaması

Kalibre zımpara uygulaması, UV boya hattı uygulamalarından önce kullanılacak olan malzemelerin kalibre edilmesi ve yüzeylerin düzgünlüğünün sağlanması amacıyla uygulanan bir prosestir. Yüzey işlem uygulamalarında en kritik prosesler arasında yer almaktadır. İstenilen yüzey kalitesinin oluşmaması durumunda, boya uygulanan yüzeylerde zımpara, dip çıkması, renk farklılıkları, malzeme sarfiyatının artması ve portakallanma kusurları oluşabilmektedir. Ayrıca ahşap yüzeyin zımparalanma sonrası boyanın yüzeye tutunmasında önemli bir rol oynamaktadır.



Şekil 3.1: Kalibre zımpara ve UV boya hattında hazırlanan örneklerin görünümü.

Firmada kullanılmakta olan kalibre zımpara makinası MSC marka olup, iki tamburdan oluşmaktadır. Birinci tambur istenilen kalibre değerine getirilmek amacıyla kullanılırken ikinci tambur yüzey kalitesinin iyileştirilmesi amacıyla kullanılmaktadır. Ayrıca boya hattı prosesinde örneklerin hazırlanmasında kullanılmak üzere bir kalibre zımpara makinası bulunurken, boyanın örneklerin yüzey düzgünlüğünün sağlanması amacıyla da prosesin sonunda da bir kalibre zımpara makinası bulunmaktadır. Böylece üretim hattının başında ve sonunda birer tane olmak üzere toplamda benzer teknik özelliklere sahip 2 adet kalibre zımpara makinası bulunmaktadır. Proseste hazırlana örneklere ait bir görünüm Şekil 3.1’de verilmiştir. Kalibre zımpara makinasının kontrol edilebilen parametrelerin firmada uygulanan çalışma değerleri ve katalog değerleri Tablo 3.1’de verilmiştir.

Tablo 3.1: Kalibre zımpara makinasının parametreleri ve değerleri.

Parametreler	Veri Tipi	Uygulama Değerleri	Katalog Değerleri
Bant hızı	Kontrol Edilebilir	5 m/dak	1 m/dak - 15 m/dak
Kesme hızı	Kontrol Edilebilir	14 m/sn	3 m/sn-20 m/sn

Tablo 3.1 (Devam): Kalibre zımpara makinasının parametreleri ve değerleri.

Zımpara türü	Kontrol Edilebilir	Al ₂ O ₃	SiC - Al ₂ O ₃
Uygulama Basıncı	Kontrol Edilebilir	0.5 psi	0.5 – 2 psi

Prosesin ikinci bölümüne ait kalibre zımpara makinasının parametreleri ve değerleri Tablo 3.2’de verilmiştir.

Tablo 3.2: Proses sonu kalibre zımpara makinasının parametreleri ve değerleri.

Parametreler	Veri Tipi	Uygulama Değerleri	Katalog Değerleri
Bant hızı	Kontrol Edilebilir	5 m/dak	1 m/dak - 15 m/dak
Kesme hızı	Kontrol Edilebilir	6 m/sn	2 m/sn-12 m/sn
Zımpara türü	Kontrol Edilebilir	320-500-600	(320-500)-(320-500-600)
Uygulama Basıncı	Kontrol Edilebilir	0,1 psi	0,1 – 1,5 psi

3.1.2. UV Boya Hattı Prosesi

Kalibre zımpara makinasında yüzey düzgünlüğü sağlanan örnekler, daha sonra UV boya hattında yüzey işlem uygulaması gerçekleştirilmektedir. UV boya uygulamalarında kullanılan macun ve vernikler UV lambalar ile yarı ve tam kurlenmeli özelliğine sahip lambalar ile kurutulması sağlanmaktadır. Ayrıca bant hızı belirlenen değerlere göre hızları değiştirilebilmektedir. Bu durum boyanın hızlı kurummasını sağlamakta ve darboğazların oluşmasını da engel olmaktadır. UV boya hattına ait bir görünüm Şekil 3.2’de verilmiştir.



Şekil 3.2: UV boya hattına ait bir görünüm.

UV boya hattı dört bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde, kalibre zımparada işlenen parçalar; yüzey işlemi için UV boya hattına aktarılmaktadır. Bu makinanın dozajlama sistemine bağlı olarak yüzeye uygulanacak macun (astar) maddesi istenilen miktarda sürülebilmektedir. UV hattında macunun akışını ve MDF yüzeylerde yüzeyin dolmasını sağlamak amacıyla ters yönde çalışan merdane prensibi ile ahşap parçaların üzerine macunun sıkıştırılarak sürülmesi sağlanmaktadır. Firma uygulamalarında, bu bölümde yüzeye yaklaşık 62 g/m^2 macun uygulanacak şekilde dozajlama sistemi ayarlanmaktadır.

İkinci bölümde; %50 yarı kürlenme sıcaklığı ile lambalar altından geçen örnekler kısmen kuruması sağlanmaktadır. Üçüncü bölümde, MDF yüzeyleri macunla dolan örneklere, yüzeyde düzgün ve homojen bir görüntü sağlaması için yüzeye 23 g/m^2 dolgu verniği %100 kürlenme sıcaklığı ile sürülerek kuruması sağlanmaktadır. Yüzeye uygulanan dolgu verniği merdane sistemi ile macun uygulanan yüzeylere sürülmesi sağlanmaktadır.

Dördüncü bölümde macun ve dolgu verniği uygulanan yüzeyin tam kurumasının sağlanması için % 100 kürlenme sisteminde kurutma bölümünde tam kuruması sağlanmaktadır. Bu bölümde ışık şiddeti tam olarak verilmekte ve yüzeylerin kuruması sağlanmaktadır.

Beşinci bölümde ise, tam kuru halde bulunan yüzeyler kalibre ve zımparalama işlemi için prosesin sonundaki kalibre zımpara makinasında tekrar zımparalanmaktadır.

Zımparalamanın diğerk bir amacı, yüzey kusurların ortadan kaldırılması, homojen ve yeknesak bir görünümünün elde edilmesidir.

Yukarıda bahsedilen işleme aşamaları, parçanın diğerk yüzeyi içinde aynı şekilde uygulanmaktadır. Uygulamada iş parçası üzerinde uygulanan işlemler parçanın diğerk yüzeyi içinde yapılmaktadır. UV boya hattı prosesinde kontrol edilebilen ve kontrol edilemeyen faktörler Tablo 3.3’de verilmiştir. UV boya hattında tüm prosesi içeren faktörleri, faktörlerin özelliklerini, proses değerlerini ve katalog değerleri göstermektedir.

Tablo 3.3: UV boya hattı prosesinin parametreleri ve değerleri.

Parametreler	Veri Tipi	Uygulama Değerleri	Katalog Değerleri
Bant Hızı	Kontrol Edilebilir	5 m/dk	3 m/dk-8 m/dk
Macun (Astar) Miktarı	Kontrol Edilebilir	80 gr/m ²	40 gr/m ² -200 gr/m ²
Işık Şiddeti	Kontrol Edilemez	%50-%100	%50-%100
Vernik Miktarı	Kontrol Edilebilir	20 gr/m ²	10 gr/m ² -100 gr/m ²
Lamba Türü	Kontrol Edilemez	UV Lamp	UV Lamp
Silindirlerin Sıkıştırma Oranı	Kontrol Edilebilir	0,2 psi	0,1 psi-2,00 psi
Silindirlerin Piston Basınçları	Kontrol Edilemez	3 psi	1 psi-5 psi

3.1.3. Püskürtme Boya Uygulaması

UV boya uygulamasından sonra, boyalı yüzeylerin düzgünlüğünün sağlanması ve kalitenin artırılması amacıyla 320-500-600 kumluk zımparalarda yüzey işleme prosesinden geçmektedir. Yüzey düzgünlüğü sağlanan iş parçaları son kat boya uygulamaları yapılmaktadır. Konvansiyonel sprey uygulamalarında boya tabancaları sayesinde sıvı boyanın yüzeye küçük damlacıklar halinde yayılması esasına

dayanmaktadır. Yüzeğe uygulanan boya 0,2 atm basınç ile hortumdan geçerek tabancaya iletilerek yüzeylere uygulanır. İyi bir püskürtme sağlanır ve boya tanecikleri etrafa az yayılır. Son kat boya uygulamalarında yüzey uygulanan boya miktarı 300 g/m²-400 g/m² aralığında değişmektedir. Uygulana yaş boya prosesinden sonra kurutma odalarında belirlenen oda koşulları sağlanarak iş parçalarının kuruması sağlanmaktadır. Son kat boya uygulaması su perdeli kabinlerde gerçekleştirilmektedir. Boya uygulamasından sonra örneğin kuruması ve dinlenmesi için iklimlendirme odalarına oda koşullarında bekletilmektedir.

3.1.4. Macun ve Verniğin Özellikleri

Kullanılan macun UV ışınları ile kürlenen, kolay zımparalanma özelliğine sahip şeffaf bir macundur. Macun sürülmesi UV boya makinası uygulamaları için uygundur. Zımparadan ve kalibreden geçirilmiş MDF yada yonga levha üzerine kolayca uygulanabilir. UV macununa ait özellikler Tablo 3.4'de verilmiştir.

Tablo 3.4: UV macununun özellikleri.

Viskozite	Yoğunluk	Katı madde miktarı	Yöntem	Uygulama koşulları
1150-1550 poise 20°C	1,58-1,65 gr / cm ³	% 100	Silindir	15°C - 30°C, %40- %70 RH

Kullanılan poliüretan UV dolgu verniği, akrilat oligomeri içeren, UV ışınlarıyla sertleşebilen şeffaf dolgu verniğidir. UV boya makinalarına uygun ve farklı merdane sistemlerine göre tasarlanmıştır. Zımparadan ve kalibreden geçirilmiş MDF/Yonga levha üzerine kolayca uygulanabilir. UV dolgu verniğine ait özellikler Tablo 3.5'de verilmiştir.

Tablo 3.5: UV dolgu verniğinin özellikleri.

Viskozite	Yoğunluk	Katı madde miktarı	Yöntem	Uygulama koşulları
90-110 sn / DIN CUP 6 / 20°C	1,05-1,15 gr / cm ³	% 80	Silindir	15°C - 30°C, %40- %70 RH

3.1.5. Uygulanan Boyanın Özellikleri

Alkid reçineleri içeren, iki bileşenli, poliüretan esaslı beyaz, parlak bir boyadır. Boya, poliüretan yapısı sayesinde fiziksel yönden sert, kimyasal yönden ise su, deterjan ve ev kimyasallarına karşı dirençli filmler oluşturur ve iyi bir elastikiyet özelliğine sahiptir. İç kullanım amaçlı mobilyaların MDF ve kaplamalı ahşap yüzeylerine poliüretan, doymamış polyester astarlar üzerine uygulanabilir. Poliüretan boyaya ait özellikler Tablo 3.6'da verilmiştir.

Tablo 3.6: Poliüretan boyanın özellikleri.

Viskozite	Yoğunluk	Katı madde miktarı	Yöntem	Uygulama koşulları
110-120 sn / DIN CUP 4 / 20°C	1.00-1.04 gr / cm ³	% 46-50	Püskürtme	15°C - 30°C, %40-%70 RH

3.1.6. Malzemenin özellikleri

Çalışmanın gerçekleştirildiği firmada banyo dolapları üretimi gerçekleştirilmektedir. Yüzey işlem ve kaplama uygulamalarında, kullanım alanı yüksek oranda rutubet içermesinden dolayı kalite ekibi, belirlediği kalite spesifikasyon değerlerine göre orta yoğunlukta lif levha (MDF) ve %5-%8 rutubet değerlerinde çalışılmaktadır. Belirlenen limitler dışında olması durumunda parti ret edilmektedir. Belirlenen kriterler Tablo 3.7'de verilmiştir. Çalışmada kullanılan örnekler kalite ekibi ile beraber seçilmiştir. Tablo 3.7'de verilen özelliklere uygun MDF örnekleri kalite departmanı çalışanları ile beraber seçilmiştir. Ayrıca MDF'lere ait teknik özellikler Tablo 3.8'de verilmiştir.

Tablo 3.7: MDF özelliklerinin seçim kriterleri.

Yoğunluk	Rutubet	Görünüm	Yüzey yapısı	Kalınlık	Yüzey sağlamlığı
730 ± %7 kg/m ³	%5-%8	*Hareli yapı olmaması *Keskin görünümler içermemesi	*Yüzeyin düzgün olması *Eğrilik olmaması Çökme olmaması	18 mm	1,4 N/mm ² yüksek olması

Tablo 3.8: MDF teknik özellikleri.

Su alma	Çekme dayanımı	Eğilme dayanımı	Elastikiyet modülü	Vida tutma
%40 max	≥0,55 N/mm ²	≥20 N/mm ²	≥2200 N/mm ²	≥800 N

3.1.7. Uygulanan Yüzey İşlem Performans Testleri

3.1.7.1. Yapışma Testi

Tez çalışmasında, uygulanan yüzey işlem maddelerinin yapışma direncinin belirlenmesinde pnomatik esaslı test cihazı kullanılmıştır. Yapışma direnci ölçümüne ASTM D 4541 standardına göre yapışma direnç değerleri bulunmuştur. 25 cm x 40 cm x 1,8 cm boyutlarındaki her bir örneğin yüzeyinden ölçüm alınmıştır.



Şekil 3.3: Yapışma testi uygulamasına ait bir görünüm.

Uygulamaların gerçekleştirilmesinde, yüzeylere 20 mm çapında doliler çift bileşenli epoksi tutkal kullanılarak yüzeye yapıştırılmıştır. Oda koşullarında gerçekleştirilen uygulamalarda, yüzeye yapıştırılan doliler 3 gün süre ile bekletilmiştir. Kurama sürecini tamamlama örnekler, silindirik bir keskin bıçak yardımıyla dolilerin etrafındaki yüzey işlem maddesinin temizlenmesi sağlanmıştır. Dolilerin etrafındaki fazlalıkların temizlenmesi aşamasından sonra, Positest-AT test cihazı ile doliler ahşap yüzeylerden koparılmış ve kopma anındaki değer kayıt altına alınmıştır. Yüzeylerden en az 30 ölçüm olacak şekilde uygulamalar gerçekleştirilmiştir. Uygulama ait görünüm Şekil 3.3’de verilmiştir.

3.1.7.2. Sertlik Testi

Tez çalışmasında, sarkacın salınım genliğini ölçerek boya, vernik veya ilgili ürünün kuru bir filminin sertliğini değerlendirmek için kullanılan bir sönümlenme yöntemi uygulanmıştır. ISO 1522 standartlarına göre gerçekleştirilen uygulamalarda, pendulum sertlik test cihazı uygulanmıştır. Uygulanan standartta, koning sarkacı kullanılmıştır. Bu sarkaç yüzey işlem görmüş malzemelerde daha iyi sonuç vermesi ve yüzeyde kayma oluşturmaması nedeniyle seçilmiştir.



Şekil 3.4: Sertlik testi uygulamasına ait bir görünüm.

Uygulamaların gerçekleştirilmesinde, 10 cm x 10 cm x 1,8 cm boyutlarında parçalar hazırlanarak yüzey işlem görmüş parçalar üzerinde çalışılmıştır. Örnekler cihaza yerleştirilmeden önce, kalibrasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Kalibre işlemi, 40 saniyede 100 salınım verecek şekilde uygulanmıştır. Örnekler yerleştirildikten sonra test başlatılmış ve salınım sayıları kayıt altına alınmıştır. Her bir parçadan en az 30 ölçüm alınarak istatistiksel dağılımları incelenmiştir. Şekil 3.4’de sertlik testine ait bir uygulama verilmiştir.

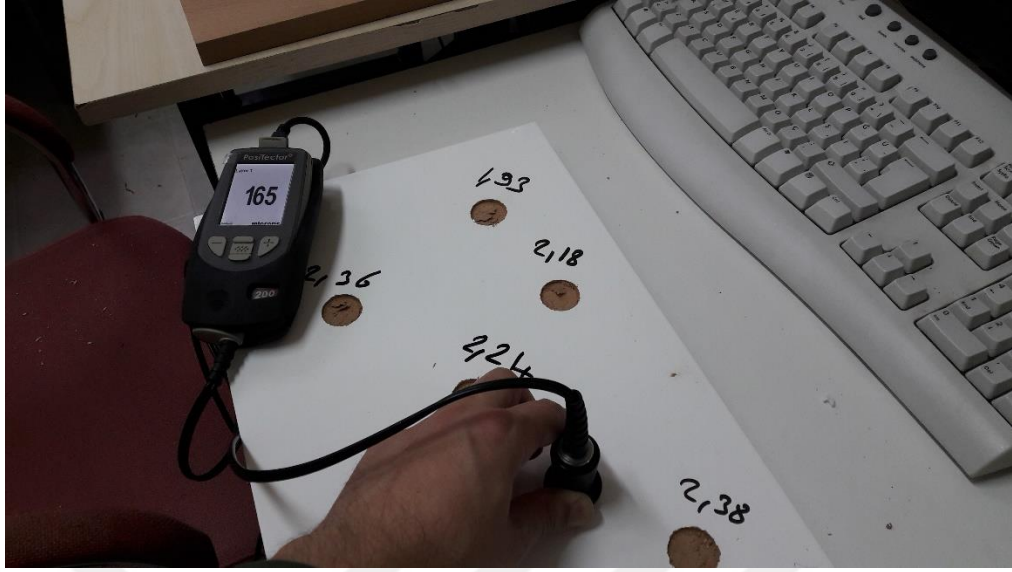
3.1.7.3. Film Kalınlığının Belirlenmesi

Tez çalışmasında, film kalınlıklarının belirlenmesinde iki farklı yöntem bir arada kullanılmıştır. Bunlar ultrasonik ve mikroskobik ölçüm yöntemleridir. Ultrasonik yöntem tahribatsız bir metot olup, yüzey işlem maddesine herhangi bir tahribat oluşturmamaktadır. Ayrıca aynı yüzeyden birden fazla ölçüm alabilmesi nedeniyle daha doğru sonuçlar oluşturabilmektedir. Ancak bu yöntem parçaya gönderilen sesin belirli bir

yol aldıktan sonra tekrar geri dönemsine bağlı bir prensibiyle çalıştığı için, özellikle ahşap malzeme gibi heterojen yüzeylerde ve özelliklede pürüzlü yüzeylerde yanlış sonuçlar ortaya çıkabilmektedir. Bu dezavantajı aşmak için iki farklı yöntem birlikte kullanılmıştır. Birinci yöntem ahşap yüzeylerdeki, pürüzlülük değerlerinin belirlenerek, ultrasonik cihaz üzerindeki dalda boylarını değiştirilmesi yöntemi uygulanmıştır. İkinci yöntem ise, tahribatlı bit metot olan mikroskopik kesme metodu ile katman kalınlıklarının yaklaşık değerleri belirlendikten sonra, ultrasonik cihaz üzerindeki, dalga boyu parametresinin değiştirilerek doğru sonuçlara ulaşılmıştır. Ayrıca sonuçların doğruluğunu test etmek için mikroskopik yöntem ile tekrar ölçüm alınarak sonuçlar teyit edilmiştir.

Ultrasonik cihaz ile ölçüm için uygulamaların gerçekleştirilmesinde DeFelsko kuru film kalınlık ölçer Test cihazı kullanılmıştır. EN ISO 4624 standart kullanılarak film kalınlıkları belirlenmiştir. Yüzey işlem görmüş örneklerin yüzeyleri temizlendikten sonra ve cihazdaki dalga boyu parametresi ayarlandıktan sonra ölçümler gerçekleştirilmiştir. Ölçümlerin gerçekleştirilmesinde yüzeylerin farklı noktalardan en az 30 ölçüm alınarak değerlendirmeler yapılmıştır.

Mikroskopik cihaz ile ölçüm için uygulamaların gerçekleştirilmesinde, EN ISO 2808 Boyalar ve vernikleri - Film kalınlığı tayini, standarttı uygulanmıştır. TQC PID III test cihazı kullanılmıştır. Film kalınlığının belirlenmesinde kullanılan cihaz, boya filmine kama biçimli bir kesit alındıktan sonra mikroskop altında incelenir. Kesme açısı, aletin bıçağı tarafından tanımlandığından, kesitin görünen genişliğini, trigonometrik işlevlerle film kalınlığına dönüştürmek mümkündür. Test tahribatlı olmasına rağmen, boya filmi birkaç belirgin katmandan oluşuyorsa, her tabakanın kalınlığı belirlenebilmektedir. Şekil 3.5'de ultrasonik test cihazı kullanılmasına ait bir uygulama verilmiştir.



Şekil 3.5: Tahribatsız film kalınlığının belirlenmesine ait bir görünüm.

3.1.8. Prosesin Kalite Karakteristikleri ve Faktörleri

Yapılan çalışmada, kalite karakteristiklerinin belirlenmesinde, özellikle yüzey işlem uygulamalarında önemli kalite problemi olan yapışma direnci, sertlik direnci ve film kalınlığı üzerine odaklanılmıştır. Bu amaçla, kalite mühendisleri, bölüm sorumlusu ve yüzey işlem birim sorumlukları ile yapılan görüşmeler sonucunda, literatürde yapılan çalışmalar ve geçmişte ortaya çıkan yüzey kusurları göz önüne alınarak kalite karakteristikleri belirlenmiştir.

Kalite karakteristiklerinin belirlenmesi aşamasından sonra, bu parametreleri etkileyen faktörlerin seçimi üzerinde araştırmalar yapılmıştır. Bu amaçla, literatürde yapılan çalışmalar, kalite mühendisleri, birim sorumluları ve bilirkişi görüşleri göz önüne alınarak balık kılçığı diyagramı kullanılarak proses parametreleri belirlenmiştir. Yüzey işlem öncesi uygulanan kalibre zımpara işlemi ve UV boya hattı işleminin parametreleri birlikte değerlendirilmiştir. Yapılan görüşmeler sonucunda parametrelerin kalite karakteristikleri üzerindeki etkilerinin net bir şekilde gözlenebilmesi için proses ikiye bölünerek değerlendirilmiştir. Kalibre zımpara ve UV hattı parametreleri, prosesin birinci bölümünü oluşturmaktadır. İnce kalibre zımpara ve yaş boya uygulama parametreleri ise prosesin ikinci bölümünü oluşturmaktadır. Prosesin birinci ve ikinci bölümü için oluşturulan balık kılçığı diyagramı Şekil 3.6'da verilmiştir.

Tablo 3.10: Prosesin ikinci bölümüne ait faktörler ve seviyeleri.

Faktörler	Alt seviye	Üst seviye
Bant hızı	4 m/dk	7 m/dk
Kesme hızı	4 m/sn	14 m/sn
Zımpara türü	320-500	320-500-600
Boya miktarı	350 gr/m ²	500 gr/m ²

Prosesin kalite karakteristikleri yüzey yapışma direncini, film kalınlığı ve yüzey sertliği değerlerini etkileyen girdi parametrelerinin araştırılmasına deney tasarımı yöntemi kullanılmıştır. Bu amaç için, bir önceki bölümde belirlenen proses parametreleri, bir deney tasarımı dizaynı olan merkezi kompozit tasarımı ile deney planı gerçekleştirilmiştir.

3.1.9. Merkezi Kompozit Tasarım (CCD)

Box ve Wilson tarafından ortaya atılan ve daha sonra Box ve Hunter tarafından geliştirilen merkezi kompozit tasarım Box-Wilson merkezi kompozit tasarım olarak bilinmektedir. Bu tasarım 3 seviyeli faktörlerin sağladığı tasarımsal bilgiyi sağlarken, tam faktöriyel tasarımlara göre daha az sayıda deneyle yanıtlar üzerinde bilgi sağlamayabilmektedir [104]. Merkezi kompozit tasarım, faktöriyel tasarımların bazı dezavantajlarını avantaja çeviren alternatif bir yöntemdir. Ancak faktöriyel tasarımlarda tüm faktörlerin etkileşimleri göz önüne alınırken merkezi kompozit tasarımlarda bazı etkileşimler göz önüne alınmaz. Merkezi kompozit tasarım, bir deneysel çalışmada az bir deneysel tasarımla, proses yada deney hakkında daha fazla bilgi alınmasını sağlamaktadır.

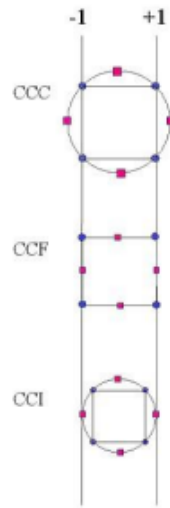
Merkezi kompozit tasarımda 2^k faktöriyel ve 2^{k-1} kesirli faktöriyelden oluşan, grafiksel şekiller oluşturmaya olanak sağlayan merkezi noktalar ($n_0 \geq 1$) ve eğimin tahmin edilmesinin yıldız noktaları sağlayan bir tasarımdır [104].

Merkezi tasarımlar;

- Küp noktalar 2^k faktöriyel ve 2^{k-1} kesirli faktöriyelden (k faktör sayısı)

- Yıldız noktalar olarak bilinen aksenal noktalardan
- Merkez noktalardan oluşur.

CCD tasarımının en önemli özelliği α (alfa) değeri olarak bilinen ve merkezden aksellere doğru uzaklığı belirleyen bir katsayıdır. Bu tasarımda aksenal noktalar alfa değerine bağlı olarak, faktöryel tasarımdan farklı olarak 5 seviyeye kadar bir tasarım oluşturur. Böylece farklı matematiksel modellerin oluşmasına olanak sağlar. Alfa değeri, tasarımın özelliğine ve faktör sayısına bağlı olarak değişebilmektedir. Bir merkezi kompozit tasarımın grafiksel görünümü Şekil 3.7’de verilmiştir. Bu görünümde daire üzerinde gösterilen aksenal noktalar, merkezden uzaklığı ve parametre sayısına göre değişkenliği ifade etmektedir. Standart bir CCD tasarımı dairesel bir simetriye sahiptir. Bu tasarımların oluşabilmesi için her bir faktörün 5 seviyesi gerekmektedir. CCF tasarım ise aksenal noktaların, parametrelerin düşük (-1) ve yüksek (+1) seviyeleri ile aynı düzeyde olduğu tasarımı gösterir. Bu tasarım faktör seviyelerinin 5’e uygun olamama ve deney şartlarının uygun olmaması durumlarında kullanılmaktadır. Ayrıca, faktör seviyelerinin belirli sınırlar kapsamında uygulanması gerektiği durumlarda ise aksenal noktalar faktörlerin düşük ve yüksek seviyeleri arasında oluşturulan tasarım CCI olarak adlandırılmaktadır [105, 106].



Şekil 3.7: Merkezi kompozit tasarım türleri [104].

Merkezi kompozit tasarım, grafiksel çözümler sunabilen ve merkez noktaları içeren bir deneysel tasarım metodudur. Her bir parametre için merkez noktadan uzaklık ± 1 birimdir.

Yıldız noktaların belirlenmesinde, faktöriyel noktaların dışında $\pm\alpha$ birimdir. Bu değer aşağıdaki denklem ile hesaplanır:

$$\alpha = \left[\frac{2^{k-f} (n_f)}{n_s} \right]^{1/4} \quad (3.1)$$

Denklemde, n_f deneyin tekrar sayısını, n_s axial noktaların tekrar sayısı, f kesirli deney sayısı ve k faktör sayısını göstermektedir. Şekil 3.8’de merkezi kompozit modelinin deneysel tasarım noktaları ile beraber bir görünüşü verilmiştir. Bu tasarımın en büyük avantajı, ana tasarımı içeren küp noktaların dışında da deneysel tasarıma izin vermesidir. Ayrıca bu noktalar sayesinde, merkezi kompozit tasarım döndürülebilirlik özelliği sağlamaktadır. Değişken sayısına (k) ve merkezi noktadan yapılan deney sayına bağlı olarak hesaplanan α değerleri Tablo 3.11’de verilmiştir.

Tablo 3.11: Değişken sayısı ve merkezi noktalara bağlı α değerleri [106].

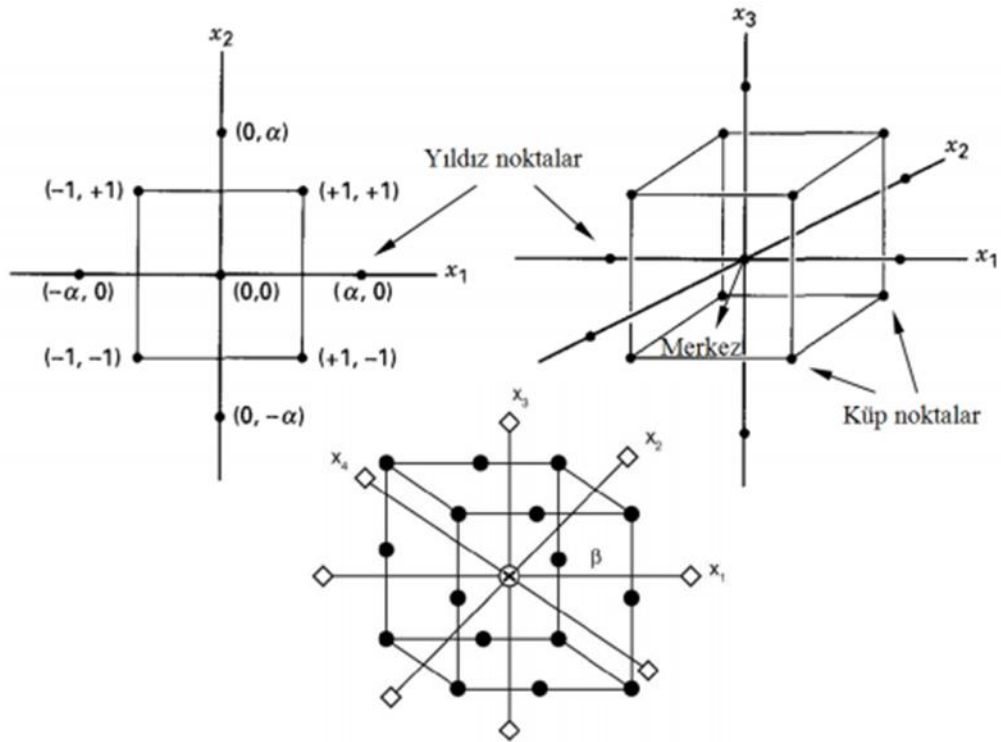
Değişken Sayısı									
	2	3	4	5	5	6	6	7	7
Tasarım	2^2	2^3	2^4	2^5	2^{5-1}	2^6	2^{6-1}	2^7	2^{7-1}
A	1,414	1,682	2,00	2,378	2,00	2,828	2,378	3,33	2,828
n_0	5	6	7	10	6	15	9	21	14

Değişken değerlerinin sınırları belirlendikten sonra faktöriyel tasarım için ± 1 , merkez noktalar için 0 ve aksenal noktalar için $\pm\beta$ olarak kodlanır. Kodlanan değerlerin hesaplanma şekli Tablo 3.12 verilmiştir.

Tablo 3.12: Faktörlerin gerçek değerlerinin hesaplanması [105].

Kod	Faktörlerin (değişkenlerin) gerçek değeri
$-\beta$	X_{min}
-1	$[(X_{max} + X_{min})/2] - [(X_{max} - X_{min})/2\alpha]$
0	$(X_{max} + X_{min})/2$
+1	$[(X_{max} + X_{min})/2] + [(X_{max} - X_{min})/2\alpha]$
$+\beta$	X_{max}

Tabloda verilen kodlanmış değerlerin hesaplanmasında kullanılan X_{max} X 'in en büyük değeri, X_{min} X 'in en küçük değerini göstermektedir.

**Şekil 3.8:** Merkezi kompozit tasarımın deneysel tasarım noktaları [105].

Merkezi kompozit tasarımların diğer önemli bir avantajı, problemin doğrusal modeller ile açıklanamaması durumlarında, ikinci dereceden matematiksel denklemlerin

çözülmesinde kullanılmaktadır. İkinci dereceden matematiksel model denklemini aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır:

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i X_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} X_i^2 + \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^k \beta_{ij} X_i X_j + \varepsilon \quad (3.2)$$

Matematiksel denkleme göre; Y tahmini yanıt, x_i ve x_j değişkenler, β_0 a sabit katsayı, β_i , β_{ii} ve β_{ij} lineer, ikinci dereceden ve iki terimli etkileşim katsayıları ve ε hata terimidir.

Deney tasarımı uygulamalarında doğrusal bir modelin oluşturulmasında faktöriyel ve merkezi noktalar kullanılabilir. Ancak tasarıma merkezi ve aksenal noktaların eklenmesi ile merkezi kompozit tasarım ikinci dereceden denklemin modellenmesini sağlayabilir. Özellikle, ikinci dereceden denklemin kuadratik terimlerinin tahminin ortogonal bloklama ve döndürülebilirlik özelliği ile sağlayabilir [107, 108].

Ortogonal bloklama özelliği ile blok etkilerinin bağımsız olarak tahminlenmesini ve regresyon katsayıları arasındaki varyasyonun en küçüklenmesini sağlar. Döndürülebilir özelliği ile tasarım merkezinden eşit uzaklıkta olan noktaların sabit tahmin varyansını sağlamakta, bu durum tahmin hatasını azaltmaktadır.

Tez çalışmasında bu yöntemin uygulanmasındaki nedenleri;

- Prosesin değerlendirilmesinde ve deney tasarımının uygulanmasında iki aşamada gerçekleştirilen çalışmada, prosesin birinci bölümü için 5, ikinci bölümü için 4 toplamda 9 faktörün yanıtlar üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Faktör sayısının fazla olması deney maliyetlerini ve sürelerini etkilemesinden dolayı;
- Firmanın proses değerlerini merkez kabul edilip alt ve üst seviyelerini araştırma olanağı sunan bir yöntem olması;
- Bu tasarım yaklaşımda orta seviyeleri göz önüne alması nedeniyle birinci ve ikinci dereceden polinomal modellerin oluşmasına olanak sağlaması;
- Uygulama yapılan hattın faktör ve faktör seviyelerinin, tasarıma uygun olması;
- Ana tasarım noktalarının dışında parametre seviyeleri için deneysel bir tasarım olanağı sunması;
- Deney tasarımının uygulanmasında yapılacak olan deneylerin aynı gün içerisinde tamamlanmaması, sonuçların ölçülememesi ve rassal bir sırayla sunmasından ve

deneyler arasında bloklama yapılmasına uygun olmasından dolayı merkezi kompozit tasarım seçilmiştir.

3.1.9.1. Deney Sayısının Belirlenmesi

Deney sayısının belirlenmesi, özellikle deneyin kaç kere tekrarlanacağı ile doğrudan ilişkili olmakla beraber, literatürde yapılan çalışmalarda deney sayısının belirlenmesine yönelik çok az bilgiye rastlanılmıştır. Deney tekrar sayısının artması, yapılacak deney sayısını artmasına, deney maliyetlerin yükselmesine ve sürenin uzamasına neden olmaktadır. Ancak deneyin tekrarlanması deneyin güvenilirliği açısından da önem teşkil etmektedir. Bu nedenle deney sayısının ve tekrar sayısının hesaplanması önemli bir konudur.

Örnek hacminin hesaplanmasının amacı deneydeki tekrar sayısının belirlenmesidir. Tekrar sayısının belirlenmesi için, bir değişkenin spesifik değerleri arasında regresyon katsayısının belirlenmesi gerekmektedir [109]. Bu çalışmada merkezi kompozit dizaynlarda bir tekrarlı deney sayısının hesaplanması denklem 3.2’de verilmiştir.

$$N = n_{cube} + n_o + n_{star} + n_{axial} \quad (3.3)$$

Bir tekrarlı deney sayısının hesaplamasında N ; deney sayısını, n_{cube} ; küp sayısını, n_o ; merkez noktaların sayısını, n_{star} ; yıldız noktaların sayısı, n_{axial} ; eksen sayısını gösterir.

Merkezi kompozit tasarımlarda tekrar sayısı aşağıdaki eşitlik ile hesaplanmıştır [109]:

$$n \geq \frac{1}{2\eta^2 + n_{cube}} \left(\frac{t_{\alpha/2} \sigma_{\epsilon}}{\delta} \right)^2 \quad (3.4)$$

Denklemden, n ; tekrar sayısını, n_{cube} ; küp sayısını, δ ; kabul edilebilir hata, σ_{ϵ} ; standart hata, η ; yıldız noktasını göstermektedir.

3.1.9.2. Faktör Seviyelerinin Belirlenmesi

Faktör seviyelerinin belirlenmesinde literatürde herhangi bir yöntem belirtilmemiştir. Yaygın olarak kullanılan yaklaşım, prosesin gereksinimlerine uygun seviyelerin belirlenmesi, geçmiş tecrübelerden faydalanılması, kalite ekibin karşılaştığı problem göz önüne alınması ve kullanılan makinaların firmaları tarafından önerilen değerlerin birlikte değerlendirilmesi gerekmektedir. Örneğin; malzemelerin kalibre zımpara uygulamalarında

yüzey düzgünlüğün sağlanmasında bant hızının 4-10 m/dak olması önerilir. Ancak makinanın bant hızı 1-20 m/dak hızlarına kadar çıkabilir. 1 m/dak ile yapılan örneklerin çok yavaş hareket etmesi üretim planlanmada problemler oluştururken 20 m/dak hızla çalışılmasında örneklerin parçalanmasına, iş güvenliği ile ilgili problemlere yol açmasına neden olabilir.

Bu belirtilen nedenlerden dolayı parametre seviyeleri belirlenirken kalite karakteristikleri ile ilişkili olarak parametrelerin seviyeleri belirlenmiştir. Bunlar;

- Prosesin birinci bölümünde kalibre zımpara uygulamalarında, uygulama esnasında yüzeyde çizik oluşmaması, yüzeylerin parçalanmaması, parçaların makinada işlenmesi sırasında iş güvenliği açısından sorunların oluşturulmaması (parçaların makinadan fırlaması, çalışanların makine hızına bağlı olarak yaralanmalar oluşturmayacak vb.), gereğinden fazla hızlı çalıştırılmasına bağlı olarak malzeme üzerinde sıcaklık artışının olmamasına dikkat edilmiştir.
- Prosesin ikinci aşamasındaki faktör seviyeleri belirlenirken, kullanılan macun ve vernik miktarının gereğinden az olması durumunda yüzeyi kapatamaması gibi sorunlar oluşturmayacak seviyenin seçilmesi, aynı zamanda gereğinden fazla sürülmesi durumunda da yüzeyde akmaların oluşmasına neden olmayacak seviyeler belirlenmiştir.
- Prosesin diğer aşamasında, macun ve vernikleme işleminden sonra yüzeylerden temizlenmesi ve düzgünlüğün sağlanması amacıyla ince kalibre zımpara uygulamasında, yüzeylerde çizik oluşturulmaması, yüzeydeki kaplama malzemesini yüzeyden kaldırmaması ve zımpara izlerini oluşturmayacak seviyeler belirlenmiştir.
- Prosesin son aşamasında, son kat kat boya uygulamasında yüzeyi kapatabilecek miktarda uygulanmasını, gereğinden az uygulanmamasına bağlı olarak dip çıkması gibi kusurlara yol açmamasına ve gereğinden fazla boya uygulamasına bağlı olarak yüzeyde boya akıntısı oluşturmayacak miktarda faktör seviyeleri belirlenmeye çalışılmıştır.

3.1.10. Model Seçimi ve Analizi

Bir önceki bölümde merkezi kompozit tasarımlarının önemli bir özelliği olan farklı derecelerden polinomal matematiksel modellerin oluşturulmasını olanak sağlaması olarak

belirtildiği. Kullanılan deney tasarımına bağlı olarak elde edilen regresyon denklemlerinin modeli oluştururken ve test ederken öncelikle aşağıdaki varsayımları karşılaması gerekmektedir [110]:

1. y yanıtı ile parametrelerin arasındaki ilişki doğrusal yada doğrusala yakındır.
2. ε hata terimi sıfır ortalamadır.
3. ε hata terimi sabit varyansa sahiptir.
4. Hatalar arasında ilişki yoktur.
5. Hatalar normal dağılım davranışı göstermektedir.

Belirtilen varsayımlar kurulan regresyon modelleri için önem teşkil etmektedir. Varsayımların bozulması oluşturulacak ya da seçilecek modelde hatalara neden olabilir. Bu nedenle varsayımlar sınanmalıdır. Belirtilen varsayımların hepsinin doğru olması ve t yada F istatistiklerinin yanında R^2 gibi istatistiksel parametrelerin modelin doğru olacağı anlamına gelememektedir. Modelin doğruluğu ve yeterliğin değerlendirilmesinde bazı yöntemler (artık analiz, press istatistiği, aykırı değer analizi ve uyum eksikliği testi) geliştirilmiştir.

Varsayımların sınanmasındaki en önemli yöntemlerden biri artık analizidir. Tez kapsamında artık analizi standartlaştırılmış artıklar göz önüne alınarak hesaplanmıştır. Bu yöntem yanıtların gerçek değeri yerine, artıkların standart sapması ile hesaplamaktadır.

Sabit varyans varsayımı, artıklara karşı gelen tahmin değerleri grafikleriyle denetlenmiştir. Grafikte artıkların sıfır çizgisi etrafında rassal bir dağılımlı sergilemesi beklenir. Ayrıca Barlett testi ile varyansların homojenliği test edilmiştir.

Artıklar, gerçek değer ile tahmin değeri arasındaki sapma olarak tanımlanabilir. Bir modelin yeterli olup olmamasında kullanılan önemli yöntemlerden biridir. Şekilsel olarak gösterilen artık çizimleri, regresyon modelinin verilere ne kadar uyduğunu ve yukarıda belirtilen varsayımların kontrolünde etkin bir yöntemdir. Artıklar aşağıdaki denklem ile hesaplanır:

$$\frac{\sum_{i=1}^n (e_i - \bar{e})^2}{n - p} = \frac{\sum_{i=1}^n e_i^2}{n - p} = \frac{SS_{Res}}{n - p} = MS_{Res} \quad (3.5)$$

Artıkların değerlendirilmesinde bazı önemli ölçeklendirme yöntemleri vardır. Bunlar; standartlaştırılmış artıklar, student türü artıklar, artıkları ve R-student türü artıklardır. Bir önceki bölümde belirtildiği üzere çalışmada, standartlaştırılmış artıklar ile ölçeklendirme yapılarak değerlendirilmiştir. Ölçeklendirmedeki asıl amaç, ölçeklendirilmiş artıklar, aykırı değer içeren veri kümelerinde, kalan verilerde gözlenmesini sağlamaktır.

Standartlaştırılmış artıklar aşağıdaki denkleme ile hesaplanır:

$$d_i = \frac{e_i}{\sqrt{MS_{Res}}}, i = 1, 2, \dots, n \quad (3.6)$$

Standartlaştırılmış artıklar, 0 ortalama ve yaklaşık birim varyansa sahiptir. Bu nedenle mutlak değeri 3 den büyük olan artık, aykırı bir değer olabileceğini işaret eder [110].

3.1.10.1. Press İstatistiği

Press istatistiği press artıklarının beraber kullanılmasıyla, modeli değerlendiren bir yöntemdir. Bu yöntem, aykırı değerlerin saptanmasında $y_i - y_{(i)}$ den hesaplanan değeri kullanmaktadır. Bu değer aşağıdaki denkleme ile hesaplanır:

$$PRESS = \sum_{i=1}^n [y_i - y_{(i)}]^2 \quad (3.7)$$

Bu yöntem bir regresyon modelinin yeni verilerin ön kestiriminde ne kadar iyi sonuç verdiği hakkında önemli bir ölçüt olarak kabul edilir [110].

3.1.10.2. Aykırı Değer Analizi

Aykırı değer, toplanan verilerle karşılaştırıldığında veri setine uygun olmayan aşırı değerlere denir. Aykırı değerler, bir veri setinde yanlış veri girişi olabileceği gibi yanlış ölçümden de kaynaklanabilir. Bazen de aykırı değer incelenmekte olan kalite karakteristiği için önemli ipucular içeren bir değerde olabilir. Bu nedenle aykırı değer veri setinden çıkarılmadan önce iyi analiz edilmesi gerekmektedir. Aykırı değerlerin tespitinde genellikle, standart sapma yöntemi ve box-plot gibi yöntemler kullanılırken, verilerin normal dağılıma varsayımına uyması koşuluyla Dixon, Grubbs t, Rosner, Nalimow gibi testler uygularken, verilerin normal dağılmaması durumunda Walsh testi ile aykırı değer analizi yapılır [110].

Tez kapsamında verilerin normal dağılıma uyduğu varsayımı ile test edildikten sonra Grubbs testi ile aykırı analiz testi yapılmıştır.

Box-plot analizi

Verilerin %25 ini 1. Kartil ve %75 ini 3. Kartil olmak üzere hesaplanır. Kartiller arası genişlik değerleri (IQR) oluşturulur ve alt-üst sınırlar belirlenir.

$$\text{IQR}=3.\text{Kartil}-1.\text{Kartil}$$

$$\text{Üst sınır}=3.\text{kartil}+3/2 \text{ IQR} \quad (3.8)$$

$$\text{Alt sınır}= 1.\text{kartil}-3/2 \text{ IQR}$$

Bu sınırların dışındaki değer aykırı değer olarak belirlenir.

Hipotez:

H_0 : Veri setinde aykırı değer yoktur

H_1 :Veri setinde en az bir aykırı değer vardır şeklinde kurulur.

Grubbs T Testi

3 ve 100 arasında gözlemden oluşan ve normal dağılıma sahip veriler için kullanılan bir yöntemdir. Veriler öncelikle, küçükten büyüğe doğru sıralanır ve uç değerın hesaplanması içine bir T değeri kullanılarak kritik seviyeler belirlenir.

$$T(1) = \frac{|\bar{X} - x(i)|}{s} > G_{n,\alpha} \quad (3.9)$$

$$T(2) = \frac{|x(n) - x(1)|}{s} > G_{n,\alpha} \quad (3.10)$$

$$T(3) = 1 - \left(\frac{(n-3)s^2_{n-2}}{(n-1)s^2} \right) > G_{n,\alpha} \quad (3.11)$$

Formülde yer alan n ; toplam gözlem sayısını, $x(i)$:test değeri, s :verinin standart sapması, $x(n)$: gözlenen en büyük değer, s_{n-2} :Ortalamadan en uzak iki değer gözlemden atıldıktan

sonra hesaplanan standart sapmasını, α : anlamlılık seviyesini ve $G_{n,\alpha}$: Grubbs t tablo kritik değerini gösterir.

3.1.10.3. Modelin Uyum Eksikliği Testi

Regresyon modelinde uyum eksikliği testi, normallik, bağımsızlık ve sabit varyans varsayımlarının karşılandığı durumlarda, yanıt değişkeni ve bağımsız değişken arasındaki ilişkinin birinci derece yada bir doğru ile açılacağı konusunda şüphe olduğunu varsayar.

x_i ($i=1,2,\dots,m$), bağımsız değişkenin i . düzeydeki yanıtta ait n_i gözleme sahip olduğunu varsayarsak y_{ij} , $i=1,2,\dots,m$ ve $j=1,2,\dots,n_i$ iken x_i ye karşılık gelen yanıtta ait j . gözlemi

tanımlanırsa $n = \sum_{i=1}^m n_i$ gözlem sayısı hesaplanmış olur. Artık karelerin toplamı:

$$SS_{Res} = SS_{Pe} + SS_{LOF} \quad (3.12)$$

Denklemi ile hesaplanır. SS_{Pe} , yalın hatan kaynaklı kareler toplamını, SS_{LOF} uyum eksikliğinden kaynaklı kareler toplamını gösterir.

$$SS_{PE} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{n_i} (y_{ij} - \bar{y}_i)^2 \quad (3.13)$$

Yalın hata kareler toplamına ait serbestlik derecesinin toplamı,

$$\sum_{i=1}^m (n_i - 1) = n - m \quad (3.14)$$

Uyum eksikliği için kareler toplamı,

$$SS_{LOF} = \sum_{i=1}^m n_i (\bar{y}_i - \hat{y}_i)^2 \quad (3.15)$$

Uyum eksikliği için test istatistiği,

$$F_0 = \frac{SS_{LOF} / (m - 2)}{SS_{PE} / (n - m)} = \frac{MS_{LOF}}{MS_{PE}} \quad (3.16)$$

olarak hesaplanır.

3.1.10.4. Belirleme Katsayısı(R^2)

$$R^2 = \frac{SS_R}{SS_T} = 1 - \frac{SS_{Res}}{SS_T} \quad (3.17)$$

Verilen denklem ile belirleme katsayısı hesaplanmaktadır. SS_T , x bağımsız değişkeni modele yerleştirilmeden y 'deki değişkenliğin ölçüsüdür. SS_R , x değişkeni modele yerleştirildiğinde y 'deki değişkenliğin ölçüsüdür. R^2 , x bağımsız değişkeni tarafından açıklanan y 'deki değişkenliğin oranıdır.

$0 \leq SS_{Res} \leq SS_T$ olduğu zaman $0 \leq R^2 \leq 1$ olarak bulunur. Bu değer 1'e yakın olması, y 'deki değişkenliğin büyük oranının regresyon modeliyle temsil edildiğini gösterir.

3.1.10.5. Düzeltilmiş Belirleme Katsayısı ($Adj-R^2$)

$$R_{Adj}^2 = 1 - \frac{SS_{Res}/(n-p)}{SS_T/(n-1)} \quad (3.18)$$

Verilen denklem ile düzeltilmiş belirleme katsayısı hesaplanmaktadır. $SS_{Res}/(n-p)$, artık karelerin ortalamasını göstermektedir. $SS_T/(n-1)$ modeldeki değişken sayısını göz önüne almadan bir sabit olduğundan R_{Adj}^2 , bu değer modele eklenen değişkenin artık kareler ortalamasını azaldığında artacaktır.

Matematiksel modellerin değerlendirilmesinde hem belirleme katsayısının hem de düzeltilmiş belirleme katsayısının birlikte değerlendirilmesi gerekmektedir. Çünkü belirleme katsayısı tek başına modeli açıklamada yetersiz kalabilmekte ve bazen de yanıltabilmektedir. Düzeltilmiş belirleme katsayısı modele eklenen değişken anlamlı değilse değerlendirmede ortaya çıkara ve bundan dolayı modellerin anlamlı olup olmaması konusunda yol gösterir.

3.2. FAKTÖRLERİN DÜZEYLERİNİN ENİYİLENMESİ

Deney tasarımı sonucu elde edilen verilerin eniyilenmesi için yanıt yüzeyi yöntemi, istenebilirlik fonksiyonu ve genetik algoritma bir arada kullanılmıştır. İki bölümden oluşan prosesin her biri için bu yöntemler birlikte kullanılmıştır. Öncelikli olarak yanıt yüzeyi yöntemi ile grafiksel bir çözüm elde edilmiştir. Daha sonra istenebilirlik

fonksiyonu kullanılarak genetik algoritma için başlangıç çözümü oluşturulmuştur. Elde edilen sonuçlar genetik algoritma için başlangıç çözüm kabul edilerek optimum faktör seviyeleri araştırılmıştır. Ayrıca, prosesin çok çıktılı eniyelenme problemi olması nedeniyle, çıktıların ağırlıkların hesaplanması gerekmesinden dolayı Bulanık-AHP yöntemi kullanılmıştır.

3.2.1. İstenebilirlik Fonksiyonu

Çok yanıtli eniyelenme problemlerinde istenebilirlik (desirability) fonksiyonu yanıtların eş zamanlı optimum faktör seviyelerinin hesaplanması için kullanılan bir yöntemidir. Bu fonksiyon birden fazla yanıtın bir fonksiyon altında hesaplama olanağı sağlaması ve arzu edilen bileşimin maksimize edilmesini sağlamaktadır.

İstenebilirlik fonksiyonu ile arzu edilen değerlere ulaşıldığında, 0 ile 1 değerleri arasında bir çekicilik sonucu oluşturur ve bu değer 1'e yaklaşması arzu edilen değere yaklaştığını gösterir.

r tane cevap değişkeninin k tane faktör ile ilişkilendirildiği varsayımı ile, y_i cevap değişkeni, x_1, x_2, \dots, x_k faktörleri göstermektedir. Faktörler ile yanıtlar arasındaki ilişki fonksiyonel bir ilişkidir ve farklılık gösterebilir ve,

$$y_{ui} = f_i(x_1, x_2, \dots, x_k) + \varepsilon_{ui}, \quad u = 1, 2, \dots, N_i, \quad i = 1, 2, \dots, r \quad (3.19)$$

şeklinde gösterilir. Burada her bir i için $E(\varepsilon_{ui}) = 0$ varsayılırsa, beklenen yanıtlar η_i 'in k tane parametre ile ilişkisi,

$$\eta_i = f_i(x_1, x_2, \dots, x_k) \quad i = 1, 2, \dots, r \quad (3.20)$$

Birinci ve ikinci dereceden bir polinomiyal kullanılarak f fonksiyonuna yaklaşılr ve η_i yerine y 'i kullanılır.

Harrington (1965), Derringer ve Suich (1980) tarafından ortaya konulan bu fonksiyon, tahminlenmiş her bir cevap değişkenini y_i , d_i ye bir çekicilik değeri atayarak dönüştürür ve bu değer $0 \leq d_i \leq 1$ arasındadır. Cevabın çekiciliği arttığında yani istenilen değere yaklaştığında d_i değeri artmaktadır. Bu değerler, aritmetik ortalama yada başka bir fonksiyon yerine d_i 'lerin geometrik ortalaması kullanılarak birleştirilir:

$$D=(d_1 \times d_2 \times \dots \times d_r)^{1/r} \quad (3.21)$$

Geometrik ortalama kullanılarak elde edilen D değeri $[0,1]$ aralığında bir değer üretir ve bu değer çekicilik arttığında bu değer artar. \hat{y}_i , d_i ye dönüştürme işlemi tek yönlü ve çift yönlü olmak üzere iki ayrı şekilde gerçekleştirilmektedir [111].

Tek yönlü dönüşümlerde \hat{y}_i arttığında d_i değeri de artmaktadır ve daha önce belirtildiği üzere bu değer en büyüklendiğinde $d_i=1$ değerini almaktadır. Benzer bir şekilde \hat{y}_i minimizasyonu - \hat{y}_i değerine eşit olmaktadır. Tek dönüşümlü durumlar için aşağıdaki denklem kullanılmaktadır:

$$d_i = \begin{cases} 0 & \hat{y}_i \leq y_{i^*} \\ \left[\frac{\hat{y}_i - y_{i^*}}{y_i^* - y_{i^*}} \right]^n & y_{i^*} < \hat{y}_i < y_i^* \\ 1 & \hat{y}_i \geq y_i^* \end{cases} \quad (3.22)$$

y_{i^*} değeri \hat{y}_i 'nin alt limitidir yani alt seviyenin kabul edilebilir değeridir. $\hat{y}_i \leq y_{i^*}$ zaman bu durum kabul edilmez olacağı için y_{i^*} 'in değerini belirler. $\hat{y}_i \leq y_{i^*}$ olduğunda $d_i=0$ ve $D=0$ olur.

Bu durum bir örnekle şu şekilde açıklanabilir: y_i bir yapışma testi için yapışma direnci değeri ise ve y_i 'nin $y_{i^*}=3,2$ MPa ise ve limit değerin altındaki değer kabul edilemez ise diğer yanıt değişkenlerin çekicilik değeri ne olursa olsun kabul edilmeyecektir.

Diğer bir dönüştürme yöntemi olan çift taraflı dönüşümler cevap değişkeninin hem minimum hem de maksimum kısıt durumu olduğunda aşağıdaki denklem ile hesaplanır [111].

$$d_i = \begin{cases} \left[\frac{\hat{y}_i - y_{i^*}}{c_i - y_{i^*}} \right]^s & y_{i^*} \leq \hat{y}_i \leq c_i \\ \left[\frac{\hat{y}_i - y_{i^*}}{c_i - y_{i^*}} \right]^t & c_i < \hat{y}_i \leq y_i^* \\ 0 & \hat{y}_i \geq y_i^* \text{ veya } \hat{y}_i < y_{i^*} \end{cases} \quad (3.23)$$

y_{i^*} değeri \hat{y}_i 'nin alt limitidir yani alt seviyenin kabul edilebilir değeridir. Aynı zamanda y_i^* , y_i 'nin üst tolerans değeridir. Bu durumda \hat{y}_i 'nin sınırların dışındaki değerleri kabul edilmez duruma gelmektedir. Denklemlerde bulunan s ve t değerleri ağırlıkları ifade etmektedir ve tek taraflı dönüşümde kullanılan n ile aynı amaca hizmet etmektedir. Ayrıca \hat{y}_i 'nin en çok arzu edilen değer yani hedef değer c_i dir. Bu değer y_i^* ile y_{i^*} değerleri arasındadır.

Yanıt yüzeylerinin değerleri tek bir istek fonksiyonu ile tanımlanmasından sonra iki ya da daha fazla en büyük, en küçük veya en iyi noktaların birlikte çözümünü sağlayabilmekte çözüm uzayında başlangıç noktası belirlenmesi ve “eniye” yerel en iyilerin bulunmasına olanak sağlamaktadır.

3.2.2. Genetik Algoritma

Genetik algoritmalarda amaç, güçlü olanın hayatta kalması temeline dayanmaktadır. Genetik algoritma evrime dayalı algoritmaların bir türüdür. Genetik algoritma evrimsel algoritmalarda olduğu gibi optimum çözümü bulma için oluşturduğu araştırma uzayında çözümlerin bazılarının oluşturduğu başlangıç popülasyonu ile çalışmaktadır. Başlangıç popülasyonu, her bir jenerasyonda seçme ve tekrar üreme prosesleri ile geliştirilir. Bu geliştirilen popülasyon ile beraber en son kuşaktaki son birey problemin çözüm uzayında optimum çözüm olarak tanımlanır. Her zaman optimum çözümü vermese de, optimuma yakın bir sonuç verir. Genetik algoritmadaki her bir kromozom uygun bir çözümü sunan parametre değerleridir. Çözüm rassal üretilen bir popülasyon ile başlamaktadır. Her bir çözümün sonucu kromozomların taşıdığı parametre bilgilerine karşılık amaç fonksiyonunun sonuç değerleri karşılaştırılır. Uygulayıcının, her bir değişkenin en küçük

ve enbüyük değerleri, popülasyon büyüklüğünü, çaprazlama ve mutasyon için olasılıkları algoritmaya girilmesi gerekmektedir. Çözümleri mümkün olduğunca hedef değere yakın tutabilmek için ceza fonksiyonları da kullanılabilir.

Geliştirilen bazı yöntemlerde de yanıt yüzeyi yönteminin eniyileme aşamasında kullanılan çekicilik fonksiyonu ile genetik algoritmayı birleştirmektedir. Yöntemde çekicilik fonksiyonu bulunduğundan sonra bu fonksiyonu eniyileyen değişken değerlerini bulmak için genetik algoritma kullanılmaktadır. Genetik algoritma eniyi çözümü garanti etmemekte fakat eniyi çözüme yakın bir çözüm bulmaktadır. Dolayısıyla genetik algoritma ile bulunan nokta etrafında örüntü arama yaklaşımı ile eniyi çözümü veren değişken seviyeleri belirlenmektedir [112].

Basit bir genetik algoritma beş temel adımdan oluşmaktadır:

Adım 1: Çözümlerin bir başlangıç popülasyonu oluşturulur.

Olası çözümlerin meydana geldiği bir çözüm oluşturulur. Toplum popülasyon olarak ve çözümlerin kodlanması kromozom olarak adlandırılır. Toplum oluşturulan bireylerin sayısı için genel bir değer yoktur. Ancak toplumun 100-300 aralığında olması önerilir. Rastgele oluşturulan toplumun kodlanması için kromozomlar kullanılır. Kromozomların kodlanması yani şifrelenmesi 4 farklı yöntem ile yapılabilir [112]:

1. İkili kodlama: Bu şifreleme şekli GA çalışmalarında en çok kullanılan yöntemlerden biridir. Kromozomların kodlanması 1 ve 0'dan oluşan ikili dizilerden oluşur.
Örnek bir kodlama; Kromozom A 10110000111
Kromozom B 11110001010
2. Permutasyon kodlama: Bu kodlama şeklinde kromozomlar numaralar dizisinden oluşmaktadır. Özellikle gezgin satıcı ve iş sıralama problemlerinde yaygın kullanılan bir şifreleme yöntemidir.
Örnek bir kodlama; Kromozom A 35260421
Kromozom B 12345678
3. Değer kodlama: İkili kodlamanın zor olduğu durumlarda ve kompleks sayıların yer aldığı uygulamalarda, kromozomlar değer dizilerinden oluşur ve gerçek sayı, kompleks sayılar yada nesnelere atar.

Örnek bir kodlama; Kromozom A 3.245 6.123 7.543

Kromozom B ABCDEFGHIİKL

Kromozom C (geri), (sağ), (ileri), (geri)

4. Ağaç kodlama: Genellikle yazılım geliştirmeye daha yatkın bir yöntem olmakla beraber burada amaç hedef değere en yakın çözümü verecek aritmetik hesaplamaların "+", "-", "*", "/" operatörlerinin kullanarak hesaplanmasıdır.

Adım 2: Popülasyondaki her çözümün uygunluk değerini hesapla.

Bu adımın amacı, daha önce oluşturulan şifrelemeye göre toplumdaki kromozomların kalitesinin hesaplanmasıdır. Burada kullanılan fonksiyon, uygunluk fonksiyonu olarak adlandırılır. Kromozomların uygunluk değerlerini bu fonksiyon kullanılarak bulunması işlemine evrimleşme olarak tanımlanır. Genetik algoritma uygulamalarında uygunluk fonksiyonu algoritmanın temel kısmını oluşturur. Aslında uygunluk fonksiyonu önce kromozomları uygulamanın parametrelerine dönüştürmekte yani, şifrelerini çözmekte daha sonra dönüştürdüğü parametrelere göre uygunluk değerlerinin hesaplayarak bulmaktadır.

Adım 3: Durdurma kriteri sağlamıyorsa araştırmayı durdur.

Yoksa aşağıdaki adımları gerçekleştirilir:

3.1 Tabii seleksiyon işlemini uygula (uygunluk değerleri daha yüksek olan çözümler yeni popülasyonda daha fazla temsil edilir). Bu adımda, kopyalama işlemi için seçilen kromozomları eşlenmesi ve değiştirme operatörleri uygulanır. Burada eşleşme hesaplamak için, kromozomların uygunluk değerlerine göre oluşturulur. Seçim işleminin yapılabilmesi için kullanılan bazı yöntemler vardır.

- Rulet çemberi yöntemi: Bireylerin uygunluk değerlerine göre seçim işlemi yapılmaktadır. Bu yöntemde bireylerin uygunluk değeri toplanır ve her bir bireyin uygunluk değerine bölünerek [0, 1] aralığında seçilme olasılıkları hesaplanır. Yöntemden de anlaşıldığı gibi en büyük uygunluk değerinin seçilme işlemi garanti edilmez ancak şansı daha fazla olmaktadır.
- Sıralama seçimi: Bu yöntemde sıralanarak her kromozomun uygunluk değeri aranmaktadır. En kötü uygunluk değeri 1, ikinci en kötü 2 sıralaması ile en iyisi

N uygunlukta olacaktır. Böylece tüm kromozomların seçilme şansı olacaktır. Ancak en iyi kromozom, diğerlerinden olan fakı azalacağı için çözüme daha yavaş ilerleyecektir.

- Sabit durum seçimi: bu yöntemde bir sonraki jenerasyona, kromozomların büyük parçaları taşınmalıdır. Yöntem şu şekilde ilerler; her nesilden yeni bir döl meydana getirmek için bazı kromozomlar seçilir, kötü olan bazı kromozomlar çıkarılır ve yeni döl onların yerine geçer.

3.2 Çaprazlama işlemini uygula

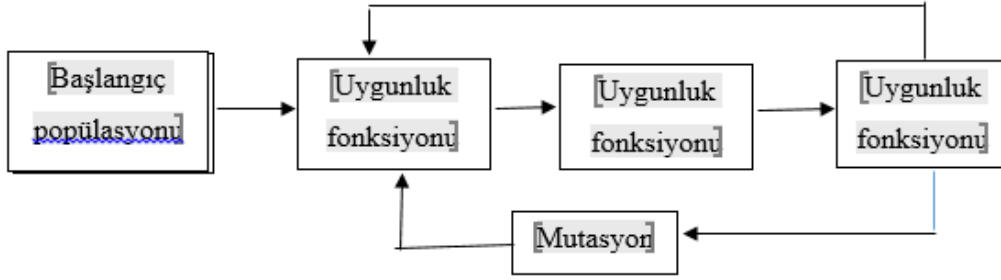
Genlerdeki genetik bilgilerin birinden diğerine aktarmasına çaprazlama işlemi denir. Yani oluşacak yeni kromozomları daha önceki bazı kromozomlardan oluşarak daha iyi olması için uygulanır. Burada önemli olan konu çaprazlama sıklığının ne olacağı konusudur. Eğer çaprazlama yapılmaz ise, döl ebeveynlerin aynısı olacaktır. Eğer çaprazlama gerçekleşirse döl, ebeveynlerin bazı kromozomlarını taşıyacaktır. Çaprazlama değerinin yüksek olduğunda, problem uzayı hızlıca araştıracaktır ancak bu değer arttıkça iyi bireylerin bozulmasından dolayı algoritmanın performansı azalacaktır.

3.3 Mutasyon işlemini uygula

Bazı kromozomların dışarıdan değiştirilmesi olarak adlandırılır. Burada önemli olan konu mutasyon sıklığının ne olacağı konusudur. Döl mutasyona uğramaz ise, çaprazlamadan sonra herhangi bir değişim olmadan aktarılır. Eğer mutasyon oranı % 100 ise, tüm kromozomlar değişir. Eğer % 0 ise herhangi bir değişiklik olmaz. Eğer bu oran düşük olur ise, problem uzayında yerel noktalara takılmaları neden olabilir çünkü problem uzayını tamamını taramayabilir. Bu değerinin yüksek olması bireylerde sürekli değişiklik olacağı için yerel optimuma takılmasını önler.

Adım 4: Adım 2 ye gidilir.

Genetik algoritmada evrimleşme döngüleri Şekil 3.9'daki gibi özetlenebilir.



Şekil 3.9: Genetik algoritmanın adımları [112].

Genetik algoritmanın adımlarında, algoritmanın performansını etkileyen çaprazlama olasılığı ve mutasyon olasılığı parametrelerinden bilgi verilmiştir. Ayrıca bu parametrelerin dışında performansı etkileyen diğer önemli parametre ise popülasyon büyüklüğüdür. Popülasyon büyüklüğü nesillerdeki bireylerden olmasından dolayı ve bu bireyler daha sonra problem uzayında araştırma yapacağı için birey sayısının az olması durumunda uzay tam anlamıyla araştırılmayacaktır ve yerel optimum noktada takılma durumu oluşabilecektir, gereğinden fazla olması durumunda seçim işlemi uzun süreceği için algoritmayı yavaşlatacaktır. Bu durumda ikili kodlama problemlerinde, Goldberg aşağıdaki denklemi önermektedir [112].

$$P=1,65 \times 2^{0,2Ch} \quad (3.24)$$

Denklemden P , popülasyon büyüklüğünü, Ch ise kromozom uzunluğunu göstermektedir. Genetik algoritma bir problemi çözmede etkin bir yöntem olmasına rağmen, GA'nın kendi parametrelerinin de eniyilenmesinin gerektiği gömülmektedir. Tablo 3.13'de bazı çalışmalar ait GA parametre değerleri verilmektedir.

Tablo 3.13: Farklı GA parametrelerinin değerlendirilmesi [112].

Parametreler	Negnevistky	D.Jong	Michalewicz	Schaffer	Grefenstette
Popülasyon Büyüklüğü	50	50-100	50-100	20-30	30
Çaprazlama Oranı	0,7	0,6	0,5-1,00	0,75-0,95	0,95
Mutasyon Oranı	0,001-0,01	0,001	0,001-0,01	0,005-0,01	0,01

4. BULGULAR

Prosesin değerlendirilmesinde aynı kütleden 25x40x1,8 cm boyutlarında boyama prosesi için hazırlanmış örneklerden seçilmiştir. Firmanın belirlediği mevcut parametre seviyelerinde kalibre zımpara makinasından, UV-boya hattından, ince kalibre zımparadan ve son kat boya uygulaması işlemlerinden geçirilmiştir. Mevcut prosesin faktörleri ve seviyeleri Tablo 4.1’de verilmiştir.

Tablo 4.1: Mevcut prosesin faktörleri ve seviyeleri.

Proses	Proses Parametreleri	Parametre Seviyeleri
Kalibre Zımpara	Zımpara Türü	Aluminyum Oksit/Silisyum Karbür
	Bant Hızı	5 m/dak
	Kesme Hızı	14 m/sn
UV Boya Uygulaması	Bant Hızı	5 m/dak
	Macun Uygulama Miktarı	62.93 gr/m ²
	Vernik Uygulama Miktarı	23.03 gr/m ²
	Kürlenme Sıcaklığı	%50-%100
	Lamba Türü	UV Lamp
İnce Kalibre Zımpara	Zımpara Numarası	320-500-600
	Bant Hızı	5 m/dak
	Kesme Hızı	6 m/sn
Son Kat Boya Uygulaması	Uygulama Miktarı	393 gr/m ²

Mevcut prosesin değerlendirilmesi iki aşamadan meydana gelmektedir. Prosesin birinci bölümde, kalibre zımpara, UV macun ve UV vernik uygulamaları gerçekleştirilmiştir.

Prosesin birinci bölümünün kalite karakteristikleri yapışma direnci ve yüzey sertlik direnci olarak belirlenmiştir.

Prosesin ikinci bölümünde, birinci bölümde hazırlanan örnekler poliüretan esaslı boya uygulamasından sonra kalibre zımpara işlemlerini kapsamaktadır. Prosesin ikinci bölümünün, kalite karakteristikleri film kalınlığı ve yüzey sertlik değerleri olarak belirlenmiştir. Kalite karakteristiklerinin belirlenmesinde, literatür çalışmaları ve kalite ekibiyle yapılan görüşmeler sonucunda belirlenmiştir. Prosesin birinci ve ikinci bölümüne ait kalite karakteristikleri ve faktörlerinin değerleri *Ek-1* ve *Ek-2*'de verilmiştir.

4.1. PROSESİN BİRİNCİ BÖLÜMÜNÜN DEĞERLENDİRİLMESİ

4.1.1. Yüzeyle Uygulanan Macun ve Vernik Miktarının Değerlendirilmesi

Mevcut prosesin uygulanan macun ve vernik miktarlarının belirlenmesinde Tablo 4.1'deki faktörler ve seviyeleri kullanılmıştır. Rassal bir sırada hazırlanmış 30 adet örnekten örneklem alınarak, uygulanan macun ve vernik miktarlarının güven düzeyleri belirlenmiştir. Miktarların belirlenmesinde her iki yüzey ayrı birer toplum olarak değerlendirilmiş ve yüzeylerde arasında bir anlamlı farkın olup olmadığı da araştırılmıştır.

Toplam 30 örnek için her iki yüzey ölçülerek ağırlık farkları hesaplanmıştır. MDF 'lerin A ve B yüzeylerinde, iki toplum arasında anlamlı bir farkın oluşup oluşmadığını araştırmak amacıyla;

1.) A ve B yüzeylere uygulanan macun-vernik miktarının ve kuru film kalınlığından oluşan sonuçların dağılımları normallik varsayımı sınanmıştır. Örneklerin testleri için Minitab 17 yazılımı kullanılmıştır. Çalışmada A ve B yüzeylerine uygulanan macun miktarı (g/m^2) normallik testleri Anderson-Darling testi ile araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre;

“A” yüzeyine uygulanan toplam macun miktarı için;

H_0 :Normal Dağılıyor

H_1 :Normal Dağılmıyor

$\alpha = 0.05$

p değeri = 0.228 > 0.05

Sonuç: “A” yüzeyine uygulanan toplam macun miktarı normal dağılıma sahiptir.

“B” yüzeyine uygulanan toplam macun için;

H_0 :Normal Dağılıyor

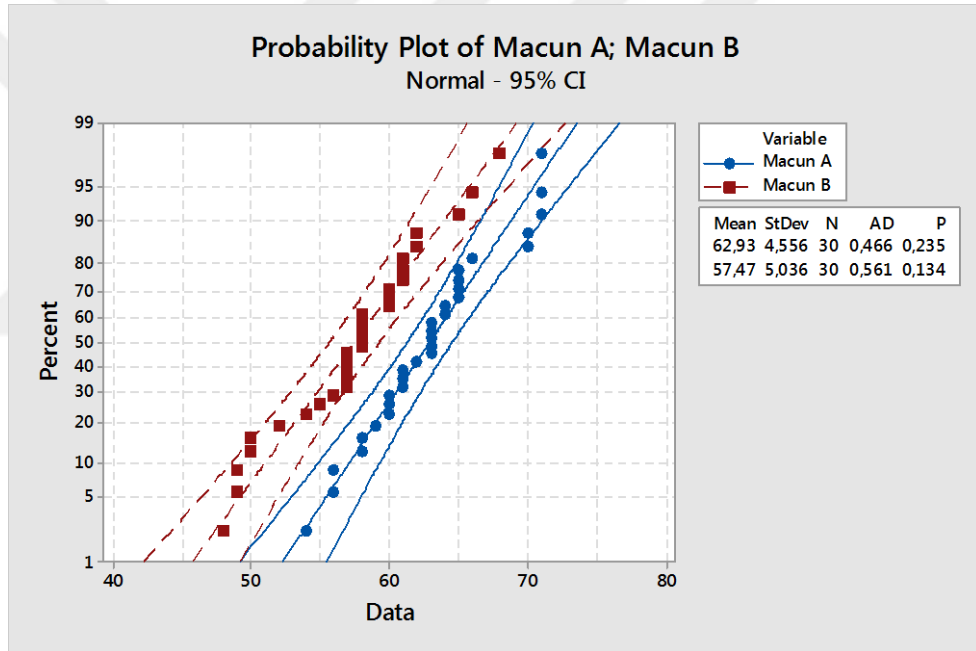
H_1 :Normal Dağılmıyor

$\alpha = 0.05$

p değeri = $0.572 > 0.05$

Sonuç: “B” yüzeyine uygulanan toplam macun miktarı normal dağılıma sahiptir.

Şekil 4.1’de görüldüğü üzere %95 güven düzeyinde A ve B yüzeylerine uygulanan macun miktarına göre, A yüzeyine B yüzeyinden daha fazla uygulandığı görülmektedir. A yüzeyine uygulanan toplam miktar ortalama 62.93 g/m^2 iken, B yüzeyinin ortalaması 57.47 g/m^2 olarak bulunmuştur.



Şekil 4.1: A ve B yüzeyine uygulanan ortalama macun miktarlarının değerlendirilmesi.

“A” yüzeyine uygulanan vernik miktarı için;

H_0 :Normal Dağılıyor

H_1 :Normal Dağılmıyor

$\alpha = 0.05$

p değeri = $0.264 > 0.05$

Sonuç: “A” yüzeyine uygulanan vernik miktarı normal dağılıma sahiptir.

“B” yüzeyine uygulanan vernik miktarı için;

H_0 :Normal Dağılıyor

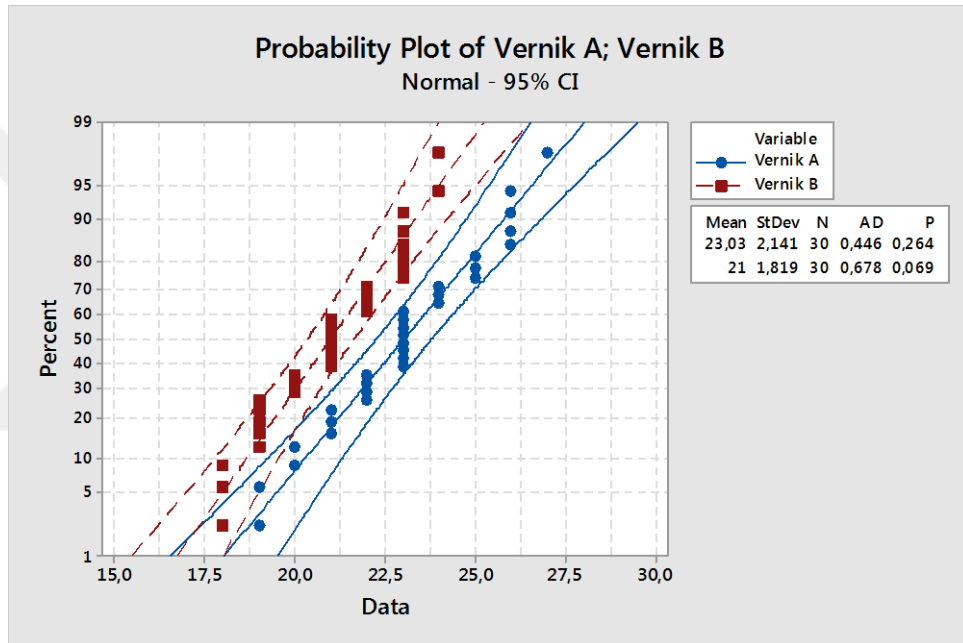
H_1 :Normal Dağılmıyor

$\alpha= 0.05$

p değeri = 0.069>0.05

Sonuç: “B” yüzeyine uygulanan vernik miktarı normal dağılama sahiptir.

Şekil 4.2’de görüldüğü üzere %95 güven düzeyinde A ve B yüzeylerine uygulanan vernik miktarına göre, A yüzeyine B yüzeyinden daha fazla uygulandığı görülmektedir. A yüzeyine uygulanan toplam miktar ortalama 23.03 g/m² iken, B yüzeyinin ortalaması 21 g/m² olarak bulunmuştur.



Şekil 4.2: A ve B yüzeylerine uygulanan ortalama vernik miktarının değerlendirilmesi.

2.) Bağımsız iki örneğin varyanslarının eşitliği test edilmiştir. A ve B yüzeylerine uygulanan macun ve vernik miktarlarının normal dağılıma uygun olmasının yanında varyanslarının eşitliliği Leven’s ve Barlett testleri ile sınanmıştır. Şekil 4.3 ve 4.4 de görüldüğü üzere A ve B yüzeylerine uygulanan macun ve vernik miktarlarının varyansları eşit bulunmuştur.

A ve B yüzeylerine uygulanan macun miktarının varyanslarının eşitliği için;

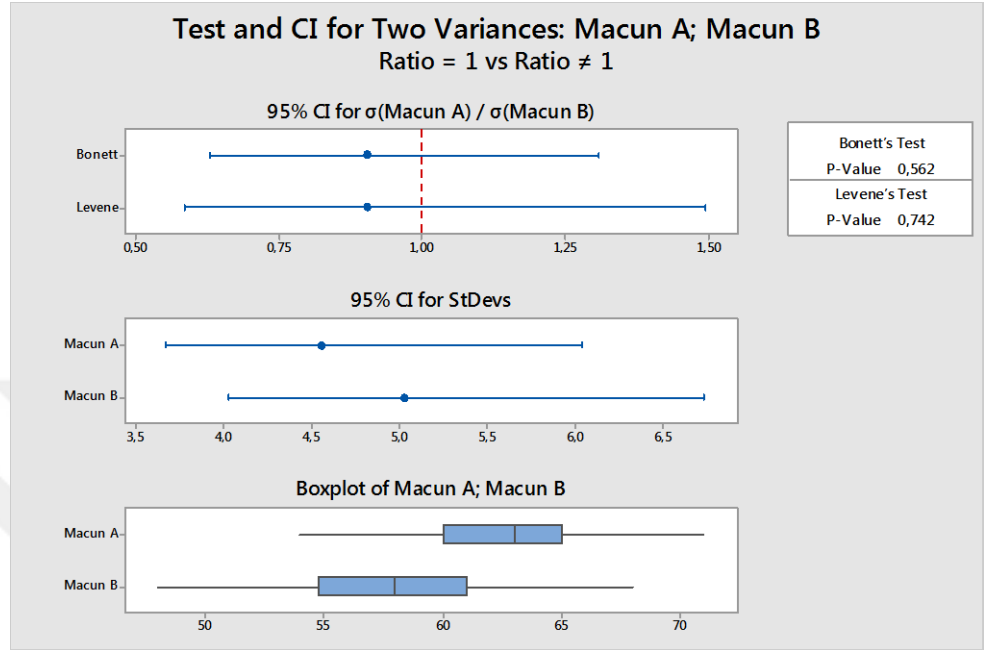
H_0 : Varyansları eşittir

H_1 : Varyansları eşit değildir

$\alpha=0.05$

p -değeri: $0.742 > 0.05$ Ho kabul

Sonuç: “A ve B” yüzeylerine uygulanan toplam macun miktarının varyansları eşittir.



Şekil 4.3: A ve B yüzeylerine uygulanan macun miktarlarının varyans eşitlik testi.

A ve B yüzeylerine uygulanan vernik (V) miktarının varyanslarının eşitliği için;

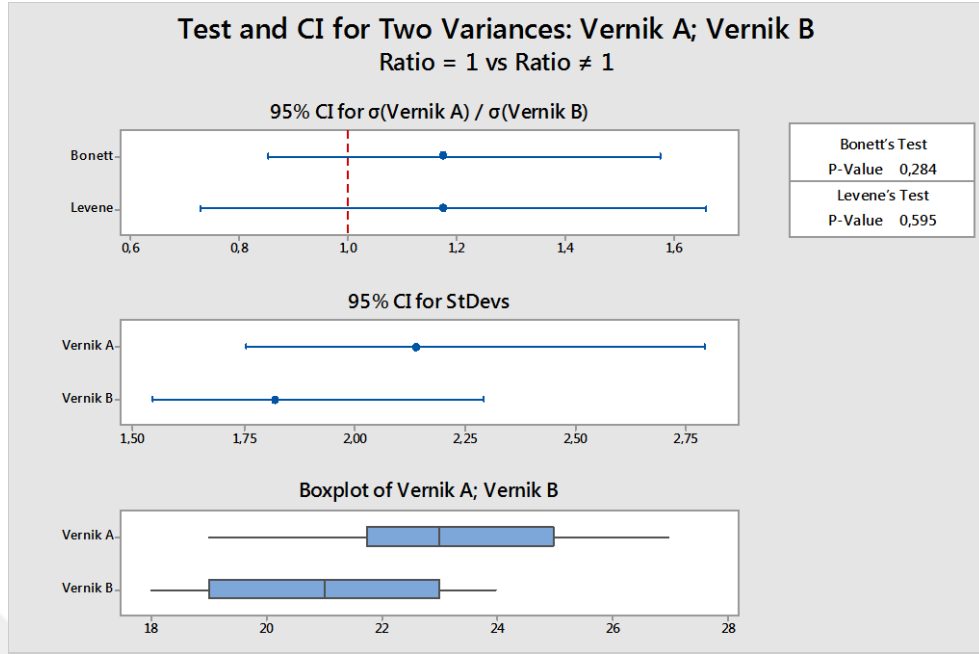
H_0 : Varyansları eşittir

H_1 : Varyansları eşit değildir

$\alpha=0.05$

p -değeri: $0.595 > 0.05$

Sonuç: “A ve B” yüzeylerine uygulanan vernik miktarının varyansları eşittir.



Şekil 4.4: A ve B yüzeylerine uygulanan vernik miktarının varyans eşitlik testi.

3.) Bağımsız örneklem için ortalamaları test etmek amacıyla varyans analizi uygulanmıştır. İki veya daha fazla örnek ortalaması arasındaki farkın önemli olup olmadığını test ederken varyans analizine başvurulur. Ayrıca, iki örnek ortalamasını karşılaştırmak için bağımsız örneklem için T testide yapılabilir. Her iki yöntemin kullanılabilmesi için gerekli olan varsayımlar; örneklerin normal bir dağılıma sahip olması, varyanslarının eşit olması ve birbirinden bağımsız olması koşullarının gerçekleştirilmesi ile uygulanabilir. Birinci ve ikinci bölümde açıklandığı üzere bu varsayımlar sınanmış ve ortalamalarını test etmek için bağımsız örneklem için tek yönlü varyans analizi (ANOVA) testi uygulanmıştır.

A ve B yüzeylerine uygulanan toplam macun miktarının ortalamalarının testi için;

$$H_0: \mu_1 = \mu_2$$

$$H_1: \mu_1 \neq \mu_2$$

$$\alpha = 0.05$$

$$SD: 58$$

$$F: 121.73$$

$$p\text{-değeri}: 0.000 < 0.05$$

Sonuç: A ve B yüzeylerine uygulanan toplam macun miktarının ortalamaları eşit değildir.

A ve B yüzeylerine uygulanan vernik miktarının yüzeyde oluşturduğu ortalamalarının testi için;

$$H_0: \mu_1 = \mu_2$$

$$H_1: \mu_1 \neq \mu_2$$

$$\alpha = 0.05$$

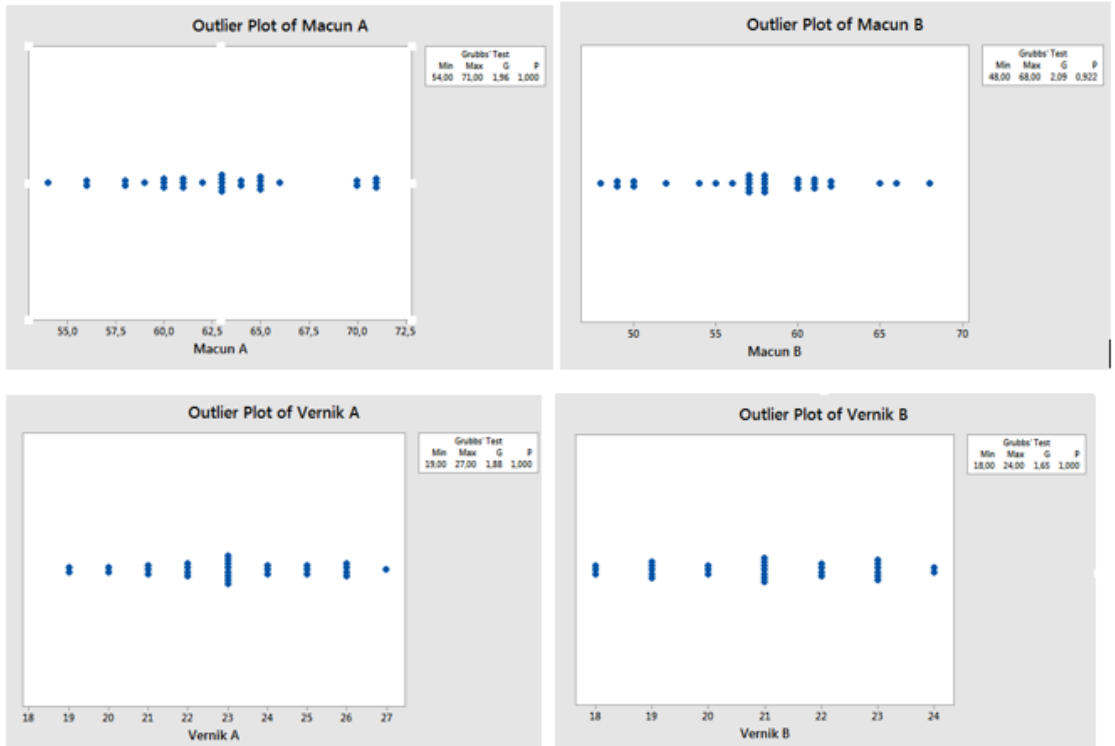
$$SD: 58$$

$$F: 138.79$$

$$p\text{-değeri}: 0.000 < 0.05$$

Sonuç: A ve B yüzeylerine uygulanan vernik miktarının ortalamaları eşit değildir.

Tez çalışmasının bir önceki bölümünde belirtildiği üzere toplanan verilerde aykırı değer araştırılması yapılmıştır. Bu amaçla Grubb's test metodu kullanılmıştır. Bu metod verilerin normal dağılması söz konusu olduğu durumlarda kullanılmaktadır. Şekil 4.5'de görüldüğü üzere % 95 güven düzeyinde aykırı değer tespit edilmemiştir.



Şekil 4.5: Uygulanan macun miktarının aykırı değer analiz sonuçları.

4.1.2. Yapışma Performansının Değerlendirilmesi

Mevcut prosesinin önemli bir kalite karakteristiği olan yapışma direncinin belirlenmesinde pnömatik yapışma testi kullanılmıştır. Testin uygulanma şekli daha önceki bölümlerde ayrıntılı olarak açıklanmıştır. Denemelerin gerçekleştirilmesinde 30 adet örnek üretim prosesinden rastgele olarak seçilmiş yapışma direnci değerleri belirlenmiştir. Örneklerin yapışma direncinin belirlenmesinde ön (A) ve arka (B) yüzey ayrı olarak değerlendirilmiştir. MDF 'lerin A ve B yüzeylerinde, iki toplum arasında anlamlı bir farkın olup oluşmadığını araştırmak amacıyla;

1.) A ve B yüzeylerin yapışma direncinin dağılımların normallik varsayımı sınanmıştır.

Çalışmada A ve B yüzeylerinin yapışma direncinin değerleri normallik testleri Anderson-Darling testi ile araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre;

“A” yüzeyine uygulanan yüzey işlemin yapışma direnç değerleri için;

H_0 :Normal Dağılıyor

H_1 :Normal Dağılmıyor

$\alpha=0.05$

p -değeri=0.068>0.05

Sonuç: “A” yüzeyinin yapışma direnci normal dağılıma sahiptir.

“B” yüzeyine uygulanan yüzey işlemin yapışma direnç değerleri için;

H_0 :Normal Dağılıyor

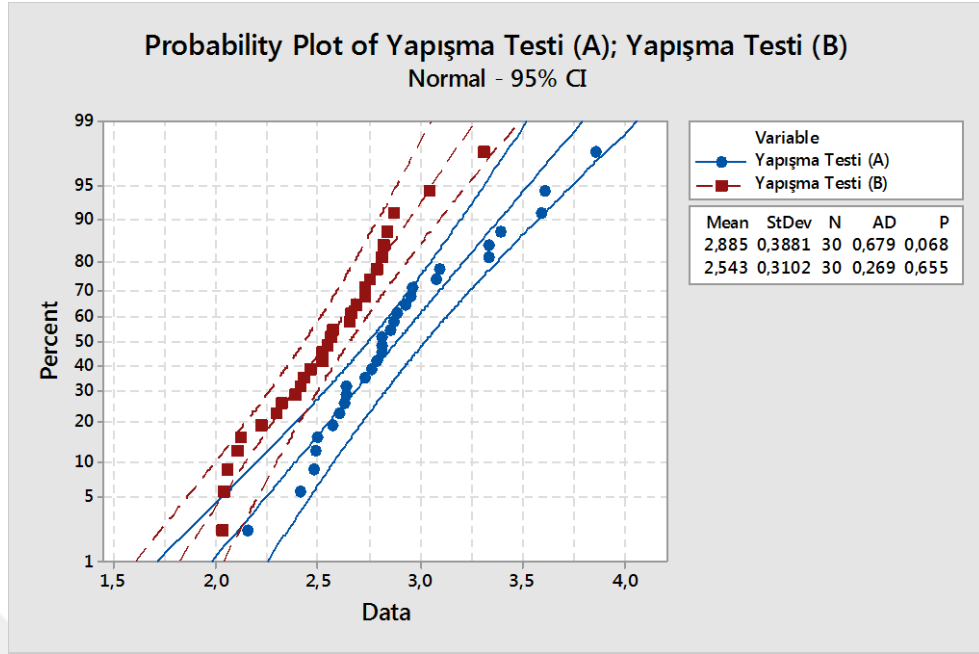
H_1 :Norma Dağılmıyor

$\alpha=0.05$

p -değeri=0.655>0.05

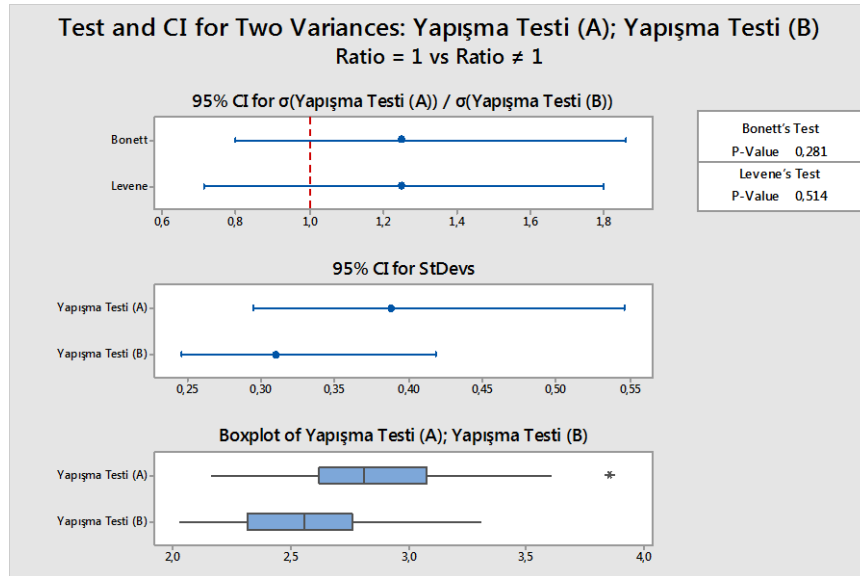
Sonuç: “B” yüzeyinin yapışma direnci normal dağılıma sahiptir.

Şekil 4.6’da görüldüğü üzere %95 güven düzeyinde A ve B yüzeylerinin yapışma direnç değerlerine göre, A ve B yüzeylerinin yapışma direnç değerleri karşılaştırıldığında sonuçların birbirine yakın olmakla beraber A yüzeyinin yapışma direncinin B yüzeyine göre daha iyi bulunmuştur. A yüzeyine uygulanan yapışma direnci 2.885 Mpa iken B yüzeyinin ortalaması 2.543 Mpa olarak bulunmuştur.



Şekil 4.6: A ve B yüzeylerinde yapışma direnci ortalamalarının değerlendirilmesi.

2.) Bağımsız iki örneğin varyanslarının eşitliği test edilmiştir. A ve B yüzeylerinin yapışma direnç değerlerinin normal dağılıma uygun olmasının yanında varyanslarının eşitliliği Leven's ve Barlett testleri ile sınıanmıştır. Şekil 4.7'de görüldüğü üzere A ve B varyansları eşit bulunmuştur.



Şekil 4.7: A ve B yüzeylerindeki yapışma direnci için varyans eşitliği testi.

A ve B yüzeylerine yapışma direnç değerlerinin varyanslarının eşitliği için;

H_0 : Varyansları eşittir

H_1 : Varyansları eşit değildir

$\alpha=0.05$

p değeri : $0.514 > 0.05$ H_0 kabul

Sonuç: “A ve B” yüzeylerinin yapışma direnç değerleri için varyansları eşittir.

3.) Bağımsız örneklem için ortalamaları test etmek amacıyla varyans analizi uygulanmıştır.

A ve B yüzeylerine yapışma direnç değerlerinin ortalamalarının testi için;

$H_0: \mu_1 = \mu_2$

$H_1: \mu_1 \neq \mu_2$

$\alpha=0.05$

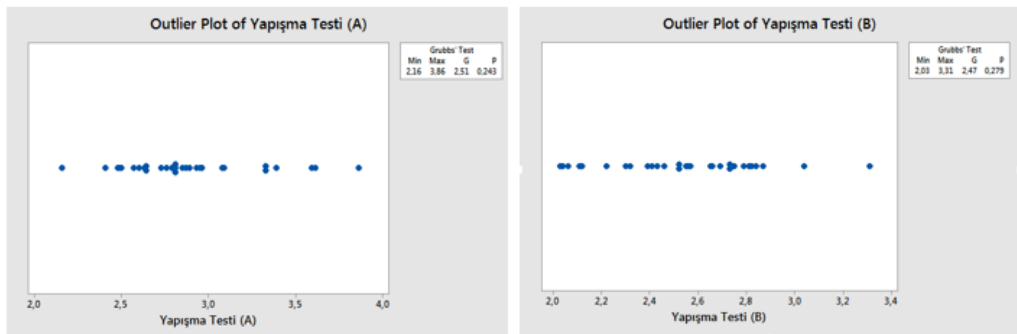
SD:59

F :14.21

p değeri: $0.000 < 0.05$

Sonuç: A ve B yüzeylerine yapışma direnç değerlerinin ortalamaları eşit değildir.

Tez çalışmasının bir önceki bölümünde belirtildiği üzere toplanan verilerde bir aykırı değer araştırılması yapılmıştır. Bu amaçla Grubb's test metodu kullanılmıştır. Bu metod verilerin normal dağılması söz konusu olduğu durumlarda kullanılmaktadır. Şekil 4.8'de görüldüğü üzere % 95 güven düzeyinde aykırı değer tespit edilmemiştir.



Şekil 4.8: Yapışma testi için aykırı değer analizi sonuçları.

4.1.3. Yüzey Sertlik Performansının Değerlendirilmesi

Mevcut prosesinin diğer kalite karakteristiği olan yüzey sertlik değerlerinin belirlenmesinde pendulum sertlik cihazı kullanılmıştır. Testin uygulanmasında persöz yöntemi kullanılmış ve ilgili standarda uygun denemeler gerçekleştirilmiştir. Denemelerin gerçekleştirilmesi amacıyla 30 adet örnek üretim prosesinden rastgele olarak seçilmiş ve yüzey sertlik değerleri belirlenmiştir. Örneklerin sertlik dirençlerinin belirlenmesinde, ön (A) ve arka (B) yüzeyler olarak değerlendirilmiştir.

MDF'lerin A ve B yüzeylerinde, iki toplum arasında anlamlı bir farkın oluşup oluşmadığını araştırmak amacıyla;

1.) A ve B yüzeylerin sertlik değerlerinin dağılımların normallik varsayımı sınanmıştır. Çalışmada A ve B yüzeylerinin sertlik değerleri normallik testleri Anderson-Darling testi ile araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre;

“A” yüzeyine uygulanan yüzey işlemin sertlik değerleri için;

H_0 :Normal Dağılıyor

H_1 :Normal Dağılmıyor

$\alpha=0.05$

p değeri =0.931>0.05

Sonuç: “A” yüzeyinin sertlik direnç değerleri normal dağılama sahiptir.

“B” yüzeyine uygulanan yüzey işlemin sertlik değerleri için;

H_0 :Normal Dağılıyor

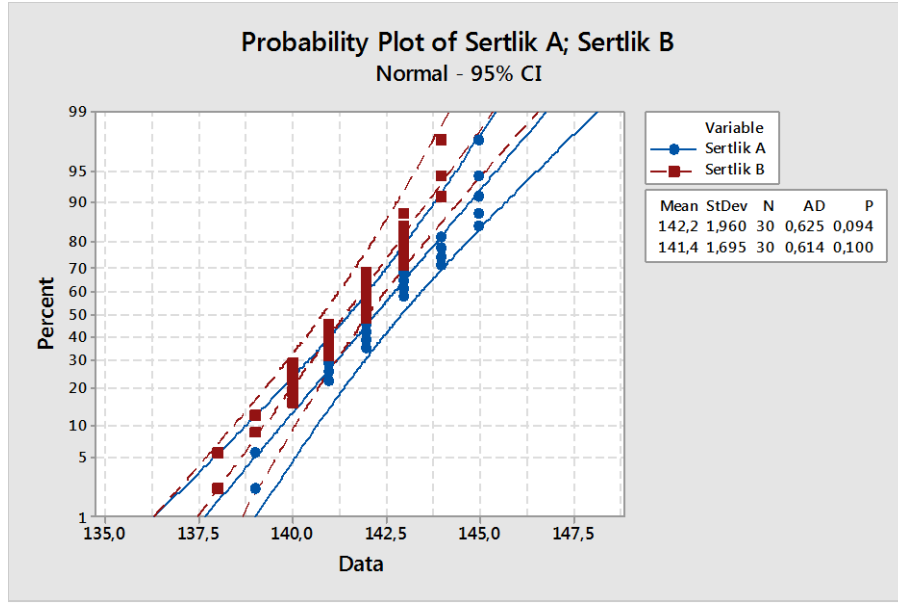
H_1 :Norma Dağılmıyor

$\alpha=0.05$

p değeri=0.627>0.05

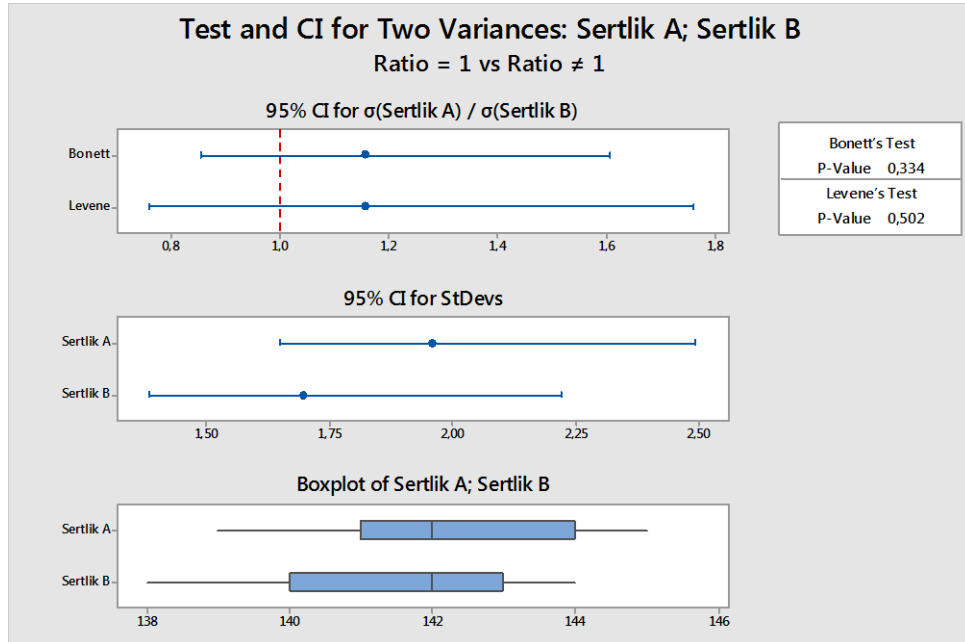
Sonuç: “B” yüzeyinin sertlik değeri normal dağılama sahiptir.

Şekil 4.9’da görüldüğü üzere %95 güven düzeyinde A ve B yüzeylerinin sertlik değerlerine göre, A yüzeyine B yüzeyinin yüzey işlem uygulaması sonucu sertlik değerleri karşılaştırıldığında sonuçların birbirine çok yakın olduğu gözlemlenmektedir. A yüzeyine uygulanan sertlik direnci 142.2 salınım (count) iken B yüzeyinin ortalaması 141.4 salınım (count) olarak bulunmuştur.



Şekil 4.9: A ve B yüzeyinin sertlik direnci için ortalama değerleri.

2.) Bağımsız iki örneğin varyanslarının eşitliği test edilmiştir. A ve B yüzeylerinin yapışma direnç değerlerinin normal dağılıma uygun olmasının yanında varyanslarının eşitliği Leven's ve Barlett testleri ile sınanmıştır. Şekil 4.10' da görüldüğü üzere A ve B' nin varyansları eşit bulunmuştur.



Şekil 4.10: A ve B yüzeylerinin film sertliği direnci için varyans eşitlik testi.

A ve B yüzeylerinin yüzey sertlik değerlerinin varyanslarının eşitliği için;

H0: Varyansları eşittir

H1: Varyansları eşit değildir

$\alpha=0.05$

p değeri: $0.502 > 0.05$

Sonuç: "A ve B" yüzeylerinin yüzey sertlik değerleri için varyansları eşittir.

3.) Bağımsız örneklem için ortalamaları test etmek amacıyla varyans analizi uygulanmıştır.

A ve B yüzeylerine sertlik direnç değerlerinin ortalamalarının testi için;

H0: $\mu_1 = \mu_2$

H1: $\mu_1 \neq \mu_2$

$\alpha=0.05$

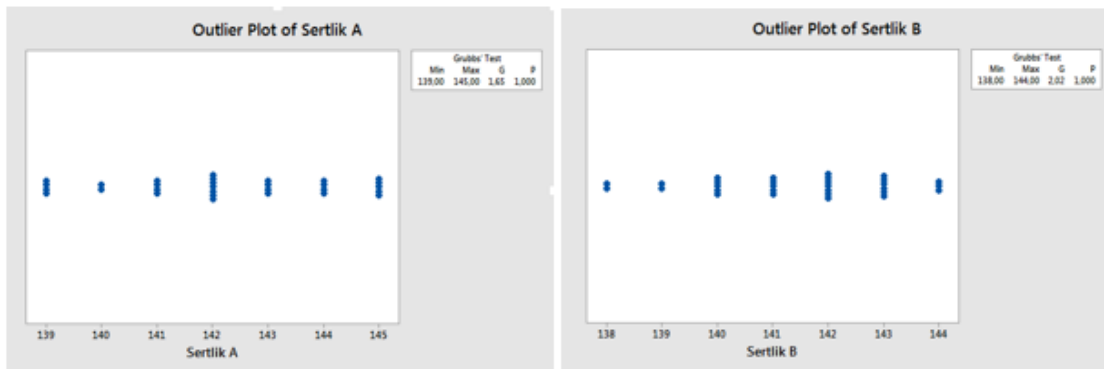
SD: 59

F: 0.39

p değeri: $0.533 > 0.05$

Sonuç: A ve B yüzeylerine yüzey sertlik değerlerinin ortalamaları eşittir.

Tez çalışmasının bir önceki bölümünde belirtildiği üzere toplanan verilerde bir aykırı değer araştırılması yapılmıştır. Bu amaçla Grubb's test metodu kullanılmıştır. Bu metod verilerin normal dağılması söz konusu olduğu durumlarda kullanılmaktadır. Şekil 4.11'de görüldüğü üzere % 95 güven düzeyinde aykırı değer tespit edilmemiştir.



Şekil 4.11: A ve B yüzeylerinin sertlik direncinin aykırı değer analiz sonuçları.

4.2. PROSESİN İKİNCİ BÖLÜMÜNÜN DEĞERLENDİRİLMESİ

4.2.1. Yüzeyle Uygulanan Boya Miktarının Değerlendirilmesi

Boyama prosesinde daha önce belirtilen faktörler ve seviyelerine bağlı olarak yüzeye macun ve vernik uygulaması yapılmış 30 adet örnek üzerine, uygulanan boya miktarları belirlenmiştir. Miktarların belirlenmesinde her iki yüzeye ayrı birer toplum olarak değerlendirilmiş ve yüzeylerde arasında bir anlamlı farkın olup olmadığı araştırılmıştır.

MDF 'lerin A ve B yüzeylerinde, iki toplum arasında anlamlı bir farkın oluşup oluşmadığını araştırmak amacıyla;

1.) A ve B yüzeylerin uygulanan boya miktarının dağılımların normallik varsayımı sınanmıştır. Çalışmada A ve B yüzeylerine uygulanan boya miktarı (g/m^2) normallik testleri Anderson-Darling testi ile araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre;

“A” yüzeyine uygulanan toplam yaş boya miktarı için;

H_0 :Normal Dağılıyor

H_1 :Normal Dağılmıyor

$\alpha=0.05$

p -değeri =0.829>0.05 H_0 kabul

Sonuç: “A” yüzeyine uygulanan toplam boya miktarı normal dağılıma sahiptir.

“B” yüzeyine uygulanan toplam boya miktarı için;

H_0 :Normal Dağılıyor

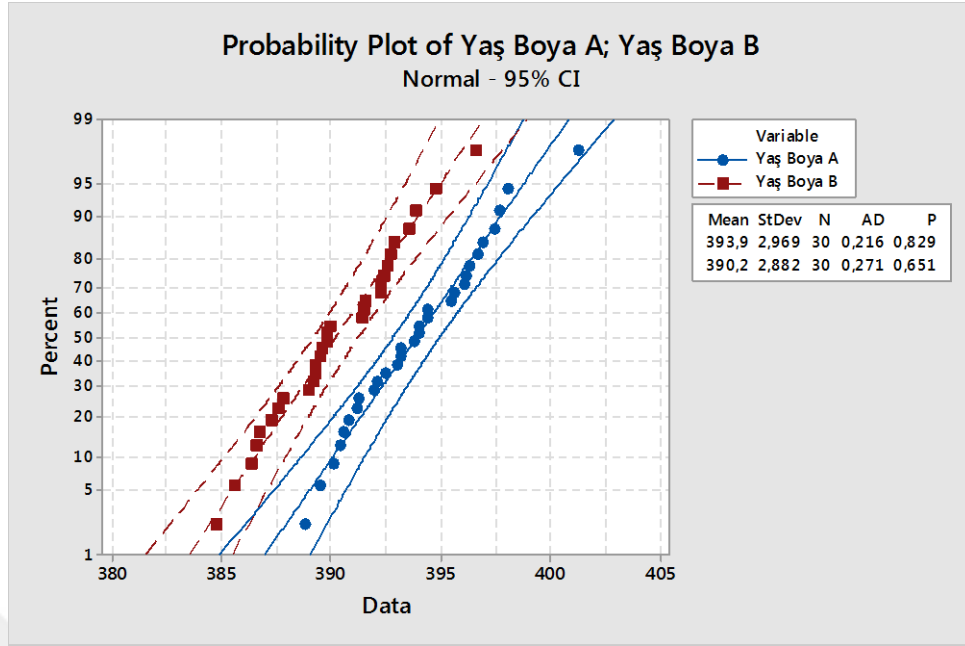
H_1 :Norma Dağılmıyor

$\alpha=0.05$

p -değeri =0.651>0.05 H_0 kabul

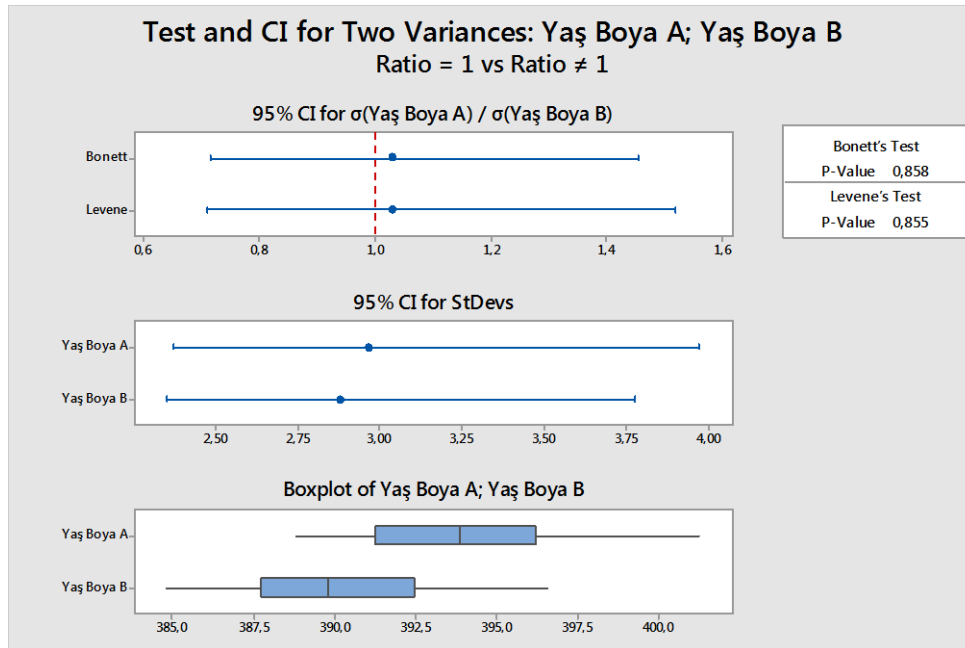
Sonuç: “B” yüzeyine uygulanan toplam boya miktarı normal dağılıma sahiptir.

Şekil 4.12’de görüldüğü üzere %95 güven düzeyinde A ve B yüzeylerine uygulanan boya miktarına göre, A yüzeyine B yüzeyinden daha fazla uygulandığı görülmektedir. A yüzeyine uygulanan toplam miktar ortalama $393.99 g/m^2$ iken B yüzeyinin ortalaması $390.2 g/m^2$ olarak bulunmuştur.



Şekil 4.12: A ve B yüzeylerine uygulanan boya miktarlarının değerlendirilmesi.

2.) Bağımsız iki örneğin varyanslarının eşitliği test edilmiştir. A ve B yüzeylerine uygulanan boya miktarının normal dağılıma uygun olmasının yanında varyanslarının eşitliliği Leven's ve Barlett testleri ile sınanmıştır. Şekil 4.13'de görüldüğü üzere A ve B' nin varyansları eşit bulunmuştur.



Şekil 4.13: A ve B yüzeylerinin boya miktarlarının varyans eşitlik testi.

A ve B yüzeylerinin yüzey sertlik değerlerinin varyanslarının eşitliği için;

H_0 : Varyansları eşittir

H_1 : Varyansları eşit değildir

$\alpha=0.05$

p değeri: $0.855 > 0.05$ H_0 kabul

Sonuç: "A ve B" yüzeylerinin yüzey sertlik değerleri için varyansları eşittir.

3.) Bağımsız örneklem için ortalamaları test etmek amacıyla varyans analizi uygulanmıştır.

A ve B yüzeylerine uygulanan yaş boya miktarlarının ortalamalarının testi için;

$H_0: \mu_1 = \mu_2$

$H_1: \mu_1 \neq \mu_2$

$\alpha=0.05$

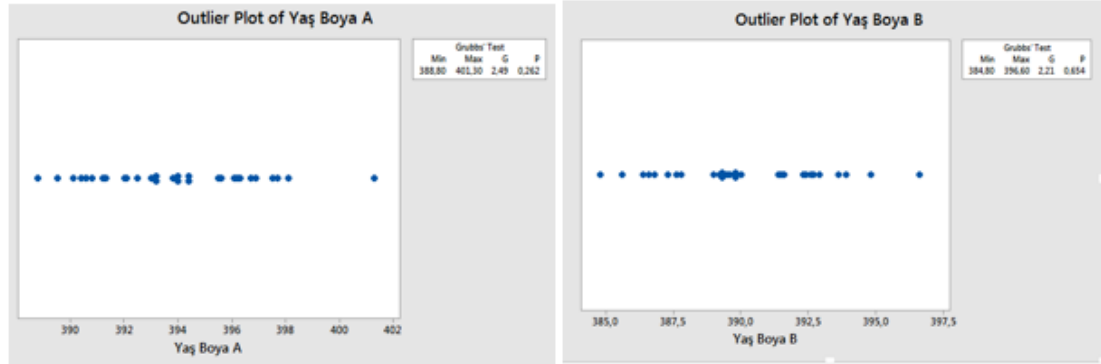
SD: 59

F : 23.64

p değeri: $0.000 < 0.05$

Sonuç: A ve B yüzeylerine uygulanan boya miktarlarının değerlerinin ortalamaları eşit değildir.

Tez çalışmasının bir önceki bölümünde belirtildiği üzere toplanan verilerde bir aykırı değer araştırılması yapılmıştır. Bu amaçla Grubb's test metodu kullanılmıştır. Bu metod verilerin normal dağılması söz konusu olduğu durumlarda kullanılmaktadır. Şekil 4.14'de görüldüğü üzere % 95 güven düzeyinde aykırı değer tespit edilmemiştir.



Şekil 4.14: A ve B yüzeylerinin boya miktarlarının aykırı değer analiz sonuçları.

4.2.2. Yüzey Sertlik Performansının Değerlendirilmesi

MDF 'lerin A ve B yüzeylerinde, iki toplum arasında anlamlı bir farkın olup oluşmadığını araştırmak amacıyla;

1.) A ve B yüzeylerin sertlik değerlerinin dağılımların normallik varsayımı sınanmıştır.. Çalışmada A ve B yüzeylerinin sertlik değerleri normallik testleri Anderson-Darling testi ile araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre

“A” yüzeyine uygulanan yüzey işlemin sertlik değerleri için;

H_0 :Normal Dağılıyor

H_1 :Normal Dağılmıyor

$\alpha=0.05$

p -değeri =0.157>0.05

Sonuç: “A” yüzeyinin sertlik değerleri normal dağılıma sahiptir.

“B” yüzeyine uygulanan yüzey işlemin sertlik değerleri için;

H_0 :Normal Dağılıyor

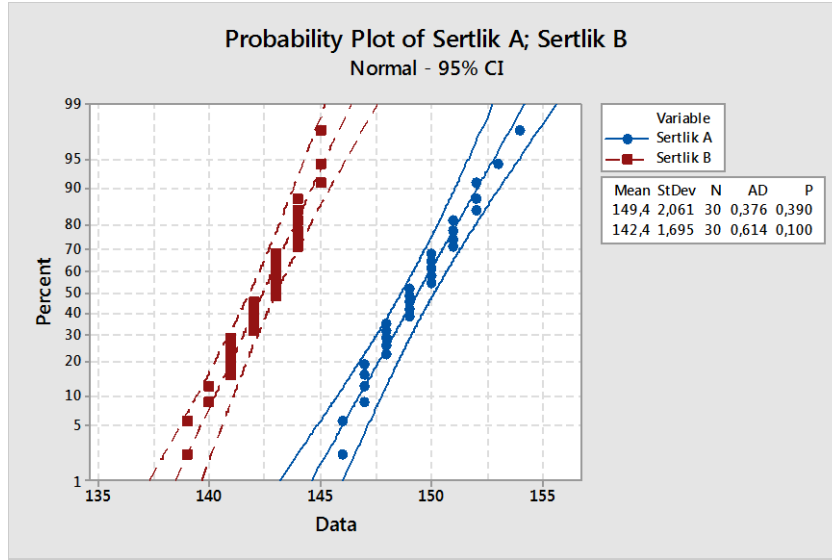
H_1 :Norma Dağılmıyor

$\alpha=0.05$

p -değeri =0.600>0.05

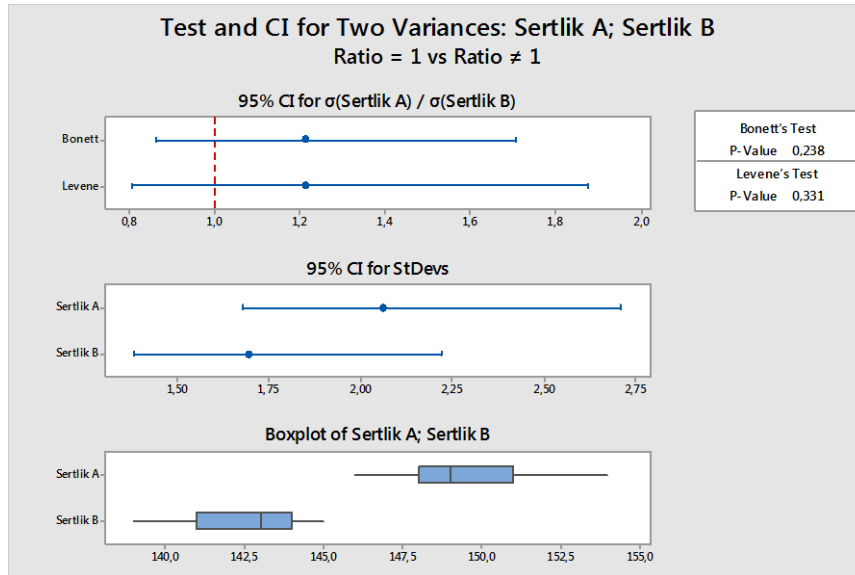
Sonuç: “B” yüzeyinin sertlik değeri normal dağılıma sahiptir.

Şekil 3’ de görüldüğü üzere %95 güven düzeyinde A ve B yüzeylerinin sertlik değerlerine göre, A yüzeyine B yüzeyinin yüzey işlem uygulaması sonucu sertlik değerleri karşılaştırıldığında sonuçların birbirine çok yakın olduğu gözlemlenmektedir. A yüzeyinin sertlik direnci 149.4 iken B yüzeyinin ortalaması 142.4 olarak bulunmuştur.



Şekil 4.15: A ve B yüzeylerinin sertlik direnci değerlerinin değerlendirilmesi.

2.) Bağımsız iki örneğin varyanslarının eşitliği test edilmiştir. A ve B yüzeylerinin sertlik direncini değerlerinin normal dağılıma uygun olmasının yanında varyanslarının eşitliği Leven's ve Barlett testleri ile sınanmıştır. Şekilde 4.16'da görüldüğü üzere A ve B varyansları eşit bulunmuştur.



Şekil 4.16: A ve B yüzeylerinin film sertliğinin varyans eşitlik testi.

A ve B yüzeylerinin yüzey sertlik değerlerinin varyanslarının eşitliği için;

H_0 : Varyansları eşittir

H_1 : Varyansları eşit değildir

$\alpha=0.05$

p değeri: $0.331 > 0.05$ H_0 kabul

Sonuç: "A ve B" yüzeylerinin varyansları eşittir.

3.) Bağımsız örneklem için ortalamaları test etmek amacıyla varyans analizi uygulanmıştır.

A ve B yüzeylerinin yüzey sertlik değerlerinin ortalamalarının testi için;

$H_0: \mu_1 = \mu_2$

$H_1: \mu_1 \neq \mu_2$

$\alpha=0.05$

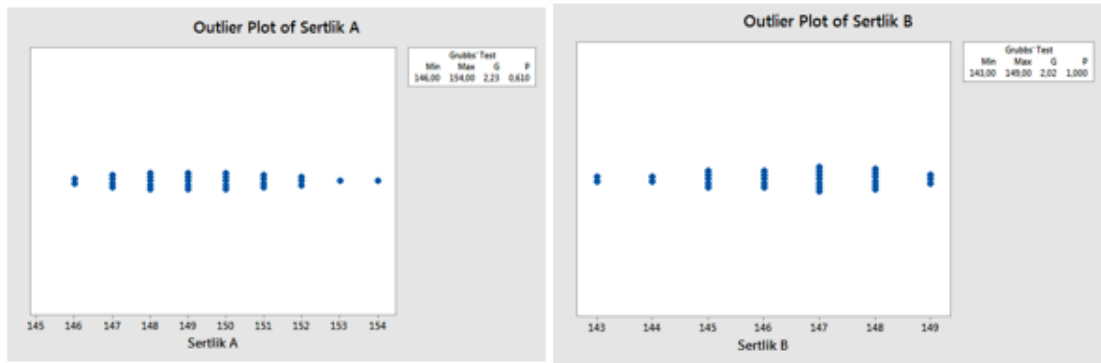
SD:59

F:0.39

p değeri: $0.533 < 0.05$

Sonuç: A ve B yüzeylerine yüzey sertlik değerlerinin ortalamaları eşittir.

Verilerin değerlendirilmesi aşamasında Grubb's testi kullanılarak aykırı değer araştırılmıştır. Şekil 4.17'da görüldüğü üzere %95 güven düzeyinde aykırı değer tespit edilmemiştir.



Şekil 4.17: A ve B yüzeylerinin sertlik dirençlerinin dış değer analiz sonuçları.

4.2.3. Kuru Film Kalınlıklarının Değerlendirilmesi

MDF 'lerin A ve B yüzeylerinde, iki toplum arasında anlamlı bir farkın oluşup oluşmadığını araştırmak amacıyla;

1.) A ve B yüzeyde oluşan kuru film kalınlık değerlerinin dağılımların normallik varsayımı sınanmıştır. A ve B yüzeylerinin sertlik değerleri normallik testleri Anderson-Darling testi ile araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre;

“A” yüzeyine uygulanan toplam boya miktarının yüzeyde oluşturduğu kuru film kalınlık miktarı;

H_0 :Normal Dağılıyor

H_1 :Normal Dağılmıyor

$\alpha=0.05$

p -değeri = 0.884>0.05 H_0 kabul

Sonuç: “A” yüzeyine uygulanan boya miktarının yüzeyde oluşturduğu kuru film kalınlığı normal dağılıma sahiptir.

“B” yüzeyine uygulanan boyanın yüzeyde bıraktığı kuru film kalınlık miktarı;

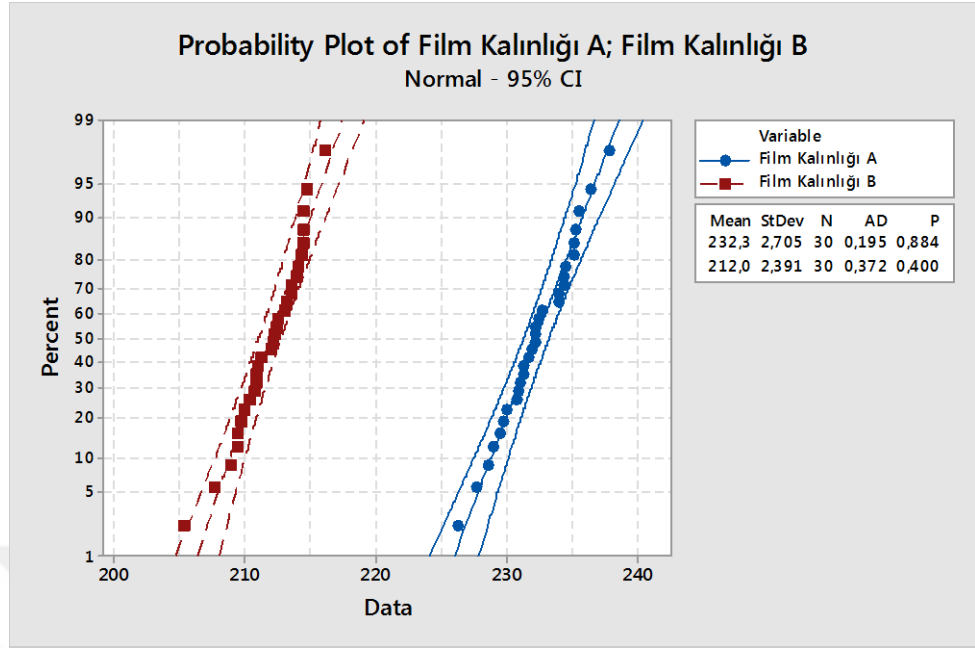
H_0 :Normal Dağılıyor

H_1 :Norma Dağılmıyor

$\alpha=0.05$

p -değeri = 0.400>0.05

Sonuç: “B” yüzeyine uygulanan boya miktarının yüzeyde oluşturduğu kuru film kalınlığı normal dağılıma sahiptir.



Şekil 4.18: A ve B yüzeylerinin film kalınlıklarının değerlendirilmesi.

Şekil 4.18’de görüldüğü üzere %95 güven düzeyinde A ve B yüzeylerine boya miktarının yüzeylerde oluşturduğu kuru film kalınlığına göre değerlendirildiğinde, A yüzeyine B yüzeyinden daha fazla bir film kalınlığının oluştuğu görülmektedir. A yüzeyinin kuru film kalınlığı ortalaması 232.3 μm iken B yüzeyinin ortalaması 212 μm olarak bulunmuştur.

2.) Bağımsız iki örneğin varyanslarının eşitliği test edilmiştir.

A ve B yüzeylerine uygulanan boya miktarlarının normal dağılıma uygun olmasının yanında varyanslarının eşitliliği Leven’s ve Barlett testleri ile sınanmıştır. Şekil 4.19’da görüldüğü üzere A ve B yüzeylerine uygulanan boya miktarlarının ve katman kalınlıklarının varyansları eşit bulunmuştur.

A ve B yüzeylerine uygulanan boya miktarının varyanslarının eşitliği için;

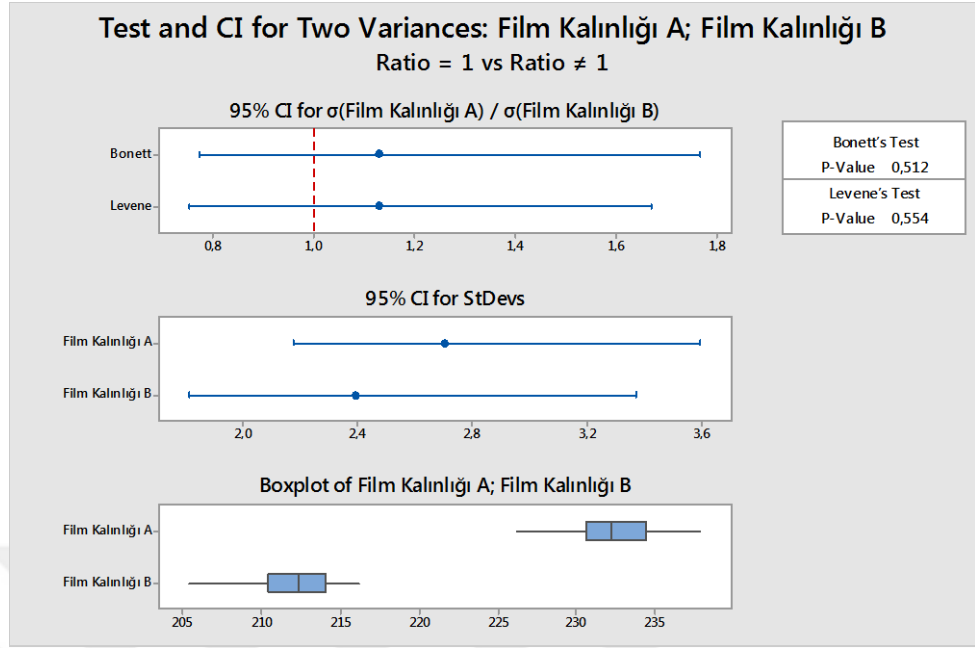
H_0 : Varyansları eşittir

H_1 : Varyansları eşit değildir

$\alpha=0.05$

p -değeri: $0.575 > 0.05$

Sonuç: “A ve B” yüzeylerinin boya miktarının varyansları eşittir.



Şekil 4.19: A ve B yüzeylerinin film kalınlıklarının varyans eşitlik testi.

A ve B yüzeylerinin oluşturduğu film kalınlıklarının varyanslarının eşitliği için;

H_0 : Varyansları eşittir

H_1 : Varyansları eşit değildir

$\alpha=0.05$

p -değeri: $0.554 > 0.05$

Sonuç: “A ve B” yüzeylerinin oluşturduğu film kalınlığının varyansları eşittir.

3.) Bağımsız örneklem için ortalamaları test etmek amacıyla varyans analizi uygulanmıştır.

A ve B yüzeylerine yüzeyde oluşturduğu katman kalınlıklarının ortalamalarının testi için;

$H_0: \mu_1 = \mu_2$

$H_1: \mu_1 \neq \mu_2$

$\alpha=0.05$

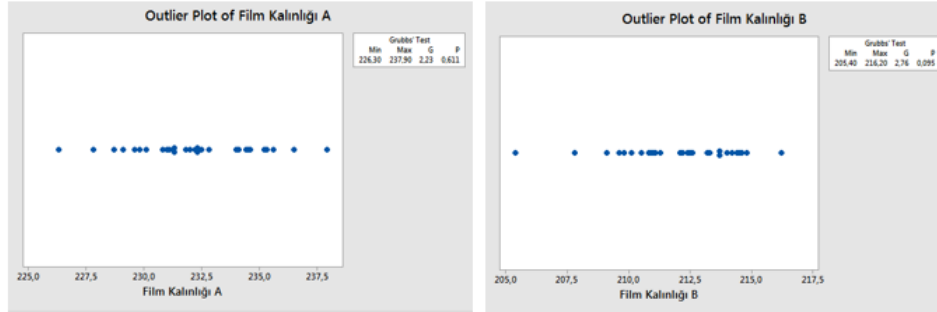
SD:59

F:952.10

p -değeri: $0.000 < 0.05$

Sonuç: A ve B yüzeyde oluşturduğu katman kalınlıklarının ortalamaları eşit değildir.

Verilerin değerlendirilmesi aşamasında Grubb's testi kullanılarak aykırı değer araştırılmıştır. Şekil 4.20'da görüldüğü üzere %95 güven düzeyinde aykırı değer tespit edilmemiştir.



Şekil 4.20: A ve B yüzeylerinin film kalınlıklarının dış değer analiz sonuçları.

4.3. DENEY TASARIMIN UYGULANMASI

Bölüm 4.1'de yapılan analizler sonucunda örneklere uygulanan macun ve vernik miktarları, yüzeyde oluşturduğu katman kalınlıkları, yapışma direnci performansı ve yüzey sertli değerleri her iki yüzey için bulunmuştur.

Tezin bu bölümünde, belirlenen proses girdi parametrelerine ve kalite karakteristiklerine bağlı olarak bir deney tasarım uygulaması yapılmıştır. Prosesin değerlendirilmesi iki bölümden oluşması nedeniyle, uygulanacak deney tasarımı yöntemi de prosesi ikiye ayrılarak değerlendirilmiştir.

Prosesin değerlendirilmesinde, uygulamaların yapılması aynı gün içerisinde bitirilemeyeceği için deneyler arasında bloklama yapılmıştır. Böylece oluşabilecek varyasyonlar ortadan kaldırılmış olacaktır.

Prosesin birinci bölümünde, örneklerin kalibre zımparada işlenmesini ve UV boya hattında macun ve vernikleme işleminin gerçekleştirilmesi aşamalarını kapsarken, ikinci bölümde ise birinci bölümden gelen örneklerin kalibre zımparada işlenmesini ve son kat boya uygulamasını içermektedir.

Birinci ve ikinci bölüme ait prosese parametreleri Tablo 4.2 ve 4.3'de verilmiştir. Tablo değerleri oluşturulmasında mevcut prosesin değerleri orta nokta olarak seçilmiştir. Ayrıca

alt ve üst limitlerin belirlenmesinde prosesin çalışma sistemi göz önüne alınmış ve deney tasarımı uygulanmadan önce bazı denemeler yapılmıştır. Örneğin makine hızının maksimum olması, örneklerin yüzeylerinde kusurlar oluştururken iş güvenliği açısından da problemler çıkarabilmektedir. Diğer bir örnek, uygulanacak macun miktarının gereğinden fazla olması yüzeyden akmalara neden olmaktadır ki bu yüzeyde istenmeyen bir durumdur. Bu durumlar göz önüne alınarak parametre seviyelerinin alt ve üst limit değerleri kalite mühendisi ekibi, birim sorumlusu ve literatür çalışmaları göz önüne alınarak oluşturulmuştur. Prosesin birinci bölümünde 4 sürekli ve 1 kesikli veri olmak üzere toplam 5 parametre değerlendirmeye alınmıştır. Prosesin ikinci bölümünde 3 sürekli ve 1 kesikli veri olmak üzere 4 parametre değerlendirmeye alınmıştır. Tüm proses birlikte değerlendirildiğinde 9 faktörün yapışma direnci, sertlik direnci ve film kalınlığı üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Deney tasarımında kullanılacak yöntem olarak merkezi kompozit tasarımı seçilmiştir.

Tablo 4.2: Prosesin birinci bölümünün faktörleri ve seviyeleri.

Değişkenler	Bant hızı (m/dak)	Kesme hızı (m/sn)	UV boya miktarı (gr/m ²)	UV vernik miktarı (gr/m ²)	Zımpara türü
Düzy (-2)	4	12	50	10	-
Düzy (-1)	5	14	60	15	AL ₂ O ₃
Düzy (0)	6	16	70	20	SiC
Düzy (1)	7	18	80	25	-
Düzy (2)	8	20	90	30	-

Tablo 4.3: Prosesin ikini bölümünün faktörleri ve seviyeleri.

Değişkenler	Bant hızı (m/dk.)	Kesme hızı (m/sn)	Boya miktarı (gr/m ²)	Zımpara numarası
Düzy (-1)	5	4	350	320-500
Düzy (0)	6	9	400	320-500-600
Düzy (1)	7	14	450	

Deneyin tekrar sayısı, deney tasarımında önemli bir konu olan ve toplam deney sayısının belirlenmesinde kullanılmaktadır. Daha önce belirtildiği üzere, deneydeki tekrar sayısı, uygulanan deneyin güvenilirliği açısından önemli bir konudur. Tekrar sayısının fazla olması deneyin güvenilirliği artırırken, deney sayısının artmasına bağlı olarak deney maliyetinin yükselmesi, deney süresinin uzamasına ve mevcut imkânların deney sayısına bağlı olarak yapılamayacak olması gibi önemli kısıtlardan dolayı, deneylerin tekrar sayısını dikkatli bir şekilde belirlenmesi gerekmektedir. Yapılan çalışmalar ve literatür özetleri incelendiğinde genel olarak kullanılan tekrar sayısı 3 olarak önerilmiştir [108]. Tez kapsamında deneyin tekrar sayısının hesaplamasında denklem (4.1) ve (4.4)'den yararlanılmıştır. Kullanılan formül merkezi kompozit dizaynlarda tekrar sayısının hesaplanmasına olanak vermektedir [108]. Böylece, tekrar sayının doğru hesaplanması kapsamında literatüre de önemli bir katkı sağlanmış olacaktır. Denklem (4.4) kullanılarak, merkezi kompozit tasarımlarda tekrar sayısı %95 güven düzeyinde hesaplanmıştır.

Merkezi kompozit dizaynlarda bir tekrarlı deney sayısının hesaplanması verilmiştir:

$$N = n_{cube} + n_o + n_{star} + n_{axial} \quad (4.1)$$

Bir tekrarlı deney sayısının hesaplamasında N ; deney sayısını, n_{cube} ; küp sayısını, n_o :merkez noktasını, n_{star} : yıldız noktasını göstermektedir. Eşitlik (4.2) ve (4.3) kullanılarak elde edilen bir tekrarlı deney sayısı prosesin birinci bölümü için 60, prosesin ikinci bölümü için 40 deney olarak bulunmuştur.

$$N = 32 + 8 + 16 + 4 = 60 \quad (4.2)$$

$$N=16 + 8 + 12 + 4=40 \quad (4.3)$$

Ancak hesaplanan deney sayıları bir tekrarlı deneyin sayısını göstermektedir. Kaç kere deneyin tekrarlanacağıın hesaplanması için denklem (4.4) kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 4.4 ve 4.5’de verilmiştir.

$$n \geq \frac{1}{2\eta^2 + n_{cube}} \left(\frac{t_{\alpha/2} \sigma_{\epsilon}}{\delta} \right)^2 \quad (4.4)$$

Tablo 4.4: Prosesin birinci bölümüne ait deneyin tekrar sayısı.

	$t_{\alpha/2}$	η	n_{cube}	δ	σ_{ϵ}	N
Yapışma	0,025	2	32	$\pm 0,001$	0,42	2,75
Sertlik	0,025	2	32	$\pm 0,001$	0,38	2,56

Tablo 4.5: Prosesin ikinci bölümüne ait deneyin tekrar sayısı.

	$t_{\alpha/2}$	η	n_{cube}	δ	σ_{ϵ}	N
Film Kalınlığı	0,025	1	16	$\pm 0,001$	0,32	2,72
Sertlik	0,025	1	16	$\pm 0,001$	0,26	2,34

Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde, prosesin birinci bölümü için tekrar sayısı 2,75 olarak bulunmuş ve formül bir üst tamsayıya yuvarlanmıştır. Böylece tekrar sayısı 3 bulunmuş ve toplam deney sayısı $60 \times 3 = 180$ olarak hesaplanmıştır. Prosesin ikinci bölümü için tekrar sayısı 2,72 olarak bulunmuş ve formül bir üst tamsayıya yuvarlanmıştır. Böylece tekrar sayısı 3 bulunmuş ve toplam deney sayısı $40 \times 3 = 120$ olarak hesaplanmıştır.

4.3.1. Prosesin Birinci Bölümünün Deney Tasarımı Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Prosesin birinci bölümün faktörleri kesme hızı (A), bant hızı (B), uygulanan macun miktarı (C), uygulanan vernik miktarı (D) ve zımpara türü (E) olarak belirlenmiştir. Kesme hızı, bant hızı ve zımpara numarası kalibre zımpara parametrelerini oluştururken

macun miktarı ve vernik miktarı UV boyama proses parametrelerini oluşturmaktadır. Kalibre zımpara uygulamalarında zımpara numarası sabit tutularak tüm örnekler 120-150'lik zımparalardan geçirilmiştir. UV proses parametrelerinden bant hızı ve ışık şiddeti sabit parametreler olarak kabul edilmiştir. Prosesin çıktı parametreleri olarak yapışma direnci ve film sertliği olarak belirlenmiştir. Uygulanan deney tasarımının sonuçları *Ek-3*'de verilmiştir

4.3.1.1. Yapışma Direncinin Varyans Analizi Sonuçlarının Değerlendirilmesi ve Matematiksel Modellerin Geliştirilmesi

Prosesin birinci bölümden elde edilen varyans analizi sonuçları Tablo 4.6'da verilmiştir. Tablo 4.6'da ön yüzey için varyans analizi sonuçlarının gösterirken, Tablo 4.7 geliştirilen matematiksel modelleri göstermektedir. Tablo 4.6 için, elde edilen sonuçlara göre proses parametreleri; A, B, C ve D $\alpha=0.05$ e göre yapışma direnci üzerinde önemli parametreler olarak bulunmuştur. Aynı zamanda CE ve DE etkileşimleri ve C^2 , D^2 parametreleri model içerisinde önemli faktörler olarak belirlenmiştir. Ancak faktörler arasından E faktörü etkili olmamasına rağmen etkileşimlerde önemli olmasından dolayı model içerisinde yer almıştır. Ayrıca deneyler arasındaki varyasyonlar bloklama yapılarak test edilmiştir. Sonuç olarak p -değeri 0.05'ten büyük çıktığı için anlamlı bir farklılık bulunmamıştır.

Tablo 4.6: A yüzeyi için yapışma direnci varyans analizi sonuçları.

Kaynak	DF	SS	Adj -MS	F-Değeri	P-Değeri
Model	21	1,44068	0,068604	32,28	0,000
Blok	2	0,005	0,002502	1,18	0,311
Lineer	5	0,47130	0,094261	44,35	0,000
A	1	0,06588	0,065878	31,00	0,000
B	1	0,01960	0,019600	9,22	0,003
C	1	0,37210	0,372100	175,08	0,000

Tablo 4.6 (Devam): A yüzeyi için yapışma direnci varyans analizi sonuçları.

D	1	0,01323	0,013225	6,22	0,014
E	1	0,0005	0,000500	0,24	0,648
Karesel	4	0,54380	0,135951	63,97	0,000
A*A	1	0,00023	0,000229	0,11	0,743
B*B	1	0,00097	0,000972	0,46	0,500
C*C	1	0,25876	0,258763	121,48	0,000
D*D	1	0,31002	0,310020	145,55	0,000
Etkileşim	10	0,42057	0,042057	19,79	0,000
A*B	1	0,19440	0,194400	91,47	0,000
A*C	1	0,00602	0,006017	2,82	0,095
A*D	1	0,00004	0,000038	0,02	0,895
A*E	1	0,00010	0,000100	0,05	0,829
B*C	1	0,00042	0,000417	0,20	0,659
B*D	1	0,00010	0,000104	0,05	0,825
B*E	1	0,00004	0,000044	0,02	0,885
C*D	1	0,18200	0,182004	85,45	0,000
C*E	1	0,02778	0,027778	13,04	0,000
D*E	1	0,00967	0,009669	4,54	0,035
Hata	158	0,33580	0,002125		

Tablo 4.6 (Devam): A yüzeyi için yapışma direnci varyans analizi sonuçları.

Uyum yetersizliği	128	0,30847	0,002410	1,30	0,161
Saf hata	30	0,27334	0,000911		
Toplam	179	1,77648			

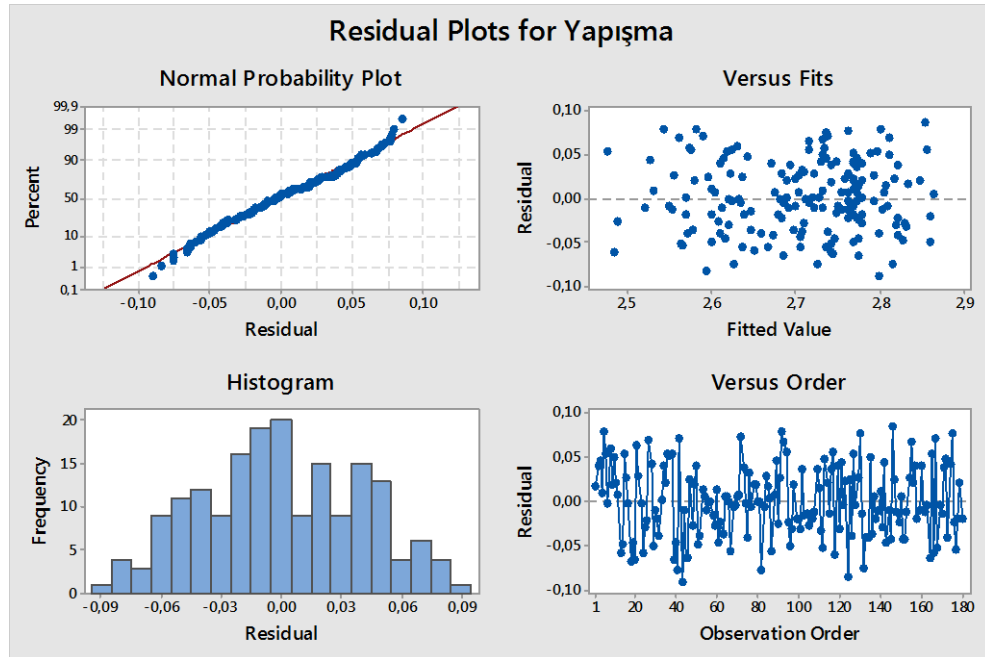
Tablo 4.7: Ön yüzeylerde A (ALO) ve B (SiC) zımparaları için geliştirilen matematiksel modeller.

Modeller		R^2	Adj- R^2	Press
Lineer	<p>Yapışma-A = 3,2462 - 0,02139 A - 0,00583 B - 0,005083 C + 0,00192 D</p> <p>Yapışma-B = 3,2495 - 0,02139 A - 0,00583 B - 0,005083 C + 0,00192 D</p>	26,53	24,42	1,40193
Lineer-karasel	<p>Yapışma-A = 0,870 - 0,0356 A - 0,0253 B + 0,05043 C + 0,07136 D + 0,00118 A*A + 0,00061 B*B- 0,000397 C*C- 0,001736 D*D</p> <p>Yapışma-B = 0,874 - 0,0356 A - 0,0253 B + 0,05043 C + 0,07136 D + 0,00118 A*A + 0,00061 B*B-0,000397 C*C-0,001736 D*D</p>	57,14	54,87	0,843370
Lineer-etkileşim	<p>Yapışma-A = 0,504 + 0,2799 A + 0,1195 B + 0,00453 C + 0,0588 D - 0,02250 A*B + 0,000792 A*C+ 0,00012 A*D +0,000104 B*C+0,000104 B*D-0,000871 C*D</p> <p>Yapışma-B = 0,228 + 0,2815 A + 0,1201 B + 0,00731 C + 0,0621 D - 0,02250 A*B + 0,000792 A*C+ 0,00012 A*D + 0,000104 B*C+0,000104 B*D-0,000871 C*D</p>	50,20	45,65	1,02646

Tablo 4.7 (Devam): Ön yüzeylerde A (ALO) ve B (SiC) zımparaları için geliştirilen matematiksel modeller.

Kuadratik	$\begin{aligned} \text{Yapışma-A} &= -1,872 + 0,2657 A + 0,1001 B \\ &+ 0,06004 C + 0,1283 D + 0,00118 A*A \\ &+ 0,000608 B*B - 0,000397 C*C - 0,001736 D*D \\ &- 0,02250 A*B + 0,000792 A*C + 0,000125 A*D \\ &+ 0,000104 B*C + 0,000104 B*D - \\ &0,000871 C*D \end{aligned}$	80,82	78,54	0,441188
	$\begin{aligned} \text{Yapışma-B} &= -2,147 + 0,2674 A \\ &+ 0,1006 B + 0,06282 C + 0,1315 D \\ &+ 0,00118 A*A + 0,000608 B*B - 0,000397 C*C - \\ &0,001736 D*D - 0,02250 A*B + 0,000792 A*C \\ &+ 0,000125 A*D \\ &+ 0,000104 B*C + 0,000104 B*D - 0,000871 C*D \end{aligned}$			

Şekil 4.21’de görüldüğü üzere, artıklar garfıği (Normal probabilit plot) ile artıkların normal dağıldığı görülmektedir. Her ne kadar çizgi üzerinde saplamalar gözüksede, artıkların histogram görünümü ile değerlendirildiğinde normalliğin karşılandığının göstergesidir. Sonuçlar tablodaki sınırlar arasında bulunduğu için artıklar arasında korelasyon bulunmadığı görülmüştür.



Şekil 4.21: Yapışma direncinin ön yüzey için modelin değerlendirilmesi.

Varyans analizi sonucu parametrelerin önem seviyeleri belirlenmiştir. Önemli olmayan parametreler olmasına rağmen ikili etkileşimlerde önemli olmalarından dolayı kurulan modellerden çıkarılmamıştır. Modelin parametrelerinin p -değerinin $0.000 < 0.05$ olması kurulan deneyin ve modelin doğruluğunu belirtmektedir Bir diğer önemli parametre olan uyum yetersizliği testi $p > 0.05$ olduğu için, anlamlı olmadığı söylenebilir. Bu durumda kurulan modelin yetersizliğini gösteren bir durum görünmemektedir. Ayrıca matematiksel modellerin değerlendirilmesinde; R^2 , $Adj-R^2$ ve $Press$ istatistik sonuçları birlikte değerlendirildiğinde amaç fonksiyonu olarak kuadratik model seçilmiştir.

Örneklerin B yüzeyinin varyans analizi sonuçları Tablo 4.8’de, geliştirilen matematiksel modeller Tablo 4.9’da verilmiştir. Sonuçlara göre proses parametreleri; A, B, C ve D $\alpha=0.05$ e göre yapışma direnci üzerinde önemli parametreler olarak bulunmuştur. Aynı zamanda CE ve DE etkileşimleri ve C^2 , D^2 parametreleri model içerisinde önemli faktörler olarak belirlenmiştir. Ancak faktörler içerisinde E etkili faktör olmamasına rağmen etkileşimde önemli olması nedeniyle model içerisinde yer almıştır. Ayrıca deneyler arasındaki varyasyonlar bloklama yapılarak test edilmiştir. Sonuç olarak p -değeri 0.05’ten büyük çıktığı için anlamlı bir farklılık bulunmamıştır.

Tablo 4.8: B yüzeyi için yapışma direnci varyans analizi sonuçları.

Kaynak	DF	SS	MS	F -Değeri	P -Değeri
Model	21	1,43669	0,068414	41,47	0,000
Blok	2	0,00066	0,000329	0,2	0,819
Lineer	5	0,56126	0,112253	68,04	0,000
A	1	0,08170	0,081701	49,52	0,000
B	1	0,03392	0,033917	20,56	0,000
C	1	0,42793	0,427934	259,38	0,000
D	1	0,01668	0,016684	10,11	0,002

Tablo 4.8 (Devam): B yüzeyi için yapışma direnci varyans analizi sonuçları.

E	1	0,00103	0,001027	0,62	0,431
Karasel	4	0,50093	0,125233	75,91	0,000
A*A	1	0,00036	0,000358	0,22	0,642
B*B	1	0,00256	0,0025656	1,55	0,215
C*C	1	0,24468	0,244685	148,31	0,000
D*D	1	0,28026	0,280264	169,88	0,000
Etkileşim	10	0,37384	0,037384	22,66	0,000
A*B	1	0,15440	0,154401	93,59	0,000
A*C	1	0,01475	0,014751	8,94	0,003
A*D	1	0,00002	0,000008	0,00	0,980
A*E	1	0,00043	0,000434	0,26	0,609
B*C	1	0,00143	0,001426	0,86	0,354
B*D	1	0,00038	0,000376	0,23	0,634
B*E	1	0,00067	0,000667	0,41	0,526
C*D	1	0,16418	0,164176	99,51	0,000
C*E	1	0,02641	0,026406	16,01	0,000
D*E	1	0,01120	0,011201	6,79	0,010
Hata	158	0,26067	0,001650		

Tablo 4.8 (Devam): B yüzeyi için yapışma direnci varyans analizi sonuçları.

Uyum yetersizliği	128	0,22739	0,001776	1,60	0,067
Saf hata	30	0,03328	0,001109		
Toplam	179				

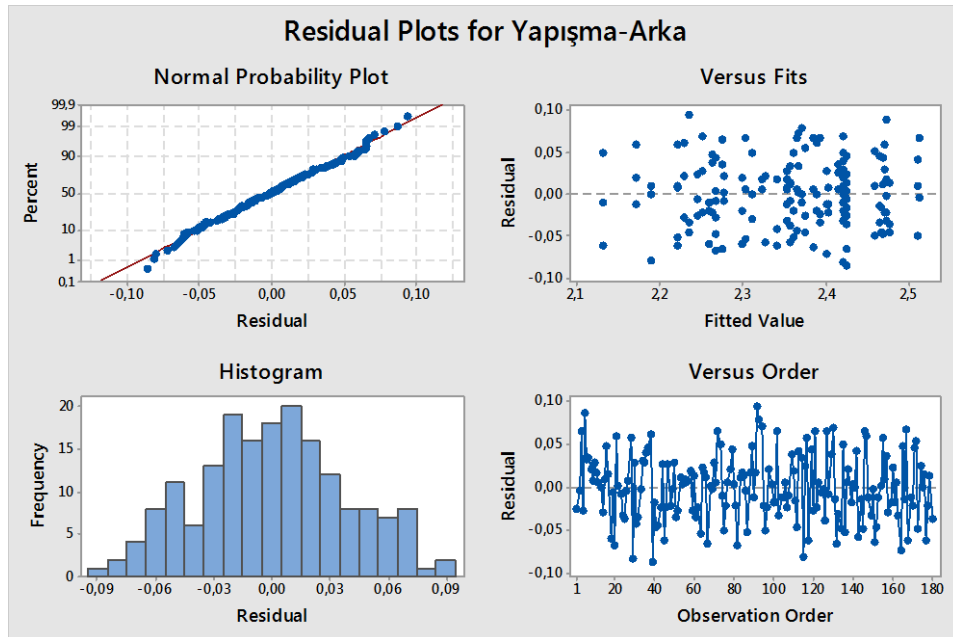
Tablo 4.9: Arka yüzeylerde A (ALO) ve B (SiC) zımparaları için geliştirilen matematiksel modeller.

Modeller		R^2	Adj- R^2	Press
Lineer	Yapışma-A = 2,9641 - 0,02382 A - 0,00767 B - 0,005451 C + 0,00215 D Yapışma-B = 2,9689 - 0,02382 A - 0,00767 B - 0,005451 C + 0,00215 D	33,07	31,14	1,21909
Lineer karasel	Yapışma-A = 0,675 - 0,0061 A - 0,0392 B + 0,04853 C + 0,06818 D - 0,00148 A*A+0,00099 B*B - 0,000386 C*C - 0,001651 D*D Yapışma-B = 0,680 - 0,0061 A - 0,0392 B + 0,04853 C + 0,06818 D - 0,00148 A*A+0,00099 B*B - 0,000386 C*C - 0,001651 D*D	62,58	60,60	0,701199
Lineer etkileşim	Yapışma-A = 0,841 + 0,2081 A + 0,0941 B - 0,00078 C + 0,0550 D - 0,02005 A*B+ 0,001240 A*C + 0,00002 A*D + 0,000193 B*C+0,000198 B*D-0,000827 C*D Yapışma-B = 0,531 + 0,2116 A + 0,0963 B + 0,00192 C + 0,0585 D - 0,02005 A*B+0,001240 A*C+0,00002 A*D +0,000193 B*C+0,000198 B*D-0,000827 C*D	55,09	50,98	0,880213

Tablo 4.9 (Devam): Arka yüzeylerde A (ALO) ve B (SiC) zımparaları için geliştirilen matematiksel modeller.

Kuadratik	$\begin{aligned} \text{Yapışma-A} &= -1,447 + 0,2258 A + 0,0626 B \\ &+ 0,05320 C + 0,1210 D \\ &- 0,00148 A*A + 0,000985 B*B - 0,000386 C*C \\ &- 0,001651 D*D - 0,02005 A*B + 0,001240 A*C \\ &+ 0,000021 A*D + 0,000193 B*C + 0,000198 B*D \\ &- 0,000827 C*D \\ \text{Yapışma-B} &= -1,758 + 0,2293 A \\ &+ 0,0647 B + 0,05591 C + 0,1245 D \\ &0,00148 A*A + 0,000985 B*B - 0,000386 C*C - \\ &0,001651 D*D - 0,02005 A*B + 0,001240 A*C \\ &+ 0,000021 A*D + 0,000193 B*C + 0,000198 B*D - \\ &0,000827 C*D \end{aligned}$	84,60	82,78	0,334971
-----------	--	-------	-------	----------

Şekil 4.22’de görüldüğü üzere, artılar garfiği (Normal probabilitt plot) ile artıkların normal dağıldığı görülmektedir. Her ne kadar çizgi üzerinde saplamalar gözüksede, artıkların histogram görünümü ile değerlendirildiğinde normalliğin karşılandığının göstergesidir. Sonuçlar tablodaki sınırlar arasında bulunduğu için artıklar arasında korelasyon bulunmadığı görülmüştür.



Şekil 4.22: Yapışma direnci B yüzeyi için modelin değerlendirilmesi.

Varyans analizi sonucu parametrelerin önem seviyeleri belirlenmiştir. Önemli olmayan parametreler olmasına rağmen ikili etkileşimlerde önemli olmalarından dolayı kurulan modellerden çıkarılmamıştır. Modelin parametrelerinin p -değerinin $0.000 < 0.05$ olması kurulan deneyin ve modelin doğruluğunu belirtmektedir Bir diğer önemli parametre olan uyum yetersizliği testi $p > 0.05$ olduğu için, anlamlı olmadığı söylenebilir. Bu durumda kurulan modelin yetersizliğini gösteren bir durum görünmemektedir. Ayrıca matematiksel modellerin değerlendirilmesinde; R^2 , $Adj-R^2$ ve $Press$ istatistik sonuçları birlikte değerlendirilmiş ve amaç fonksiyonu olarak kuadratik model seçilmiştir.

4.3.1.2. Yüzey Sertlik direncinin Varyans Analizi Sonuçlarının Değerlendirilmesi ve Matematiksel Modellerin Geliştirilmesi

Film sertliği direncinin değerlendirmesini gösteren varyans analizi sonuçları Tablo 4.10'da verilmiştir. Geliştirilen matematiksel modeller Tablo 4.11'de verilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre proses parametreleri; A, B ve C $\alpha=0.05$ e göre sertlik direnci üzerinde önemli parametreler olarak bulunmuştur. Aynı zamanda AB, AC, CD ve CE etkileşimleri ve C^2 , D^2 parametreleri model içerisinde önemli faktörler olarak belirlenmiştir. Ana faktörler içerisinde D ve E etkili faktör olmamasına rağmen etkileşimde önemli olması nedeniyle model içerisinde yer almıştır.

Tablo 4.10: A yüzeyi sertlik direnci için varyans analizi sonuçları.

Kaynak	DF	SS	MS	F-Değeri	P- Değeri
Model	21	3414,49	162,595	33,62	0,000
Blok	2	4,08	2,039	0,42	0,657
Lineer	5	1036,66	207,332	42,86	0,000
A	1	124,69	124,694	25,78	0,000
B	1	66,69	67,694	13,79	0,000
C	1	841,00	841,000	173,87	0,000

Tablo 4.10 (Devam): A yüzeyi sertlik direnci için varyans analizi sonuçları.

D	1	4,00	4,000	0,83	0,365
E	1	0,27	0,272	0,06	0,813
Karasel	4	1261,41	315,352	65,67	0,000
A*A	1	0,16	0,61	0,03	0,856
B*B	1	5,16	5,161	1,07	0,301
C*C	1	750,45	750,446	155,15	0,000
D*D	1	559,45	559,446	115,66	0,000
Etkileşim	10	1112,35	111,235	23,00	0,000
A*B	1	442,04	442,042	91,39	0,000
A*C	1	63,38	63,375	13,10	0,000
A*D	1	9,37	9,375	1,94	0,166
A*E	1	2,78	2,778	0,57	0,450
B*C	1	0,00	0,000	0,00	1,000
B*D	1	10,67	10,667	2,22	0,140
B*E	1	9,00	9,000	1,86	0,174
C*D	1	504,167	504,167	104,23	0,000
C*E	1	56,25	56,251	11,63	0,001
D*E	1	14,69	14,694	3,04	0,083
Hata	158	764,23	4,837		

Tablo 4.10 (Devam): B yüzeyi sertlik direnci için varyans analizi sonuçları.

Uyum yetersizliği	128	666,57	5,208	1,60	0,069
Saf hata	30	97,67	3,256		
Toplam	179				

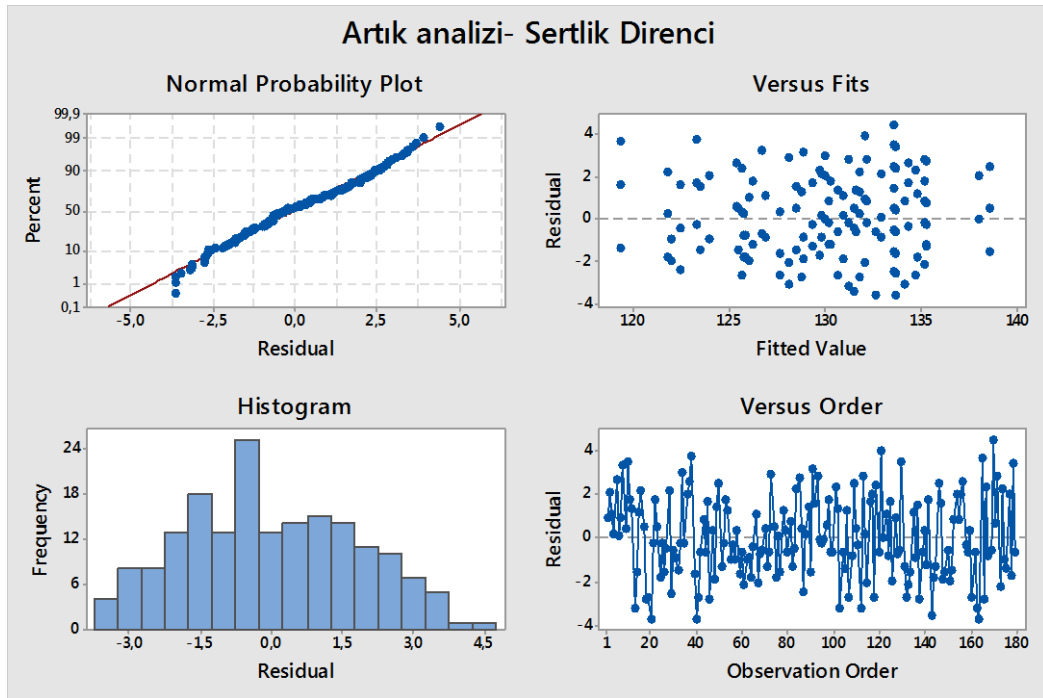
Tablo 4.11: Ön yüzeylerde A (ALO) ve B (SiC) zımparaları için geliştirilen matematiksel modeller.

Modeller		R^2	Adj- R^2	Press
Lineer	Sertlik-A = 157,58 - 0,931 A - 0,340 B - 0,2417 C + 0,0333 D Sertlik-B = 157,50 - 0,931 A - 0,340 B - 0,2417 C + 0,0333 D	24,81	22,65	3371,84
Lineer karesel	Sertlik-A = 38,9 - 1,31 A - 1,76 B + 2,748 C + 2,983 D + 0,031 A*A + 0,0443 B*B - 0,02135 C*C - 0,0737 D*D Sertlik-B = 38,8 - 1,31 A - 1,76 B + 2,748 C + 2,983 D + 0,031 A*A + 0,0443 B*B - 0,02135 C*C - 0,0737 D*D	54,99	52,61	2074,36
Lineer etkileşim	Sertlik-A = 30,5 + 11,94 A + 5,56 B + 0,125 C + 3,019 D - 1,073 A*B + 0,0813 A*C - 0,0625 A*D + 0,0000 B*C + 0,0333 B*D - 0,04583 C*D Sertlik-B = 24,8 + 11,66 A + 5,31 B + 0,250 C + 3,147 D - 1,073 A*B + 0,0813 A*C - 0,0625 A*D + 0,0000 B*C + 0,0333 B*D - 0,04583 C*D	51,43	46,98	2335,52

Tablo 4.11 (Devam): Ön yüzeylerde A (ALO) ve B (SiC) zımparaları için geliştirilen matematiksel modeller.

Kuadratik	$\begin{aligned} \text{Sertlik-A} &= -88,1 + 11,56 A + 4,14 B + 3,115 C \\ &+ 5,969 D + 0,031 A*A \\ &+ 0,0443 B*B - 0,02135 C*C - 0,07375 D*D \\ &- 1,073 A*B + 0,0813 A*C - 0,0625 A*D \\ &+ 0,0000 B*C + 0,0333 B*D - 0,04583 C*D \\ \text{Sertlik-B} &= -93,9 + 11,28 A + 3,89 B + 3,240 C \\ &+ 6,097 D + 0,031 A*A + 0,0443 B*B \\ &- 0,02135 C*C - 0,07375 D*D - 1,073 A*B \\ &+ 0,0813 A*C - 0,0625 A*D \\ &+ 0,0000 B*C + 0,0333 B*D - 0,04583 C*D \end{aligned}$	81,61	79,43	974,224
-----------	--	-------	-------	---------

Şekil 4.23 görüldüğü üzere, artılar garfıği (Normal probabilit plot) ile artıkların normal dağıldığı görülmektedir. Her ne kadar çizgi üzerinde saplamalar gözüksede, artıkların histogram görünümü ile değerlendirildiğinde normalliğin karşılandığının göstergesidir. Sonuçlar tablodaki sınırlar arasında bulunduğu için artıklar arasında korelasyon bulunmadığı görülmüştür.



Şekil 4.23: Sertlik direnci ön yüzey için modelin değerlendirilmesi.

Varyans analizi sonucu parametrelerin önem seviyeleri belirlenmiştir. Önemli olmayan parametreler olmasına rağmen ikili etkileşimlerde önemli olmalarından dolayı kurulan modellerden çıkarılmamıştır. Modelin parametrelerinin p -değerinin $0.000 < 0.05$ olması kurulan deneyin ve modelin doğruluğunu belirtmektedir Bir diğer önemli parametre olan uyum yetersizliği testi $p > 0.05$ olduğu için, anlamlı olmadığı söylenebilir. Bu durumda kurulan modelin yetersizliğini gösteren bir durum görünmemektedir. Ayrıca matematiksel modellerin değerlendirilmesinde; R^2 , $Adj-R^2$ ve $Press$ istatistik sonuçları birlikte değerlendirilmiş ve amaç fonksiyonu olarak kuadratik model seçilmiştir.

B yüzeyi için varyans analizi sonuçları Tablo 4.12’de verilmiştir. Geliştirilen matematiksel modeller Tablo 4.13’de verilmiştir. A, B, C faktörleri ve AB, AC, CD ve CE etkileşimleri ve C^2 , D^2 parametreleri model içerisinde önemli faktörler olarak belirlenmiştir. Ana faktörler içerisinde D ve E etkili faktör olmamasına rağmen etkileşimde önemli olması nedeniyle model içerisinde yer almıştır. Deney üzerinde bloklama etkisi önemli bulunmamıştır.

Tablo 4.12: B yüzeyi sertlik direnci için varyans analizi sonuçları.

Kaynak	DF	SS	MS	F - Değeri	P - Değeri
Model	21	3412,59	162,504	34,11	0,000
Blok	2	3,68	1,839	0,39	0,680
Lineer	5	1032,42	206,484	43,34	0,000
A	1	103,36	103,361	21,69	0,000
B	1	72,25	72,250	15,16	0,000
C	1	850,69	850,694	178,55	0,000
D	1	5,44	5,444	1,14	0,287
E	1	0,67	0,672	0,14	0,708

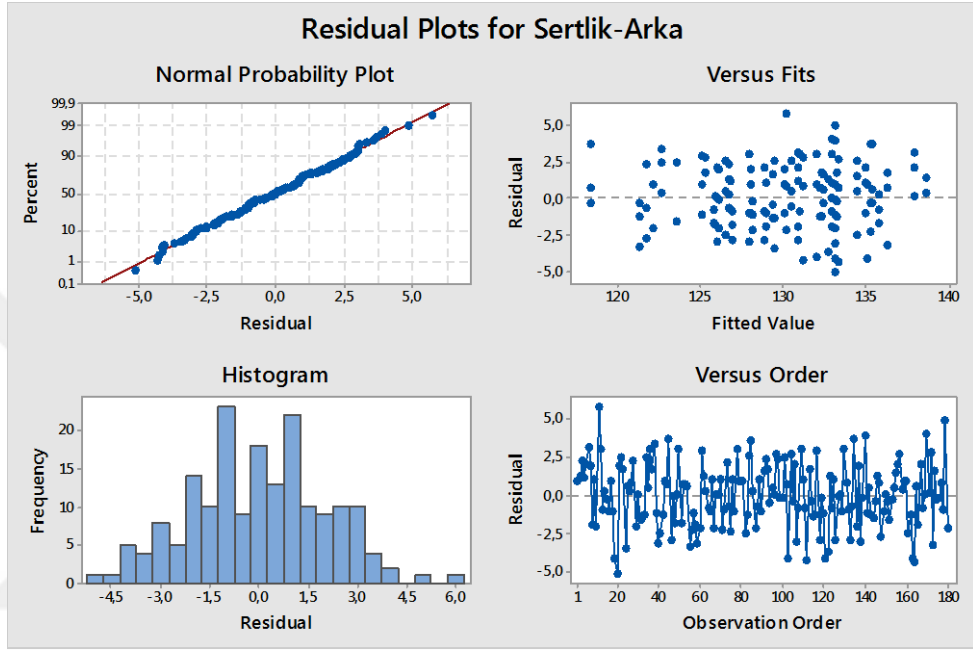
Tablo 4.12 (Devam): B yüzeyi için sertlik direnci varyans analizi sonuçları.

Karasel	4	1232,13	308,033	64,65	0,000
A*A	1	1,67	1,669	0,35	0,555
B*B	1	15,72	15,716	3,30	0,071
C*C	1	716,67	716,669	150,42	0,000
D*D	1	518,10	518,097	108,74	0,000
Etkileşim	10	1144,36	114,436	24,20	0,000
A*B	1	400,17	400,167	83,99	0,000
A*C	1	77,04	77,042	16,17	0,000
A*D	1	15,04	15,042	3,16	0,078
A*E	1	12,25	12,250	2,57	0,111
B*C	1	0,04	0,042	0,01	0,926
B*D	1	7,04	7,042	1,48	0,226
B*E	1	10,03	10,028	2,10	0,149
C*D	1	541,50	541,500	113,65	0,000
C*E	1	72,25	72,12	15,16	0,000
D*E	1	9,00	9,02	1,89	0,171
Hata	158	752,80	4,765		
Uyum yeters	128	656,80	5,131	1,60	0,67
Saf hata	30	96,00	3,204		
Toplam	179				

Tablo 4.13: Arka yüzeylerde A (ALO) ve B (SiC) zımparaları için geliştirilen matematiksel modeller.

Modeller		R^2	Adj- R^2	Press
Lineer	Sertlik-A = 157,22 - 0,847 A - 0,354 B - 0,2431 C + 0,0389 D Sertlik-B = 157,34 - 0,847 A - 0,354 B - 0,2431 C + 0,0389 D	24,79	22,62	3364,73
Lineer karasel	Sertlik-A = 52,7 - 2,06 A - 2,83 B + 2,678 C + 2,878 D + 0,101 A*A + 0,0773 B*B- 0,02087 C*C - 0,0710 D*D Sertlik-B = 52,9 - 2,06 A - 2,83 B + 2,678 C + 2,878 D + 0,101 A*A + 0,0773 B*B- 0,02087 C*C - 0,0710 D*D	54,37	51,95	2097,01
Lineer etkileşim	Sertlik-A = 32,8 + 11,09 A + 5,29 B + 0,082 C + 3,356 D - 1,021 A*B + 0,0896 A*C - 0,0792 A*D + 0,0010 B*C + 0,0271 B*D - 0,04750 C*D Sertlik-B = 28,7 + 10,51 A + 5,02 B + 0,224 C + 3,456 D - 1,021 A*B + 0,0896 A*C - 0,0792 A*D + 0,0010 B*C + 0,0271 B*D - 0,04750 C*D	52,26	47,89	2288,94
Kuadratik	Sertlik-A = -71,7 + 9,88 A + 2,82 B + 3,003 C + 6,194 D + 0,101 A*A + 0,0773 B*B- 0,02087 C*C - 0,07097 D*D - 1,021 A*B + 0,0896 A*C - 0,0792 A*D+ 0,0010 B*C + 0,0271 B*D - 0,04750 C*D Sertlik-B = -75,8 + 9,30 A + 2,55 B + 3,145 C + 6,294 D + 0,101 A*A + 0,0773 B*B- 0,02087 C*C - 0,07097 D*D - 1,021 A*B + 0,0896 A*C - 0,0792 A*D+ 0,0010 B*C + 0,0271 B*D - 0,04750 C*D	81,84	79,68	956,695

Şekil 4.24'de görüldüğü üzere, artıklar garfiği (Normal probabilit plot) ile artıkların normal dağıldığı görülmektedir. Her ne kadar çizgi üzerinde saplamalar gözüksede, artıkların histogram görünümü ile değerlendirildiğinde normalliğin karşılandığının göstergesidir. Sonuçlar tablodaki sınırlar arasında bulunduğu için artıklar arasında korelasyon bulunmadığı görülmüştür.



Şekil 4.24: Sertlik direnci arka yüzey için modelin değerlendirilmesi.

Varyans analizi sonucu parametrelerin önem seviyeleri belirlenmiştir. Önemli olmayan parametreler olmasına rağmen ikili etkileşimlerde önemli olmalarından dolayı kurulan modellerden çıkarılmamıştır. Modelin parametrelerinin p -değerinin $0.000 < 0.05$ olması kurulan deneyin ve modelin doğruluğunu belirtmektedir. Bir diğer önemli parametre olan uyum yetersizliği testi $p > 0.05$ olduğu için, anlamlı olmadığı söylenebilir. Bu durumda kurulan modelin yetersizliğini gösteren bir durum görünmemektedir. Ayrıca matematiksel modellerin değerlendirilmesinde; R^2 , $Adj-R^2$ ve $Press$ istatistik sonuçları birlikte değerlendirilmiş ve amaç fonksiyonu olarak kuadratik model seçilmiştir.

4.3.2. Prosesin İkinci Bölümünün Deney Tasarımı Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Prosesin ikinci bölümü yaş boya uygulama ve kalibre zımpara parametrelerini kapsamaktadır. Proses parametreleri bant hızı (A), kesme hızı (B), uygulanan boya miktarı (C) ve zımpara numarası (D) olarak belirlenmiştir. Prosesin kalite karakteristikleri

film sertliği ve film kalınlığı olarak belirlenmiştir. Prosesin optimum seviyeleri belirlenirken film sertliği en büyük en iyi ve film kalınlığı en kkk en iyi olarak araştırılmıştır. Prosesin ikinci bölümünde uygulanan deney tasarımı ve sonuçları *Ek-4*'de verilmiştir.

4.3.2.1. Sertlik Direncinin Varyans Analizi Sonuçlarının Değerlendirilmesi ve Matematiksel Modellerin Geliştirilmesi

Prosesin ikinci bölümden elde edilen varyans analizi sonuçları Tablo 4.14' de verilmiştir. Geliştirilen matematiksel modeller 4.15'de verilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre proses parametreleri; B, C ve D $\alpha=0.05$ e göre sertlik direnci üzerinde önemli parametreler olarak bulunmuştur. Aynı zamanda AC, BC, CD, BD, etkileşimleri ve A^2 , B^2 ve C^2 parametreleri model içerisinde önemli faktörler olarak belirlenmiştir. Ana faktörler içerisinde A etkili faktör olmamasına rağmen etkileşimde önemli olması nedeniyle model içerisinde yer almıştır. Deney üzerinde bloklama etkisi önemli bulunmamıştır.

Tablo 4.14: A yüzeyi sertlik direnci için varyans analizi sonuçları.

Kaynak	DF	SS	MS	F-Değer	P-Değer
Model	15	1061,11	70,740	38,07	0,000
Blok	2	0,52	0,258	0,14	0,874
Lineer	4	693,23	173,308	93,26	0,000
A	1	0,27	0,267	0,14	0,706
B	1	528,07	528,067	284,17	0,000
C	1	91,27	91,267	49,11	0,000
D	1	73,63	73,633	39,62	0,000
Karasel	3	305,56	101,854	54,81	0,000
A*A	1	85,23	85,227	45,86	0,000

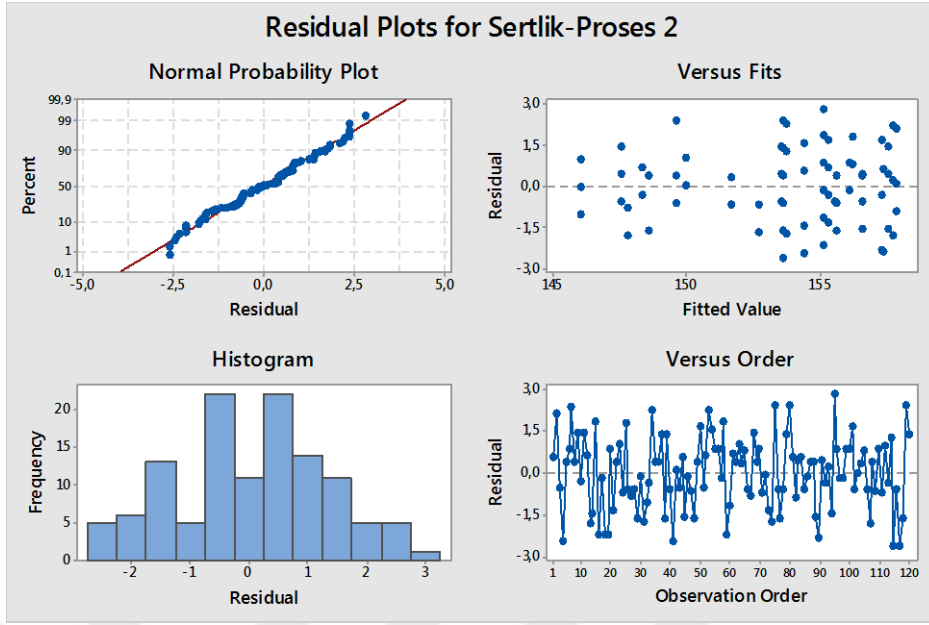
Tablo 4.14 (Devam): A yüzeyi sertlik direnci için varyans analizi sonuçları.

B*B	1	294,85	294,852	158,67	0,000
C*C	1	14,56	14,561	7,84	0,006
Etkileşim	6	61,80	10,299	5,54	0,000
A*B	1	0,52	0,521	0,28	0,598
A*C	1	11,02	11,021	5,93	0,017
A*D	1	2,40	2,400	1,29	0,258
B*C	1	28,52	28,521	15,35	0,000
B*D	1	8,07	8,067	4,44	0,040
C*D	1	11,27	11,267	6,06	0,015
Hata	104	193,26	1,858		
Uyum yetersizliği	74	117,26	1,585	0,63	0,947
Saf hata	30	76,00	2,533		
Toplam	119				

Tablo 4.15: Ön yüzey sertlik direnci için A (320-500), B(320-500-600) için geliştirilen matematiksel modeller.

Modeller		R^2	Adj-R	Press
Lineer	Sertlik-A = 168,71 - 0,067 A - 0,5933 B - 0,02467 C Sertlik-B = 170,27 - 0,067 A - 0,5933 B - 0,02467 C	55,27	53,71	606,092
Lineer karesel	Sertlik-A = 297,5 - 27,34 A + 2,450 B - 0,325 C + 2,273 A*A - 0,1691 B*B + 0,000376 C*C Sertlik-B = 299,0 - 27,34 A + 2,450 B - 0,325 C + 2,273 A*A - 0,1691 B*B + 0,000376 C*C	79,63	78,35	292,347
Lineer etkileşim	Sertlik-A = 177,9 - 3,91 A + 0,692 B - 0,0457 C - 0,0208 A*B + 0,00958 A*C - 0,00308 B*C Sertlik-B = 182,7 - 3,51 A + 0,838 B - 0,0631 C - 0,0208 A*B + 0,00958 A*C - 0,00308 B*C	60,19	56,54	570,204
Kuadratik	Sertlik-A = 306,6 - 31,19 A + 3,735 B - 0,346 C + 2,273 A*A - 0,1691 B*B + 0,000376 C*C - 0,0208 A*B + 0,00958 A*C - 0,003083 B*C Sertlik-B = 311,4 - 30,79 A + 3,882 B - 0,364 C + 2,273 A*A - 0,1691 B*B + 0,000376 C*C - 0,0208 A*B + 0,00958 A*C - 0,003083 B*C	84,55	82,66	240,322

Şekil 4.25'de görüldüğü üzere, artılar garfiği (Normal probabilit plot) ile artıkların normal dağıldığı görülmektedir. Her ne kadar çizgi üzerinde saplamalar gözüksede, artıkların histogram görünümü ile değerlendirildiğinde normalliğin karşılandığının göstergesidir. Sonuçlar tablodaki sınırlar arasında bulunduğu için artıklar arasında korelasyon bulunmadığı görülmüştür.



Şekil 4.25: Sertlik direnci ön yüzey için modelin değerlendirilmesi.

Varyans analizi sonucu parametrelerin önem seviyeleri belirlenmiştir. Önemli olmayan parametreler olmasına rağmen ikili etkileşimlerde önemli olmalarından dolayı kurulan modellerden çıkarılmamıştır. Modelin parametrelerinin p -değerinin $0.000 < 0.05$ olması kurulan deneyin ve modelin doğruluğunu belirtmektedir. Bir diğer önemli parametre olan uyum yetersizliği testi $p > 0.05$ olduğu için, anlamlı olmadığı söylenebilir. Bu durumda kurulan modelin yetersizliğini gösteren bir durum görünmemektedir. Ayrıca matematiksel modellerin değerlendirilmesinde; R^2 , $Adj-R^2$ ve $Press$ istatistik sonuçları birlikte değerlendirilmiş ve amaç fonksiyonu olarak kuadratik model seçilmiştir.

B yüzeyinin varyans analizi sonuçları Tablo 4.16'da ve geliştirilen matematiksel modeller Tablo 4.17'de verilmiştir. Sonuçlara göre; B, C ve D $\alpha=0.05$ e göre sertlik direnci üzerinde önemli parametreler olarak bulunmuştur. Aynı zamanda AC, BC, CD, BD, etkileşimleri ve A^2 , B^2 ve C^2 parametreleri model içerisinde önemli faktörler olarak belirlenmiştir. Ana faktörler içerisinde A etkili faktör olmamasına rağmen etkileşimde önemli olması nedeniyle model içerisinde yer almıştır. Deney üzerinde bloklama etkisi önemli bulunmamıştır.

Tablo 4.16: Arka yüzey sertlik direnci için varyans analizi sonuçları.

Kaynak	DF	SS	MS	<i>F</i> -Değeri	<i>P</i> -Değeri
Model	15	1072,38	71,492	43,66	0,000
Blok	2	1,22	0,608	0,37	0,691
Lineer	4	687,37	171,842	104,95	0,000
A	1	2,40	2,40	1,47	2,229
B	1	481,67	481,667	294,17	0,000
C	1	123,27	123,267	75,28	0,000
D	1	80,03	80,033	48,88	0,000
Karasel	3	304,18	101,394	61,93	0,000
A*A	1	87,52	87,515	53,45	0,000
B*B	1	290,64	290,640	177,51	0,000
C*C	1	10,64	10,641	6,50	0,012
Etkileşim	6	79,62	13,269	8,10	0,000
A*B	1	0,75	0,75	0,46	0,500
A*C	1	12,00	12,00	7,33	0,008
A*D	1	0,27	0,267	0,16	0,687
B*C	1	40,333	40,333	24,63	0,000
B*D	1	11,27	11,267	6,88	0,010
C*D	1	15,00	15,00	9,16	0,003

Tablo 4.16 (Devam): Arka yüzey sertlik direnci için varyans analizi sonuçları.

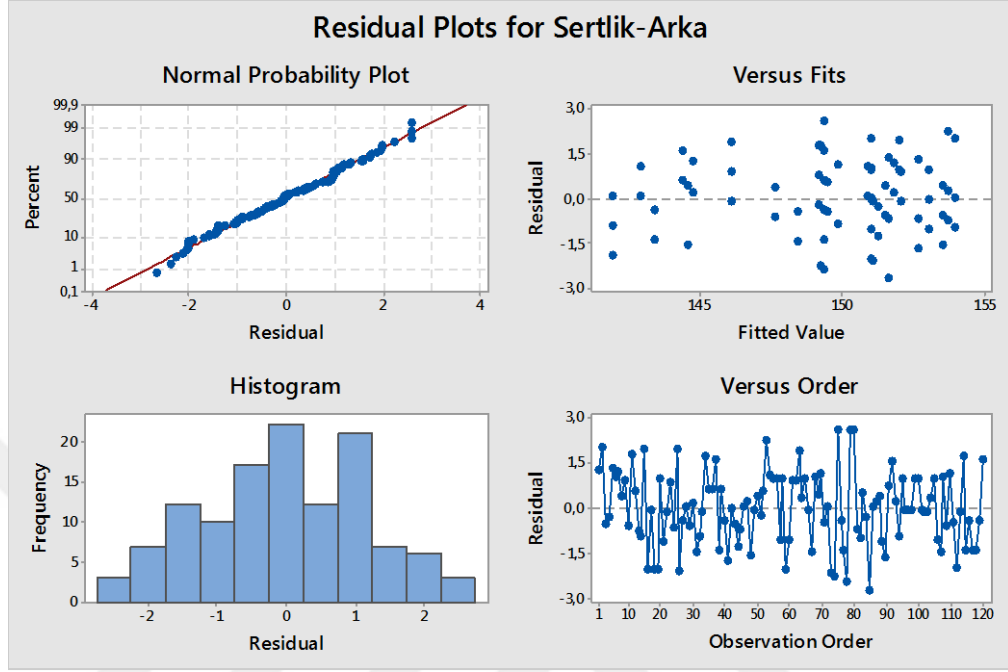
Hata	104	170,28	1,637		
Uyum yetersizliği	74	106,28	1,436	0,67	0,913
Saf hata	30	64,00	2,133		
Toplam	119	1242,67			

Tablo 4.17: B yüzeyi sertlik direnci A (320-500), B(320-500-600) için geliştirilen matematiksel modeller.

Modeller		R^2	$Adj-R^2$	$Press$
Lineer	Sertlik-A = 166,62 - 0,200 A - 0,5667 B - 0,02867 C Sertlik-B = 168,25 - 0,200 A - 0,5667 B - 0,02867 C	55,31	53,76	601,791
Lineer karesel	Sertlik-A = 287,9 - 27,84 A + 2,455 B - 0,286 C + 2,303 A*A - 0,1679 B*B + 0,000321 C*C Sertlik-B = 289,5 - 27,84 A + 2,455 B - 0,286 C + 2,303 A*A - 0,1679 B*B + 0,000321 C*C	79,79	78,53	288,799
Lineer etkileşim	Sertlik-A = 172,4 - 3,91 A + 0,963 B - 0,0457 C - 0,0250 A*B + 0,01000 A*C - 0,00367 B*C Sertlik-B = 181,3 - 4,04 A + 1,137 B - 0,0657 C - 0,0250 A*B + 0,01000 A*C - 0,00367 B*C	61,72	58,21	546,114
Kuadratik	Sertlik-A = 293,7 - 31,54 A + 3,985 B - 0,303 C + 2,303 A*A - 0,1679 B*B + 0,000321 C*C - 0,0250 A*B + 0,01000 A*C - 0,003667 B*C Sertlik-B = 302,6 - 31,68 A + 4,158 B - 0,323 C + 2,303 A*A - 0,1679 B*B + 0,000321 C*C - 0,0250 A*B + 0,01000 A*C - 0,003667 B*C	86,20	84,51	215,380

Şekil 4.26'de görüldüğü üzere, artıklar garfıği (Normal probability plot) ile artıkların normal dağıldığı görülmektedir. Her ne kadar çizgi üzerinde saplamalar gözüksede, artıkların histogram görünümü ile değerlendirildiğinde normalliğin karşılandığının

göstergesidir. Sonuçlar tablodaki sınırlar arasında bulunduğu için artıklar arasında korelasyon bulunmadığı görülmüştür.



Şekil 4.26: Sertlik direnci arka yüzey için modelin değerlendirilmesi.

Modelin F değerinin 50.93 ve p-değerinin $0.000 < 0.05$ olması kurulan deneyin ve modelin alımlığını belirtmektedir. Model parametrelerinin değerleri “Prob>F” değerinin < 0.05 olmasından dolayı kurulan matematiksel modellerin doğrulunu desteklemektedir. Varyans analizi sonucu parametrelerin önem seviyeleri belirlenmiştir. Önemli olmayan parametreler olmasın rağmen ikil etkileşimlerde önemli olmalarından dolayı kurulan modellerden çıkarılmamıştır. Bir değer önemli parametre olan uyum yetersizliği testi $p > 0.05$ olduğu için, anlamlı olmadığı söylenebilir. Bu durumda kurulan modelin yetersizliği gösteren bir durum görünmemekte ve amaç fonksiyonu olarak kuadratik model seçilmiştir.

4.3.2.2. Film Kalınlığın Varyans Analizi Sonuçlarının Değerlendirilmesi ve Matematiksel Modellerin Geliştirilmesi

Prosesin ikinci bölümünde film kalınlığın varyans analizi sonuçları Tablo 4.18’de verilmiştir. Geliştirilen matematiksel modeller Tablo 4.19’da verilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre proses parametreleri; A, B, C ve D $\alpha=0.05$ e göre film kalınlığı üzerinde önemli parametreler olarak bulunmuştur. Aynı zamanda BC, CD etkileşimleri ve A^2 , B^2

parametreleri model içerisinde önemli faktörler olarak belirlenmiştir. Deney üzerinde bloklama etkisi önemli bulunmamıştır.

Tablo 4.18: A yüzeyi film kalınlığı için varyans analizi sonuçları.

Kaynak	<i>DF</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i> -Değeri	<i>P</i> -Değeri
Model	15	4434,08	295,61	59,21	0,000
Blok	2	12,80	6,40	1,28	0,282
Lineer	4	3868,70	967,17	193,73	0,000
A	1	173,40	173,40	34,73	0,000
B	1	1622,40	1622,40	324,97	0,000
C	1	1075,27	1075,27	215,38	0,000
D	1	997,63	997,63	199,83	0,000
Karasel	1	458,17	152,722	30,59	0,000
A*A	1	309,83	309,83	62,06	0,000
B*B	1	286,46	286,46	57,38	0,000
C*C	1	16,50	16,500	3,30	0,072
Etkileşim	1	94,42	15,74	3,15	0,007
A*B	1	0,75	0,750	0,15	0,699
A*C	1	8,33	8,33	1,67	0,200
A*D	1	15,00	15,00	3,00	0,086
B*C	1	27,00	27,00	5,41	0,022

Tablo 4.18 (Devam): A yüzeyi film kalınlığı için varyans analizi sonuçları.

B*D	1	1,67	1,67	0,33	0,565
C*D	1	41,67	41,67	8,35	0,005
Hata	104	519,22	4,99		
Uyum yetersizliği	74	356,22	4,81	0,89	0,670
Saf hata	30	163,00	5,43		
Toplam	119	4953,30			

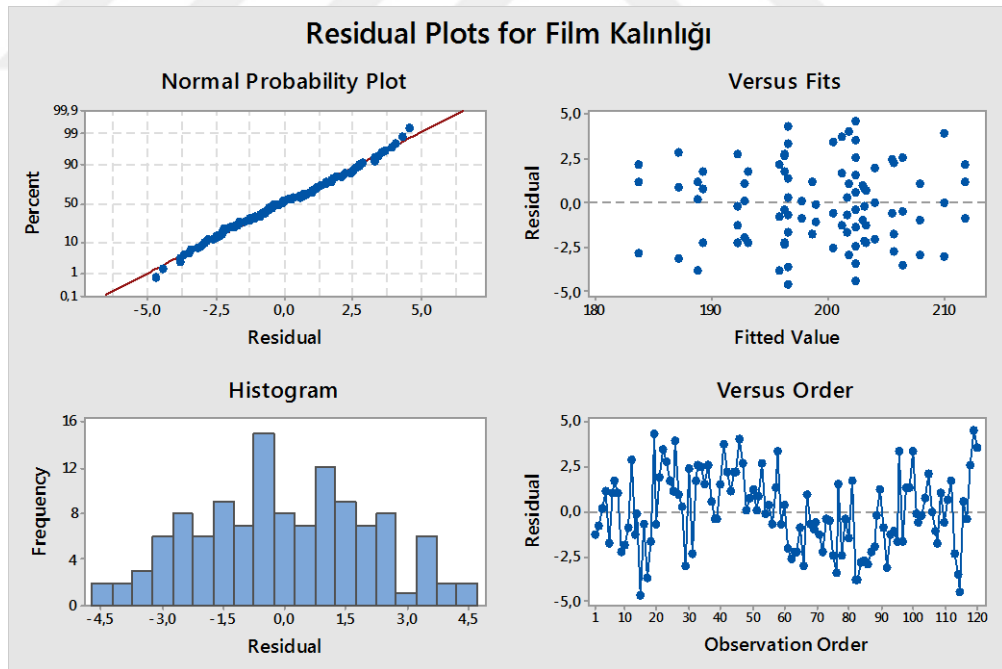
Tablo 4.19: A yüzeyi film kalınlığı A (320-500), B(320-500-600) için geliştirilen matematiksel modeller.

Modeller		R^2	Adj- R^2	Press
Lineer	Film Kalınlığı-A = 167,33 + 1,700 A - 1,0400 B + 0,08467 C Film Kalınlığı-B = 161,56 + 1,700 A - 1,0400 B + 0,08467 C	78,10	77,43	1176,54
Lineer karesel	Film Kalınlığı-A = 246,2 - 50,30 A + 1,960 B + 0,405 C + 4,333 A*A- 0,1667 B*B - 0,000400 C*C Film Kalınlığı-B = 240,5 - 50,30 A + 1,960 B + 0,405 C + 4,333 A*A- 0,1667 B*B - 0,000400 C*C	87,35	86,56	716,93
Lineer karesel	Film Kalınlığı-A = 152,8 + 4,76 A - 2,057 B + 0,1243 C - 0,0250 A*B- 0,00833 A*C + 0,00300 B*C Film Kalınlığı-B = 155,0 + 5,76 A - 2,123 B + 0,0910 C - 0,0250 A*B- 0,00833 A*C + 0,00300 B*C	80,01	78,18	1165,13

Tablo 4.19 (Devam): A yüzeyi film kalınlığı A (320-500), B (320-500-600) için geliştirilen matematiksel modeller.

Kuadratik	<p>Film Kalınlığı-A = $231,7 - 47,24 A + 0,943 B$ $+ 0,444 C + 4,333 A*A - 0,1667 B*B$ $- 0,000400 C*C - 0,0250 A*B$ $- 0,00833 A*C + 0,00300 B*C$</p> <p>Film Kalınlığı-B = $233,9 - 46,24 A + 0,877 B$ $+ 0,411 C + 4,333 A*A - 0,1667 B*B$ $- 0,000400 C*C - 0,0250 A*B$ $- 0,00833 A*C + 0,00300 B*C$</p>	89,26	87,94	686,293
-----------	---	-------	-------	---------

Şekil 4.27’de görüldüğü üzere, artıklar garfığı (Normal probability plot) ile artıkların normal dağıldığı görülmektedir. Her ne kadar çizgi üzerinde saplamalar gözüksede, artıkların histogram görünümü ile değerlendirildiğinde normalliğin karşılandığının göstergesidir. Sonuçlar tablodaki sınırlar arasında bulunduğu için artıklar arasında korelasyon bulunmadığı görülmüştür.



Şekil 4.27: Film kalınlığı ön yüzey için modelin değerlendirilmesi.

Modelin F değerinin 67,76 ve p-değerinin $0.000 < 0.05$ olması kurulan deneyin ve modelin alımlılığını belirtmektedir. Model parametrelerinin değerleri “Prob>F” değerinin < 0.05 olmasından dolayı kurulan matematiksel modellerin doğrulunu desteklemektedir.

Varyans analizi sonucu parametrelerin önem seviyeleri belirlenmiştir. Önemli olmayan parametreler olamasın rağmen ikil etkileşimlerde önemli olmalarından dolayı kurulan modellerden çıkarılmamıştır. Bir diğer önemli parametre olan uyum yetersizliği testi $p>0.05$ olduğu için, anlamlı olmadığı söylenebilir. Bu durumda kurulan modelin yetersizliği gösteren bir durum görünmemekte ve amaç fonksiyonu olarak kuadratik model seçilmiştir.

Prosesin ikinci bölümünde B yüzeyinin film kalınlığının varyans analizi sonuçları Tablo 4.20’ de ve matematiksel modeller 4.21’de verilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre proses parametreleri; A, B, C ve D $\alpha=0.05$ e göre film kalınlığı üzerinde önemli parametreler olarak bulunmuştur. Aynı zamanda BC, CD etkileşimleri ve A^2 , B^2 parametreleri model içerisinde önemli faktörler olarak belirlenmiştir. Deney üzerinde bloklama etkisi önemli bulunmamıştır.

Tablo 4.20: B yüzeyinin film kalınlığı için varyans analizi sonuçları.

Kaynak	DF	SS	MS	F-Değeri	P-Değeri
Model	15	4226,54	281,77	57,07	0,000
Blok	2	0,82	0,41	0,08	0,921
Lineer	4	3591,70	897,92	181,80	0,000
A	1	123,27	123,28	24,97	0,000
B	1	1480,07	1480,07	299,80	0,000
C	1	944,07	944,07	191,23	0,000
D	1	1044,30	1044,31	211,53	0,000
Karasel	3	513,80	171,27	34,69	0,000
A*A	1	322,97	322,76	65,42	0,000
B*B	1	320,76	320,761	64,97	0,000

Tablo 4.20 (Devam): B yüzeyinin film kalınlığı için varyans analizi sonuçları.

C*C	1	25,47	25,470	5,16	0,053
Etkileşim	6	120,22	20,04	4,06	0,001
A*B	1	0,08	0,083	0,02	0,897
A*C	1	1,33	1,333	0,27	0,604
A*D	1	32,27	32,267	6,54	0,012
B*C	1	48,00	48,000	9,72	0,002
B*D	1	3,27	3,267	0,66	0,414
C*D	1	35,27	35,267	7,14	0,009
Hata	104	513,43	4,94		
Uyum yetersizliği	74	401,10	3,74	0,27	0,130
Saf hata	30	112,33	5,448		
Toplam	119	4739,97			

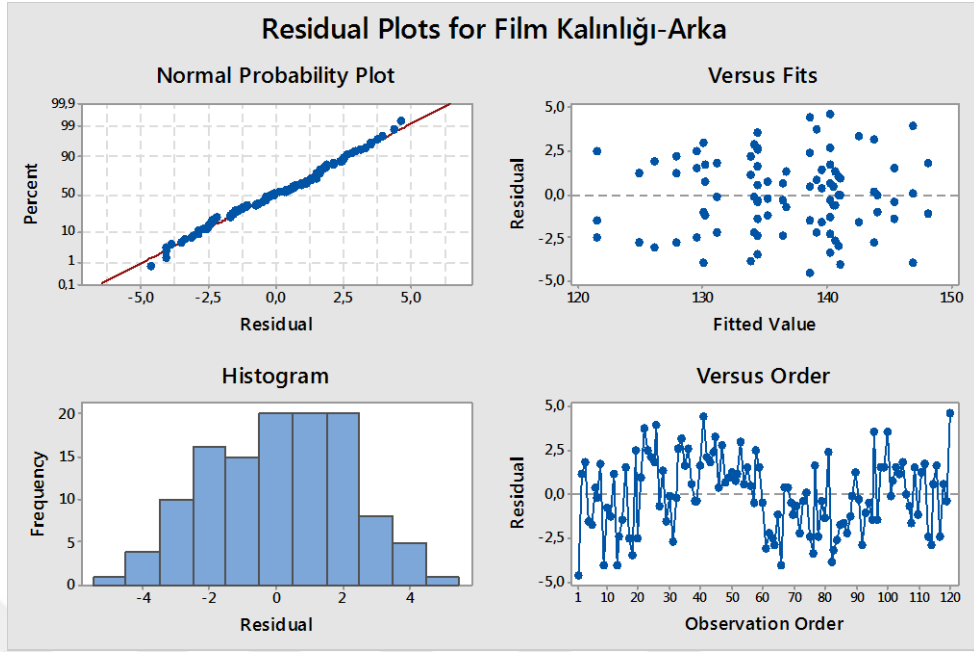
Tablo 4.21: B yüzeyi film kalınlığı A (320-500), B(320-500-600) için geliştirilen matematiksel modeller.

Modeller		R^2	Adj- R^2	Press
Lineer	Film Kalınlığı-A = $108,37 + 1,433 A - 0,9933 B + 0,07933 C$ Film Kalınlığı-B = $102,47 + 1,433 A - 0,9933 B + 0,07933 C$	75,77	74,93	1251,10

Tablo 4.21 (Devam): B yüzeyi film kalınlığı A (320-500), B (320-500-600) için geliştirilen matematiksel modeller.

Lineer karesel	Film Kalınlığı-A = $174,5 - 51,66 A + 2,181 B$ $+ 0,477 C + 4,424 A*A - 0,1764 B*B$ $- 0,000497 C*C$ Film Kalınlığı-B = $168,6 - 51,66 A + 2,181 B$ $+ 0,477 C + 4,424 A*A - 0,1764 B*B$ $- 0,000497 C*C$	86,61	85,78	732,588
Lineer etkileşim	Film Kalınlığı-A = $112,2 + 2,11 A - 2,497 B$ $+ 0,0787 C - 0,0083 A*B - 0,00333 A*C$ $+ 0,00400 B*C$ Film Kalınlığı-B = $110,6 + 3,57 A - 2,590 B$ $+ 0,0480 C - 0,0083 A*B - 0,00333 A*C$ $+ 0,00400 B*C$	78,31	76,32	1221,40
Kuadratik	Film Kalınlığı-A = $178,3 - 50,98 A + 0,678 B$ $+ 0,476 C + 4,424 A*A - 0,1764 B*B$ $- 0,000497 C*C - 0,0083 A*B - 0,00333 A*C$ $+ 0,00400 B*C$ Film Kalınlığı-B = $176,7 - 49,52 A + 0,585 B$ $+ 0,446 C + 4,424 A*A - 0,1764 B*B$ $- 0,000497 C*C - 0,0083 A*B - 0,00333 A*C$ $+ 0,00400 B*C$	89,15	87,82	680,600

Şekil 4.28’de görüldüğü üzere, artılar garfiği (Normal probabilit plot) ile artıkların normal dağıldığı görülmektedir. Her ne kadar çizgi üzerinde saplamalar gözüksede, artıkların histogram görünümü ile değerlendirildiğinde normalliğin karşılandığının göstergesidir. Sonuçlar tablodaki sınırlar arasında bulunduğu için artıklar arasında korelasyon bulunmadığı görülmüştür.



Şekil 4.28: Film kalınlığı arka yüzey için modelin değerlendirilmesi.

Modelin F değerinin 67,76 ve p-değerinin $0.000 < 0.05$ olması kurulan deneyin ve modelin alımlığını belirtmektedir. Model parametrelerinin değerleri “Prob>F” değerinin < 0.05 olmasından dolayı kurulan matematiksel modellerin doğrulunu desteklemektedir. Varyans analizi sonucu parametrelerin önem seviyeleri belirlenmiştir. Önemli olmayan parametreler olmasın rağmen ikili etkileşimlerde önemli olmalarından dolayı kurulan modellerden çıkarılmamış ve kuadratik model seçilmiştir. Bir diğer önemli parametre olan uyum yetersizliği testi $p > 0.05$ olduğu için, anlamlı olmadığı söylenebilir. Bu durumda kurulan modelin yetersizliğini gösteren bir durum görünmemektedir.

4.4. PROSESİN ENİYİLENMESİ

4.4.1. Bulanık-AHP ile Kalite Karakteristiklerinin Ağırlıklarının Belirlenmesi

Tez kapsamında genişletilmiş analiz Bulanık-AHP yöntemi için Chang (1996)'nın esasları alınmıştır. Değerlendirmeyi yapan kişi sayısı 8 olup, 3 kalite mühendisi, 2 yüzey işlem sorumlusu, 2 birim sorumlusu, 1 doktora tez öğrencisi tarafından anket uygulanmıştır. Ortaya çıkan sonuçlara göre; yapışma direnci hem yüzey sertliği hemde film kalınlığından daha önemli bulunmuştur. Literatür özetleri ile beraber değerlendirildiğinde, yüzey işlem performansında önemli bir problem olarak görülen yüzeyin yapışma direnci, film kalınlığı ve yüzeyin sertlik değerleri ile uyumlu görülmektedir. Bu nedenlerden dolayı yüzey işlem performansının değerlendirilmesinde

yapışma direnci, film kalınlığı ve yüzey sertlik değerleri çıktı parametreleri olarak belirlenmiştir.

Tablo 4.22: Önem derecelerinin üçgensel bulanık sayı gösterimi.

Önem Derecesi	Üçgensel Bulanık Sayı Karşılığı	Ters Üçgensel Bulanık Sayı
Eşit Derece Önemli	(1, 1, 3)	(1/3, 1, 1)
Orta Derece Önemli	(1, 3, 5)	(1/5, 1/3, 1)
Kuvvetli Derece Önemli	(3, 5, 7)	(1/7, 1/5, 1/3)
Çok Kuvvetli Derece Önemli	(5, 7, 9)	(1/9, 1/7, 1/5)
Kesinlikle Önemli	(7, 9, 9)	(1/9, 1/9, 1/7)

Ek-4'de ve *Ek-5*'de anketlerin değerlendirilmesinde ve değerlendirilmelerin birleştirilmesinde geometrik ortalama yöntemi kullanılmıştır. Değerlendiriciler tarafından gerçekleştirilen anketlerin ikili karşılaştırma sonuçları Tablo 4.23'de verilmiştir. Tablo 4.24'de hesaplanan ağırlık değerleri verilmiştir.

Tablo 4.23: İkili karşılaştırma matrisi sonuçları.

	Sertlik Direnci			Film Kalınlığı			Yapışma Direnci		
Sertlik Direnci	1	1	1	1,4953	3,2666	5,4332	2,5341	3,6933	6,2298
Film Kalınlığı	0,66874	0,30612	0,18405	1	1	1	1,67848	3,4086	5,4913
Yapışma Direnci	0,39460	0,27075	0,16051	0,59577	0,29337	0,18210	1	1	1

Adım 1: i. nesne için bulanık değerlerinin hesaplanması:

$$S_i = \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \otimes \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \right]^{-1} \quad (4.5)$$

$$S_s = (5,02953; 7,95999; 12,66307) \times (10,36714; 14,23890; 20,68111)^{-1} \quad (4.6)$$

$$S_f = (3,34722; 4,71478; 6,67541) \times (10,36714; 14,23890; 20,68111)^{-1} \quad (4.7)$$

$$S_y = (1,99037; 1,56412; 1,34262) \times (10,36714; 14,23890; 20,68111)^{-1} \quad (4.8)$$

$$S_s = (0,24319; 0,55903; 1,22146) \quad (4.9)$$

$$S_f = (0,16184; 0,33112; 0,643901) \quad (4.10)$$

$$S_y = (0,09624; 0,10984; 0,12950) \quad (4.11)$$

Adım 2: $\tilde{M}_1 = (1_1, m_1, u_1)$ ve $\tilde{M}_2 = (1_2, m_2, u_2)$ iki üçgen bulanık sayı ise $\tilde{M}_2 \geq \tilde{M}_1$ eşitliğinin olabilirlik derecesi:

$$V(\tilde{M}_2 \geq \tilde{M}_1) = \sup \left[\min(\mu_{\tilde{M}_1}(x), \mu_{\tilde{M}_2}(y)) \right] \quad (4.12)$$

$\tilde{M}_1 = (1_1, m_1, u_1)$ ve $\tilde{M}_2 = (1_2, m_2, u_2)$ konveks bulanık sayılar iken daha geniş bir ifadeyle:

$$V(\tilde{M}_2 \geq \tilde{M}_1) = \text{yükseklik}(\tilde{M}_1 \cap \tilde{M}_2) = \mu_{M_2}(d) \quad (4.13)$$

$$= \begin{cases} 1, & \text{eger } m_2 \geq m_1 \\ 0, & \text{eger } 1_1 \geq u_2 \\ \frac{1_1 - u_2}{(m_2 - u_2) - (m_1 - 1_1)}, & \text{diger durumlarda} \end{cases} \quad (4.14)$$

$$V(S_s \geq S_f, S_y) = 1 \quad (4.15)$$

$$V(S_f \geq S_s, S_y) = (1; 1,43031) \quad (4.16)$$

$$V(S_y \geq S_f, S_s) = (1,73732; 1,68501) \quad (4.17)$$

$m_1 \leq m_2$ için $V(M_1 \leq M_2) = 1$ özelliği sağlayan durum bulunmamaktadır.

3.Adım: Konveks bir bulanık sayının k adet bulanık sayıdan, M_i ($i=1, 2, \dots, k$), büyük olabilirlik derecesi:

$$V(M \geq M_1, M_2, \dots, M_k) = V[(M \geq M_1) \text{ ve } (M \geq M_2) \text{ ve } \dots (M \geq M_k)] \quad (4.18)$$

$$= \min V(M \geq M_i), \quad i = 1, 2, 3, \dots, k$$

$$(S_s \geq S_f, S_y) = 1 \quad (4.19)$$

$$V(S_f \geq S_s, S_y) = (1; 1,43031) = 1 \quad (4.20)$$

$$V(S_y \geq S_f, S_s) = (1,73732; 1,68501) = 1,68501 \quad (4.21)$$

4.Adım: Normalizasyon ile normalize edilmiş vektör W 'nin ağırlıklarının hesaplanması aşağıda verilmiştir:

$$W = (d(A_1), d(A_2), \dots, d(A_n))^T \quad (4.22)$$

Tablo 4.24: Kalite karakteristiklerinin ağırlık değerleri.

	Sertlik Direnci	Film Kalınlığı	Yapışma Direnci
Ağırlık	0,27146	0,27146	0,45708

4.4.2. Prosesin Birinci Bölümünün Eniyilenmesi

Prosesin birinci kısmının optimizasyonunda hem ön yüzey hem de arka yüzey olmak üzere kalite karakteristiklerini en büyük en büyük en iyi değerlerini hesaplamak için eniyi faktör seviyeleri araştırılmıştır. Bu amaç için öncelikle yanıt yüzey yöntemi ile beraber, istenebilirlik fonksiyonu ile çok çıktıli eniyileme problemi tanımlanarak başlangıç çözümü gerçekleştirilmiştir. İstenebilirlik fonksiyonu ile elde edilen değerler, genetik algoritma çözümü için başlangıç değerler kabul edilmiş ve daha iyi çözüm seviyeleri araştırılmıştır. Yanıt değişkenlerinin optimum değerlerinin bulunması amacıyla, deney tasarımının uygulanması ve istenebilirlik fonksiyonu ile çözümün gerçekleştirilmesinde Minitab 18 programı kullanılmıştır. Bulanık-AHP ile ağırlıkları belirlenen kalite

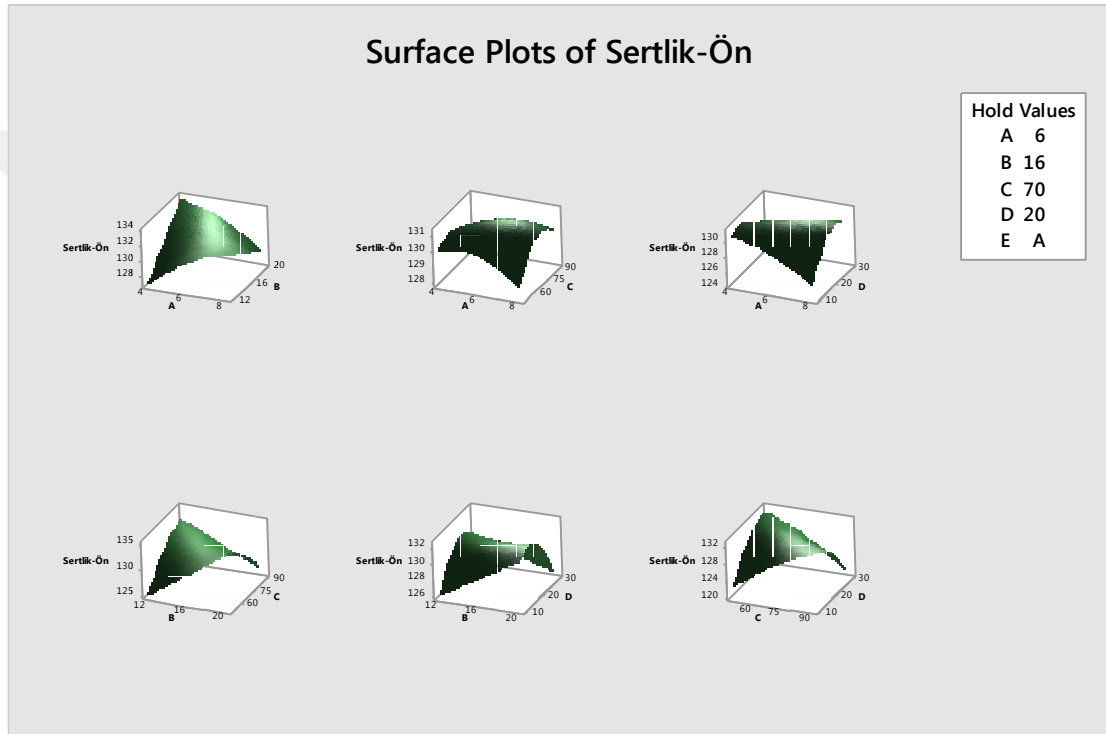
karakteristikleri istenebilirlik fonksiyonu ile beraber kullanılarak çözüm gerçekleştirilmiştir. Elde edilen çözüm sonuçları genetik algoritma çözümünde kullanılmak için Matlab R 2018a programına aktarılmıştır. Hem yapışma direncini hem de yüzey sertlik değerlerini her iki yüzey için en büyük en iyi yapan parametre seviyeleri ön ve arka yüzey olmak üzere değerlendirilmiştir. Ayrıca hem yapışma hem de sertlik direnci değerlerinin grafiksel sonuçları değerlendirilmiştir. Ön yüzey için elde edilen yanıt yüzey grafiği Şekil 4.29'de verilmiştir.



Şekil 4.29: Yapışma direnci A yüzeyi için yüzey grafikleri.

Proses parametrelerinin yapışma direnci üzerindeki etkileri Şekil 4.29'de gösterilmektedir. Şekilde görüldüğü üzere proses parametreleri arasındaki etkileşimlerin önemli olduğu görülmektedir. Bant hızı ve kesme hızı arasındaki etkileşimli sonuçlar değerlendirildiğinde, bant hızının 4 m/dak ile 5m/dak arasında ve kesme hızının da 18 m/sn ile 20 m/sn arasında zımparalanan örneklerin uygulanan macun ve vernik sonucunda maksimum yapışma direncine ulaştığı görülmektedir. Bant hızı ile uygulanan macun arasındaki etkileşim değerlendirildiğine; bant hızının yapışma üzerindeki etkisinin az olduğu görülmekte iken macun miktarının yapışma üzerinde etkili olduğu görülmektedir. Bant hızı ve uygulanan vernik miktarı arasındaki etkileşim değerlendirildiğinde, vernik

miktarının yapışma direnci üzerinde etkisi olduğu görülmekte ve 20 gr/m² ile 30 gr/m² değerleri arasında yapışmanın arttığı görülmektedir. Kesme hızı ile uygulanan macun arasındaki etkileşim değerlendirildiğinde, kesme hızının yapışma üzerinde etkisinin az olduğu görülmektedir. Uygulanan vernik miktarı ve macun miktarı arasındaki etkileşim değerlendirildiğinde maksimum yapışma direnci değerlerinin vernik miktarı için 20 gr/m² ile 30 gr/m² olarak bulunurken, uygulanan macun miktarı 50 gr/m² ile 70 gr/m² değerleri arasında olduğu görülmektedir.

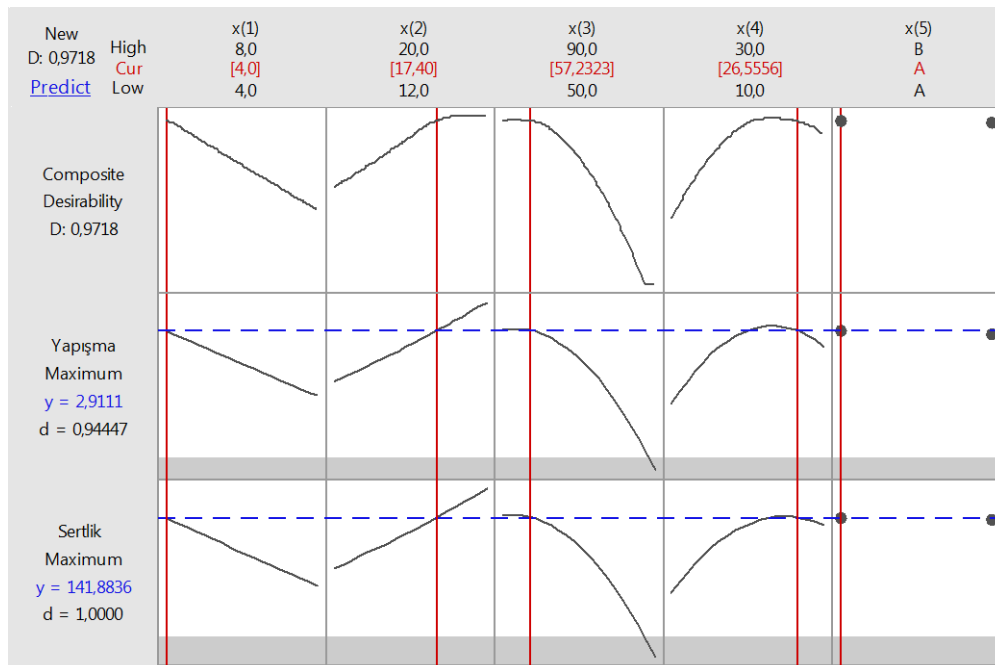


Şekil 4.30: Sertlik direnci ön yüzey için yüzey grafikleri.

Proses parametrelerinin sertlik direnci üzerindeki etkileri Şekil 4.30'da gösterilmektedir. Şekilde görüldüğü üzere proses parametreleri arasındaki etkileşimlerin önemli olduğu görülmektedir. Bant hızı ve kesme hızı arasındaki etkileşimli sonuçlar değerlendirildiğinde, bant hızının 3 m/dak ile 6 m/dak arasında ve kesme hızının da 17 m/sn ile 20 m/sn arasında zımparalanan örneklerin uygulanan macun ve vernik sonucunda maksimum sertlik direncine ulaştığı görülmektedir. Bant hızı ile uygulanan macun arasındaki etkileşim değerlendirildiğine; bant hızının sertlik direnci üzerindeki etkisinin az olduğu görülmekte iken macun miktarının sertlik direnci üzerinde etkili olduğu görülmektedir. Bant hızı ve uygulanan vernik miktarı arasındaki etkileşim

değerlendirildiğinde, vernik miktarının sertlik direnci üzerinde etkisi olduğu görülmekte ve 24 gr/m^2 ile 28 gr/m^2 değerleri arasında sertlik direncinin arttığı görülmektedir. Kesme hızı ile uygulanan macun arasındaki etkileşim değerlendirildiğinde, kesme hızının sertlik direnci üzerindeki etkisinin az olduğu görülmektedir. Uygulanan vernik miktarı ve macun miktarı arasındaki etkileşim değerlendirildiğinde maksimum sertlik direnci değerlerinin vernik miktarı için 24 gr/m^2 ile 28 gr/m^2 olarak bulunurken, uygulanan macun miktarı 50 gr/m^2 ile 65 gr/m^2 değerleri arasında olduğu görülmektedir.

Prosesin optimizasyonu aşamasında yanıt yüzeyi yöntemi ile grafiksel değerlendirmeler yapıldıktan sonra bir sonraki aşama istenebilirlik fonksiyonu ile problem uzayında çözümünün devam edilmesidir. İstenebilirlik fonksiyonu kullanılarak elde edilen grafiksel çözüm Şekil 4.31’de verilmiştir. Ayrıca sonuçların özetleri Tablo 4.25’de verilmiştir. Sonuçlar değerlendirildiğinde istenebilirlik fonksiyon değeri 0.9718’e ulaşmıştır. İstenebilirlik fonksiyon sonuçlarında en iyi sonuçların zımpara türü A da bulunduğu görülmektedir. Ancak B zımparası ile elde edilen sonuçlarda Tablo 4.25’de gösterilmiştir. En iyi sonuçlar zımpara türü A da bulunduğu için çözüm zımpara türü A üzerinden oluşturulmuştur.



Şekil 4.31: Ön yüzey için istenebilirlik fonksiyonun çözüm sonuçları.

Tablo 4.25: Yapışma ve sertlik direncini eniyileyen faktör seviyeleri.

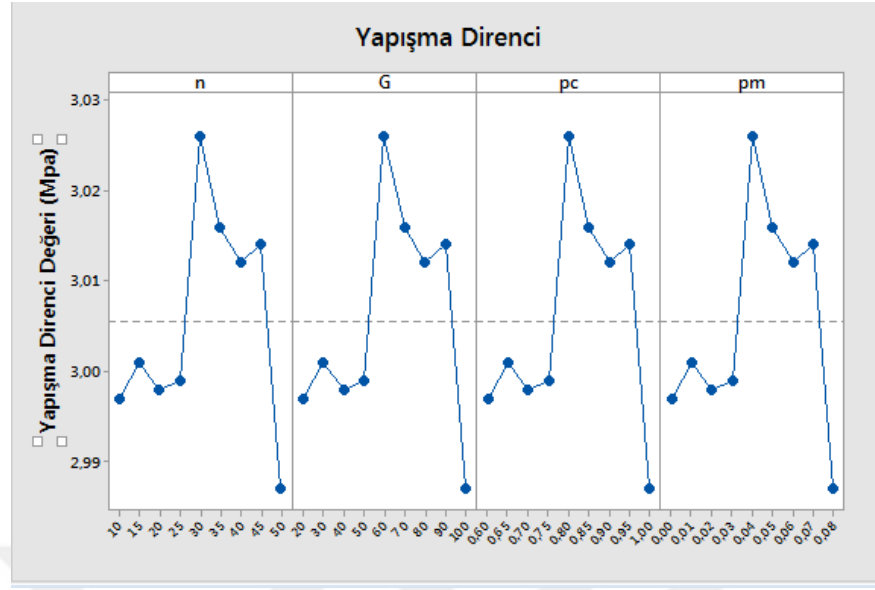
Bant hızı (m/dk) (A)	Kesme hızı (m/sn) (B)	Macun miktarı (m ² /gr) (C)	Vernik miktarı (m ² /gr) (D)	Zımpara türü (E)	Yapışma (MPa)	Sertlik (s.)	İstek
4,00	17,4	57,23	26,55	Zımpara-A	2,91	141,8	0,971
4,00	16,8	59,43	27,21	Zımpara-B	2,78	137,9	0,978

İstenebilirlik fonksiyonundan elde edilen sonuçları ile 3 boyutlu yüzey grafik sonuçları ile birlikte değerlendirildiğinde sonuçların tutarlı olduğu görülmektedir. Prosesin eniyilenmesi aşamasında daha iyi bir çözümün araştırılması amacıyla, İstenebilirlik fonksiyonundan elde edilen sonuçlara, bir yapay zekâ algoritması olan genetik algoritma ile çözüm devam ettirilmiştir. İstenebilirlik fonksiyonundan elde edilen sonuç, genetik algoritma için başlangıç çözüm olarak kabul edilmiş ve Matlab GA yazılımı kullanılarak sonuçlar araştırılmıştır. Popülasyon büyüklüğü (n), çaprazlama olasılığı (pc), mutasyon olasılığı (pm) ve maksimum nesil sayısı (G) gibi GA parametrelerinin değerleri, çözüm kalitesi üzerinde önemli etkiye sahiptir. Bu nedenle, bu çalışmada, farklı GA parametre değerleri için bu algoritmanın sağlamlığı incelenmiştir. Bu noktada, çeşitli testler n = 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50 ve G = 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100 değerleri ile gerçekleştirilmiştir. Ek olarak, parametre ayarlaması için çaprazlama olasılığı [0,6 1,0] aralığında 0.05'lik bir artış ile değiştirilmiştir. Mutasyon olasılığı 0.01'lik bir artışla [0 0.08] aralığında değiştirilmiştir. MATLAB GA araç kutusunun varsayılan değerleri, durdurma kriterleri, elit sayısı ve seçim işlevi gibi diğer parametreler için kullanılmıştır. Varsayılan sonuçlar ile önerilen parametre değerleri karşılaştırıldığında, çözümde iyileşme sağlanmıştır. Genetik algoritmanın performansını etkileyen parametrelerin değerleri Tablo 4.26'da verilmiştir.

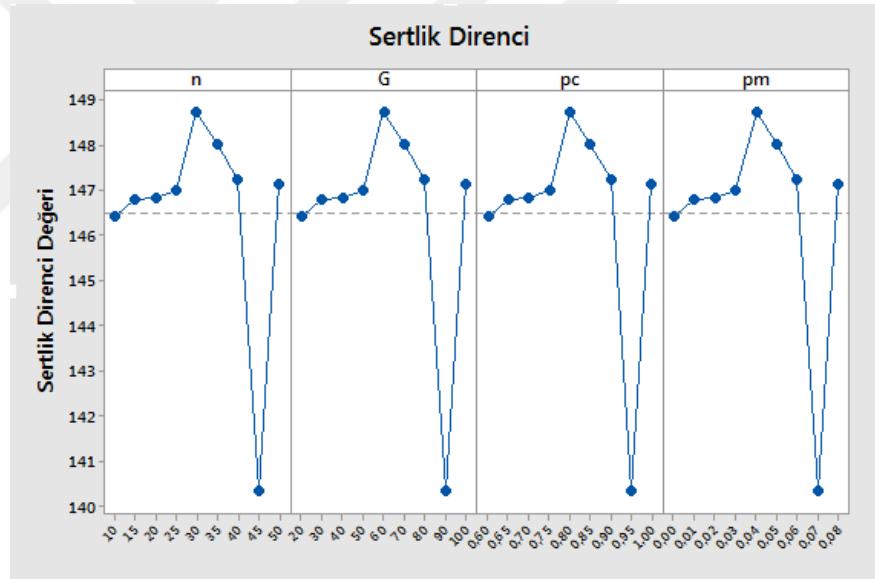
Tablo 4.26: Genetik algoritmanın farklı parametre değerlerine karşılık gelen sonuçlar.

N	G	Pc	pm	Yapışma Direnci	Sertlik Direnci
10	20	0,6	0	2,997	146,432
15	30	0,65	0,01	3,001	146,784
20	40	0,7	0,02	2,998	146,824
25	50	0,75	0,03	2,999	147,001
30	60	0,8	0,04	3,026	148,712
35	70	0,85	0,05	3,016	148,021
40	80	0,9	0,06	3,012	147,936
45	90	0,95	0,07	3,014	140,345
50	100	1	0,08	2,987	147,129

Tablo 4.26, Şekil 4.32 ve 4.33’de görüldüğü üzere maksimum yapışma ve sertlik değeri 30, 60, 0,8, 0,04 değerlerinde bulunmuştur. Matlab GA’da varsayılan parametre değerleri 50, 100, 1, 0,04 iken sonuçlar karşılaştırıldığında, varsayılan parametre değerlerine göre sonuçlar iyileştirilmiştir. Ön yüzey için elde edilen sonuçlar Tablo 4.27’de verilmiştir.



Şekil 4.32: Genetik algoritmanın farklı parametre değerlerinin grafiksel sonuçları.

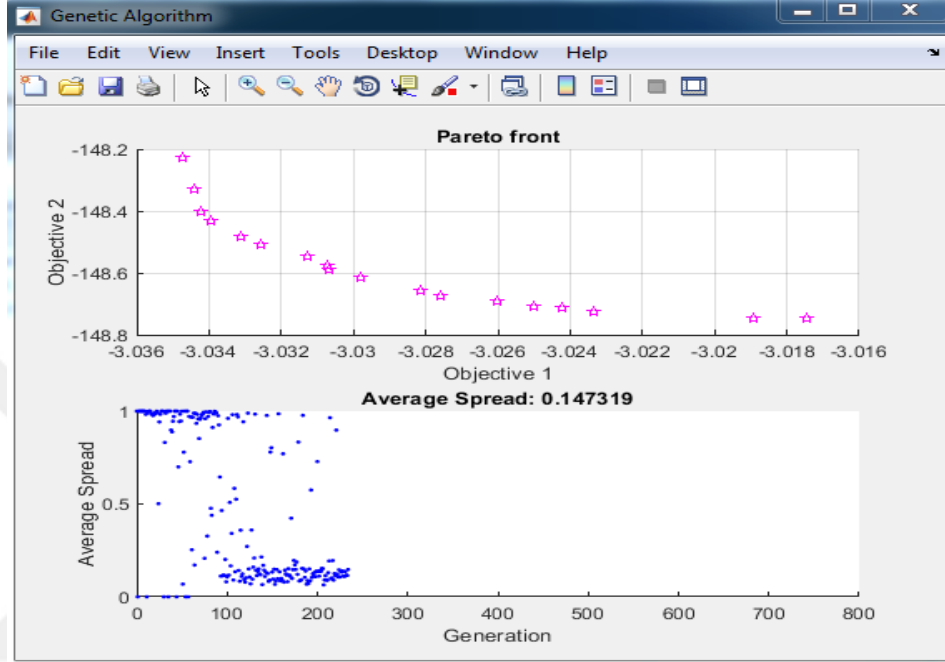


Şekil 4.33: Genetik algoritmanın farklı parametre değerlerinin grafiksel sonuçları.

Tablo 4.27: Genetik algoritma kullanılarak ön yüzey için elde edilen sonuçlar.

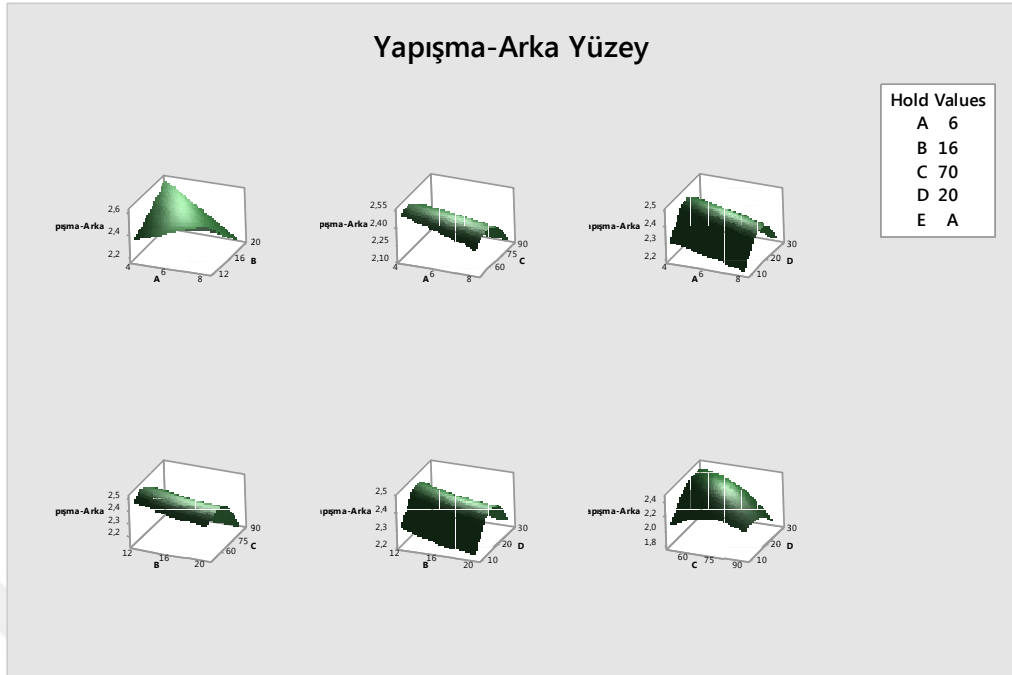
	Yapışma Direnci	Sertlik Direnci	A	B	C	D
1	3,026 Mpa	148,712 s.	4 m/dk	20 m/sn.	51,844 gr/m ²	26,339 gr/m ²

Elde edilen sonuçlara göre; bant hızı 4 m/dak, kesme hızı 20 m/sn, macun miktarı 51,844 gr/m² ve vernik miktarı 26,33 gr/m² olarak bulunmuştur. Matlab GA araç kutusu sekmesi kullanılarak her iki çıktı için elde edilen pareto ve ortalama yayılımın grafiksel değerleri Şekil 4.34’de gösterilmiştir. Sonuçlar 248 iterasyon sonucunda bulunmuştur.



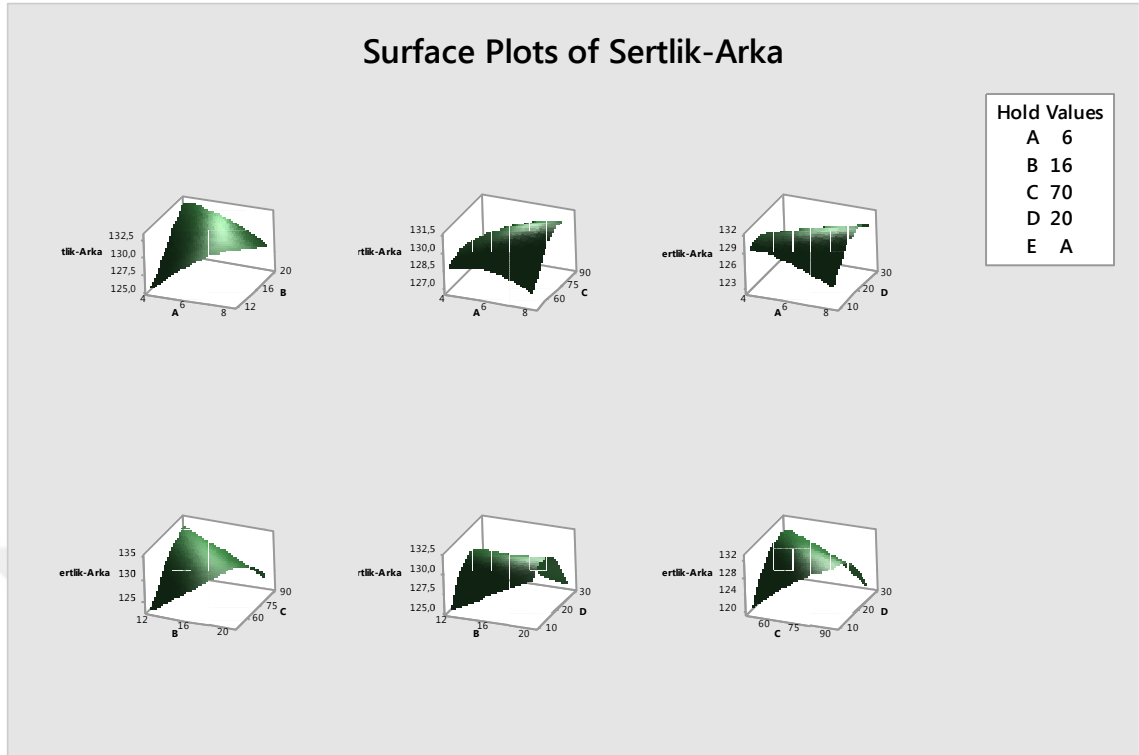
Şekil 4.34: A yüzeyi için pareto ve ortalama yayılımın grafiksel değerleri.

Arka yüzey için gerçekleştirilen hem yapışma hem de sertlik direnç değerlerinin proses parametrelerine ve seviyelerine bağlı oluşturduğu yanıt yüzey grafikleri Şekil 4.35’de verilmiştir.



Şekil 4.35: Yapışma direnci B yüzey için yüzey grafikleri.

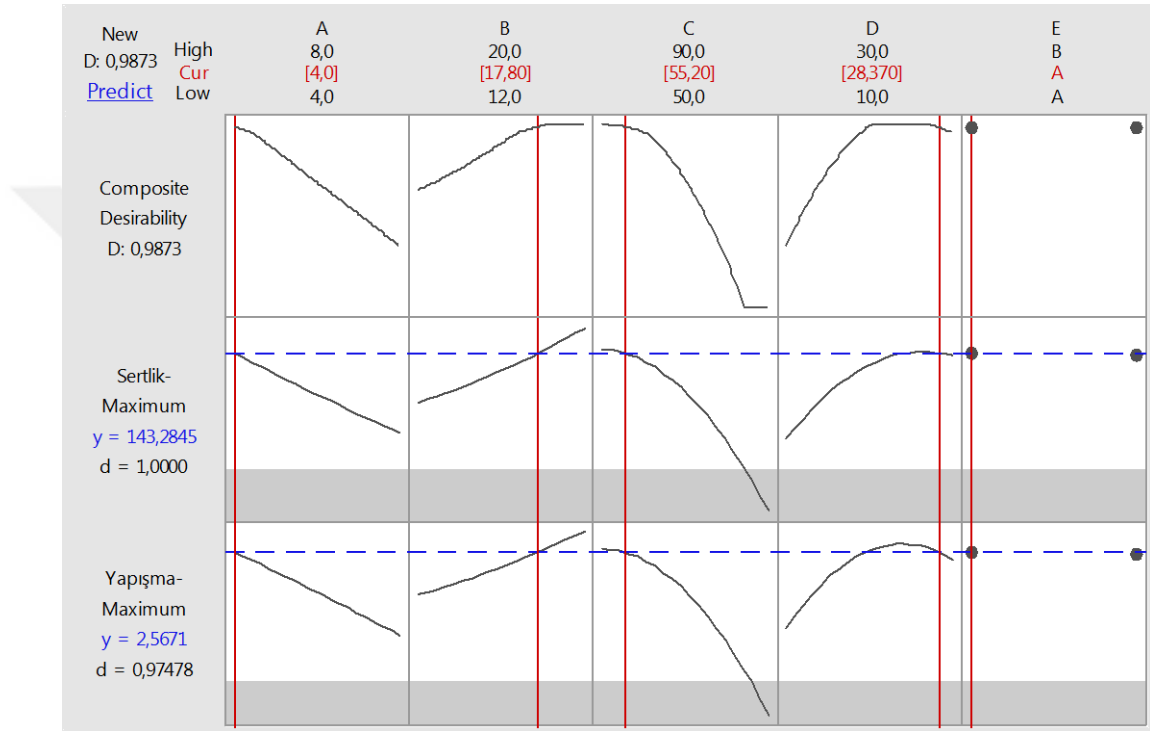
Proses parametrelerinin yapışma direnci üzerindeki etkileri Şekil 4.35’de gösterilmektedir. Şekil 4.35’de görüldüğü üzere proses parametreleri arasındaki etkileşimlerin önemli olduğu görülmektedir. Bant hızı ve kesme hızı arasındaki etkileşimli sonuçlar değerlendirildiğinde, bant hızının 4 m/dak ile 5m/dak arasında ve kesme hızının da 18 m/sn ile 20 m/sn arasında zımparalanan örneklerin uygulanan macun ve vernik sonucunda maksimum yapışma direncine ulaştığı görülmektedir. Bant hızı ile uygulanan macun arasındaki etkileşim değerlendirildiğine; bant hızının yapışma üzerindeki etkisinin az olduğu görülmekte iken macun miktarının yapışma üzerinde etkili olduğu görülmektedir. Bant hızı ve uygulanan vernik miktarı arasındaki etkileşim değerlendirildiğinde, vernik miktarının yapışma direnci üzerinde etkisi olduğu görülmekte ve 20 gr/m² ile 30 gr/m² değerleri arasında yapışmanın arttığı görülmektedir. Kesme hızı ile uygulanan macun arasındaki etkileşim değerlendirildiğinde, kesme hızının yapışma üzerinde etkisinin az olduğu görülmektedir. Uygulanan vernik miktarı ve macun miktarı arasındaki etkileşim değerlendirildiğinde maksimum yapışma direnci değerlerinin macun miktarı için 45 gr/m² ile 55 gr/m² olarak bulunurken, uygulanan vernik miktarının 22 gr/m² ile 27 gr/m² değerleri arasında olduğu görülmektedir.



Şekil 4.36: Sertlik direnci B yüzeyi için yüzey grafikleri.

Proses faktörlerinin sertlik direnci üzerindeki etkileri Şekil 4.36'de gösterilmektedir. Şekil 4.36'de görüldüğü üzere proses parametreleri arasındaki etkileşimlerin önemli olduğu görülmektedir. Bant hızı ve kesme hızı arasındaki etkileşimli sonuçlar değerlendirildiğinde, bant hızının 4 m/dak ile 5m/dak arasında ve kesme hızının da 18 m/sn ile 20 m/sn arasında zımparalanan örneklerin uygulanan macun ve vernik sonucunda maksimum sertlik direncine ulaştığı görülmektedir. Bant hızı ile uygulanan macun arasındaki etkileşim değerlendirildiğine; bant hızının sertlik direnci üzerindeki etkisinin az olduğu görülmekte iken macun miktarının sertlik direnci üzerinde etkili olduğu görülmektedir. Bant hızı ve uygulanan vernik miktarı arasındaki etkileşim değerlendirildiğinde, vernik miktarının sertlik direnci üzerinde etkisi olduğu görülmekte ve 20 gr/m² ile 30 gr/m² değerleri arasında sertliğin arttığı görülmektedir. Kesme hızı ile uygulanan macun arasındaki etkileşim değerlendirildiğinde, kesme hızının sertlik üzerinde etkisinin az olduğu görülmektedir. Uygulanan vernik miktarı ve macun miktarı arasındaki etkileşim değerlendirildiğinde maksimum sertlik direnci değerlerinin macun miktarı için 48 gr/m² ile 59 gr/m² olarak bulunurken, uygulanan vernik miktarının 22 gr/m² ile 27 gr/m² değerleri arasında olduğu görülmektedir.

B yüzey için; prosesin deney tasarımı tabanlı istenebilirlik fonksiyonu kullanarak elde edilen optimum sonuçlar Şekil 4.37’de verilmiştir. Sonuçlar değerlendirildiğinde istenebilirlik fonksiyon değeri 0.9873 e ulaşmıştır. İstenebilirlik fonksiyon sonuçlarında en iyi sonuçların zımpara türü A da bulunduğu görülmektedir. Ancak B zımparası ile elde edilen sonuçlarda Tablo 4.28’de gösterilmiş verilmiştir. En iyi sonuçlar zımpara türü A da bulunduğu için çözüm zımpara türü A üzerinden oluşturulmuştur.



Şekil 4.37: Arka yüzey için istenebilirlik fonksiyonun çözüm sonuçları.

Tablo 4.28: Arka yüzey için optimum değerler.

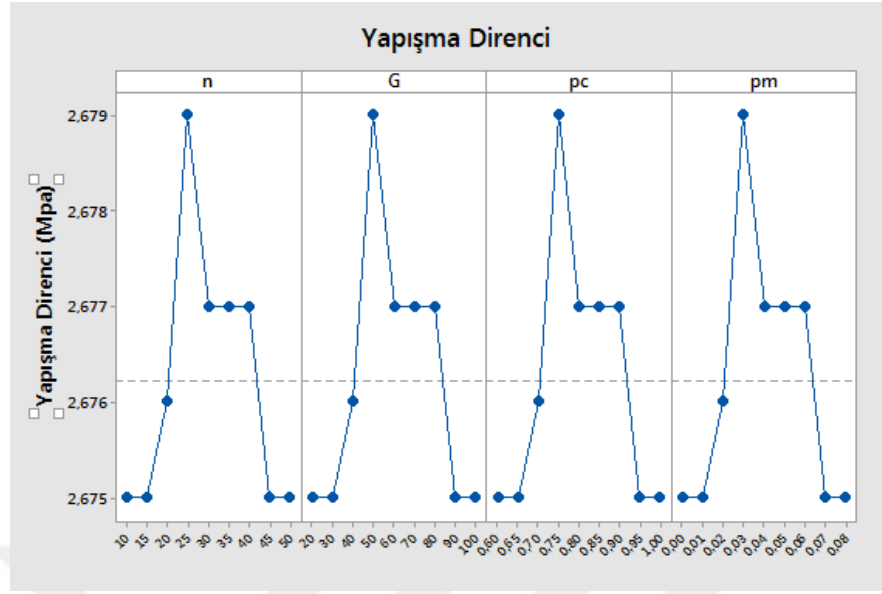
Bant hızı (m/dk) (A)	Kesme hızı (m/sn) (B)	Macun miktarı (gr/m ²) (C)	Vernik miktarı (gr/m ²) (D)	Zımpara türü (E)	Yapışma (MPa)	Sertlik (sn.)	İstek
4,00	17,20	55,20	28,37	Zımpara-A	2,56	143,28	0.987
4,00	19,20	58,16	27,23	Zımpara-B	2,48	140,23	0.921

İstenebilirlik fonksiyonundan elde edilen sonuçları ile 3 boyutlu yüzey grafik sonuçları birlikte değerlendirildiğinde sonuçların tutarlı olduğu görülmektedir. Prosesin eniyilenmesi aşamasında daha iyi bir çözümün araştırılması amacıyla, istenebilirlik fonksiyonundan elde edilen sonuçlara genetik algoritma ile çözüm devam ettirilmiştir. İstenebilirlik fonksiyonundan elde edilen sonuç, genetik algoritma içim başlangıç çözüm olarak kabul edilmiş ve Matlab yazılımı kullanılarak optimum sonuçlar araştırılmıştır. Genetik algoritmanın farklı parametre değerlerindeki sonuçları Tablo 4.29’da verilmiştir.

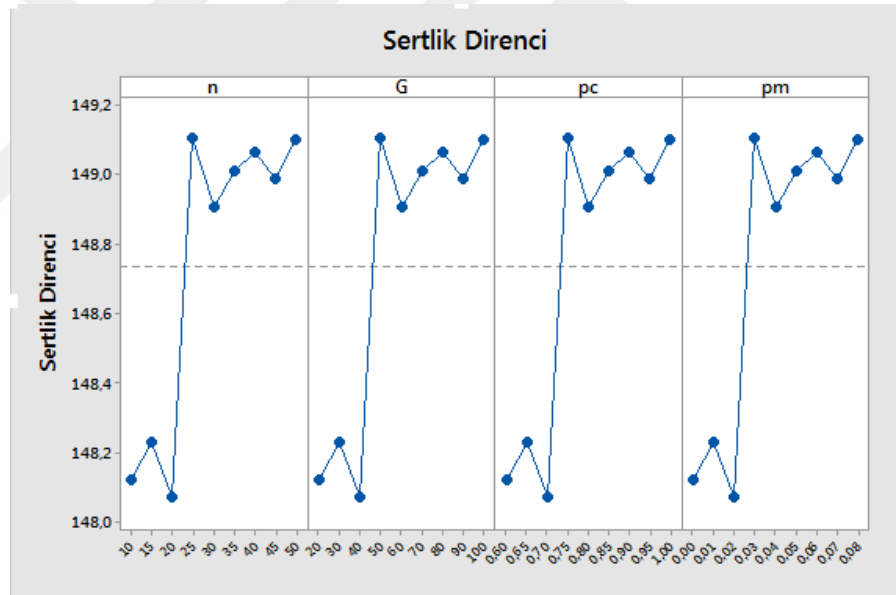
Tablo 4.29: Genetik algoritmanın farklı parametre değerlerindeki sonuçları.

N	G	Pc	pm	Yapışma Direnci	Sertlik Direnci
10	20	0,6	0	2,675	148,12
15	30	0,65	0,01	2,675	148,23
20	40	0,7	0,02	2,676	148,07
25	50	0,75	0,03	2,679	149,106
30	60	0,8	0,04	2,677	148,906
35	70	0,85	0,05	2,677	149,012
40	80	0,9	0,06	2,677	149,067
45	90	0,95	0,07	2,675	148,989
50	100	1	0,08	2,675	149,100

Şekil 4.38 ve 4.39’da görüldüğü üzere maksimum yapışma ve sertlik değeri 25, 50, 0,75, 0,03 değerlerinde bulunmuştur. Matlab GA’da varsayılan parametre değerleri 50, 100, 1, 0,04 iken sonuçlar karşılaştırıldığında, varsayılan parametre değerlerine göre sonuçlar iyileştirilmiştir. Ön yüzey için elde edilen sonuçlar Tablo 4.30’da verilmiştir



Şekil 4.38: Genetik algoritmanın farklı parametre değerlerinin grafiksel sonuçları.



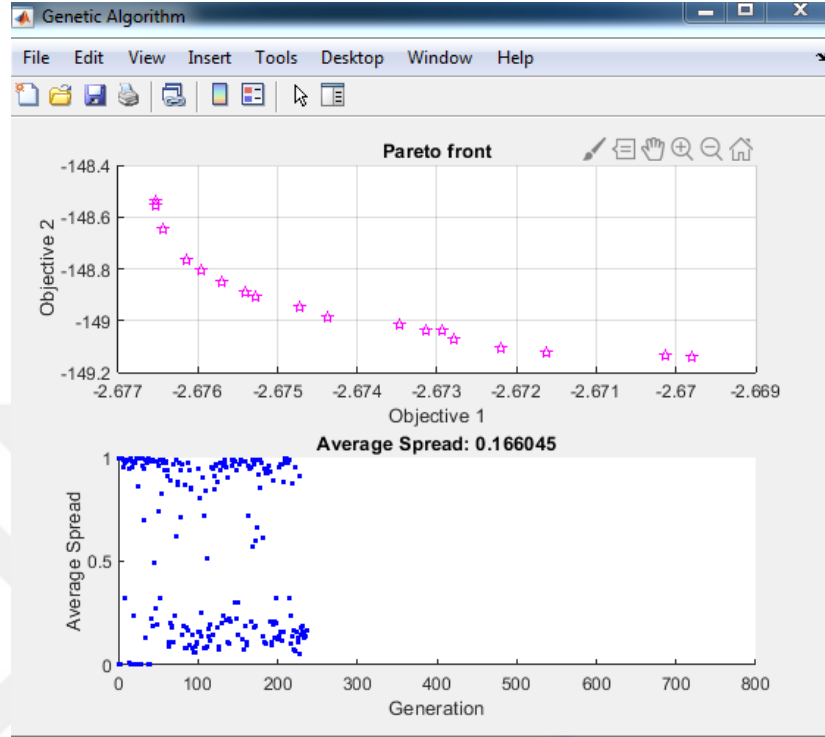
Şekil 4.39: Genetik algoritmanın farklı parametre değerlerinin grafiksel sonuçları.

Tablo 4.30: Genetik algoritma kullanılarak arka yüzey için elde edilen optimum sonuçlar.

Sıra	Yapışma	Sertlik	A	B	C	D
1	2,679 Mpa	149,106 s.	4 m/dk	20 m/sn	53,485 gr/m ²	26,05 gr/m ²

Elde edilen sonuçlara göre; bant hızı 4 m/dak, kesme hızı 20 m/sn, macun miktarı 51,844 gr/m² ve vernik miktarı 26,33 gr/m² olarak bulunmuştur. Matlab GA araç kutusu sekmesi

kullanılarak her iki çıktı için elde edilen pareto ve ortalama yayılımın grafiksel değerleri Şekil 4.40'da gösterilmiştir. Sonuçlar 237 iterasyon sonucunda bulunmuştur.

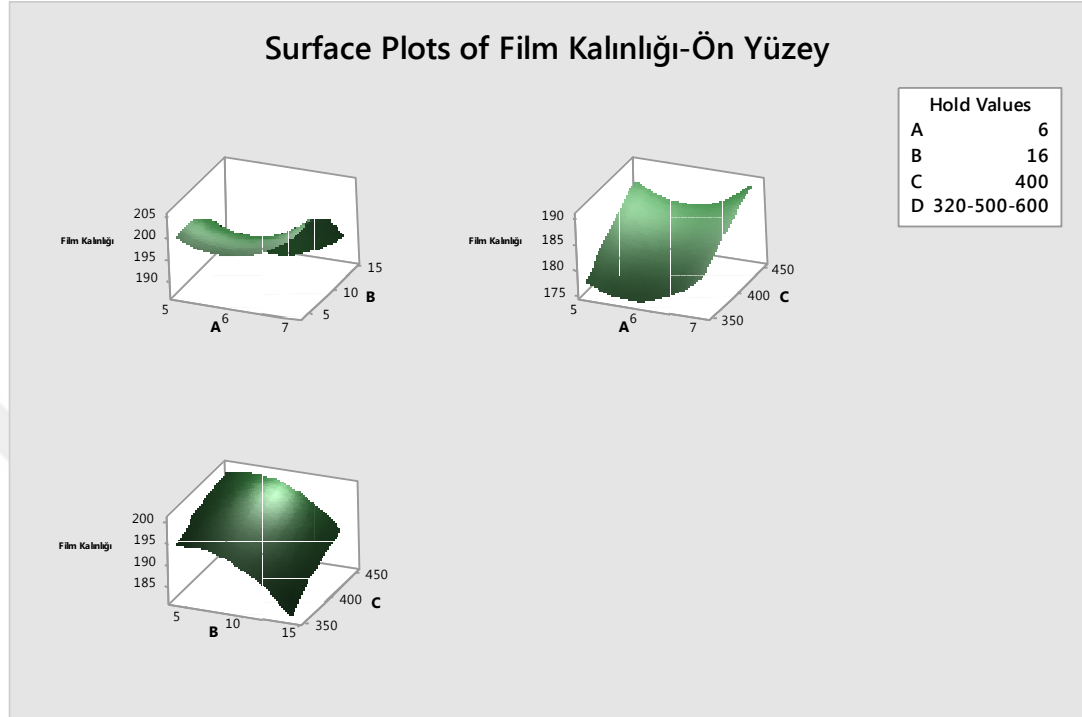


Şekil 4.40: Pareto ve ortalama yayılımın grafiksel değerleri.

4.4.2. Prosesin İkinci Bölümünün Eniyilenmesi

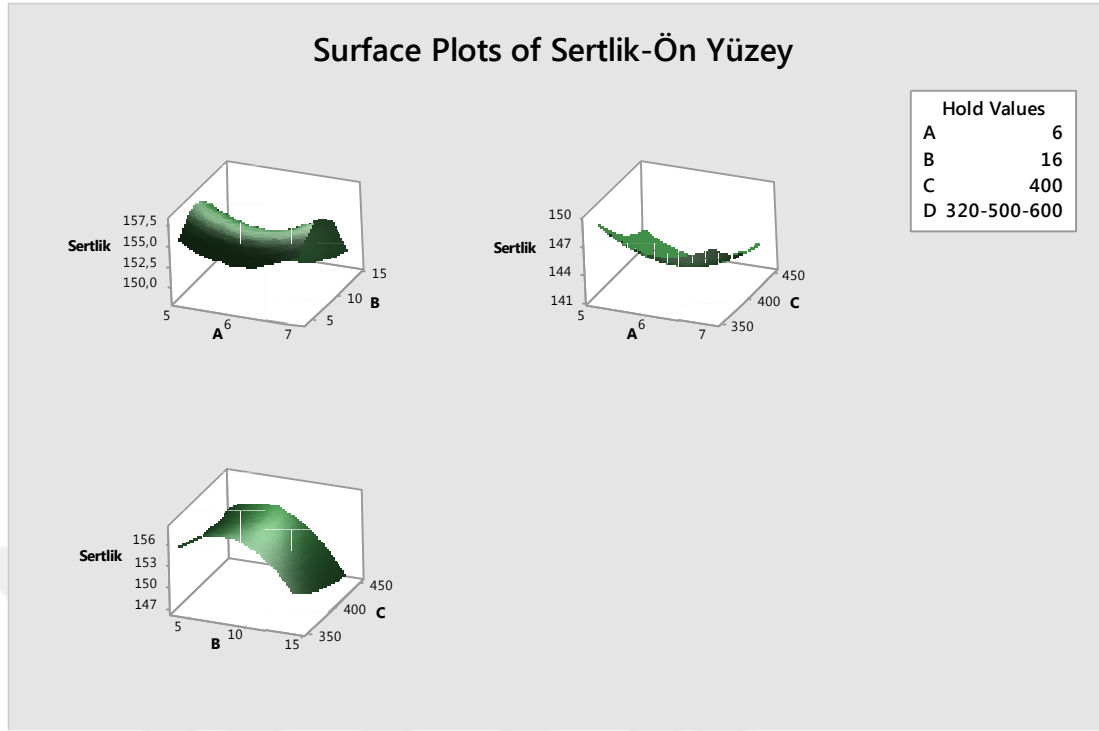
Prosesin ikinci bölümünün optimizasyonunda hem ön yüzey hem de arka yüzey olmak üzere kalite karakteristiklerini en küçük en iyi ve en büyük en iyi değerlerini hesaplamak için eniyi faktör seviyeleri araştırılmıştır. Bu amaç için öncelikle istenebilirlik fonksiyonu ile çok çıktılı optimizasyon problemi tanımlanarak başlangıç çözümü gerçekleştirilmiştir. İstenebilirlik fonksiyonu ile elde edilen değerler, genetik algoritma çözümü için başlangıç değerler kabul edilmiş ve daha iyi çözüm seviyeleri araştırılmıştır. Yanıt değişkenlerinin optimum değerlerinin bulunması amacıyla, deney tasarımının uygulanması ve istenebilirlik fonksiyonu ile çözümün gerçekleştirilmesinde Minitab 17 programı kullanılmıştır. Bulanık-AHP ile ağırlıkları belirlenen kalite karakteristikleri istenebilirlik fonksiyonu ile beraber kullanılarak çözüm gerçekleştirilmiştir. Elde edilen çözüm sonuçları genetik algoritma çözümünde kullanılmak için Matlab Ra 2018 programına aktarılmıştır. Film kalınlığı en küçük en iyi ve sertlik direnci en büyük en iyi yapan parametre seviyeleri ön ve arka yüzey olmak üzere değerlendirilmiştir. Ayrıca hem

film kalınlığı hem de sertlik direnci değerlerinin grafiksel sonuçları değerlendirilmiştir. Ön yüzey için elde edilen yanıt yüzey grafiği Şekil 4.41’de verilmiştir.



Şekil 4.41: Film kalınlığı ön yüzey için yüzey grafikleri.

Görüldüğü üzere proses parametreleri arasındaki etkileşimin film kalınlığı üzerinde etkili olduğu görülmektedir. Bant hızı ve kesme hızı arasındaki sonuç değerlendirildiğinde, film kalınlığının 5 m/dak ile 6 m/dak arasında ve kesme hızının 10 m/sn ile 15 m/sn arasında minimum seviyelere ulaştığı görülmektedir. Bant hızı ve boya miktarı arasındaki etkileşim değerlendirildiğinde, film kalınlığının 350 gr/m² ile 380 gr/m² arasında ve bant hızında 5 m/dak ile 6 m/dak arasında minimum seviyelere ulaştığı görülmektedir. Kesme hızı ve boya miktarı arasındaki etkileşim değerlendirildiğinde, film kalınlığının 350 gr/m² ile 380 gr/m² arasında ve kesme hızının da 10 m/sn ile 15 m/sn arasında minimum seviyelerde bulunmuştur.

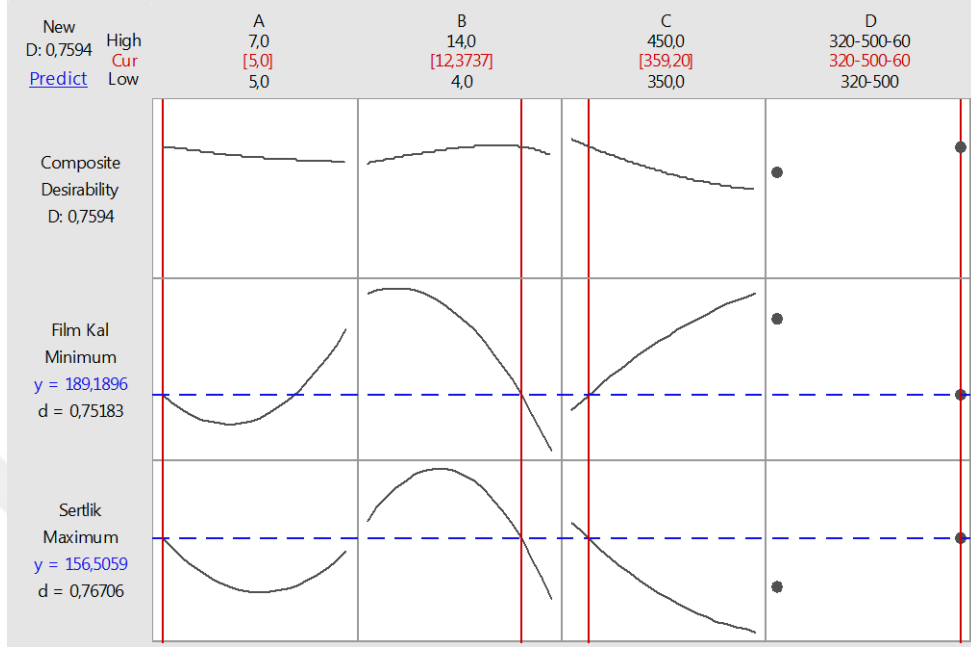


Şekil 4.42: Sertlik direnci ön yüzey için yüzey grafikleri.

Proses parametrelerinin film sertliği üzerindeki etkileri Şekil 4.42’de görülmektedir. Görüldüğü üzere proses parameterleri arasındaki etkileşimin film sertliği üzerinde etkili olduğu görülmektedir. Bant hızı ve kesme hızı arasındaki sonuç değerlendirildiğinde, film sertliğinin 5 m/dak ile 6 m/dak arasında ve kesme hızında 10 m/sn ile 13 m/sn arasında maksimum seviyelere ulaştığı görülmektedir. Bant hızı ve boya miktarı arasındaki etkileşim değerlendirildiğinde, film sertliğinin 350 gr/m² ile 400 gr/m² arasında ve bant hızında 5 m/dak ile 6 m/dak arasında maksimum seviyelere ulaştığı görülmektedir. Kesme hızı ve boya miktarı arasındaki etkileşim değerlendirildiğinde, film sertliğinin 380 gr/m² ile 420 gr/m² arasında ve kesme hızının da 5 m/sn ile 13 m/sn arasında maksimum seviyelere ulaştığı görülmektedir.

Ön yüzey için; prosesin deney tasarımı tabanlı istenebilirlik fonksiyonu kullanarak parametre optimizasyonun sonucu Şekil 4.43’de verilmiştir. Sonuçlar değerlendirildiğinde istenebilirlik fonksiyon değeri 0.7594 e ulaşmıştır. İstenebilirlik fonksiyon sonuçlarında en iyi sonuçların zımpara türü 320-500-600 da bulunduğu görülmektedir. Ancak B zımparası ile elde edilen sonuçlarda Tablo 4.31’de gösterilmiştir.

En iyi sonuçlar zımpara türü 320-500-600 da bulunduğu için çözüm bu zımpara türü üzerinden oluşturulmuştur.



Şekil 4.43: Ön yüzey için istenebilirlik fonksiyonun çözüm sonuçları.

Tablo 4.31: Ön Yüzey için optimum değerler.

Bant Hızı (m/dk)	Kesme Hızı (m/sn)	Boya Miktarı (gr/m ²)	Zımpara Numarası	Film Kalınlığı (µc)	Sertlik (sn.)	İstek
5,00	12,3737	359,2	320-500-600	189,1896	156,50	0,7550
5,12	9,2123	371,2	320-500	194,4532	154,12	0,7234

İstenebilirlik fonksiyonundan elde edilen sonuçları ile 3 boyutlu yüzey grafik sonuçları birlikte değerlendirildiğinde sonuçların tutarlı olduğu görülmektedir.

Prosesin optimizasyonu aşamasında daha iyi bir çözümün araştırılması amacıyla, İstenebilirlik fonksiyonundan elde edilen sonuçlara, bir yapay zekâ algoritması olan genetik algoritma ile çözüm devam ettirilmiştir. İstenebilirlik fonksiyonundan elde edilen sonuç, genetik algoritma için başlangıç çözüm olarak kabul edilmiş ve Matlab yazılımı kullanılarak optimum sonuçlar araştırılmıştır. Popülasyon büyüklüğü (n), çaprazlama

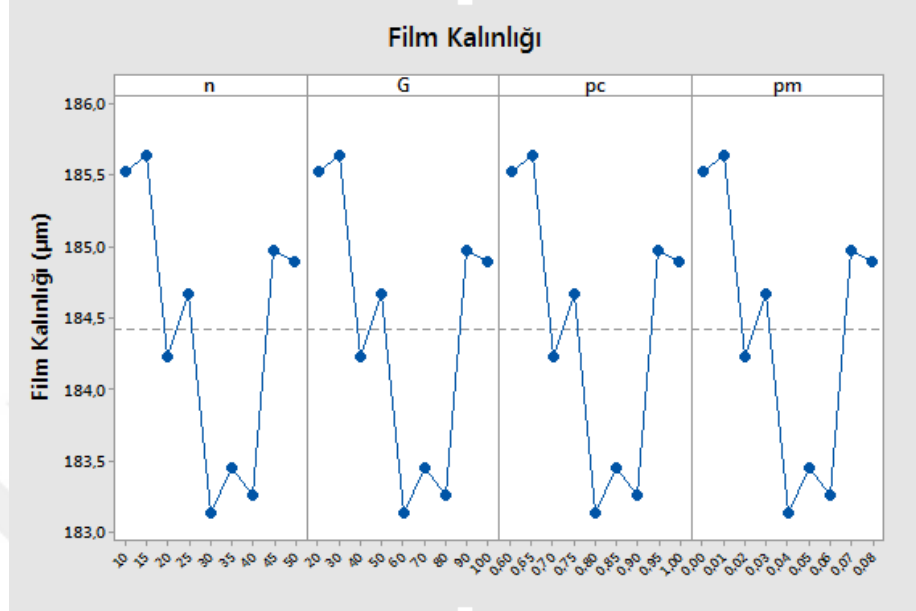
olasılığı (p_c), mutasyon olasılığı (p_m) ve maksimum nesil sayısı (G) gibi GA parametrelerinin değerleri, çözüm kalitesi üzerinde önemli etkiye sahiptir. Bu nedenle, bu çalışmada, farklı GA parametre değerleri için bu algoritmanın sağlamlığı incelenmiştir. Bu noktada, çeşitli testler $n = 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50$ ve $G = 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100$ değerleri ile gerçekleştirilmiştir. Ek olarak, parametre ayarlaması için çaprazlama olasılığı $[0.6 \ 1.0]$ ile değiştirilmiştir. $0,05$ 'lük bir artış ve mutasyon olasılığı 0.01 'lik bir artışla $[0 \ 0.08]$ aralığında değişmiştir. MATLAB GA araç kutusunun varsayılan değerleri, durdurma kriterleri, elit sayısı ve seçim işlevi gibi diğer parametreler için kullanılmıştır. Çözümler her iki yüzey için gerçekleştirilmiştir. Ön yüzeyler için elde edilen sonuçlar Tablo 4.32' de verilmiştir.

Tablo 4.32: Genetik algoritmanın farklı parametre değerlerindeki sonuçları.

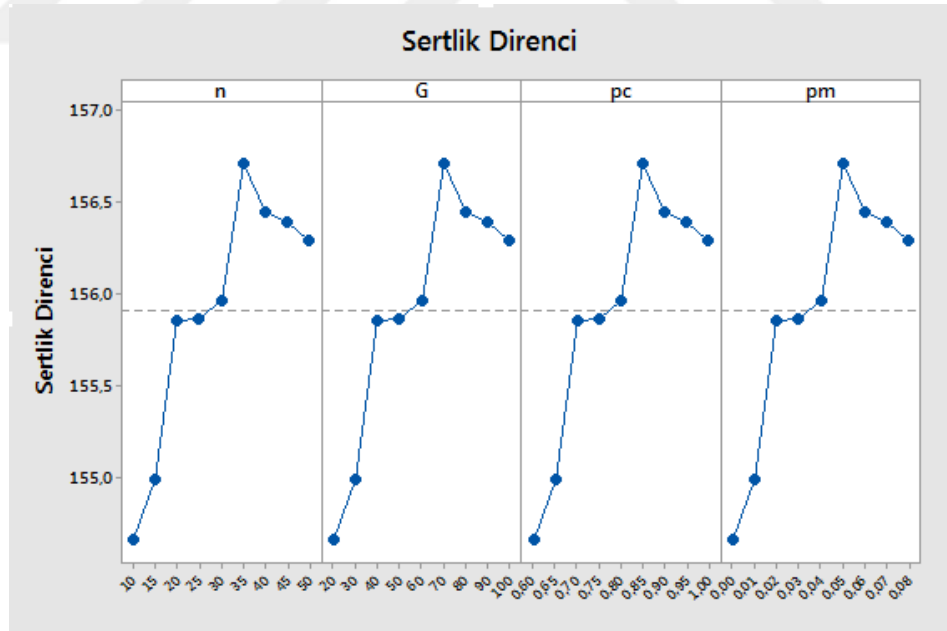
N	G	P_c	P_m	Film Kalınlığı	Sertlik Direnci
10	20	0,6	0	185,523	154,662
15	30	0,65	0,01	185,642	154,982
20	40	0,7	0,02	184,231	155,851
25	50	0,75	0,03	184,666	155,863
30	60	0,8	0,04	183,129	155,965
35	70	0,85	0,05	183,449	156,712
40	80	0,9	0,06	183,256	156,442
45	90	0,95	0,07	184,976	156,387
50	100	1	0,08	184,888	156,287

Şekil 4.44 ve 4.45' de görüldüğü üzere maksimum yapışma ve sertlik değeri 30, 50, 0,8, 0,04 değerlerinde bulunmuştur. Matlab GA'da varsayılan parametre değerleri 50, 100, 1,

0,04 iken sonuçlar karşılaştırıldığında, varsayılan parametre değerlerine göre sonuçlar iyileştirilmiştir. Ön yüzey için elde edilen sonuçlar Tablo 4.32’de verilmiştir



Şekil 4.44: Genetik algoritmanın farklı parametre değerlerinin grafiksel sonuçları.

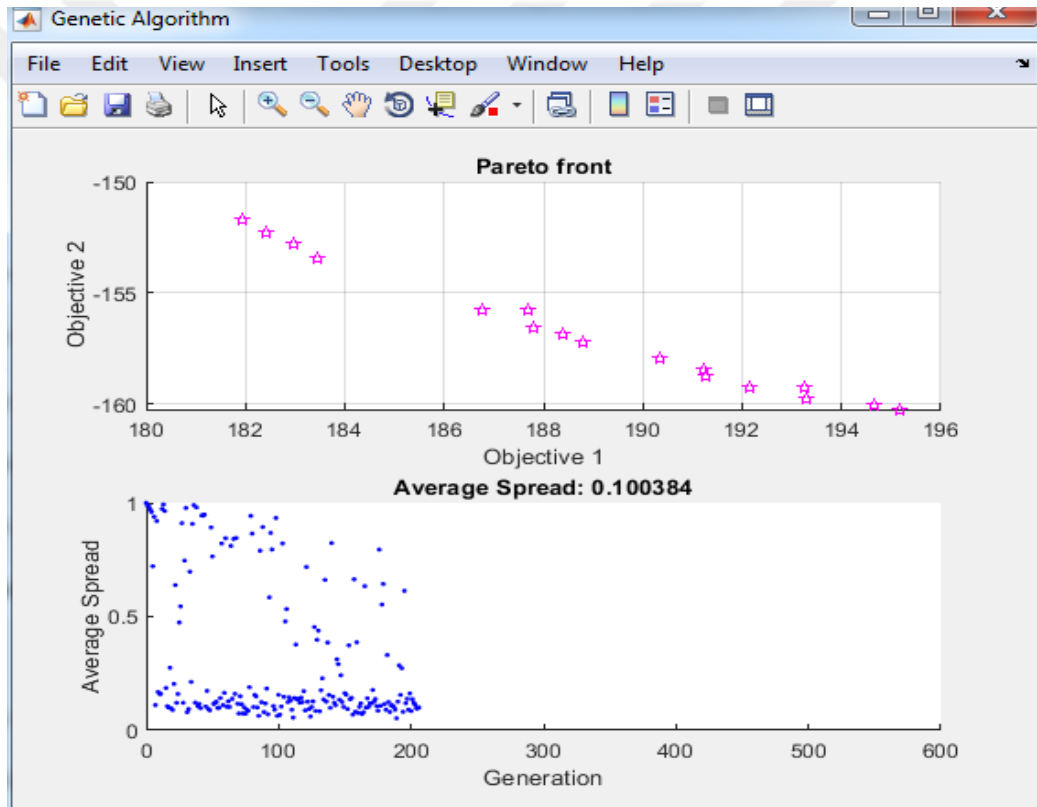


Şekil 4.45: Genetik algoritmanın farklı parametre değerlerinin grafiksel sonuçları.

Tablo 4.33: Genetik algoritma kullanılarak ön yüzey için elde edilen optimum sonuçlar.

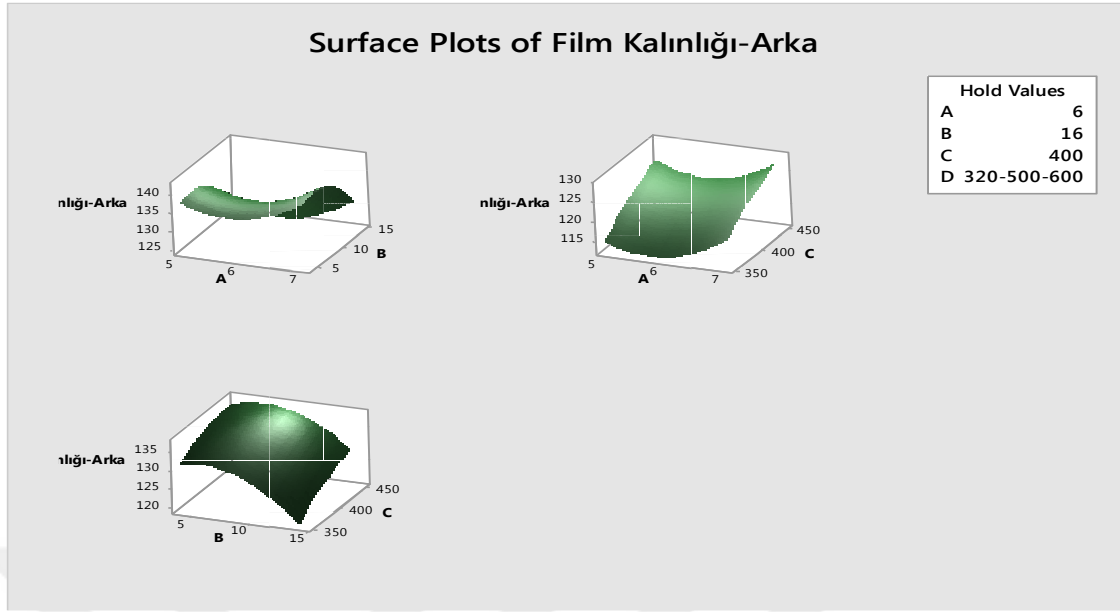
Sıra	Sertlik (sn)	Film Kalınlığı (μc)	A (m/dk)	B (m/sn)	C (gr/m^2)
1	183,449	156,712	5,288	13,735	352,104

Elde edilen sonuçlara göre; bant hızı 5,28 m/dak, kesme hızı 13,735 m/sn ve boya miktarı 352,104 gr/m^2 olarak bulunmuştur. Matlab GA araç kutusu sekmesi kullanılarak her iki çıktı için elde edilen pareto ve ortalama yayılımın grafiksel değerleri Şekil 4.46'de gösterilmiştir. Sonuçlar 204 iterasyon sonucunda bulunmuştur.

**Şekil 4.46:** Pareto ve ortalama yayılımın grafiksel değerleri.

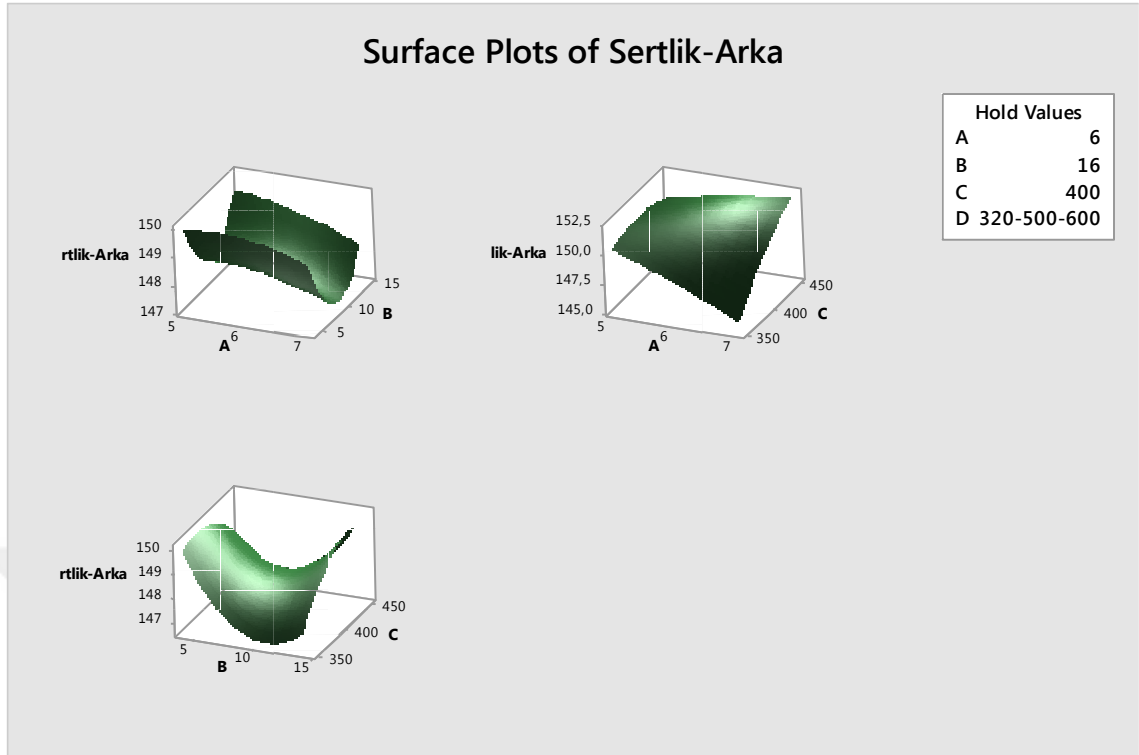
Prosesin ikinci bölümünün ön yüzeylerinin değerlendirmesi aşamasından sonra, prosesin ikinci bölümünün arka yüzeylerinin değerlendirilmesi aşamasına geçilmiştir.

Prosesin ikinci bölümünün arka yüzeyi için hem film kalınlığı hem de sertlik direnci değerlerinin grafiksel sonuçları değerlendirilmiştir. Arka yüzey için elde edilen yanıt yüzey grafiği Şekil 4.47'da verilmiştir.



Şekil 4.47: Film kalınlığı arka yüzey için yüzey grafikleri.

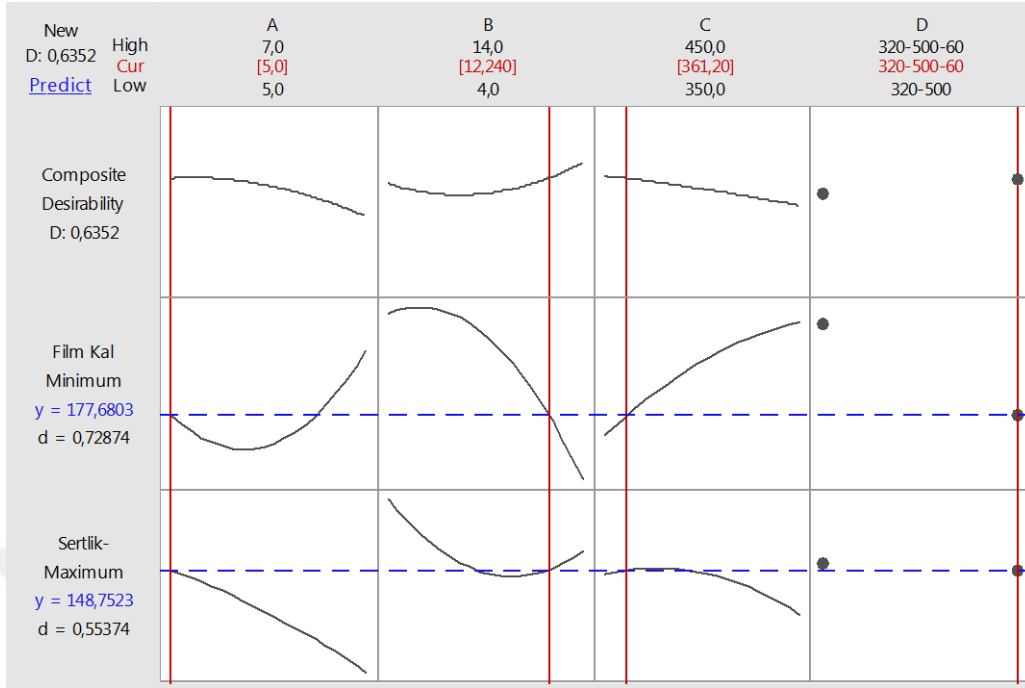
Görüldüğü üzere proses parametreleri arasındaki etkileşimin film kalınlığı üzerinde etkili olduğu görülmektedir. Bant hızı ve kesme hızı arasındaki sonuç değerlendirildiğinde, film kalınlığının 5 m/dak ile 6 m/dak arasında ve kesme hızında 10 m/sn ile 15 m/sn arasında minimum seviyelere ulaştığı görülmektedir. Bant hızı ve boya miktarı arasındaki etkileşim değerlendirildiğinde, film kalınlığının 350 gr/m² ile 380 gr/m² arasında ve bant hızında 5 m/dak ile 6 m/dak arasında minimum seviyelere ulaştığı görülmektedir. Kesme hızı ve boya miktarı arasındaki etkileşim değerlendirildiğinde, film kalınlığının 350 gr/m² ile 380 gr/m² arasında ve kesme hızının da 10 m/sn ile 15 m/sn arasında minimum seviyelere ulaştığı görülmektedir.



Şekil 4.48: Sertlik direnci arka yüzey için yüzey grafikleri.

Şekil 4.48’de görüldüğü üzere proses parameterleri arasındaki etkileşimin film sertliği üzerinde etkili olduğu görülmektedir. Bant hızı ve kesme hızı arasındaki sonuç değerlendirildiğinde, film sertliğinin 5 m/dak ile 6 m/dak arasında ve kesme hızında 10 m/sn ile 13 m/sn arasında maksimum seviyelere ulaştığı görülmektedir. Bant hızı ve boya miktarı arasındaki etkileşim değerlendirildiğinde, film sertliğinin 350 gr/m² ile 400 gr/m² arasında ve bant hızında 5 m/dak ile 6 m/dak arasında maksimum seviyelere ulaştığı görülmektedir. Kesme hızı ve boya miktarı arasındaki etkileşim değerlendirildiğinde, film sertliğinin 380 gr/m² ile 420 gr/m² arasında ve kesme hızının da 5 m/sn ile 13 m/sn arasında maksimum seviyelere ulaştığı görülmektedir.

Arka yüzey için; prosesin deney tasarımı tabanlı istenebilirlik fonksiyonu kullanarak faktör seviyelerinin eniyelenmesi sonucu Şekil 4.49’de verilmiştir. Sonuçlar değerlendirildiğinde istenebilirlik fonksiyon değeri 0,6352 değerine ulaşmıştır. İstenebilirlik fonksiyon sonuçlarında en iyi sonuçların zımpara türü 320-500-600’da bulunduğu görülmektedir. Ancak B zımparası ile elde edilen sonuçlarda Tablo 4.34’de gösterilmiştir. En iyi sonuçlar zımpara türü 320-500-600 da bulunduğu için çözüm bu zımpara türü üzerinden oluşturulmuştur.



Şekil 4.49: Ön yüzey için istenebilirlik fonksiyonun çözüm sonuçları.

Tablo 4.34: Arka yüzey için optimum değerler.

Bant Hızı (m/dk.)	Kesme Hızı (m/sn.)	Boya Miktarı (gr/m ²)	Zımpara Numarası	Film Kalınlığı (µc)	Sertlik (sn.)	İstek
5,00	12,24	361,2	320-500-600	177,07	148,69	0,7981
5,12	10,2123	378,2	320-500	182,245	147,12	0,7134

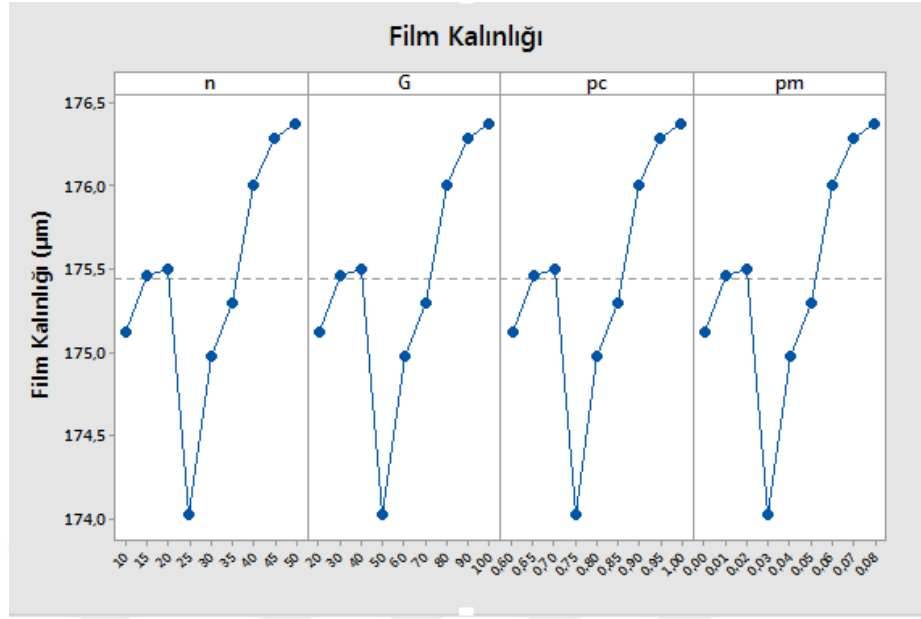
İstenebilirlik fonksiyonundan elde edilen sonuçları ile 3 boyutlu yüzey grafik sonuçları birlikte değerlendirildiğinde sonuçların tutarlı olduğu görülmektedir.

Prosesin optimizasyonu aşamasında daha iyi bir çözümün araştırılması amacıyla, İstenebilirlik fonksiyonundan elde edilen sonuçlara, bir yapay zekâ algoritması olan genetik algoritma ile çözüm devam ettirilmiştir. İstenebilirlik fonksiyonundan elde edilen sonuç, genetik algoritma için başlangıç çözüm olarak kabul edilmiş ve Matlab yazılımı kullanılarak optimum sonuçlar araştırılmıştır. Bu amaçla genetik algoritmanın farklı parametre değerleri için oluşan sonuçlar Tablo 4.35’ de verilmiştir.

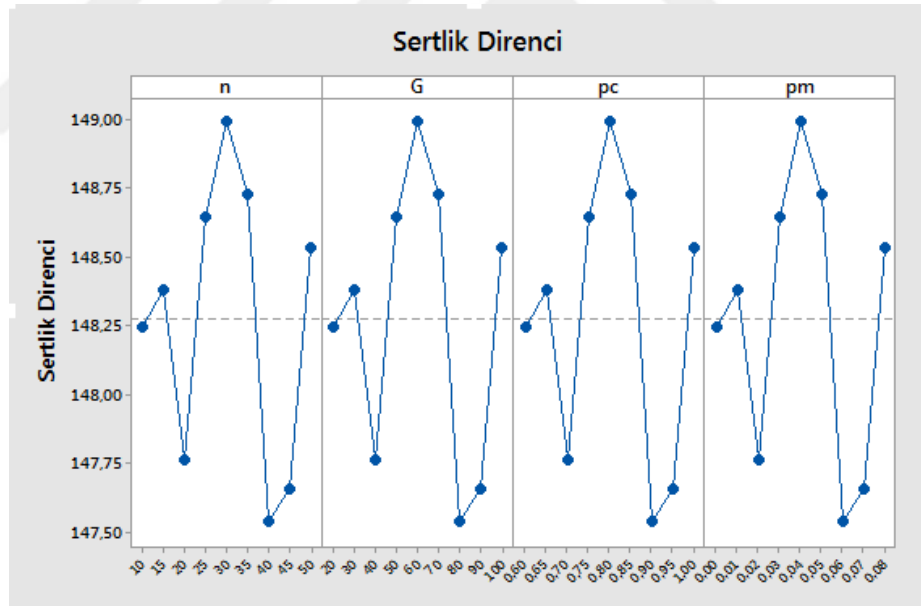
Tablo 4.35: Genetik algoritmanın farklı parametre değerleri için sonuçlar.

N	G	pc	pm	Film Kalınlığı	Sertlik Direnci
10	20	0,6	0	175,121	148,242
15	30	0,65	0,01	175,456	148,381
20	40	0,7	0,02	175,498	147,761
25	50	0,75	0,03	174,017	148,642
30	60	0,8	0,04	174,968	148,989
35	70	0,85	0,05	175,287	148,723
40	80	0,9	0,06	176,001	147,534
45	90	0,95	0,07	176,281	147,651
50	100	1	0,08	176,373	148,531

Şekil 4.50 ve 4.51’de görüldüğü üzere maksimum yapışma ve sertlik değeri 30, 60, 0,8, 0,04 değerlerinde bulunmuştur. Matlab GA’da varsayılan parametre değerleri 50, 100, 1, 0,04 iken sonuçlar karşılaştırıldığında, varsayılan parametre değerlerine göre sonuçlar iyileştirilmiştir. Arka yüzey için elde edilen sonuçlar Tablo 4.36’ da verilmiştir.



Şekil 4.50: Genetik algoritmanın farklı parametre değerlerinin grafiksel sonuçları.

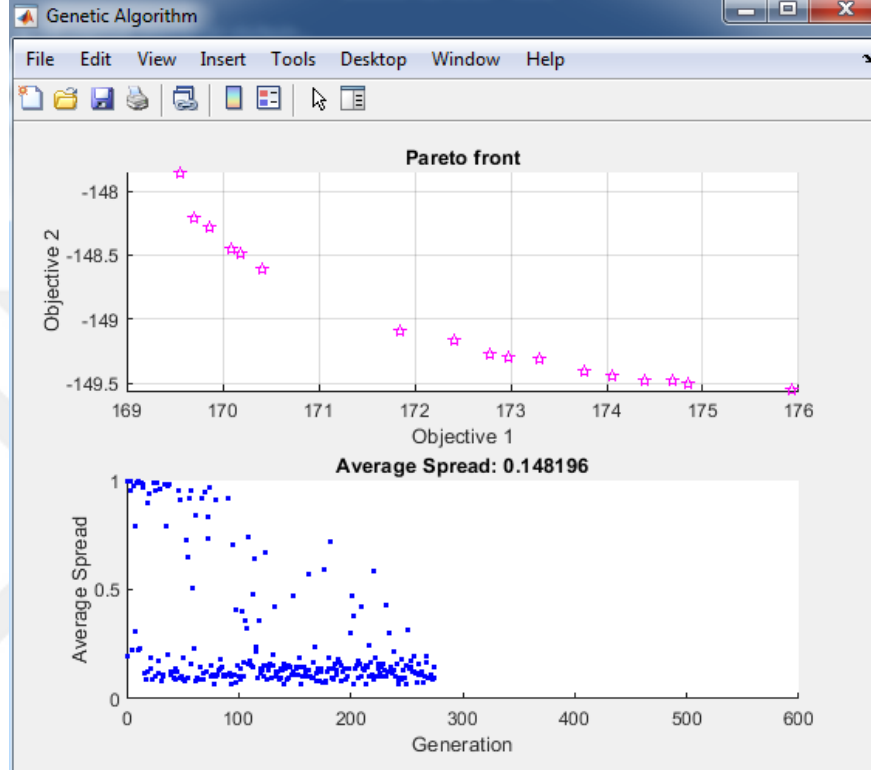


Şekil 4.51: Genetik algoritmanın farklı parametre değerlerinin grafiksel sonuçları.

Tablo 4.36: Genetik algoritma kullanılarak arka yüzey için elde edilen optimum sonuçlar.

Sıra	Film kalınlığı (µc)	Sertlik (sn.)	A (m/dk)	B (m/sn)	C (gr/m ²)
1	174,968	148,989	5,744	14,00	355,11

Elde edilen sonuçlara göre; bant hızı 5,74 m/dak, kesme hızı 14,00 m/sn ve boya miktarı 355,11 gr/m² olarak bulunmuştur. Matlab GA araç kutusu sekmesi kullanılarak her iki çıktı için elde edilen pareto ve ortalama yayılımın grafiksel değerleri Şekil 4.52’de gösterilmiştir. Sonuçlar 408 iterasyon sonucunda bulunmuştur.



Şekil 4.52: Pareto ve ortalama yayılımın grafiksel değerleri.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bölüm 4.1 de mevcut prosesin kalite karakteristiklerinin, uygulanan macun, vernik ve yaş boya miktarlarının değerlendirilmesi amacıyla prostesten rastgele 30 örnek alınarak değerlendirilmeler yapılmıştır. Ayrıca prosesin birinci bölümü için yapışma ve sertlik direnci, ikinci bölümü için film kalınlığı ve sertlik direnci prosesin kalite karakteristikleri olarak seçilmiştir. Örneklerin her iki yüzeyi içinde ölçümler gerçekleştirilmiştir. Örneklerin doğru bir şekilde değerlendirilebilmesi için aykırı değer analizi, tek yönlü varyans analizi, %95 güven düzeyindeki ortalama değerleri ve normal dağılıma uygunluk testleri yapılmıştır.

Prosesin birinci bölümünün ön ve arka yüzeylerinin değerlendirilmesi sonucu oluşan değerler Tablo 5.1’de verilmiştir.

Tablo 5.1: Prosesin birinci bölümünün değerlendirilmesi.

A yüzeyi için % 95 güven düzeyinde ortalama değerler		B yüzeyi için % 95 güven düzeyinde ortalama değerler	
Yapışma direnci	2,885 Mpa	Yapışma direnci	2, 543 Mpa
Sertlik direnci	142,4 sn.	Sertlik direnci	141,4 sn.
Macun miktarı	62,93 gr/m ²	Macun miktarı	57,47 gr/m ²
Vernik miktarı	23,03 gr/m ²	Vernik miktarı	21,00 gr/m ²
Katman kalınlığı	55,03 µc	Katman kalınlığı	48,13 µc

Yapılan analizler sonucunda; yapışma direnci, macun miktarı, vernik miktarı ve film kalınlığının A ve B yüzeyleri için anlamlı bir farklılık bulunurken sertlik direnci için anlamlı bir farklılık bulunmamıştır. Yüzeyde oluşan katman kalınlıkları ve yapışma direnç değerleri her iki yüzey için farklılık göstermektedir. Bu durum nedenleri şu şekilde açıklanabilir:

- MDF örneklerinin, üretim aşamasında alt ve üst tablalarının farklı sıcaklarda temas etmesine bağlı olarak yüzey yoğunluk farklılıktan kaynaklanmıştır. Yoğunluğu

yüksek olan yüzey daha az macun ve verniği yüzeyde tutarken, yoğunluğu düşük olan yüzey daha fazla macun ve vernik tutmasına neden olmuştur.

- MDF örneklerinin üretim aşamasında, yüzeye uygulanan zımparalama işlemlerinin eşit bir şekilde yapılmaması ve yüzeylerin daha fazla zımparalanarak aşınmaya bağlı olarak yüzeyde yoğunluk farklılıklarının daha belirgin hale gelmesi ve yüzey kalitesindeki bozukluklar.
- MDF üretim sistemlerinin farklılığından kaynaklı nedenlerden oluşan alt ve üst tabakadaki kalite farklılıklarının meydana gelmesinden kaynaklanmış olabilir.
- A yüzeyinin yapışma direnci B yüzeyine göre biraz daha yüksek bulunmuştur. Bu durum değerlendirildiğinde, yapışma tepkimesi yüzey ve boya arasındaki kuvvetlerin birbirini çekmesi ve tepkimenin tamamlanması ile oluşan bir süreçtir. Kullanılan malzemelerin aynı özellikte olması ve kullanılan boyanın aynı olması durumunda yüzeylerde benzer yapışma dirençlerinin bulunması gerekirken farklılık oluşmuştur. Bu durumun nedeni alt ve üst tabakadaki yoğunluk farkından kaynaklanmaktadır. Üst tabakanın (A) yoğunluğunu yüksek olması ve boyanın kurma tepkimesi tamamlanmasından sonra, düşük yoğunluktaki alt tabakaya göre daha yüksek bir yapışma direncinin oluşmasına neden olmuştur.

Prosesin ikinci bölümünün ön ve arka yüzeylerinin değerlendirilmesi sonucu oluşan değerler Tablo 5.2’de verilmiştir.

Tablo 5.2: Prosesin ikinci bölümünün değerlendirilmesi.

A Yüzeyi için % 95 Güven Düzeyinde Ortalama Değerler		B Yüzeyi için % 95 Güven Düzeyinde Ortalama Değerler	
Sertlik Direnci	149,4 sn.	Sertlik Direnci	142,4 sn.
Yaş Boya Miktarı	393,9 gr/m ²	Yaş Boya Miktarı	390,2 gr/m ²
Katman Kalınlığı	232,3 µc	Katman Kalınlığı	210 µc.

Tablo 5.2’de görüldüğü üzere yaş boya miktarı ve film kalınlığının A ve B yüzeyleri için anlamlı bir farklılık bulunurken sertlik direnci için anlamlı bir farklılık bulunmamıştır.

Yüzeyde oluşan katman kalınlıkları yaş boya miktarına bağlı olarak B yüzeyine göre daha fazla bulunmuştur.

Mevcut prosesin özelliklerinin ortaya konmasından sonraki aşama deney tasarımı yönteminin seçimi ve uygulanmasıdır. Prosesin değerlendirilmesinde ve kalite karakteristikleri üzerindeki etkilerin araştırılmasında toplam ikisi kesikli veri olmak üzere 9 faktör incelenmiştir. Prosesin daha etkin incelenebilmesi amacıyla proses ikiye ayrılarak değerlendirilmiştir. Prosesin birinci bölümün 5 faktör, ikinci bölümünde 4 faktörün etkileri incelenmiştir. Faktörlerin belirlenmesinde literatür bilgileri, uzman görüşleri değerlendirilerek balık kılıcı diyagramı kullanılarak sorgulanmıştır. Her iki proses için merkezi kompozit tasarım seçilmiştir. Firmanın çalıştığı faktör seviyeleri orta nokta kabul edilerek iki farklı tasarım oluşturulmuş ve deneylerin tekrar sayıları hesaplanmıştır. Prosesin birinci bölümünde toplam 180 deney, ikinci bölümünde toplam 120 deney gerçekleştirmiştir. Deneylerin uygulanmasında oluşabilecek varyasyonları tespit etmek ve dengelemek için bloklama yapılmıştır. Bu durumda birinci bölüm için 3 blok (60+60+60), ikinci bölüm için 3 blok (40+40+40) deney yapılarak değerlendirilmiştir.

Deneylerin uygulanması aşamasından sonra her bir prosesin faktörlerinin kalite karakteristiklerinin üzerindeki etkileri varyans analizi ile araştırılmıştır. Prosesin birinci bölümü için seçilen kalite karakteristikleri yapışma direnci ve sertlik direncidir. Araştırılan faktörler; zımpara türü, kesme hızı, bant hızı, macun ve vernik miktarı olarak belirlenmiştir. Varyans analizi sonucunda ön ve arka yüzey içinde kesme hızı, bant hızı, macun ve vernik miktarı önemli faktörler olarak bulunurken, zımpara türü her iki yüzey içinde önemsiz faktör olarak bulunmuştur. Ancak faktörlerin birbirleri ile olan etkileşimleri incelendiğinde her iki yüzey içinde zımpara türü etkili faktör olarak bulunmuştur.

Prosesin ikinci bölümü için seçilen kalite karakteristikleri kuru film kalınlığı ve yüzey sertlik direncidir. Araştırılan faktörler; zımpara numarası, bant hızı, kesme hızı ve yaş boya miktarıdır. Varyans analizi sonucunda ön ve arka yüzey içinde kesme hızı, bant hızı, zımpara numarası ve yaş boya miktarı önemli faktörler olarak bulunurken, özellikle kesme hızı ve boya miktarı arasındaki etkileşim ile zımpara numarası ve yaş boya miktarı arasındaki etkileşim önemli görülmüştür. Her iki proses için faktörler arasındaki

etkileşimin önemli olmasından dolayı kurulacak modellerin etkileşim faktörlerini temsil edecek bir yapıda olması gereklidir. Bu nedenle her iki yüzey içinde yanıt yüzeyi yöntemi kullanılarak farklı matematiksel modeller kurulmuştur. Modeller kesikli bir veri olan zımpara türüne göre oluşturulmuştur. Prosesin birinci bölümünde 2 farklı zımpara türü olduğu için her bir yüzey için bu zımpara türlerine göre farklı matematiksel modeller oluşturulmuştur. Matematiksel modellerin seçiminde belirleme katsayısı (R^2), düzeltilmiş belirleme katsayısı ($Adj-R^2$) ve press istatistik değerleri kullanılmıştır. Aynı zamanda modellerin doğruluk testleri için artıkların dağılımları görsel ve istatistiksel olarak değerlendirilmesi ile uyum yetersizliği testleri sonucunda iki yüzey içinde kuadratik modeller amaç fonksiyonları olarak seçilmiştir.

Proseslerin optimizasyonu aşamasında her iki proses ve her iki yüzey için ayrı değerlendirmeler yapılmıştır. Ancak proseslerin, yanıtları birden fazla olmasından dolayı kullanılacak optimizasyon yöntemi çoklu yanıt problemidir. Bu nedenle çıktıların ağırlıklarının hesaplanmasında Bulanık AHP yöntemi kullanılmıştır. Elde edilen bu sonuçlar prosesin optimizasyonu aşamasında kullanılarak, optimum seviyeler araştırılmıştır.

Proseslerin eniyilenmesinde aşağıdaki adımlar sırasıyla uygulanmıştır:

1. Deney tasarımı aşamasında varyans analiz sonucu ana ve etkileşimli faktörlerin seçilmesi;
2. Her iki yüzey içi ve proses için, prosesi etkileyen faktörler ile yanıtların 3-B yüzey grafikleri birlikte değerlendirilerek optimum faktör seviyelerinin bulunduğu aralıklar tespit edilmiştir;
3. Bulanık-AHP yöntemi kullanılarak kalite karakteristiklerinin ağırlıkları belirlenmiştir;
4. İstenebilirlik fonksiyonu kullanılarak ve belirlenen yanıtların ağırlıkları kullanılarak çözüm uzayında başlangıç çözümünün oluşturulması;
5. Başlangıç çözümü belirlendikten sonra, çok yanıtli genetik algoritma kullanılarak yanıtların optimum seviyeleri araştırılmış;
6. Genetik algoritmanın farklı parametre değerlerinde oluşan ve iyileştirilen çözümler hesaplanmıştır.

Prosesin birinci bölümünde yapışma ve sertlik direnci için en büyük en iyi problemine göre değerlendirilmiştir. Tablo 5.3 ve 5.4’de ön ve arka yüzeylere ait optimum parametre seviyeleri ve yanıtların aldığı değerler verilmiştir.

Tablo 5.3: Prosesin birinci bölümünün ön yüzeyler için eniyilenmesine ait sonuçlar.

Yöntemler	Faktörler				Yanıtlar	
	Bant Hızı	Kesme Hızı	Macun Miktarı	Vernik Miktarı	Yapışma Direnci	Sertlik Direnci
Yanıt Yüzeyi Yöntemi	4-5 m/dk	17-20 m/sn	50-70 gr/m ²	25-30 gr/m ²	2,823 Mpa	-
Yanıt Yüzeyi Yöntemi	3-6 m/dk	17-20 m/sn	50-65 gr/m ²	24-28 gr/m ²	-	140,88 sn
İstenebilirlik Fonksiyonu	4 m/dk	17,40 m/sn	57,23 gr/m ²	26,55 gr/m ²	2,911 Mpa	141,88 sn
Genetik Algoritma	4 m/dk	20 m/sn	51,84 gr/m ²	26,33 gr/m ²	3,026 Mpa	148,712 sn

Tablo 5.4: Prosesin birinci bölümünün arka yüzeylerinin eniyilenmesine ait sonuçlar.

Yöntemler	Faktörler				Yanıtlar	
	Bant Hızı	Kesme hızı	Macun Miktarı	Vernik Miktarı	Yapışma Direnci	Sertlik Direnci
Yanıt Yüzeyi Yöntemi	4-5 m/dk	18-20 m/sn	45-55 gr/m ²	22-27 gr/m ²	2,48 Mpa	-
Yanıt Yüzeyi Yöntemi	3-6 m/dk	17-20 m/sn	48-59 gr/m ²	24-28 gr/m ²	-	141,16 sn

Tablo 5.4 (Devam): Prosesin birinci bölümünün arka yüzeylerin eniyilenmesine ait sonuçlar.

İstenebilirlik Fonksiyonu	4 m/dk	17,80 m/sn	55,20 gr/m ²	28,37 gr/m ²	2,56 Mpa	143,28 sn
Genetik Algoritma	4 m/dk	20 m/sn	53,48 gr/m ²	26,05 gr/m ²	2,67 Mpa	149,10 sn

Prosesin birinci bölümü ön ve arka yüzeyler beraber değerlendirildiğinde kullanılan yöntemlere bağlı olarak sonuçların sürekli iyileştiği görülmüştür. En iyi sonucun genetik algoritma sonucu bulunmuştur. Görüldüğü üzere kullanılan macun ve vernik miktarı azalırken yanıt değişkenlerinin arttığı sonucuna ulaşılmıştır. Proses faktörlerinin yanıtlar üzerinde oldukça etkili olduğu görülmektedir.

Prosesin ikinci bölümünde ön ve arka yüzeyler için film kalınlığı için en küçük en iyi ve sertlik direnci için en büyük en iyi optimizasyon problemine göre değerlendirilmiştir. Tablo 5.5 ve 5.6'da ön ve arka yüzeylere ait optimum parametre seviyeleri ve yanıtların aldığı değerler verilmiştir.

Tablo 5.5: Prosesin ikinci bölümünün ön yüzeylerinin eniyilenmesine ait sonuçlar.

Yöntemler	Faktörler			Yanıtlar	
	Bant Hızı	Kesme Hızı	Boya Miktarı	Film Kalınlığı	Sertlik Direnci
Yanıt Yüzeyi Yöntemi	5-6 m/dk	10-15 m/sn	350-380 gr/m ²	191,12 µc	-
Yanıt yüzeyi yöntemi	5-6 m/dk	10-13 m/sn	380-400 gr/m ²	-	153,45 sn
İstenebilirlik Fonksiyonu	5 m/dk	12,37 m/sn	359,2 gr/m ²	189,18 µc	156,50 sn
Genetik Algoritma	5,28 m/dk	14,73 m/sn	352,10 gr/m ²	183,44 µc	156,71 sn

Tablo 5.6: Prosesin ikinci bölümünün arka yüzeylerinin eniyilenmesine ait sonuçlar.

Yöntemler	Faktörler			Yanıtlar	
	Bant Hızı	Kesme Hızı	Boya Miktarı	Film Kalınlığı	Sertlik Direnci
Yanıt Yüzeyi yöntemi	5-6 m/dk	10-15 m/sn	350-380 gr/m ²	181,12 µc	-
Yanıt Yüzeyi Yöntemi	5-6 m/dk	10-13 m/sn	380-420 gr/m ²	-	148,45
İstenebilirlik Fonksiyonu	5 m/dk	12,24 m/sn	361,2 gr/m ²	177,68 µc	148,75
Genetik Algoritma	5,74 m/dk	14,00 m/sn	355,11 gr/m ²	174,96 µc	148,98

Prosesin ikini bölümü ön ve arka yüzeyler beraber değerlendirildiğinde kullanılan yöntemlere bağlı olarak sonuçların sürekli iyileştiği görülmüştür. En iyi sonucun genetik algoritma sonucu bulunmuştur. Görüldüğü üzere kullanılan yaş boya miktarı azalırken yanıt değişkenlerinin arttığı sonucuna ulaşılmıştır. Proses faktörlerinin yanıtlar üzerinde oldukça etkili olduğu görülmektedir.

Firmada gerçekleştirilen uygulamalarda, firmanın zımpara ve boya prosesi için kalite karakteristiklerinin değerleri ile yani mevcut prosesin özellikleri ile tez kapsamında uygulanan yöntemin prosesin birinci bölümünü sonuçları karşılaştırmalı olarak Tablo 5.7’de verilmiştir.

Tablo 5.7: Prosesin birinci bölümünün kalite karakteristiklerinin değerlendirilmesine ait sonuçlar.

Proses	Mevcut Proses Sonuçları		İyileştirilen Proses Sonuçları		İyileşme Oranı	
	A	B	A	B	A	B
Kalite Karakteristikleri						
Yapışma Direnci	2,88 Mpa	2,54 Mpa	3,02 Mpa	2,67 Mpa	% 6,25	% 5,11
Sertlik Direnci	142,4 sn	141,4 sn	158,71	159,10	% 10,1	% 11,1

Sonuçlar karşılaştırıldığında, uygulanan yöntem sonucunda mevcut procese göre, kalite karakteristikleri üzerinde iyileşmeler sağlanmıştır. Tablo 5.8’de mevcut prosesin faktör seviyeleri ile iyileştirilen prosesin faktör seviyeleri verilmiştir.

Tablo 5.8: Prosesin birinci bölümünün faktörleri ve faktör seviyelerinin değerlendirilmesi.

Proses	Mevcut Proses Sonuçları		İyileştirilen Proses Sonuçları		İyileşme Oranı	
	A	B	A	B	A	B
Faktörler						
Bant Hızı	5 m/dak	5 m/dak	4 m/dak	4 m/dak	-	-
Kesme Hızı	14 m/sn	14 m/sn	20 m/sn	20 m/sn	-	-
Macun Miktarı	62,93 gr/m ²	57,47 gr/m ²	51,84 gr/m ²	53,48 gr/m ²	% 18,58	% 6,81
Vernik Miktarı	23 gr/m ²	21,00 gr/m ²	26,33 gr/m ²	26,05 gr/m ²	% 12,64	% 19,17

Tablo 5.8’deki sonuçlar değerlendirildiğinde macun miktarında ön yüzey için % 18,58 ve arka yüzey için % 6,81’lik bir azalma söz konusudur. Vernik miktarında ise ön yüzey için % 12,64 ve arka yüzey için % 19,17 lük bir artış bulunmuştur. Buna karşın yapışma

direncinde ön yüzeyde % 6,25 ve arkada yüzeyde % 5,11'lik bir artış söz konusudur. Sertlik direncinde ön yüzeyde % 10,1 ve arka yüzeyde % 11,1'lik bir artış olmuştur.

Firmada gerçekleştirilen uygulamalarda, firmanın zımpara ve boya prosesi için kalite karakteristiklerinin değerleri ile yani mevcut prosesin özellikleri ile tez kapsamında uygulanan yöntemin prosesin ikinci bölümünü sonuçları karşılaştırmalı olarak Tablo 5.9'da verilmiştir.

Tablo 5.9: Prosesin ikinci bölümünün kalite karakteristiklerinin değerlendirilmesine ait sonuçlar.

Proses	Mevcut Proses Sonuçları		İyileştirilen Proses Sonuçları		İyileşme Oranı	
	A	B	A	B	A	B
Kalite Karakteristikleri						
Film Kalınlığı	232,3 µc	210 µc	183,44 µc	174,96 µc	% 25,65	% 11,57
Sertlik Direnci	149,4 sn	142,4 sn	156,71	148,98	% 4,46	% 4,38

Sonuçlar karşılaştırıldığında, uygulanan yöntem sonucunda mevcut proses göre kalite karakteristikleri üzerinde iyileşmeler sağlanmıştır. Özellikle film kalınlığının en küçüklenmesinde önemli bir düşüş olurken sertlik direncinde artış olmuştur. Film kalınlığındaki iyileşme oranı ön yüzey için % 25,65, arka yüzey için % 11,57 olarak bulunmuştur. Sertlik direncinde ise iyileşme oranı ön yüzey için % 4,46, arka yüzey için % 4,38 bulunmuştur. Tablo 5.10'da mevcut prosesin faktör seviyeleri ile iyileştirilen prosesin faktör seviyeleri verilmiştir.

Tablo 5.10: Prosesin ikinci bölümünün faktörleri ve faktör seviyelerinin değerlendirilmesi.

Proses	Mevcut Proses Sonuçları		İyileştirilen Proses Sonuçları		İyileşme Oranı	
	A	B	A	B	A	B
Faktörler						
Bant Hızı	5,00 m/dak	5,00 m/dak	5,28 m/dak	5,74 m/dak	-	-

Tablo 5.10 (Devam): Prosesin ikinci bölümünün faktörleri ve faktör seviyelerinin değerlendirilmesi.

Kesme Hızı	8,5 m/sn	8,5 m/sn	14,73 m/sn	14,00 m/sn	-	-
Yaş Boya Miktarı	393.3 gr/m ²	390.2 gr/m ²	352.1 gr/m ²	355.21 gr/m ²	% 10.04	% 8.96

Tablo 5.10'daki sonuçlar değerlendirildiğinde yaş boya miktarında ön yüzey için % 10,04 ve arka yüzey için % 8,96'lık bir azalma söz konusudur. Buna karşın film kalınlığında ön yüzeylerde % 25,65 ve arka yüzeylerde % 11,57'lik bir azalma olmuştur. Sertlik direncinde ise ön yüzeylerde % 4,46 ve arka yüzeylerde % 4,38'lik bir artış olmuştur.

Prosesin birinci ve ikinci bölümü beraber değerlendirildiğinde, yüzeye uygulanan toplam macun, vernik ve yaş boya miktarları Tablo 5.11'de verilmiştir.

Tablo 5.11: Prosesin birinci ve ikinci bölümünün birlikte değerlendirilmesi.

Proses-1 Proses-2	Mevcut Proses Sonuçları		İyileştirilen Proses Sonuçları		İyileşme Oranı	
	A	B	A	B	A	B
Faktörler						
Macun Miktarı	62	57,13	51,84	53,48	-	-
Vernik Miktarı	23	21	26,33	26,05	-	-
Yaş Boya Miktarı	393,9 gr/m ²	390,2 gr/m ²	352,1 gr/m ²	355,21 gr/m ²	-	-
Toplam	478,90	468,33	430,27	431,63	% 10,15	% 7,83

Tablo 5.11'de görüldüğü üzere toplam uygulanan macun, vernik ve boya miktarında ön yüzey için % 10,15, arka yüzey için % 7,83'lük bir azalma olmuştur. Ayrıca toplam boya miktarındaki azalamaya karşın her iki proses ver her iki yüzey için kalite karakteristiklerinde artış olmuştur.

Literatür çalışmaları ile beraber sonuçlar değerlendirildiğinde;

- Literatürde yapılan çalışmalarda yüzey işlem performansının iyileştirilmesinde özellikle kalibre zımpara uygulamalarında, zımparalama parametrelerinin etkili olduğu ve özellikle kesme hızı, bant hızı, zımpara türü, zımpara numarası, boya

miktarının önemli olduğu görülmüştür. Tez çalışmasında elde edilen sonuçların literatürde yapılan çalışmalar ile benzerlik gösterdiği görülmektedir.

- Literatürde yapılan çalışmalar genel olarak boya ve vernik uygulamalarında yapışma direncinin performansının iyileştirilmesi üzerine çalışılmış ve geleneksel deney tasarımı yöntemleri kullanılmıştır. Yapılan tez çalışmasında, yapışma direnci, sertlik direnci ve kuru film kalınlığı birlikte değerlendirilirken, gelişmiş deney tasarımı yöntemleri kullanılmıştır.
- Literatürde yapılan çalışmalarda uygulanan yüzey işlem maddesinin miktarının eniyilenmesi üzerine çok az çalışmaya rastlanılmıştır. Bu çalışmalar uygulanan yüzey işlem maddesinin niteliksel olarak değerlendirildiği görülmüş ve çalışmalar laboratuvar ortamlarında gerçekleştirilmiştir. Tez çalışmasında yüzey işlem maddesi nicel olarak değerlendirilerek, saha çalışmasında proses üzerindeki etkileri detaylı bir şekilde araştırılmıştır. Uygulanan yüzey işlem maddesinin eniyilenmesi amacıyla yapay zeka optimizasyon algoritması ve deney tasarımı yöntemi birlikte kullanılarak proses üzerinde önemli iyileştirmeler sağlanmıştır.

Bir sonraki çalışmada;

- Farklı proseslerin eniyilenmesinin sağlanması amacıyla farklı deney tasarımı yöntemlerinin uygulanması;
- Proseslerde belirlenen kalite karakteristiklerinin hedef değerlerine göre proses kartlarının oluşturulması ve proses etkinlik değerlendirmelerinin yapılması;
- Makine öğrenmesi algoritmaları kullanılarak, proseslere ait kalite karakteristiklerinin faktörlere bağlı olarak tahmin edilmesi, kural tabloları oluşturulması, eniyilenmesi yöntemleri birlikte kullanılarak Endüstri 4.0 kapsamında prosese özgü altyapıların oluşturulması;
- Toplam ekipman etkinliğinin (OEE) üzerinde çalışmalar ile devam edecektir.

KAYNAKLAR

- [1]. Davis, E.M., 1959, *Three musts for good machining*, The wood work edition, Madison, Wisconsin.
- [2]. Kurtoğlu, A., 1981, Odunun işlenme zellikleri, *Istanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 31 (2), 179-199.
- [3]. rs, Y., ve Baykan, D., 1999, Masif ağaç malzemede rendeleme ve zımparalamanın yüzey pürüzlülüğüne etkileri, *Turkish journal of agriculture and forestry*, 23, 577-582.
- [4]. rs, Y., ve Demirci, S., 2003, Akasya ve meşe odunlarında yüzey düzgünlüğüne kesiiş yönü ve zımparalamanın etkisi, *Politeknik dergisi*, 6 (2), 491-495.
- [5]. İter, E., amlıyurt, C., Balkız, ., 2002, Uludağ Gknarı odununun yüzey pürüzlülük değerlerinin belirlenmesi üzerine araştırmalar, *Ormancılık araştırma enstitüsü yayınları*, 281 (2), 32-44.
- [6]. Aslandoğan, C., 2005, *Karaçam (Pinus nigra Arnold) odununun yüzey pürüzlülük değerlerinin belirlenmesi üzerine araştırmalara*, Yüksek lisans tezi, Hacettepe Üniversitesi.
- [7]. Söğütlü, C., 2005, Bazı faktörlerin zımparalanmış ağa malzeme yüzey przllğne etkisi, *Politeknik dergisi*, 8 (4), 345-350.
- [8]. Carrano, A., Thorn, B., Lopez, G., 2006, An integer programming approach to construction of trend-free experimental plans on split-plot desings, *Journal of manufacturing systems*, 25 (1), 39-44.
- [9]. Carrano, A., Taylor, J., Young, R., Lemaster, R., Saloni, D., 2004, Fuzzy knowledge-based modeling and statistical regression in abrasive wood machining, *Forest products journal*, 54 (5), 66-72.
- [10]. Saloni, D., Lemaster, R., Jackson, S., 2005, Abrasive machining process characterization on material removal rate, final surface texture, and power consumption for wood, *Forest products journal*, 55 (12), 35-41.
- [11]. Carrano, A., Vora, B., Sahin, F., Lemaster, R., 2007, Monitoring of abrasive loading for optimal belt cleaning or replacement, *Forest products journal*, 57 (5), 78-91.
- [12]. Aslan, S., Coşkun, H., Kılıç, M., 2008, The Effect of the cutting direction, number of blades and grain size of the abrasives on surface roughness of Toros cedar, *Building and Environment*, 43, 696-701.
- [13]. Iskra, P., and Hernandez, R.E., 2009, The influence of cutting parameters on the suarface quality of routed paper birch and surafce roughness prediction modeling, *Journal of the society of wood science and technology*, 41 (1), 28-37.

- [14]. Varanda, L.D., Alves, M.C.S., Gonçalves, M.T.T., Santiago, L.F.F., 2010, Influência das variáveis no lixamento tubular na qualidade das peças de *Eucalyptus grandis*. *Cerne Lavras*, 16 (3), 23-32.
- [15]. Varasquim, F.M.F.A., Alves, M.C.S., Gonçalves, M.T.T., Santiago, L.F.F., Souza, A.J.D., 2012, Influence of belt speed, grit sizes and pressure on the sanding of *Eucalyptus grandis* wood, *Cerne Lavras*, 18 (2), 231-237.
- [16]. Tan, P.L., Sharif, S., Sudin, I., 2012, Roughness models for sanded wood surfaces, *Journal of wood science and technology*, 46 (1), 129-142.
- [17]. Zhong, Z., Hiziroglu, S., Chan, C.T.M., 2013, Measurement of the surface roughness of wood based materials used in furniture manufacture, *Measurement*, 46 (4), 1482-1487.
- [18]. Tiryaki, S., Malkocoglu, A., Ozsahin, S., 2014, Using artificial neural networks for modeling surface roughness of wood in machining process, *Construction and Building Materials*, 66, 329-335.
- [19]. Vitosyte, J.J., Ukvalbergiene, K., Keturakis, G., 2015, The effect of sanded parameters of wood surface roughness, *Materials science*, 12 (3), 231-244.
- [20]. Alves, M.C.D., Santiago, L.F.F., Gonçalves, M.T.T., Valarelli, I.D., Varasquim, F.M.F.A., 2015, Effects of belt speed, pressure and grit size on the sanding of *Pinusellottii* wood, *Cerne*, 21 (1), 45-50.
- [21]. Kılıç, M., 2017, Determination of the surface roughness values of Turkish red pine (*Pinus brutia*) woods, *Bioresources*, 12 (1), 1216-1227.
- [22]. Sulaiman, O., Hashim, R., Subari, K., Liang, C.K., 2009, Effect of sanding on surface roughness of rubberwood, *Journal of materials processing technology*, 209, 3949-3955.
- [23]. Hazır, E., Koç, K.H., 2018, A modeling study to evaluate the quality of wood surface, *Maderas-Cienc tecnol*, 20 (4), 1-15.
- [24]. Hazır, E., Koç, K.H., 2018, *A modeling study to evaluate the quality of wood surface*, Thesis (Msc), Istanbul University.
- [25]. Hazır, E., Koç, K.H., Hiziroğlu, S., 2017, Optimization of sanding parameters using response surface methodology, *Maderas-Cienc tecnol*, 19 (4), 407-416.
- [26]. Moura, L.F., and Hernandez, R.Z., 2006, Effects of abrasive mineral, grit size, and feed rate on the quality of sanded surfaces of Sugar maple wood, *Wood science and technology*, 40 (1), 517-530.
- [27]. Budakçı, M., and Sönmez, A., 2010, Bazı ahşap verniklerin farklı ağaç malzeme yüzeyindeki yapışma direncinin belirlenmesi, *Gazi üniversitesi mühendislik mimarlık fakülte dergisi*, 25 (1), 436-448.

- [28]. Sönmez, A., Budakçı, M., Pelit, H., 2011, The effect of moisture content of the wood on layer performance of water borne varnishes, *BioResources*, 6 (3), 125-142.
- [29]. Cool, J., and Hernandez, R.E., 2011, Performance of three alternative surfacing process on black spruce wood and their effects on water-based coating adhesion, *Wood and fiber science*, 43 (4), 365-378.
- [30]. Landry, V., and Blanchet, P., 2012, Surface preparation of wood for application of waterborne coatings, *Forest products journal*, 62 (2), 39-45.
- [31]. Cool, J., and Hernandez, R.E., 2012, Effects of peripheral planing on surface characteristics and adhesion of a waterborne acrylic coating to Black spruce wood, *Forest products journal*, 62 (2), 124-133.
- [32]. Vitosyte, J.J., Ukvalbergiene, K., Keturakis, G., 2012. The effect of surface roughness on adhesion strength of coated Ash (*Fraxinus excelsior* L.) and Birch (*Betula* L.) wood, *Materials Science (Medziagotyra)*, 18 (4), 347-351.
- [33]. Landry, V., Blanchet, P., Cormier, L.M., 2013, Water-based and solvent-based starins: Impact of the grain raising in Yellow Birch, *BioResources*, 8(2), 1997-2009.
- [34]. Dilik, T., Erdinler, S.E., Hazir, E., Koç, H., Hiziroğlu, S., 2015, Adhesion strength of wood based composites coated with cellulosic and polyurethane paints, *Advances in materials science and engineering*, 2015, 1-9.
- [35]. Özdemir, T., Hiziroğlu, S., Kocapınar, M., 2015, Adhesion strength of cellulosic varnish coated wood species as function of their surface roughness, *Advances in materials science and engineering*, 2015, 11-23.
- [36]. Söğütlü, C., Nzokou, P., Ismail, K., Tutgun, R., Dönges, N., 2016, The effect of surface roughness on varnish adhesion strength of wood materials, *Journal of coating technology and research*, 13 (5), 863-870.
- [37]. Ugulino, B., and Hernandez, R.E., 2016, Analysis of sanding parameters on surface properties and coating performance of Red oak, *Wood material science & engineering*, 13 (2), 64-72.
- [38]. Salca, E.A., Krystofiak, T., Lis, B., 2017, Evaluation of selected properties of Alder wood as functions of sanding and coating, *Coatings*, 7 (176), 1-10.
- [39]. Salca, E.A., Krystofiak, T., Lis, B., Proszkyk, S., 2016, Some coating properties of Black Alder wood as function of varnish type and application method, *BioResources*, 11 (3), 7580-7594.
- [40]. Ugulino, B., and Hernandez, R.E., 2017, Assessment of surface properties and solvent-borne coating performance of red oak wood produced by peripheral planing, *European journal of wood and wood products*, 75 (4), 581-593.

- [41]. Cool, J., and Hernandez, R.E., 2016, Impact of three alternative surfacing process on weathering performance of an exterior water-based coating, *Wood and fiber science*, 48 (1), 156-177.
- [42]. Kuljich, S., Cool, J., Hernandez, R.E., 2013, Evaluation of two surfacing methods on black spruce wood in relation to gluing performance, *Journal of wood science*, 59, 185-194.
- [43]. Ramanantoandro, T., Eyma, F., Belloncle, C., Rince, S., Irle, M., 2017, Effect of machining parameters on raised grain occurring after the application of water-based finishes, *European journal of wood and wood products*, 76 (4), 1323-1333.
- [44]. Evans, P.D., Cullis, L., Kim, J.D.W., Leung, L.H., Hazneza, S., Heady, R.D., 2017, Microstructure and mechanism of grain raising in wood, *Coatings*, 7 (9), 139-153.
- [45]. Kurtoğlu, A., 2000, *Ağaç malzeme yüzey işlemleri*, 1 cilt, İstanbul Üniversitesi yayını, İstanbul, ISBN: 975-404-590-9.
- [46]. Bulian, F., and Graystone, J., 2009, *Wood coatings: Theory and practice*, Elsevier, Amsterdam, ISBN: 9780444528407.
- [47]. Speranza, A., 2003, *La verniciatura del legno: preparazione delle superfici*, Pitture vernici, 11 (2), 176-198.
- [48]. Ozarska, B., 2003, *Decorative wood veneering technology*, Forest and wood products research and development Corporation, Australian, ISBN: 1920883002.
- [49]. Flexener, B., 2009, *Understanding wood finishing*, FoxChapel, Chine, ISBN: 978-1-56523-548-9.
- [50]. Bierwagen, G.P., and Hay, T.K., 1975, The reduced pigment volume concentration as an important parameter in interpreting and predicting the properties of organic coatings, *Prog Org Coatings*, 3, 281-303.
- [51]. Dilik T., 2016, *Endüstriyel Yüzey İşlem Uygulamaları*, İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Ders Notu (Basılmamıştır).
- [52]. Kurtoğlu, A., ve Dilik T., 2017, *Yüzey İşlemi Teknikleri*, İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Ders Notu (Basılmamıştır).
- [53]. Doganay, S., ve Kureli, I., 2015, The effects of surface roughness, adhesive type, and veneer species on pull-off strength of laminated medium density fibreboard, *Bioresources*, 10 (1), 1293-1303.
- [54]. Guo, X., Wang, X., Ji, F., 2015, Effect of surface treatment on the properties of UV coating, *Wood research*, 60 (4), 623-632.
- [55]. Ali, K.M.I., Khan, M.A., Rahman, M., Ghani, M., 1997, Ultraviolet curing of epoxy coating on wood surface, *Journal of applied polymer science*, 66 (10), 1997-2004.

- [56]. Hwang, H.D., Moon, J.I., Choi, J.H., Kim, H.J., Kimc, S.D., Park, J.C., 2009, Effect of water drying conditions on the surface property and morphology of waterborne UV-curable coatings for engineered flooring, *Journal of industrial and engineering chemistry*, 15 (3), 381-387.
- [57]. Petry, V., and Kent, D.J, 2004, The effect of UV-curable formulations and matting agents on lacquer properties, *Surface coatings international part B2: Coatings transactions*, 87 (2), 71-148.
- [58]. Landry, V., Blanchet, P., Boivin, G., Bouffard, J.F., Vlad, M., 2015, UV-led curing efficiency of wood coatings, *Coatings*, 5, 1019-1033.
- [59]. Landry, V., Rield, B., Blanchet, P., 2008, Progress in organic coatings, *Nanoclay dispers.Eff. UV Coat curing*, 62, 400-4008.
- [60]. Tracton, A.A., 2006, *Coating materials and surface coatings*, 1st ed., CRC, New York, ISBN: 1-4200-4404-4.
- [61]. Dellino, G., Kleijnen, J.P.C. and Meloni, C., 2010, Robust optimization in simulation: Taguchi and Response Surface Methodology, *Int. J. Production Economics*, 125, 52-59.
- [62]. Montgomery, D.C., 2005, *Design and Analysis of Experiments*, 5th ed. John Wiley & Sons, Inc. Arizona, ISBN: 978-1-118-14692-7.
- [63]. Miro-Quesada, G. and Del Castillo, E., 2004, Two approaches for improving the dual response method in robust parameter design, *Journal of Quality Technology*, 36 (2), 154-168.
- [64]. Lin, D.K.J., and Tu, W., 1995, Dual response surface optimization, *Journal of Quality Technology*, 27(1), 34-39.
- [65]. Wang, B. P., 2004, Parameter optimization in multiquadric response surface approximations, *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 26, 219-223.
- [66]. Gümüőğlu T., 2012, PEM yakıt hücresi performansını etkileyen parametrelerin optimizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi.
- [67]. Efendioğlu, D., 2013, PEM yakıt hücresi performansının deney tasarımı kullanılarak optimizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi.
- [68]. Akçay, H., 2014, Yanıt yüzeyi yöntemi ile çok yanıtlı süreç performansının eniylenmesi, Doktora Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi.
- [69]. Montgomery, D.C. and Runger, G.C., 2011, *Applied statistics and probability for engineers*, John Wiley & Sons, United States of America, ISBN: 0-471-20454-4.
- [70]. Dvorak, T.M., 2001, *Response surface optimization techniques for multiple objective and randomly valued independent variable problems*, Phd. Thesis, University of Central Florida.

- [71]. Chen, H.-W., Wong, W. K. and Xu, H., 2012, An augmented approach to the desirability function, *Journal of Applied Statistics*, 39 (3), 599-613.
- [72]. Asiltürk, İ. and Neşeli, S., 2012, Multi response optimisation of CNC turning parameters via Taguchi method-based response surface analysis, *Measurement*, 45, 785–794.
- [73]. Koc, K.H., Erdinler S.E., Hazir, E., Öztürk, E., 2017, Effect of CNC application parameters on wood surface quality, *Measurement*, 107, 12-18.
- [74]. Asiltürk, I., Neşeli, S., İnce, M.A., 2016, Optimization of parameters affecting surface roughness of Co28CrMo medical material during CNC lathe machining by using the Taguchi and RSM methods, *Measurement*, 78, 120-128.
- [75]. Sarikaya, M., Güllü, A., 2016, Taguchi design and response surface methodology based analysis of machining parameters in CNC turning under MQL, *Journal of Cleaner Production*, 65, 604-616.
- [76]. Hawkins, A.S., 2007, *Decision-maker trade-offs in multiple response surface optimization*, Phd Thesis, University of Central Florida.
- [77]. He, Z., Zhu, P.-F. and Park, S.-H., 2012, A robust desirability function method for multi-response surface optimization considering model uncertainty, *European Journal of Operational Research*, 221, 241-247.
- [78]. Salmasnia, A., Kazemzadeh, R.B. and Tabrizi, M.M., 2012, A novel approach for optimization of correlated multiple responses based on desirability function and fuzzy logics, *Neurocomputing*, 91, 56–66.
- [79]. Palanikumar, K., Muthukrishnan, N., Hariprasad, K.S., 2008, Surface roughness parameters optimization in machining A356/SiC/20p metal matrix composites by PCD tool using response surface methodology and desirability function, *Machining Science and Technology*, 12, 529-545.
- [80]. Dubey, O. P., Dwivvdi, R. K. and Singh, S. N., 2012, Goal Programming:A Survey (1960-2000), *The IUP Journal of Operations Management*, 11 (2), 29-53.
- [81]. Myers, R.H., Khuri, A.I. and Vining, G., 1992, Response Surface Alternatives to the Taguchi Robust Parameter Design Approach, *The American Statistician*, 46(2), 131-139.
- [82]. Cura, T., 2008, *Modern sezgisel teknikler ve uygulamalar*, Papatya yayıncılık, İstanbul, ISBN: 978-975-6797-79-2.
- [83]. Nabiyeu, V.V., 2012, *Yapay zeka*, 4. Baskı, Seçkin Yayıncılık, Ankara, ISBN: 978-975-02-2034-0.
- [84]. Elmas, Ç., 2010, *Yapay zeka uygulamaları*, 2. Baskı, Seçkin Yayıncılık, Ankara, ISBN: 978-975-02-1696-1.

- [85]. Yılmaz, A., 2017, *Yapay zeka*, 3. Baskı, İnkılap Kitapevi, İstanbul, ISBN: 978-605-9118-80-4.
- [86]. Aydın, M., Karakuzu, C., Mehmet, U., Abdulkadir, C., Cavusoglu, A.M., 2013, Prediction of surface roughness and cutting zone temperature in dry turning process of AISI304 stainless steel using ANFIS with PSO, *Int J Manuf Technol*, 67, 957-967.
- [87]. Anad, K., Elangovan, S., 2017, Optimizing the ultrasonic inserting parameters to achieve maximum pull- Off strength using response surface methodology and genetic algorithm integration technique, *Measurement*, 99, 145-154.
- [89]. Zhou, Y., Gong, Y., Zhu, Z., Gao, Q., Wen, X., 2016, Modeling and optimization of surface roughness from microgrinding of nickel-based single crystal superalloy using the response surface methodology and genetic algorithm, *Int J Adv Manuf Technol*, 85, 2607-2622.
- [89]. Zain, A.M., Haron, H., Sharif, S., 2011, Integration of simulated annealing and genetic algorithm to estimate optimal solutions for minimizing surface roughness in end milling Ti-6AL-4V, *International journal of computer integrated manufacturing*, 24 (6), 574-592.
- [90]. Bhalamurugan, R., Prabhu, S., 2015, Performance characteristic analysis of automated robot spray painting using Taguchi method and Gray relational analysis, *Arab J Sci Eng*, 40, 1657-1667.
- [91]. Mellal, A.M., Williams, J.E., 2016, Parameter optimization of advanced machining process using cuckoo optimization algorithm and hoopoe heuristic, *J Intell Manuf*, 27, 927-942.
- [92]. Samanta, B., 2009, Surface roughness prediction in machining using soft computing, *International journal of computer integrated manufacturing*, 22(3), 257-266.
- [93]. Kilickap, E., Huseyinoglu, M., Yardimeden, A., 2011, Optimization of drilling parameters on surface roughness in drilling of AISI 1045 using response surface methodology and genetic algorithm, *Int J Adv Manuf Technol*, 52, 79-88.
- [94]. Mahesh, G., Muthu, S., Devadasan, S. R., 2015, Prediction of surface roughness of end milling operation using genetic algorithm, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 77 (4), 369-381.
- [95]. Brezocnik, M., Kovacic, M., Ficko, M., 2004, Prediction of surface roughness with genetic programming, *Journal of materials processing technology*, 157, 28-36.
- [96]. Oktem, H., Erzurumlu, T., Erzincanli, F., 2006, Prediction of minimum surface roughness in end milling mold parts using neural network and genetic algorithm, *Materials & design*, 27 (9), 735-744.

- [97]. Sahoo, P., 2011, Optimization of turning parameters for surface roughness using RSM and GA, *Advances in Production Engineering & Management*, 6 (3), 197-208.
- [98]. Hazir, E., and Özcan, T., 2018, Response surface methodology integrated desirability function and genetic algorithm approach for the optimization of CNC machining parameters, *Journal of Arabian science and engineering*, 15, 1-15.
- [99]. Gönen, M., and Alpaydın, E., 2011, Regularizing multiple kernel learning using response surface methodology, *Pattern Recognition*, 44, 159-171.
- [100]. Chen, H.H., 2005, *A research based on fuzzy AHP for multi-criteria supplier selection in supply chain*, Ms Thesis, National Taiwan University of Science and Technology.
- [101]. Kahraman, C., Süder, A., Kaya, İ., 2014, Fuzzy multicriteria evaluation of health research investments, *Technological and economic development of economy*, 20 (2), 210-226.
- [102]. Kahraman, C., Süder, A., Cebi, S., 2013, Fuzzy multi-criteria and multi-experts evaluation of government investments in higher education: the case of Turkey, *Technological and economic development of economy*, 19 (4), 549-569.
- [103]. Kahraman, C., Süder, A., Cebi, S., 2013, Fuzzy multi-criteria and multi-experts evaluation of government investments in higher education: the case of Turkey, *Technological and economic development of economy*, 19 (4), 549-569.tezi yaz
- [104]. Box, G., E., P., and Jones, S., 1992, Designing products that are robust to the environment, *Total Quality Management*, 3 (3), 265-282.
- [105]. Cintas, G., Almagro, F., M., Llabres, X., T., M., 2012, *Industrial statistics with Minitab*, Wiley, United Kingdom, ISBN: 978-0-470-97275-5.
- [106]. Mathews, P., G., 2005, *Design of experiments with Minitab*, ASQ Quality Press, Wisconsin, ISBN: 0-8739-637-8.
- [107]. Oehlert, G., W., 2010, *A first course in design and analysis of experiments*, Minnesota, ISBN: 0-7167-3510-5.
- [108]. Goos, P., and Jones, B., 2011, *Optimal design of experiments*, Wiley, United Kingdom, ISBN: 978-0-470-74461-1.
- [109]. Rodrigues, M., I., and Iemma, A., F., 2015, *Experimental design and process optimization*, CRC Press, London, New York, ISBN: 978-1-4822-9956-4.
- [110]. Montgomery, D., C., Peck, E., A., Vining, G., G., 2012, *Introduction to linear regression analysis*, Wiley, 5th ed., United King, ISBN: 978-470-54281-1.
- [111]. Yang, X., S., 2010, *Engineering optimization*, Wiley, 2th ed., United Kingdom, ISBN: 978-0-470-58246-6.

[112]. Cintas, X., S., 2012, Industrial optimization, Wliye, 2th ed., United Kingdom, ISBN: 938-0-431-38466-2.



EKLER**EK-1. PROSESİN BİRİNCİ BÖLÜMÜNE AİT KALİTE KARAKTERİSTİKLERİ VE FAKTÖRLERİ.**

Örnek No	Macun A	Macun B	Vernik A	Vernik B	Yapışma A	Yapışma B	Sertlik A	Sertlik B
1	62	57	22	21	2,5	2,87	143	141
2	54	58	26	23	3,61	2,73	142	143
3	71	68	24	21	2,89	2,69	141	139
4	65	58	19	18	3,33	2,11	139	140
5	59	61	22	19	2,6	2,3	142	141
6	61	62	23	22	3,08	2,22	145	144
7	70	57	24	21	2,57	2,52	143	144
8	71	65	27	24	2,81	2,43	142	142
9	71	57	20	19	2,16	2,57	144	143
10	64	50	23	20	2,49	2,41	139	138
11	63	60	23	22	2,64	2,75	145	144
12	70	66	26	23	2,76	2,66	141	140
13	56	48	25	24	2,85	2,55	140	142
14	56	52	21	19	2,81	3,31	144	143
15	60	49	21	20	2,48	3,04	142	141

EK-1. PROSESİN BİRİNCİ BÖLÜMÜNE AİT KALİTE KARAKTERİSTİKLERİ VE FAKTÖRLERİ (devam).

16	65	61	20	18	3,09	2,79	145	142
17	65	57	22	19	2,63	2,73	140	138
18	58	60	23	21	2,87	2,65	144	142
19	60	50	23	21	2,73	2,82	142	142
20	63	54	25	23	2,95	2,03	145	143
21	66	55	24	22	2,64	2,06	139	141
22	61	49	26	23	3,59	2,84	141	140
23	60	57	19	18	3,86	2,32	144	142
24	63	62	22	20	3,33	2,52	142	141
25	65	58	21	19	2,96	2,12	143	140
26	61	60	25	23	2,79	2,39	145	143
27	63	56	26	22	2,81	2,04	139	139
28	58	58	23	23	3,39	2,81	141	140
29	63	61	23	21	2,93	2,46	143	142
30	64	58	23	21	2,41	2,56	142	143

EK-2. PROSESİN İKİNCİ BÖLÜMÜNE AİT KALİTE KARAKTERİSTİKLERİ VE FAKTÖRLERİ.

Örnek No	Yaş Boya - A	Yaş Boya - B	Sertlik - A	Sertlik - B	Film Kalınlığı- A	Film Kalınlığı-B
1	389,5	385,6	150	142	226,3	205,4
2	397,7	394,8	149	141	231,8	210,9
3	391,2	389,3	149	143	231,3	212,6
4	394,4	389,5	151	142	235,6	214,8
5	396,1	392,3	148	141	234,1	213,2
6	394	391,6	151	144	232,3	211,3
7	392,5	386,4	152	140	230,8	210,5
8	393,8	389,6	147	141	232,8	213,7
9	398,1	393,9	149	143	237,9	216,2
10	394,4	391,4	148	144	232,5	213,3
11	395,6	392,4	150	142	231,3	210,8
12	390,4	387,6	150	144	228,7	209,6
13	393,2	389,3	151	140	232,3	212,5
14	394	390	149	141	235,2	214,2
15	396,9	392,9	152	142	234,6	214,6
16	391,3	387,3	153	145	230,1	210,1

EK-2. PROSESİN İKİNCİ BÖLÜMÜNE AİT KALİTE KARAKTERİSTİKLERİ VE FAKTÖRLERİ (devam).

17	396,7	392,7	152	145	234,4	214,4
18	393	389	149	143	232	212,1
19	395,5	391,5	147	144	234,5	214,5
20	393,2	389,2	150	139	232,2	212,2
21	390,6	386,6	154	145	229,6	209,6
22	390,8	386,8	146	141	229,8	209,8
23	397,5	392,6	151	143	236,5	214,5
24	392	389,8	147	144	231	211
25	396,2	393,6	148	142	235,2	213,7
26	401,3	396,6	150	143	234	214
27	392,1	389,8	148	139	231,1	211,1
28	390,1	387,8	146	143	229,1	209,1
29	396,3	392,3	148	143	235,3	212,4
30	388,8	384,8	147	144	227,8	207,8

EK-3. PROSESİN BİRİNCİ BÖLÜMÜNDE UYGULANAN DENEY TASARIMI SONUÇLARI.

Örnek No	A	B	C	D	E	Blok	Yapışma	Sertlik	Sertlik-Arka	Yapışma-Arka
1	7	14	60	15	A	1	2,76	135	133	2,37
2	5	18	60	15	A	1	2,81	137	134	2,42
3	5	14	80	15	A	1	2,69	130	129	2,37
4	7	18	80	15	A	1	2,61	129	128	2,22
5	5	14	60	25	A	1	2,88	139	137	2,56
6	7	18	60	25	A	1	2,77	133	134	2,39
7	7	14	80	25	A	1	2,63	129	128	2,31
8	5	18	80	25	A	1	2,69	126	124	2,3
9	6	16	70	20	A	1	2,79	136	134	2,43
10	6	16	70	20	A	1	2,82	138	131	2,45
11	7	14	60	15	B	1	2,72	134	136	2,37
12	5	18	60	15	B	1	2,74	133	134	2,39
13	5	14	80	15	B	1	2,61	127	128	2,31
14	7	18	80	15	B	1	2,57	126	127	2,24
15	5	14	60	25	B	1	2,85	134	135	2,47
16	7	18	60	25	B	1	2,73	130	128	2,41
17	7	14	80	25	B	1	2,68	128	129	2,34
18	5	18	80	25	B	1	2,62	126	127	2,27

EK-3. PROSESİN BİRİNCİ BÖLÜMÜNDE UYGULANAN DENEY TASARIMI SONUÇLARI (devam).

19	6	16	70	20	B	1	2,73	130	129	2,42
20	6	16	70	20	B	1	2,71	129	128	2,36
21	5	14	60	15	A	1	2,78	131	132	2,45
22	7	18	60	15	A	1	2,65	128	129	2,27
23	7	14	80	15	A	1	2,71	132	134	2,35
24	5	18	80	15	A	1	2,65	128	126	2,32
25	7	14	60	25	A	1	2,8	135	136	2,44
26	5	18	60	25	A	1	2,84	137	139	2,51
27	5	14	80	25	A	1	2,63	122	123	2,23
28	7	18	80	25	A	1	2,57	124	124	2,23
29	6	16	70	20	A	1	2,72	131	131	2,34
30	6	16	70	20	A	1	2,76	133	133	2,45
31	5	14	60	15	B	1	2,58	128	128	2,3
32	7	18	60	15	B	1	2,54	122	122	2,2
33	7	14	80	15	B	1	2,73	132	132	2,37
34	5	18	80	15	B	1	2,77	133	133	2,4
35	7	14	60	25	B	1	2,84	135	135	2,5
36	5	18	60	25	B	1	2,91	141	141	2,55

EK-3. PROSESİN BİRİNCİ BÖLÜMÜNDE UYGULANAN DENEY TASARIMI SONUÇLARI (devam).

38	7	18	80	25	B	1	2,63	126	126	2,29
39	6	16	70	20	B	1	2,71	132	132	2,34
40	6	16	70	20	B	1	2,73	130	130	2,41
41	4	16	70	20	A	1	2,74	132	132	2,42
42	8	16	70	20	A	1	2,72	131	131	2,32
43	6	12	70	20	A	1	2,71	135	136	2,45
44	6	20	70	20	A	1	2,74	132	134	2,43
45	6	16	90	20	A	1	2,42	121	122	2,07
46	6	16	50	20	A	1	2,68	129	128	2,38
47	6	16	70	10	A	1	2,62	126	126	2,28
48	6	16	70	30	A	1	2,58	124	124	2,24
49	6	16	70	20	A	1	2,79	135	133	2,42
50	6	16	70	20	A	1	2,81	136	136	2,45
51	4	16	70	20	B	1	2,78	134	134	2,43
52	8	16	70	20	B	1	2,7	131	132	2,35
53	6	12	70	20	B	1	2,82	137	137	2,48
54	6	20	70	20	B	1	2,76	133	133	2,42
55	6	16	90	20	B	1	2,54	118	118	2,2
56	6	16	50	20	B	1	2,69	126	126	2,36

EK-3. PROSESİN BİRİNCİ BÖLÜMÜNDE UYGULANAN DENEY TASARIMI SONUÇLARI (devam).

57	6	16	70	10	B	1	2,57	124	124	2,23
58	6	16	70	30	B	1	2,63	125	125	2,32
59	6	16	70	20	B	1	2,75	130	130	2,4
60	6	16	70	20	B	2	2,79	131	131	2,44
61	7	14	60	15	A	2	2,7	133	135	2,36
62	5	18	60	15	A	2	2,75	134	134	2,4
63	5	14	80	15	A	2	2,61	128	127	2,25
64	7	18	80	15	A	2	2,61	122	126	2,27
65	5	14	60	25	A	2	2,81	134	134	2,49
66	7	18	60	25	A	2	2,72	132	132	2,37
67	7	14	80	25	A	2	2,58	124	124	2,21
68	5	18	80	25	A	2	2,63	126	126	2,28
69	6	16	70	20	A	2	2,77	133	133	2,42
70	6	16	70	20	A	2	2,78	134	134	2,45
71	7	14	60	15	B	2	2,71	129	128	2,36
72	5	18	60	15	B	2	2,81	130	130	2,45
73	5	14	80	15	B	2	2,71	131	131	2,36
74	7	18	80	15	B	2	2,62	126	126	2,26
75	5	14	60	25	B	2	2,76	133	133	2,41

EK-3. PROSESİN BİRİNCİ BÖLÜMÜNDE UYGULANAN DENEY TASARIMI SONUÇLARI (devam).

76	7	18	60	25	B	2	2,8	130	130	2,34
77	7	14	80	25	B	2	2,68	127	127	2,33
78	5	18	80	25	B	2	2,71	130	131	2,35
79	6	16	70	20	B	2	2,8	134	134	2,47
80	6	16	70	20	B	2	2,78	133	134	2,43
81	5	14	60	15	A	2	2,72	131	131	2,37
82	7	18	60	15	A	2	2,55	125	124	2,2
83	7	14	80	15	A	2	2,71	131	131	2,37
84	5	18	80	15	A	2	2,81	132	132	2,37
85	7	14	60	25	A	2	2,85	138	139	2,49
86	5	18	60	25	A	2	2,87	139	139	2,51
87	5	14	80	25	A	2	2,51	120	120	2,17
88	7	18	80	25	A	2	2,54	121	121	2,19
89	6	16	70	20	A	2	2,82	133	134	2,47
90	6	16	70	20	A	2	2,75	132	132	2,41
91	5	14	60	15	B	2	2,71	131	131	2,36
92	7	18	60	15	B	2	2,66	125	126	2,33
93	7	14	80	15	B	2	2,8	135	135	2,45
94	5	18	80	15	B	2	2,79	130	130	2,44

EK-3. PROSESİN BİRİNCİ BÖLÜMÜNDE UYGULANAN DENEY TASARIMI SONUÇLARI (devam).

95	7	14	60	25	B	2	2,8	135	135	2,45
96	5	18	60	25	B	2	2,81	138	138	2,46
97	5	14	80	25	B	2	2,59	126	128	2,24
98	7	18	80	25	B	2	2,6	125	125	2,25
99	6	16	70	20	B	2	2,76	133	133	2,43
100	6	16	70	20	B	2	2,76	133	133	2,41
101	4	16	70	20	A	2	2,79	137	137	2,45
102	8	16	70	20	A	2	2,78	133	133	2,43
103	6	12	70	20	A	2	2,79	131	131	2,44
104	6	20	70	20	A	2	2,74	136	136	2,39
105	6	16	90	20	A	2	2,46	116	118	2,12
106	6	16	50	20	A	2	2,73	132	133	2,41
107	6	16	70	10	A	2	2,58	123	123	2,23
108	6	16	70	30	A	2	2,6	125	125	2,25
109	6	16	70	20	A	2	2,81	136	136	2,46
110	6	16	70	20	A	2	2,79	134	134	2,44
111	4	16	70	20	B	2	2,8	135	135	2,45
112	8	16	70	20	B	2	2,69	128	127	2,33
113	6	12	70	20	B	2	2,86	138	138	2,51

EK-3. PROSESİN BİRİNCİ BÖLÜMÜNDE UYGULANAN DENEY TASARIMI SONUÇLARI (devam).

114	6	20	70	20	B	2	2,78	132	132	2,45
115	6	16	90	20	B	2	2,46	120	120	2,11
116	6	16	50	20	B	2	2,73	127	127	2,38
117	6	16	70	10	B	2	2,63	128	128	2,28
118	6	16	70	30	B	2	2,59	124	124	2,24
119	6	16	70	20	B	2	2,82	134	133	2,47
120	6	16	70	20	B	2	2,75	132	132	2,4
121	7	14	60	15	A	2	2,82	129	128	2,46
122	5	18	60	15	A	2	2,76	129	129	2,4
123	5	14	80	15	A	2	2,66	128	128	2,31
124	7	18	80	15	A	2	2,51	126	126	2,24
125	5	14	60	25	A	2	2,82	136	136	2,47
126	7	18	60	25	A	2	2,67	127	128	2,32
127	7	14	80	25	A	2	2,68	126	126	2,34
128	5	18	80	25	A	2	2,62	126	126	2,27
129	6	16	70	20	A	2	2,79	132	132	2,46
130	6	16	70	20	A	2	2,84	136	136	2,49
131	7	14	60	15	B	2	2,68	133	131	2,34
132	5	18	60	15	B	2	2,65	130	130	2,32

EK-3. PROSESİN BİRİNCİ BÖLÜMÜNDE UYGULANAN DENEY TASARIMI SONUÇLARI (devam).

133	5	14	80	15	B	2	2,62	126	126	2,28
134	7	18	80	15	B	2	2,57	124	126	2,22
135	5	14	60	25	B	2	2,84	139	139	2,51
136	7	18	60	25	B	2	2,66	127	127	2,31
137	7	14	80	25	B	2	2,68	130	130	2,33
138	5	18	80	25	B	2	2,66	126	125	2,35
139	6	16	70	20	B	2	2,76	133	133	2,41
140	6	16	70	20	B	2	2,78	134	137	2,43
141	5	14	60	15	A	2	2,68	129	129	2,39
142	7	18	60	15	A	2	2,66	127	127	2,31
143	7	14	80	15	A	2	2,66	131	131	2,3
144	5	18	80	15	A	2	2,69	128	128	2,34
145	7	14	60	25	A	2	2,78	132	135	2,43
146	5	18	60	25	A	2	2,94	140	140	2,58
147	5	14	80	25	A	2	2,58	123	123	2,28
148	7	18	80	25	A	2	2,51	119	119	2,16
149	6	16	70	20	A	2	2,74	132	132	2,39
150	6	16	70	20	A	2	2,77	133	133	2,42
151	5	14	60	15	B	2	2,63	127	129	2,28

EK-3. PROSESİN BİRİNCİ BÖLÜMÜNDE UYGULANAN DENEY TASARIMI SONUÇLARI (devam).

152	7	18	60	15	B	2	2,53	122	122	2,19
153	7	14	80	15	B	2	2,71	133	133	2,36
154	5	18	80	15	B	2	2,75	132	131	2,37
155	7	14	60	25	B	2	2,88	136	136	2,53
156	5	18	60	25	B	2	2,87	140	140	2,52
157	5	14	80	25	B	2	2,65	128	128	2,3
158	7	18	80	25	B	2	2,55	123	123	2,2
159	6	16	70	20	B	2	2,76	133	134	2,41
160	6	16	70	20	B	2	2,81	134	134	2,45
161	4	16	70	20	A	2	2,8	132	132	2,45
162	8	16	70	20	A	2	2,72	131	131	2,37
163	6	12	70	20	A	2	2,79	131	131	2,44
164	6	20	70	20	A	2	2,68	129	129	2,33
165	6	16	90	20	A	2	2,53	123	119	2,18
166	6	16	50	20	A	2	2,68	129	129	2,39
167	6	16	70	10	A	2	2,66	128	128	2,32
168	6	16	70	30	A	2	2,55	125	125	2,2
169	6	16	70	20	A	2	2,76	133	133	2,41
170	6	16	70	20	A	2	2,75	138	137	2,4

EK-3. PROSESİN BİRİNCİ BÖLÜMÜNDE UYGULANAN DENEY TASARIMI SONUÇLARI (devam).

171	4	16	70	20	B	2	2,86	136	136	2,51
172	8	16	70	20	B	2	2,78	134	134	2,43
173	6	12	70	20	B	2	2,76	133	133	2,42
174	6	20	70	20	B	2	2,79	134	134	2,44
175	6	16	90	20	B	2	2,62	121	121	2,19
176	6	16	50	20	B	2	2,66	128	128	2,37
177	6	16	70	10	B	2	2,51	126	126	2,16
178	6	16	70	30	B	2	2,5	126	126	2,28
179	6	16	70	20	B	2	2,79	137	138	2,44
180	6	16	70	20	B	2	2,75	131	131	2,39

EK-4. PROSESİN İKİNCİ BÖLÜMÜNDE UYGULANAN DENEY TASARIMI SONUÇLARI

Örnek No	A	B	C	D	Blok	Sertlik-A	Film Kalınlığı-A	Sertlik-B	Film Kalınlığı-B
1	7	4	350	320-500-600	1	158	200	154	134
2	5	4	350	320-500-600	1	160	195	156	135

EK-4. PROSESİN İKİNCİ BÖLÜMÜNDE UYGULANAN DENEY TASARIMI SONUÇLARI (devam).

3	7	14	350	320-500- 600	1	153	189	149	128
4	5	14	350	320-500- 600	1	152	185	151	120
5	7	4	450	320-500- 600	1	157	204	153	141
6	5	4	450	320-500- 600	1	156	203	152	139
7	7	14	450	320-500- 600	1	152	198	146	134
8	5	14	450	320-500- 600	1	149	194	145	132
9	7	9	400	320-500- 600	1	159	201	154	137
10	5	9	400	320-500- 600	1	157	197	153	136
11	6	4	400	320-500- 600	1	155	197	151	134
12	6	14	400	320-500- 600	1	149	190	145	126
13	6	9	350	320-500- 600	1	156	191	153	126

EK-4. PROSESİN İKİNCİ BÖLÜMÜNDE UYGULANAN DENEY TASARIMI SONUÇLARI (devam).

14	6	9	450	320-500- 600	1	153	199	149	134
15	6	9	400	320-500- 600	1	157	192	153	133
16	6	9	400	320-500- 600	1	153	196	149	136
17	6	9	400	320-500- 600	1	155	193	151	132
18	6	9	400	320-500- 600	1	153	195	149	131
19	6	9	400	320-500- 600	1	153	201	149	137
20	6	9	400	320-500- 600	1	156	196	152	132
21	7	4	350	320-500	1	154	206	150	142
22	5	4	350	320-500	1	157	204	152	143
23	7	14	350	320-500	1	151	195	147	132
24	5	14	350	320-500	1	151	191	147	130
25	7	4	450	320-500	1	158	213	154	150
26	5	4	450	320-500	1	155	214	149	151

EK-4. PROSESİN İKİNCİ BÖLÜMÜNDE UYGULANAN DENEY TASARIMI SONUÇLARI (devam).

27	7	14	450	320-500	1	147	204	143	140
28	5	14	450	320-500	1	147	202	143	141
29	7	9	400	320-500	1	154	205	151	144
30	5	9	400	320-500	1	156	208	152	144
31	6	4	400	320-500	1	151	201	147	138
32	6	14	400	320-500	1	145	195	141	131
33	6	9	350	320-500	1	155	199	151	137
34	6	9	450	320-500	1	156	209	151	147
35	6	9	400	320-500	1	154	204	150	142
36	6	9	400	320-500	1	154	205	150	143
37	6	9	400	320-500	1	155	203	151	141
38	6	9	400	320-500	1	152	202	148	140
39	6	9	400	320-500	1	155	202	150	140
40	6	9	400	320-500	1	153	204	149	142
41	7	4	350	320-500-600	2	155	205	151	143
42	5	4	350	320-500-600	2	158	198	154	136

EK-4. PROSESİN İKİNCİ BÖLÜMÜNDE UYGULANAN DENEY TASARIMI SONUÇLARI (devam).

43	7	14	350	320-500- 600	2	153	190	149	128
44	5	14	350	320-500- 600	2	155	186	150	124
45	7	4	450	320-500- 600	2	155	208	151	146
46	5	4	450	320-500- 600	2	155	206	151	139
47	7	14	450	320-500- 600	2	149	199	145	137
48	5	14	450	320-500- 600	2	147	193	143	131
49	7	9	400	320-500- 600	2	158	204	153	142
50	5	9	400	320-500- 600	2	159	200	154	138
51	6	4	400	320-500- 600	2	153	198	149	136
52	6	14	400	320-500- 600	2	149	188	145	126

EK-4. PROSESİN İKİNCİ BÖLÜMÜNDE UYGULANAN DENEY TASARIMI SONUÇLARI (devam).

53	6	9	350	320-500- 600	2	160	195	156	133
54	6	9	450	320-500- 600	2	156	199	151	137
55	6	9	400	320-500- 600	2	156	197	152	136
56	6	9	400	320-500- 600	2	156	196	152	135
57	6	9	400	320-500- 600	2	155	198	150	134
58	6	9	400	320-500- 600	2	157	200	152	137
59	6	9	400	320-500- 600	2	153	196	149	136
60	6	9	400	320-500- 600	2	154	197	150	134
61	7	4	350	320-500	2	156	202	152	138
62	5	4	350	320-500	2	157	198	153	137
63	7	14	350	320-500	2	151	190	148	127
64	5	14	350	320-500	2	152	187	148	125

EK-4. PROSESİN İKİNCİ BÖLÜMÜNDE UYGULANAN DENEY TASARIMI SONUÇLARI (devam).

65	7	4	450	320-500	2	157	211	153	147
66	5	4	450	320-500	2	155	207	151	143
67	7	14	450	320-500	2	147	204	142	141
68	5	14	450	320-500	2	149	201	144	140
69	7	9	400	320-500	2	156	207	152	145
70	5	9	400	320-500	2	157	205	153	143
71	6	4	400	320-500	2	152	202	148	140
72	6	14	400	320-500	2	146	191	142	129
73	6	9	350	320-500	2	154	196	149	134
74	6	9	450	320-500	2	152	206	147	144
75	6	9	400	320-500	2	156	200	152	138
76	6	9	400	320-500	2	153	199	149	137
77	6	9	400	320-500	2	152	204	148	142
78	6	9	400	320-500	2	153	200	147	138
79	6	9	400	320-500	2	155	202	152	140
80	6	9	400	320-500	2	156	201	152	139
81	7	4	350	320-500-600	3	158	203	152	141

EK-4. PROSESİN İKİNCİ BÖLÜMÜNDE UYGULANAN DENEY TASARIMI SONUÇLARI (devam).

82	5	4	350	320-500- 600	3	157	192	153	130
83	7	14	350	320-500- 600	3	154	185	150	123
84	5	14	350	320-500- 600	3	155	181	151	119
85	7	4	450	320-500- 600	3	156	203	149	141
86	5	4	450	320-500- 600	3	155	199	151	137
87	7	14	450	320-500- 600	3	150	194	145	132
88	5	14	450	320-500- 600	3	149	191	145	129
89	7	9	400	320-500- 600	3	156	203	152	141
90	5	9	400	320-500- 600	3	155	200	152	138
91	6	4	400	320-500- 600	3	154	197	150	135

EK-4. PROSESİN İKİNCİ BÖLÜMÜNDE UYGULANAN DENEY TASARIMI SONUÇLARI (devam).

92	6	14	400	320-500- 600	3	148	184	146	122
93	6	9	350	320-500- 600	3	158	191	154	129
94	6	9	450	320-500- 600	3	153	198	149	136
95	6	9	400	320-500- 600	3	158	195	152	133
96	6	9	400	320-500- 600	3	156	200	151	138
97	6	9	400	320-500- 600	3	155	195	151	133
98	6	9	400	320-500- 600	3	155	198	151	136
99	6	9	400	320-500- 600	3	156	198	152	136
100	6	9	400	320-500- 600	3	156	200	152	138
101	7	4	350	320-500	3	157	204	151	141
102	5	4	350	320-500	3	156	200	152	140

EK-4. PROSESİN İKİNCİ BÖLÜMÜNDE UYGULANAN DENEY TASARIMI SONUÇLARI (devam).

103	7	14	350	320-500	3	150	192	146	131
104	5	14	350	320-500	3	152	190	148	129
105	7	4	450	320-500	3	157	214	153	150
106	5	4	450	320-500	3	155	210	150	147
107	7	14	450	320-500	3	146	202	142	140
108	5	14	450	320-500	3	148	200	144	138
109	7	9	400	320-500	3	155	209	151	147
110	5	9	400	320-500	3	157	205	153	143
111	6	4	400	320-500	3	152	204	148	142

EK-4. PROSESİN İKİNCİ BÖLÜMÜNDE UYGULANAN DENEY TASARIMI SONUÇLARI (devam).

112	6	14	400	320-500	3	147	195	140	133
113	6	9	350	320-500	3	155	194	151	132
114	6	9	450	320-500	3	155	203	151	141
115	6	9	400	320-500	3	151	198	148	141
116	6	9	400	320-500	3	153	203	149	142
117	6	9	400	320-500	3	151	202	148	138
118	6	9	400	320-500	3	152	205	148	141
119	6	9	400	320-500	3	156	207	149	140
120	6	9	400	320-500	3	155	206	151	145

EK-5. KARAR VERİCİLERİN DEĞERLENDİRME SONUCU.

KV1	Sertlik	Film Kalınlığı	Yapışma
Yapışma	x	Orta Derece	Kuvvetli Derece
Film Kalınlığı	Değil	x	Kuvvetli Derece
Sertlik	Değil	Değil	x
KV2	Sertlik	Film Kalınlığı	Yapışma
Yapışma	x	Orta Derece	Kuvvetli Derece
Film Kalınlığı	Değil	x	Orta Derece
Sertlik	Değil	Değil	x
KV3	Sertlik	Film Kalınlığı	Yapışma
Yapışma	x	Orta Derece	Kesinlikle Önemli
Film Kalınlığı	Değil	x	Eşit derecede
Sertlik	Değil	Değil	x
KV4	Sertlik	Film Kalınlığı	Yapışma
Yapışma	x	Eşit Derecede	Orta Derece
Film Kalınlığı	Değil	x	Orta Derece

EK-5. KARAR VERİCİLERİN DEĞERLENDİRME SONUCU(devam).

Sertlik	Değil	Değil	X
KV5	Sertlik	Film Kalınlığı	Yapışma
Yapışma	x	Çok Kuvvetli	Kuvvetli Derece
Film Kalınlığı	Değil	x	Orta Derece
Sertlik	Değil	Değil	x
KV6	Sertlik	Film Kalınlığı	Yapışma
Yapışma	x	Orta Derece	Eşit Derecede
Film Kalınlığı	Değil	x	Kuvvetli Derece
Sertlik	Değil	Değil	x
KV7	Sertlik	Film Kalınlığı	Yapışma
Yapışma	x	Orta Derece	Kuvvetli Derece
Film Kalınlığı	Değil	x	Kesin Önemli
Sertlik	Değil	Değil	x
KV8	Sertlik	Film Kalınlığı	Yapışma

EK-5. KARAR VERİCİLERİN DEĞERLENDİRME SONUCU (devam).

Yapışma	x	Çok Kuvvetli	Kuvvetli Derece
Film Kalınlığı	Değil	x	Orta Derece
Sertlik	Değil	Değil	x

EK-6. SONUÇLARIN ÜÇGENSEL BULANIK SAYIYA DÖNÜŞTÜRÜLMESİ.

KV1	Sertlik			Film Kalınlığı			Yapışma		
Yapışma				1,00	3,00	5,00	3,00	5,00	7,00
Film Kalınlığı	1,00	0,33	0,20				3,00	5,00	7,00
Sertlik	0,33	0,20	0,14	0,33	0,20	0,14			
KV2	Sertlik			Film Kalınlığı			Yapışma		
Yapışma				1,00	3,00	5,00	3,00	5,00	7,00
Film Kalınlığı	1,00	0,33	0,20				1,00	3,00	5,00
Sertlik	0,33	0,20	0,14	1,00	0,33	0,20			
KV3	Sertlik			Film Kalınlığı			Yapışma		

EK-6. SONUÇLARIN ÜÇGENSEL BULANIK SAYIYA DÖNÜŞTÜRÜLMESİ(devam).

Yapışma				1,00	3,00	5,00	7,00	9,00	9,00
Film Kalınlığı	1,00	0,33	0,20				1,00	1,00	3,00
Sertlik	0,14	0,11	0,11	1,00	1,00	0,33			
KV4	Sertlik			Film Kalınlığı			Yapışma		
Yapışma				1,00	1,00	3,00	1,00	3,00	5,00
Film Kalınlığı	1,00	1,00	0,33				1,00	3,00	5,00
Sertlik	1,00	0,33	0,20	1,00	0,33	0,20			
KV5	Sertlik			Film Kalınlığı			Yapışma		
Yapışma				5,00	7,00	9,00	3,00	5,00	7,00
Film Kalınlığı	0,20	0,14	0,11				1,00	3,00	5,00
Sertlik	0,33	0,20	0,14	1,00	0,33	0,20			
KV6	Sertlik			Film Kalınlığı			Yapışma		
Yapışma				1,00	3,00	5,00	1,00	1,00	3,00

EK-6. SONUÇLARIN ÜÇGENSEL BULANIK SAYIYA DÖNÜŞTÜRÜLMESİ (devam).

Film Kalınlığı	1,00	0,33	0,20				3,00	5,00	7,00
Sertlik	1,00	1,00	0,33	0,33	0,20	0,14			
KV7	Sertlik			Film Kalınlığı			Yapışma		
Yapışma				1,00	3,00	5,00	3,00	5,00	7,00
Film Kalınlığı	1,00	0,33	0,20				7,00	9,00	9,00
Sertlik	0,33	0,20	0,14	0,14	0,11	0,11			
KV8	Sertlik			Film Kalınlığı			Yapışma		
Yapışma				5,00	7,00	9,00	3,00	5,00	7,00
Film Kalınlığı	0,20	0,14	0,11				1,00	3,00	5,00
Sertlik	0,33	0,20	0,14	1,00	0,33	0,20			

EK-7. PROSESİN BİRİNCİ BÖLÜMÜNÜN ÖN YÜZEYİNİN ENİYİLENMESİNDE KULLANILAN GENETİK ALGORİTMANIN TEKRARLAMA SAYISINA BAĞLI ORTALAMA VE STANDART SAPMA SONUÇLARI.

Tekrarlama (30)	Yapışma Direnci (Mpa)	Sertlik Direnci (sn.)
Ortalama	3,023	148,7093
Standart Sapma	0,004623611	0,003368151

EK-8. PROSESİN BİRİNCİ BÖLÜMÜNÜN ARKA YÜZEYİNİN ENİYİLENMESİNDE KULLANILAN GENETİK ALGORİTMANIN TEKRARLAMA SAYISINA BAĞLI ORTALAMA VE STANDART SAPMA SONUÇLARI.

Tekrarlama (30)	Yapışma Direnci (Mpa)	Sertlik Direnci (sn.)
Ortalama	2,6698	149,1036
Standart Sapma	0,009704524	0,002458545

EK-9. PROSESİN İKİNCİ BÖLÜMÜNÜN ÖN YÜZEYİNİN ENİYİLENMESİNDE KULLANILAN GENETİK ALGORİTMANIN TEKRARLAMA SAYISINA BAĞLI ORTALAMA VE STANDART SAPMA SONUÇLARI.

Tekrarlama (30)	Film Kalınlığı (μc)	Sertlik Direnci (sn.)
Ortalama	183,4302	156,697
Standart Sapma	0,007962855	0,006699917

EK-10. PROSESİN İKİNCİ BÖLÜMÜNÜN ÖN YÜZEYİNİN ENİYİLENMESİNDE KULLANILAN GENETİK ALGORİTMANIN TEKRARLAMA SAYISINA BAĞLI ORTALAMA VE STANDART SAPMA SONUÇLARI.

Tekrarlama (30)	Film Kalınlığı (μc)	Sertlik Direnci (sn.)
Ortalama	174,9638	148,9741
Standart Sapma	0,003614784	0,006190495

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı	Ender HAZIR
Doğum Yeri	Nazilli
Doğum Tarihi	08.12.1984
Uyruğu	<input checked="" type="checkbox"/> T.C. <input type="checkbox"/> Diğer:
Telefon	05067712766
E-Posta Adresi	ender.hazir@istanbul.edu.tr
Web Adresi	



Eğitim Bilgileri	
Lisans	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi
Fakülte	Orman Fakültesi
Bölümü	Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü
Mezuniyet Yılı	18.08.2008

Yüksek Lisans	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi
Enstitü Adı	Fen Bilimleri Enstitüsü
Anabilim Dalı	Orman Endüstri Makinaları ve İşletme Anabilim Dalı
Programı	Orman Endüstri Mühendisliği

Doktora	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi
Enstitü Adı	Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Anabilim Dalı	Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı
Programı	Orman Endüstri Mühendisliği Programı

Makale ve Bildiriler	
Hazir, E., Koç, K., H., Hiziroglu, S., 2018, A modeling study to evaluate the quality of wood surface, <i>Maderas-Ciencia Y Tecnologia</i> , 20 (4), 691-702.	
Hazir, E., Özcan, T., 2018, Response surface methodology integrated with desirability function and genetic algorithm approach for the optimization of CNC machining parameters, <i>Arabian journal for science and engineering</i> , 2018, 1-15.	
Hazir, E., Erdinler, E. S., Koç, K., H., 2017, Optimization of CNC cutting parameters using design of experiment (DOE) and desirability function, <i>Journal Of Forestry Research</i> , 72 (4), 1-12.	

- Koç, K., H., Erdinler, E., S., Hazir, E., Öztürk, E., 2017, Effect of CNC application parameters on wooden surface quality", *Measurement*, 107, 23-42.
- Hazir, E., Koç, K., H., Hiziroglu, S., 2017, Optimization of sanding parameters using response surface methodology", *Maderas-Ciencia Y Tecnologia*, 17 (4), 407-416.
- Dilik, T., Erdinler, S., Hazir, E., Koc, H., Hiziroglu, S., 2015, Adhesion strength of wood based composites coated with cellulosic and polyurethane paints", *Advances In Materials Science and Engineering*, 2015, 1-9.
- Hazir, E., Koç K., H., 2016, Determination of wood cutting parameters using taguchi method, *International Journal of Scientific Research Engineering & Technology(IJSRET)*, 5 (11), 24-528.
- Hazir, E., Koç, K., H., 2016, Optimization of wood surface machining parameters in cnc routers: response surface methodology (RSM) approach, *International Journal of Scientific Research Engineering & Technology (IJSRET)*, 5, 494-501.
- Hazir, E., Koç, K., H., Esnaf, Ş., 2016, Türkiye mobilya satış değerlerinin örnek bir yapay zeka uygulaması ile tahmini, *Selçuk Üniversitesi Teknik Online Dergisi*, 1172-1182.
- Hazir, E., Erdinler, E., S., Koç, K., H., 2016, Determination of CNC machining parameters for mdf, *Processing Technologies for the Forest and Biobased Products Industries Conference*, St., 25-26 Ekim Simons Island, ABD , 40-40.
- Koç, K., H., Erdinler, E., S., Hazir, E., Öztürk, E., 2015, Effect of CNC application parameters on wooden surface quality, *Proceedings of the 5 8th International Convention of Society of Wood Science and Technology*, 7-12 Haziran Wyoming, ABD, 410-417.
- Hazir, E., Koç, K., H., Esnaf, Ş., 2015, Türkiye mobilya satış değerlerinin örnek bir yapay zekâ uygulaması ile tahmini, *3.ulusal mobilya kongresi(uluslararası katılımlı)*, 10-12 Nisan, KONYA, 553-558.
- Erdinler, E., Koç, K., Dilik, T., Hazir E., 2015,)Impact-deformation relation of surface treated wood material, *58th International Convention of Society of Wood Science and Technology: Renewable Materials and the Bio-Economy*, 5-12 Haziran, Wyoming, ABD, 366-373.
- Dilik, T., Koç, K., Erdinler, E., Hazir, E., 2014, Surface treatment, layer thickness and surface performance relations of wood materials, *57th International Convention of SWST*, Zvolen, 23-27 Haziran, Slowakya, 2, 568-573.
- Koç, K., Hazir, E., Erdinler, E., Öztürk ,E., 2014, Abrasion, surface treatment and glossiness relations of wood material, *57th International Convention of SWST*,

Zvolen, 23-27 Haziran, Slowakya, 2, 667-673.

Erdinler, E., Dilik, T., Hazir, E., Öztürk, E., 2014, Relation between varnish type and color changes of wood material, *57th International Convention of SWST*, Zvolen, 23-27 Haziran, Slowakya, 2, 576-581.

Hazir, E., Koç, K., Kurtoğlu, A., 2013, Eskitme teknikleri ve ahşap yüzeyindeki etkilerinin değerlendirilmesine yönelik örnek bir uygulama, 2. ulusal mobilya kongresi, 11-13 Nisan 2013, Denizli, 101-108.

