BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ

SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ

İŞLETME ANABİLİM DALI

İŞLETME DOKTORA PROGRAMI

HAVA ARAÇLARININ DETAY PARÇALARININ YATAY VE SABİT EKSENLİ ROBOTLARLA BOYANMASI SÜRECİNDE BOYA KALINLIĞINA ETKİ EDEN FAKTÖRLERİN BELİRLENMESİ OPTİMİZASYONU VE ÖLÇÜM SONUÇLARININ ANALİZİ

HAZIRLAYAN

Cenk ULUS

DOKTORA TEZİ

TEZ DANIŞMANI

Prof. Dr. Yusuf Tansel İÇ

ANKARA – 2024

BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ

SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ

DOKTORA TEZ ÇALIŞMASI ORJİNALLİK RAPORU

Tarih: 26/06/2024

Öğrencinin Adı, Soyadı: Cenk Ulus

Öğrencinin Numarası: 21920188

Anabilim Dalı: İşletme

Programı: İşletme Doktora

Danışmanın Unvanı/Adı, Soyadı: Prof. Dr. Yusuf Tansel İÇ

Tez Başlığı: Hava araçlarının detay parçalarının yatay ve sabit eksenli robotlarla boyanması sürecinde boya kalınlığına etki eden faktörlerin belirlenmesi, optimizasyonu ve ölçüm sonuçlarının analizi

Yukarıda başlığı belirtilen Doktora tez çalışmamın; Giriş, Ana Bölümler ve Sonuç Bölümünden oluşan, 68 sayfalık kısmına ilişkin, 26/06/2024 tarihinde tez danışmanım tarafından Turnitin adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan orjinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 7'dir. Uygulana filtrelemeler;

1. Kaynakça hariç
2. Alıntılar hariç
3. Beş (5) kelimeden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç

"Başkent Üniversitesi Enstitüleri Tez Çalışması Orjinallik Raporu Alınması ve Kullanılması Usul ve Esaslarını" inceledim ve bu uygulama esaslarında belirtilen azami benzerlik oranlarına tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Öğrenci İmzası:

ONAY

Tarih: 26/06/2024

Öğrenci Danışmanı Unvan, Ad, Soyad, İmza:

Prof. Dr. Yusuf Tansel İÇ

TEŞEKKÜR

Tez sürecimin her aşamasında beni yönlendiren, bilgilendiren, motive eden ve değerli desteklerini esirgemeyen tez danışmanım Prof. Dr. Yusuf Tansel İÇ hocamla beraber, tez izleme komitesi üyesi Prof. Dr. Güray KÜÇÜKKOCAOĞLU ve Prof. Dr. Yetkin ÇINAR hocalarıma şükranlarımı ve teşekkürlerimi sunarım.

Tez deneylerinin gerçekleştirilmesi ve sonuçların kontrolü sürecinde kıymetli ve değerli desteklerini esirgemeyen Burak AYDIN'a, Tunay ÖZKAN'a ve Abdulhamit ALTUĞ'a teşekkürlerimi iletirim.

Eğitim hayatımın her anında yanımda olan, beni destekleyen, yönlendiren ve zor zamanlarımda yardımcı olan annem ve babama, Doktora süreci boyunca beni motive eden, destekleyen ve her an yanımda olan kıymetli eşim Neslişah ULUS'a ve oğlum Kerem ULUS'a teşekkürlerimi sunarım.

ÖZET

Cenk ULUS, Hava Araçlarının Detay Parçalarının Yatay ve Sabit Eksenli Robotlarla Boyanması Sürecinde Boya Kalınlığına Etki Eden Faktörlerin Belirlenmesi Optimizasyonu ve Ölçüm Sonuçlarının Analizi, Başkent Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İşletme Doktora Programı, 2024

Hava araçlarının üretimi sırasında kullanılan malzemelerin ağırlıkları, uçağın işletme sürecindeki maliyetleri açısından kritik öneme sahiptir. Uçakların ağırlıklarına bağlı olarak yakıt giderleri artmaktadır. Bu bağlamda, ürünün tasarım ve üretim aşamasında ağırlığı minimize edecek çözümler üretilmeye çalışılmaktadır.

Uçaklarda ağırlık yaratan konulardan birisi de uçak yapısal malzemelerinin yüzey kaplamalarıdır. Bu kaplamalardan da en çok ağırlık veren malzeme boyadır. Boyaların hava araçları açısından malzemeyi korozyondan koruma, müşterinin kozmetik beklentilerini karşılama, diğer fonksiyonel özellikleri sağlama, (uyarıcı vb.) gibi konularda kritik fonksiyonel amaçları mevcuttur. Uygulanan boyanın bir yandan malzeme için bu fonksiyonel gereksinimleri yerine getirmesi beklenirken, diğer yandan da boya sarfiyatının minimize edilmesine çalışılmaktadır.

Boya uygulama sürecinde boya kalınlığına etki eden birçok faktör mevcuttur. Bu faktörlerin kontrol edilmesi sürecinin zorluğu ve kompleks doğasından dolayı tasarımcılar tarafından belirlenen kalınlık değerleri uygulayıcı firmalara belirli bir aralık içerisinde verilmektedir (örn. 15-25 mikron arası).

Boya kalınlığını etkileyen çok fazla faktör olması ve bu faktörlerin değişkenliğinden dolayı üretim alanlarında altta belirtilen iki konuda problemler yaşanabilmektedir. Bunlardan ilki, kalın/ince boya hatası; boya uygulaması sonrası müşteri/tasarımcı tarafından belirtilen alt limitin altında ya da üst limitin üstünde boya kalınlığı elde edilmesidir. İkinci olarak da boya kalınlığının müşteri tarafından belirtilen aralıkta olmasına rağmen, aralığın alt limitine yakın bir kalınlık uygulamasının yakalanamaması; buna bağlı olarak hem boya sarfiyatının artması hem de boyanın meydana getirdiği ağırlığa bağlı olarak uçağın işletme giderlerinin artmasıdır.

Yapılan çalışma kapsamında ilk olarak yatay ve sabit eksenli robotlarla detay parçaların boyanması sürecinde boya kalınlığına etki eden faktörler ve bu faktörlere ait alt ve üst

limitler belirlenmiştir. Ardından faktöriyel deney tasarımı yapılarak deney planı çıkartılmış ve bu plana göre deneyler gerçekleştirilmiştir. Sonrasında tüm değişkenler için normal dağılım analizi yapılmış, bağımsız değişkenlerin hem birbiri ile hem de bağımlı değişkenler ile ilişkisi incelenmiştir. İnceleme sonrası faktöriyel deney analizi yapılmış, ANOVA ve regresyon modelleri incelenmiş ve faktörlerin optimum seviyeleri belirlenmiştir. Belirlenen optimum seviyeler sonrası doğrulama deneyleri yapılmıştır. Tüm bunların sonucu olarak, yatay ve sabit eksenli robotik boya sürecinde sadece parametreleri optimize ederek hem boya sarfiyatının azaltılabildiği hem de boya kalınlığı kaynaklı meydana gelen kalite hatalarının yok edilebildiği ve finansal kazanç sağlanabildiği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Üretim, optimizasyon, faktöriyel deney tasarımı, hava aracı, boya.

ABSTRACT

Cenk ULUS, Determination and Optimization for the Analysis of Factors Affecting Paint Thickness in the Process of Painting Aircraft Detail Parts with Horizontal and Fixed- Axis Robots, Başkent University, Institute of Social Sciences, Business Management Phd Programme ,2024

The weights of the materials used during the production of aircraft have critical importance in terms of the operational costs of the aircraft. Fuel expenses increase depending on the weight of the aircraft. In this context, solutions that minimize weight are sought to be produced during the production and design phase of the product.

One of the factors contributing to weight in aircraft is the surface coatings of structural materials. Among these coatings, paint contributes the most to weight. Paints serve critical functional purposes for aircraft, such as protecting materials from corrosion, meeting customers' cosmetic expectations, and providing other functional features (such as signaling, etc.). While the applied paint is expected to fulfill these functional requirements for the material, efforts are also made to minimize paint consumption.

In the process of paint application, numerous factors influence paint thickness. Due to the difficulty and complexity of controlling these factors, designers provide applicator companies with specified thickness values within a certain range (e.g., between 15-25 microns).

Two main problems can arise in production areas according to the multitude of factors affecting paint thickness and the variability of these factors. The first problem is the issue of thick/thin paint obtaining a paint thickness after application that is below the specified lower limit or above the upper limit defined by the customer/designer. Secondly, even if the paint thickness falls within the range specified by the customer, it may not be close to the lower limit of the range; consequently, this leads to an increase in both paint consumption and operational costs of the aircraft due to the weight imposed by the paint.

In the scope of the study, initially, factors influencing paint thickness in the process of painting detail parts with horizontal and fixed-axis robots were identified, along with the lower and upper limits associated with these factors. Subsequently, a factorial experimental

design was employed to create an experimental plan, and experiments were conducted accordingly. Furthermore, a normal distribution analysis was performed for all variables, and the relationships between independent variables and both each other and dependent variables were examined. After the analysis, factorial experimental analysis was conducted, ANOVA and regression models were scrutinized, and the optimum levels of the factors were determined. Verification experiments were then conducted based on the identified optimum levels. As a result of all these processes, it was observed that by optimizing only the parameters in the horizontal and fixed-axis robotic painting process, both paint consumption could be reduced, and quality defects resulting from paint thickness could be eliminated, leading to financial gains.

Keywords: Production, optimization, factorial experimental design, aircraft, paint

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR ..... **i**

ÖZET ..... **ii**

ABSTRACT ..... **iv**

TABLOLAR LİSTESİ ..... **ix**

ŞEKİLLER LİSTESİ ..... **xi**

SİMGELER VE KISALATMALAR LİSTESİ ..... **xii**

1. GİRİŞ **1**

2. LİTERATÜR TARAMASI **7**

3. YÖNTEM **12**

4. UYGULAMA **17**

4.1. Tesisin Çalışma Prensibi **17**

4.2. Faktörler, Faktörlerin Alt/Üst Limitleri **19**

4.2.1. Kontrol edilemeyen faktörler **19**

4.2.1.1. Robotun oryantasyonu/eksen hareketi **19**

4.2.1.2. Boya kabininin hava akış hızı **20**

4.2.1.3. Boya kabininin nemi **20**

4.2.1.4. Boya tabancasının boyayı atma basıncı **20**

4.2.1.5. Boya tabancasının açısı **20**

4.2.1.6. Boyanın viskozite değeri **21**

4.2.2. Kontrol edilebilen faktörler **21**

4.2.2.1. Boya robotu ile boyanan parça arasındaki uzaklık **21**

4.2.2.2. Boya pompasının basıncı **22**

4.2.2.3. Boyanan parçanın taşındığı konveyörün hızı **23**

4.2.2.4. Boyanın sıcaklığı **24**

4.2.2.5. Boya kabininin sıcaklığı **24**

4.2.2.6. Boya tabancası meme çapı 24

4.3. Deney Planı 26

4.4. Deney Sonuçları 29

4.5. Normal Dağılım Analizi 33

4.5.1. Boya robotu ile boyanan parça arasındaki uzaklık değeri değişkeni için normal dağılım analizi 34

4.5.2. Boya pompasının basıncı değişkeni için normal dağılım analizi 35

4.5.3. Boyanın taşındığı konveyörün/bantın hızı değişkeni için normal dağılım analizi 36

4.5.4. Boyanın sıcaklığı değişkeni için normal dağılım analizi 36

4.5.5. Boya kabininin sıcaklığı değişkeni için normal dağılım analizi 37

4.5.6. Boya tabancası meme çapı değişkeni için normal dağılım analizi 38

4.5.7. Boya kalınlığı değişkeni için normal dağılım analizi 39

4.6. Korelasyon Analizi 40

4.6.1. Bağımsız değişkenlerin birbiri arasındaki korelasyon analizi 41

4.6.2. Bağımsız değişkenlerin bağımlı değişken ile korelasyon analizi 44

4.6.2.1. Boya robotu ile boyanan parça arasındaki uzaklık ve boya kalınlığı arasındaki ilişki 44

4.6.2.2. Boya pompasının basıncı ile boya kalınlığı arasındaki ilişki..... 45

4.6.2.3. Boyanan parçanın taşındığı konveyörün/bantın hızı ile boya kalınlığı arasındaki ilişki 46

4.6.2.4. Boyanın sıcaklığı ile boya kalınlığı arasındaki ilişki 46

4.6.2.5. Boya kabininin sıcaklığı ile boya kalınlığı arasındaki ilişki 47

4.6.2.6. Boya tabancası meme çapı ile boya kalınlığı arasındaki ilişki 48

4.7. Deney Tasarımı ve Analizler 49

4.8. Doğrulama Deneyleri 53

4.9. Fayda/Maliyet Hesabı 55

4.9.1. Fayda/kazanç hesabı 55

4.9.1.1. Boya sarfiyatından kazanç 55

4.9.1.2. Yeniden işleme maliyetinin yok olmasına bağlı olarak meydana gelen kazanç 56

4.9.1.3. Toplam finansal kazanç 59

4.9.2. Maliyet hesabı 59

4.9.2.1. Boya sarfiyatına bağlı meydana gelen maliyet 60

4.9.2.2. Deneylerde kullanılan parçalara yapılan kimyasal işlem maliyeti 60

4.9.2.3. Çalışma kapsamında harcanan işçilik kaynaklı maliyet 61

4.9.2.4. Çalışmanın toplam maliyeti..... 62

4.10. Toplam Fayda Maliyet Analizi 62

4.11. Geri Ödeme Süresi 63

5. SONUÇ 65

KAYNAKLAR 69

TABLOLAR LİSTESİ

Sayfa

Tablo 4.1. Faktörlerin Alt ve Üst Limitleri 25

Tablo 4.2. Deney Planı 29

Tablo 4.3. Deney Sonuçları 30

Tablo 4.4. Boya Robotu ile Boyanan Parça Arasındaki Uzaklık Değişkeni İçin Normal Dağılım Analizi 34

Tablo 4.5. Boya Pompasının Basıncı Değişkeni İçin Normal Dağılım Analizi 35

Tablo 4.6. Boyanan Parçanın Taşındığı Konveyörün/Bantın hızı Değişkeni İçin Normal Dağılım Analizi 36

Tablo 4.7. Boyanın Sıcaklığı Değişkeni İçin Normal Dağılım Analizi.....37

Tablo 4.8. Boya Kabininin Sıcaklığı Değişkeni İçin Normal Dağılım Analizi.....38

Tablo 4.9. Boya Tabancası Meme Çapı Değişkeni İçin Normal Dağılım Analizi.....39

Tablo 4.10. Boya Kalınlığı Değişkeni İçin Normal Dağılım Analizi.....40

Tablo 4.11. Bağımsız Değişkenlerin Birbiri Arasındaki Korelasyon Analizi Tablosu.....41

Tablo 4.12. Boya Robotu ile Boyanan Parça Arasındaki Uzaklık ve Boya Kalınlığı Arasındaki Korelasyon Tablosu 44

Tablo 4.13. Boya Pompasının Basıncı ile Boya Kalınlığı Arasındaki Korelasyon Tablosu 45

Tablo 4.14. Boyanan Parçanın Taşındığı Konveyörün/Bantın hızı ile Boya Kalınlığı Arasındaki Korelasyon Tablosu 46

Tablo 4.15. Boya Sıcaklığı ile Boya Kalınlığı Arasındaki Korelasyon Tablosu.....47

Tablo 4.16. Boya Kabininin Sıcaklığı ile Boya Kalınlığı Arasındaki Korelasyon Tablosu48

Tablo 4.17. Boya Tabancası Meme Çapı ile Boya Kalınlığı Arasındaki Korelasyon Tablosu 49

Tablo 4.18. ANOVA Tablosu 50

Tablo 4.19. Bağımsız Değişkenlern Bağımlı Değişkenleri Açıklama Oranı 50

Tablo 4.20. Regresyon Analizi 51

Tablo 4.21. Durbin-Watson katsayısı 52

Tablo 4.22. Doğrulama Deneyleri Sonuçları 54

Tablo 4.23. Boya Sarfiyatı Kazancı 56

Tablo 4.24. Yeniden İşleme Maliyetinin Yok Olmasına Bağlı Olarak Meydana Gelen Boya Sarfiyatının Azalması Kaynaklı Finansal Kazanç 57

Tablo 4.25. Yeniden İşleme Maliyetinin Yok Olmasına Bağlı Olarak Meydana Gelen İşçilik Kazancı 58

Tablo 4.26.Yeniden İşleme Maliyetinin Yok Olmasına Bağlı Olarak Meydana Gelen Kazanç 59

Tablo 4.27. Çalışmadan Elde Edilen Toplam Finansal Kazanç 59

Tablo 4.28. Deneyler için Kullanılan Boyanın Maliyeti 60

Tablo 4.29. Deneylerde Kullanılan Parçalara Yapılan Kimyasal İşlem Maliyeti 61

Tablo 4.30. Çalışma için Gerçekleştirilen İşçilik Maliyeti 61

Tablo 4.31. Çalışmanın Toplam Maliyeti 62

Tablo 4.32. Çalışmanın Net Kazancı 63

Tablo 4.33. Geri Ödeme Süresi 63

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1. Problem Tanımının Şematik Gösterimi 2

Şekil 1.2. Tesisin İş Akış Şeması 4

Şekil 3.1. Önerilen Modelin Uygulanmasına İlişkin Akış Şeması 16

Şekil 4.1. Boya Hattına Beslenen ve Üzerinde Parça Bulunan Aparat 17

Şekil 4.2 Parçaların Boya Robotu ile Boyanması Süreci 18

Şekil 4.3 Boya Robotu ile Parça Arası Uzaklık 22

Şekil 4.4 Boya Pompa Basıncı 23

Şekil 4.5 Boyanan Parçanın Taşındığı Konveyör 23

Şekil 4.6 Boya Kazanlarının Bulunduğu Kabin 24

Şekil 4.7 Boya Tabanca Memesi 25

Şekil 4.8. Kalınlık Ölüm Lokasyonları 27

Şekil 4.9. Parçaların Aparat Üzerine Dizilmesi 28

Şekil 4.10. Positector 6000 Kalınlık Ölçüm Cihazı 28

Şekil 4.11. Bağımsız Değişkenlerin Birbiri Arasındaki İlişkinin Grafiği 43

Şekil 4.12. Bağımsız Değişkenlerin bağımlı Değişken Üzerindeki Etkisinin Pareto Analizi 52

Şekil 4.13. Bağımsız Değişkenlerin Optimum Seviyeleri 53

SİMGELER VE KISALATMALAR LİSTESİ

ANOVA	Analysis of Variance (Varyans Analizi)
DT	Deney Tasarımı
VIF	Variance Inflation Factor
2K	2 Komponentli Boya
3K	3 Komponentli Boya
mm	Milimetre
cm	Santimetre
psi	Pounds per Square Inch
ºC	Santigrat Derece
dk	Dakika
min	Minute
coef	Coefficient
r_{xy}	Korelasyon Katsayısı
kg	Kilogram
mg	Miligram
$	ABD doları

1. GİRİŞ

Üretim süreçlerinde kontrol altında tutulması gereken önemli faktörler mevcuttur. Son ürün kalitesi ve üretim maliyeti faktörleri bahsedilen ve kontrol altında tutulması gereken bu önemli faktörler arasındadır. İşletmeler inovasyon ve benzeri farklı yöntemler kullanarak bu faktörleri kontrol altında tutabilmek için çaba harcarlar. Son ürün kalitesini artırmanın ve üretim maliyetinin düşürmenin yöntemlerinden birisi de ilgili prosesin parametrelerini izin verilen değer aralıklarında en uygun şekilde kullanılabilmektir (Jozsef ve Blaga, 2017).

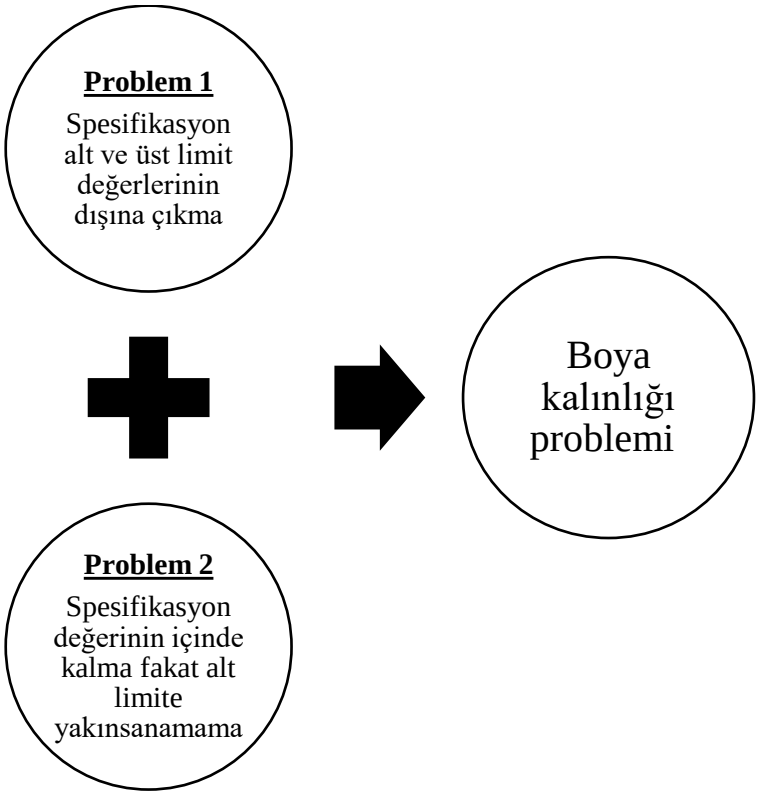
Ürün maliyetlerinin düşürülmesi fiyat rekabetine bağlı olarak meydana gelen bir zorunluluktur. Havacılık sektöründe faaliyet gösteren işletmeler için bahsedilen bu maliyet düşürme işlemi için alınabilecek aksiyonlardan biri hava araçlarının yakıt giderlerini azaltmaktır (Kaufmann, 2008). Hava araçlarının üretimi sırasında kullanılan malzemelerin ağırlıkları, uçağın işletme sürecindeki maliyetleri açısından kritik öneme sahiptir. Uçakların ağırlıklarına bağlı olarak yakıt giderleri artmaktadır. Ek olarak ağırlığa bağlı olarak uçakların aerodinamik açıdan performansları da etkilenmektedir. Bu bağlamda, ürünün üretim ve tasarım aşamasında ağırlığı minimize edecek çözümler üretilmeye çalışılmaktadır.

Uçaklarda ağırlık yaratan konulardan birisi de uçak yapısal malzemelerinin yüzey kaplamalarıdır. Bu kaplamalardan da en çok ağırlık veren malzeme boyadır. Boyaların hava araçlarında malzemeleri korozyondan koruma, müşterinin kozmetik beklentilerini karşılama ve diğer fonksiyonel özellikleri sağlama (uyarıcı vb.) gibi konularda kritik fonksiyonel amaçları mevcuttur.

Yapılması planlanan çalışma kapsamında hava araçlarının detay parçalarına uygulanan boya kalınlıkları eniyilenecektir. Konu problem olarak ele alınacak olur ise; hava araçlarının detay parçalarına boya uygulama sürecinde, boya kalınlıklarının müşteri/tasarımcı tarafından talep edilen kalınlık aralığının altında ya da üstünde olması problemin ilk aşamasını oluşturmaktadır. Bu tarz problemlerle karşılaşıldığında ilgili parçalardan boyanın sökülmesi, gerekli ise boya öncesi kimyasal işlemlerin yenilenmesi ve parçaların tekrar boyanması kaynaklı olarak kayıp işçilik ve malzeme problemleri ortaya çıkmaktadır. Bunun yanı sıra bu problemler takvimsel açıdan da gecikmelere yol açabilmektedir. Ayrıca bu hataların işletmenin kendi bünyesinde değil müşteri tarafından yakalanması durumunda ise işletme açısından prestij kaybı ve cezai işlemler sonuçları ortaya çıkmaktadır. İkincil problem ise, boya kalınlığının müşteri/tasarımcı isterlerinde belirtilen değerlere uygun olması fakat alt limite yakınsanamaması durumudur. Konu bir örnek ile açıklanacak olur ise; müşterinin/tasarımcının 15-25 mikron arasında bir boya kalınlığı talep

ettiğini düşünelim. Elde edilen ürünün boya kalınlığı 15 mikron ise de 25 mikron ise de kalite ve fonksiyon açısından bir problem gözükmemekle beraber, 25 mikron olması durumunda 15 mikron boyaya göre yaklaşık %66 fazladan boya uygulanmış olur. Bu durum hem üretimi yapan işletme için ekstra boya sarfiyatına bağlı olarak maddi kayıp getirecek hem de boya kalınlığının hava aracı üzerinde meydana getireceği ağırlığa bağlı olarak; müşterinin, yani hava aracını kullanan işletmenin işletme giderlerini artıracaktır. Son olarak ise kimyasal sarfiyatının çevreye verdiği zarar da fazla olacaktır. Zira boya işlemi çevre standartlarının her geçen gün giderek katılaştığı bir alan olmaktadır (Papasavva, Kia, Claya ve Gunther, 2001).

Tüm bu bilgiler dahilinde problem şematik olarak Şekil 1.1'de gösterilmektedir.



Şekil 1.1 Problem Tanımının Şematik Gösterimi

Üretim sürecinde robotların kullanılması son 10 yılda tanıdık ve neredeyse tüm üretim alanlardan beklenen bir durum haline gelmiştir (Baldwin, 2000). Bunun en büyük sebeplerinden biri manuel boyama işlemindeki ortamın, insanlar için sağlık açısından muhtelif tehlikeler oluşturabilmesidir. Boyanın yapıldığı ortam genellikle gürültülüdür. Sağlık açısından tehlikeli kimyasallar kullanır ve bundan ötürü boyacıların bu tehlikelerden korunması için maske ve tulum gibi ek güvenlik ekipmanlarının giymesi gerekmektedir. Ayrıca manuel boyama süreçlerinde her seferinde aynı kalitede ürünleri üretmek zordur (Baldwin, 2000).

Kompleks bir yapıya sahip ürünler veya düşük parti büyüklüğüne sahip üretim proseslerinde manuel sprey boya uygulaması kullanılır. Ancak iyi derecede otomasyona sahip ve büyük ölçekli üretim süreçlerin boyama genellikle endüstriyel robotlar kullanılarak yapılır (Gleeson ve diğer., 2022).

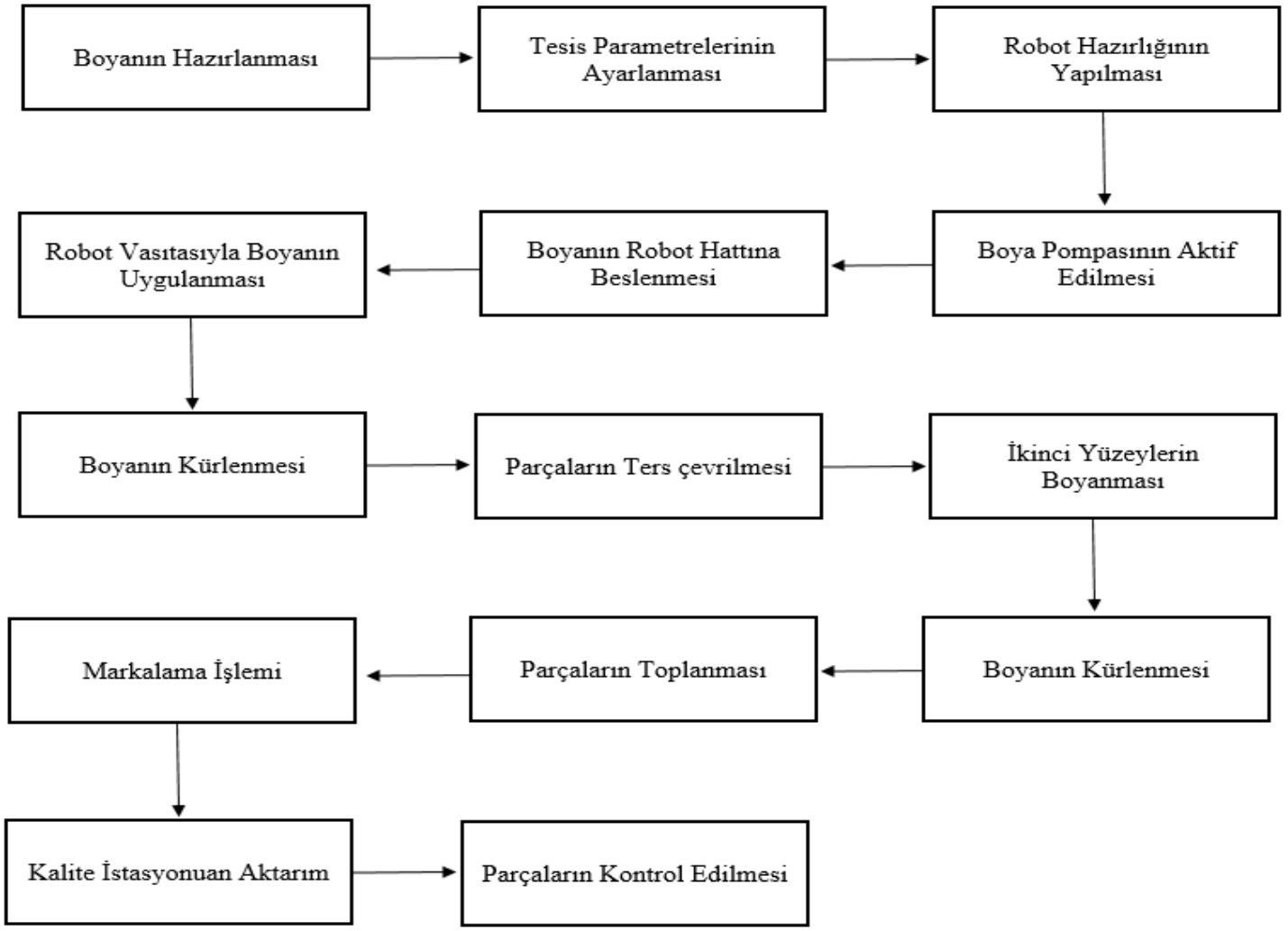
Robotların birçok avantajı bulunmasına rağmen, proseslerin otomatikleştirilmesi durumu her zaman için ekonomik açıdan mümkün olmayabilir. (Almansoori ve diğer.,2020).

Uçak parçalarına boya uygulanması da genel olarak 2 yöntem ile gerçekleştirilmektedir: Elle/manuel uygulama ve robotik uygulamalarıdır.

Tez kapsamında robotik boya uygulama süreci ele alınacaktır. Robotik boya uygulamalarında süreç genel hatlarıyla aşağıda belirtildiği gibidir.

- Boyanın hazırlanması (bu hazırlık süreci manuel ya da otomatik karıştırma üniteleri ile yapılabilir),
- Tesis parametrelerinin ayarlanması,
- Robot hazırlığının yapılması,
- Boyanın robot hattına beslenmesi,
- Robotlar vasıtası ile boyanın uygulanması,
- Uygulanan boyanın kuruması/kürlenmesi,
- Parçaların ters tarafının çevrilmesi,
- İkinci yüzeylerin boyanması,
- Boyanın kürlenmesi,
- Parçaların toplanması,
- Markalama işleminin yapılması,
- Kalite istasyonuna parçaların aktarımının yapılması,
- Parçaların kontrol edilmesi.

Tesisin iş akış şeması Şekil 1.2'de verilmiştir.



Şekil 1.2. Tesisin İş Akış Şeması

Boya robotları da genel olarak 2 tipe ayrılmaktadır. Bunlar:

- Parça tipine göre uyarlanan ve programlanan boya robotları,
- Parça tipinden bağımsız olarak oryantasyonu sabit olan boya robotlarıdır.

Parça tipinden bağımsız olarak oryantasyonu sabit olan boya robotlarının, değişken oryantasyona sahip boya robotlarına göre avantajları aşağıda belirtilmiştir.

- Robot oryantasyonu parça tipine göre değişmediği için her bir parça ya da parça grubu için robot programlaması yapılmasına gerek yoktur; buna bağlı olarak da programlama işçiliği düşüktür,
- Aynı tesiste boyanabilen parçalar arasında robot ayarı gerekmeyeceği için tesis ayar kayıpları yoktur ve/veya minimum düzeydedir,
- Aynı anda ve seri bir şekilde birden fazla farklı geometriye sahip parçanın boyaişlemi yapılabilmektedir,
- Robot parametreleri parçadan parçaya değişmediği için tesisin işletmesi değişken oryantasyonlu robotla boyamaya göre daha kolaydır.

Yatay ve sabit rotasyonlu boya robotlarının üstte belirtilen avantajlarına rağmen bir dezavantaj olarak ilgili robotlarla sadece kompleks yüzeye sahip olmayan (yüzeyi düz ya da robot tarafından gönderilen boyanın ulaşabileceği şekle sahip) parçalar boyanabilmektedir. Tez kapsamında parça oryantasyonu sabit yatay eksenli boya robotları ele alınmıştır.

Robotik boya uygulamalarında, genel olarak boya kalınlığına etki eden faktörler alttakilerle sınırlı olmamak kaydıyla belirtilen parametreleri içermektedir:

- Boyanın viskozite değeri,
- Boya tabancası meme çapı,
- Kalınlık ölçüm yöntemi,
- Robotun oryantasyonu/eksen hareketleri
- Boya robotu ile boyanan parça arasındaki uzaklık,
- Boya pompasının basıncı,
- Boya tabancasının boyayı atma basıncı,
- Boya tabancasının açısı,
- Boya robotunun hızı,
- Boyanan parçanın taşındığı konveyörün/bantın hızı,
- Boyanın sıcaklığı,
- Boya kabininin sıcaklığı,
- Boya kabininin nemi,

- Boya kabininin hava hızı.

Tez kapsamında üstte belirtilen faktörlerden altta belirtilenler kontrol edilebilen faktörler olarak ele alınıp çalışma kapsamında incelenecektir. Kontrol edilebilen faktörler:

- Boya robotu ile boyanan parça arasındaki uzaklık,
- Boya pompasının basıncı,
- Boyanan parçanın taşındığı konveyörün/bantın hızı,
- Boyanın sıcaklığı,
- Boya kabininin sıcaklığı,
- Boya tabancası meme çapı.

Yapılacak çalışma kapsamında boya sistemi olarak 2K (2 komponentli boya sistemi) kullanılacaktır. İki komponentli boya hazırlama sistemlerinde, boyanın temel ham malzemeleri olan reçine ve sertleştirici otomatik olarak set edilen değerlerde bir araya gelir ve hazırlanır. Boya olarak su bazlı boya kullanılacaktır. Uçak üretiminde çok farklı detay parça çeşidi mevcuttur. Model olarak düz sac metal parçalar ele alınacaktır. Özetle çalışma kapsamı:

- Havacılık sektöründe,
- Yatay eksenli sabit oryantasyonlu boya robotları kullanılarak boyanan,
- Düz sac metal parçaların boyanması sürecinde,
- 2K boya hazırlama sistemi ve su bazlı boya kullanılarak yapılacaktır.

Bu bağlamda ilk olarak kalınlığa etki eden parametrelerle bu parametrelerin alt ve üst limitleri belirlenecek, faktöriyel deney tasarımı yapılacak ve deneyler gerçekleştirilecektir. Ardından tüm değişkenler için normal dağılım analizi yapılacak, bağımsız değişkenlerin hem birbiri ile hem de bağımsız değişken ile ilişkisi incelenecektir. Sonrasında faktöriyel tasarım deney yanıtlarının analizi yapılacak, ANOVA ve regresyon modelleri incelenecek, çıkarılacak regresyon modeli sonrası parametreler optimize edilecektir. Optimize değerler ile deneyler tekrar edilecek ve sonuçlar kontrol edilecektir. Sonrasında çalışma öncesi ve sonrası durum için kazanç hesabı yapılacaktır.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Tez kapsamında literatür taraması yapılmış, yapılan çalışmalar incelenmiş ve çalışmaların kapsamı özet olarak aşağıda belirtilmiştir.

Suh, Woo ve Noh (1991) farklı geometrik şekillerdeki parçaların robotla boyanabilmesi için CAD programı ile çalışan bir uygulama geliştirmiştir. Çalışmalarını parçaya göre değişen oryantasyona sahip boya robotlarında gerçekleştirmişlerdir. Çalışma kapsamında değişken olarak robot oryantasyonu, tabanca açısı, püskürtme süresi ve tabanca açısını almışlardır. Geliştirilen uygulama sonucunda boya kalınlığının homojenliği ve boya sarfiyatının azalması sonuçlarına varmışlardır. Aynı yıl gerçekleşen bir çalışmada Goodman ve Hoppensteadt (1991) parça tipine göre farklı oryantasyonla boyama işlemi gerçekleştiren boya robotlarında, boyanın püskürtme dağılımını simüle eden bir çalışma yapmıştır. Çalışma kapsamında yapılan simülasyon uygulama ile test edilmiş ve gerçekleştirilen çalışmanın robotik boya uygulamalarında kalınlık ayarlaması yapabilmek için uygun bir teknik olduğu sonuçlarına varmışlardır.

Mountain ve Mazumder (1996) Boya Prosesinde Yanıt Yüzey Yöntemi Tekniği ile transfer verimliliği üzerinde çalışma yapmışlardır. Değişken olarak voltaj değeri ve hava debisini seçmişlerdir. Çalışmalarında değişkenlerin transfer verimliliği üzerindeki etkilerini incelemişlerdir.

Arıkan ve Balkan (2001) araba gövde bileşenlerinin daha efektif ve kaliteli boyanabilmesi için robotik sprey boyama prosesinin modellenmesi, simülasyonu, endüstriyel robotların çevrimdışı programlanması için bir yöntem ve bilgisayar programı geliştirilmiştir. Geliştirdikleri program ile kullanıcılar boyama stratejileri, parametrelerini ve robot oryantasyonunu/yolunu belirleyebilmektedirler. Simülasyon sonrası parça boyayarak denemeler yapmış ve robota entegre ettikleri kalınlık ölçüm cihazı ile boyanan parçaların kalınlığını ölçmüş ve simüle edilen değerle gerçekleşen değeri mukayese etmişlerdir. Çalışmalarının sonucunda simülasyon ile uygulamanın farkını incelemişler, simülasyon programının boya kalınlığını maksimum %15-20 ile tahmin edildiği sonuçlarına varmışlardır. Bu farkın da boya robotunun oryantasyonu sürecinde üst üste boya uygulaması binmesi kaynaklı olduğu değerlendirmesini yapmışlardır.

Ferah (2003) yılında toz boya uygulamalarında boya kalınlığını etkileyen faktörler üzerine çalışma yapmıştır. Çalışmasında metot olarak Çok Yanıtlı Taguchi Deneysel Tasarım Modeli kullanmıştır. Çalışmasında bağımsız değişkenler olarak hava basıncı, konveyör hızı, boyanacak parça ve boya tabancası arası uzaklık, şarj tozu, boya markası vb.

8 adet değişken belirlenmiştir. Ardından deneyleri (doğrulama deneyleri dahil) gerçekleştirmiş ve deney sonuçlarını analiz etmiştir. Çalışma sonucunda parametrelerin optimizasyonu sonucu kalınlık değerinin toz boya maliyetlerinin azaltıldığını görmüştür.

Chen, Xi, Wei, Chen ve Dah (2003) yüzeyleri çoklu parçalı olarak ele alarak robot oryantasyonu/yörüngesi üzerine optimizasyon çalışması yapmışlardır. Tek parçalı sistemlerde boya akış hızı sabit olarak ele alınırken, bu çalışmada ilgili parametre değişken olarak ele alınmıştır. Çalışmalarında yapmış oldukları simülasyon sonucu elde ettikleri teorik değerleri, yapılan deneylerle kıyaslamışlardır. Pararel/pararel çalışmasında en iyi sonucu almışlardır.

Seegmiller, Bailiff ve Franks (2009) F35 uçaklarının ağırlığının azaltılması ve kalınlık toleranslarını yakalayabilmek için RAFS adını verdikleri bir teknik üzerine çalışmışlardır. Kullandıkları teknikte kalınlık toleranslarını yakalamanın yanı sıra bu toleransı oldukça dar bir alana çekebilecek bir sonuç elde etmeyi amaçlamışlardır. Çalışmaları incelendiğinde, 3 eksenli robotlarla çalışan robotlarla F35 uçağının gövde şeklini baz alarak bir optimizasyon çalışması yaptıkları görülmektedir. Çalışmalarının ana odağı, F35 Uçağı'nın gövde şekline göre bir robotik boya uygulama yöntemi geliştirmektir. Çalışmalarında girdi değişkeni olarak robot oryantasyonu, robot parça arası uzaklık ve robot hızını almışlardır. Çalışmalarının sonucunda elle boyamaya göre oldukça dar kalınlık değişimi elde etmiş ve böylelikle daha dar bir tolerans aralığında daha homojen kalınlık yapısına sahip boya kalınlığına sahip ürün elde edebilmişlerdir.

Wei ve Dean (2009) kavisli yüzeylerin robotla boyanması sürecinde robot oryantasyonu/yörüngesi üzerine optimizasyon çalışması yapmışlardır. Çalışmalarında karmaşık kavisli (kompleks) parçalar birkaç parçaya bölünerek ayrı ayrı ele alınmış ve her bir bölge için ayrı ayrı optimizasyon çalışması yapmışlardır. Yörüngeleme çalışmalarında robot yolu kesişimlerini paralel/paralel, paralel/dik ve dik/dik olmak üzere 3 farklı şekilde denemiş ve en iyi sonuçları (kalınlık homojenliğini) paralel/paralel çalışmasında alırken en kötü sonuçları dik/dik çalışmasında almışlardır.

Luangpaiboon (2010), alüminyum alaşımlı jantların üzerine uygulanan kaplama kalınlığının optimizasyonu üzerine çalışma yapmıştır. Çalışmanın amacı, jant gibi kompleks bir yüzeye sahip ürünün elektrostatik boya sistemi kullanılarak boyanması sürecinde jant üzerindeki kritik bölgelerde bulunan kalınlık değerlerinin optimize edilmesidir. Boyanın viskozitesi, boya akış hızı, boya tabancasının hava debisi ve boya direnci parametrelerini bağımsız değişkenler olarak ele alıp, bağımlı değişken olarak ise boya kalınlığını analiz

etmiştir. Çalışmalarının sonucunda ürün üzerindeki boya kalınlıklarını optimize edebilmiş ve prosesin boya sarfiyatını azaltmıştır.

Otomotiv Sektörü'nde de boya kalınlığını etkileyen proses parametrelerinin optimizasyonu üzerine Blum, Henkel, Lehnhaeuser ve Chittepu (2011) çalışma yapmışlardır. Çalışmalarını, boyanan otomobillerin şekline göre programlanan 3 eksenli ve elektrostatik boya tabancasına sahip robotlar için yapmışlardır. Çalışma kapsamında ele aldıkları değişkenler; robot oryantasyonu, boya robot arası uzaklık, boyanın akış hızı, boya tabancasının dönüş hızı, elektrik alanın gücü) ve havanın akış hızıdır. Çalışmalarının sonucunda otomobillerin boya uygulama süresinde düşüş ve boya kalınlığında daha homojen yapı elde etmişlerdir.

Yu ve Cao (2011) boya kalınlığını tahmin etme ve modelleme üzerine bir çalışma yapmışlardır ve çalışma kapsamında boya kalınlığını simüle etmede kullanılan farklı matematik modelleri kıyaslamışlardır.

Jassbi, Alborzi ve Ghoreshi (2011) otomotiv sektöründe boya sürecinde araç gövdelerinin boya kalınlığını kontrol etmek ve boya kalite hatalarını azaltmak amaçlı olarak yapay sinir ağı ve regresyon analizi yapmışlardır. Çalışmalarında değişken olarak boya uygulama basıncı, robot parça arası uzaklık, viskozite, kabin nemi, kabin sıcaklığı, boyanın sıcaklığı, robot hızı ve robot oryantasyonunu almışlardır. Çalışmanın sonucunda yapay sinir ağı kullanılarak boya kalınlığını tahminleme de başarılı olunduğu sonucuna varmışlardır.

Muzan, Faisal, Assadi ve Iwan (2012) endüstriyel boyalarda robot uygulaması üzerine çalışma yapmışlardır. Çalışmalarında robot oryantasyonu, yazılımı ve parametrelerini ayarlayarak boya uygulaması yapmışlar ve sonucunda manuel boya uygulamasına göre daha kaliteli ürünü daha az boya kullanarak gerçekleştirmişlerdir.

Luangkularb, Prombanpong ve Tangwarodomnukun (2014) sprey kaplama tesislerinde kaplama kalınlığı üzerine çalışma yapmışlardır. Kimyasal olarak sıvı teflon malzeme kullanmışlardır. Yapmış oldukları çalışmada hava basıncı, kaplama süresi ve kaplama tabancasının meme çapının kalınlığa etkilerini incelemişlerdir ve çalışmalarının sonucunda düşük kaplama süresi, geniş meme çapı ve düşük hava basıncının kaplama kalınlığını artırdığı sonucuna ulaşmışlardır.

Bhalamurugan ve Prabhu (2015) Taguchi tekniği kullanarak değişken rotasyonlu boya robotlarında parametre optimizasyonu çalışması yapmışlardır. Değişkenler olarak boya robotu ve boyanacak parça arası mesafe, basınç ve tabancı hızını almışlardır. Belirtilen 3 değişkenin Taguchi tekniğini kullanarak boyanın yapışması, yüzey sertliği ve kalınlığı

üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Çalışma sonucunda parça ve boya robotu arası mesafenin boya kalınlığını etkileyen en önemli değişken olduğu sonucuna varmışlardır.

Jozsef ve Balaga (2017) boya kalınlığını etkileyen faktörlerin doğru ayarlanması ile üretim maliyetinin optimize edilmesi üzerine çalışma yapmışlardır. Çalışmaların elektrostatik boya uygulaması kullanmışlardır ve boya kalınlığı ölçme yöntemlerinin üretim maliyetini düşürmesi üzerine çalışma yapmışlardır ve çalışma sonucunda doğru ölçüm yöntemleri kullanmanın üretim maliyetini düşürdüğü sonucuna varmışlardır.

Yan Chen, Wenzhuo Chen, Li, Gang Zhang ve Weiming Zhang (2019) değişken oryantasyonlu boya robotlarının yörünge planlaması için kullanılan açık fonksiyon tabanlı yöntem ve hesaplamalı akışkanlar dinamiği tabanlı yöntem karşılaştırılmıştır ve hesaplamalı akışkanlar dinamiği tabanlı yöntemin trend yöntem olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Chidhambara, Shankar ve Vijaykumar (2018) Taguchi DOE Metotu ve ANOVA teknikleri kullanılarak boya kalınlığına etki eden parametrelerin optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Çalışmalarını 6 eksenli hareket edebilen değişken rotalı boya robotlarında gerçekleştirmişlerdir. Boya kalınlığını etkileyen bağımsız değişkenler olarak boyanın viskozitesi, boya robotunun ucundan çıkan hava hızı ve boya akış hızını belirlemişlerdir. Çalışmaları sonrasında, viskozitenin boya kalınlığı üzerinde anlamlı etkisi olmadığı, hava akış hızı ve boya akış hızı değişkenlerinin ise boya kalınlığı üzerinde anlamlı etkiye sahip oldukları ve en yüksek etkiye sahip olan değişkenin hava akış hızı olduğu sonuçlarına varmışlardır.

Almansoori ve diğer. (2020) Taguchi tekniği kullanarak manuel spray boya uygulamalarında proses optimizasyonu üzerine çalışmışlardır. Çalışmalarında manuel boya tabancası ile boyanan parça arasındaki uzaklık, boyanan yüzeyin üzerinden boya tabancası ile kaç kez geçildiği ve boya akış kızı değişkenlerini giriş değişkenleri olarak kullanmışlardır. Çıkış değişkeni olarak ise boy kalınlığı, boyanın rengi vb. kalite parametrelerini değerlendirmişlerdir. Çalışmalarının sonucunda boyanan parça ile boya tabancası arasındaki uzaklık arttıkça kalınlığın düştüğünü, akış hızının artması ile kalınlığın ilk etapta azaldığı ve sonradan arttığı (operatör gelen boyanın akış hızını yeterli görmediğinde yavaşlamaktadır), pas sayısı arttıkça boya kalınlığının belirli bir süre arttığı ve sonradan azaldığı sonuçalarına varmışlardır ve bu değişkenleri optimize etmişlerdir.

Gleeson ve diğer. (2022) boya robotlarının oryantasyonunun optimizasyonu üzerine çalışma yapmışlardır. Robotlarla boyanan parçaların kalınlıklarının homojen ve istenilen değerde olabilmesi için boya robotuna boyama paterni/oluşturmuş ve bunu optimize etmişlerdir. Proses simülasyonunun ve optimizasyonunun doğruluğunu doğrulamak için bir

dizi test senaryosu oluşturmuşlar ve bunları uygulamışlardır. Sonuçta homojen ve istenilen değerlerde boya kalınlığı elde etmişlerdir.

Yapılan araştırma kapsamında 2023 ve 2024 yılları için literatür çalışmalarına rastlanılmamıştır. Araştırma kapsamında incelenen çalışmaların genel olarak boya robotlarının oryantasyonuna ve hareketlerine yöneldiği, boyanacak parçaya göre programlanan/rotalanan değişken rotalı robotların ele alındığı görülmektedir. Robot oryantasyonu dışında boya kalınlığına etki eden parametrelerin farklı kombinasyonları ile ilgili de optimizasyon çalışmaları literatür çalışmalarında görülmektedir. Yapılan araştırma kapsamında, literatürde sabit eksenli ve rotalı robotlarda boya kalınlığı optimizasyonu çalışmasına rastlanmamıştır. Bunun yanı sıra havacılık sektörü kapsamında detay parçalar için bir çalışma da bulunamamıştır. Son olarak, ele alınan parametre setinin tamamının olduğu bir çalışmayla da literatür araştırmasında karşılaşılmamıştır. Yapılacak çalışma kapsamında literatürde bulunan bu boşluklar doldurulmaya çalışılacaktır.

3. YÖNTEM

Bir deney çalışması yapılması için öncelikli olarak yapılması planlanan deneye ait bir planın oluşturulması gerekliliği mevcuttur. Deney planı oluşturulduktan sonraki adım ise ölçülmek istenilen özelliğin ne olacağı sorusuna cevap bulmaktır. Sonrasında ise ölçülmek istenilen bu özelliğin yani bağımlı değişkeni etkileyen faktörleri belirlemek gerekecektir. Faktörler belirlendikten sonraki adım ise bu faktörlere düzeylerinin belirlenmesidir. Deney sırasında bazı faktörler kontrol altında tutulabilirken bazıları kontrol edilemezler. Kontrol altında tutulabilen bu faktörler kontrol edilebilen faktörler, kontrol altında tutulamayan faktörler ise kontrol edilemeyen faktörler olarak adlandırılır. Deney tasarımının birçok avantajı mevcuttur. Bu avantajlardan biri, istenilen kalitedeki ürünün düşük maliyetle üretiminin, prosesteki değişkenliğin azaltılması ile sağlanmasıdır. Bunun yolu da bir prosesi optimum koşullarını sağlayan parametrelerin deneyler yapılarak belirlenmesi ve uygulanmasıdır (Karslıoğlu, 2013).

Deney tasarımı sürecinde, öncelikli olarak bağımlı değişken üzerinde etkili olduğu düşünülen faktörler belirlenmeli ve sonrasında bu faktörlerin yapılacak deneyler için seviyeleri belirlenmelidir. Faktörler için belirlenen seviyelerin deney sırasında nasıl elde edileceği ve korunacağı ile beraber, yine bu değişkenlerin seviyelerinin nasıl ölçümleneceği de planlanmalıdır. Bunları yapabilmek için ilgili tesise ait proses bilgisine sahip olunması gerekliliği vardır. Bu bilgi hem ilgili tesiste çalışanların tecrübe edindiği bilgiler yani pratik bilgilerden meydana gelebilir hem de teorik bilgilerden oluşabilir. Bu ikisinin kombinasyonundan da meydana gelebilir (Montgomery, 2001).

Genel olarak faktör seviyelerini minimum sayıda tutmak deney sırasında faydalı olacaktır. Çoğunlukla faktör seviyelerinin iki seviye olarak verilmesi çalışmalarda iyi çıktılar vermektedir. Faktörler için seviye aralıklarının belirlenmesi de önemli bir parametredir. Seviye aralıklarının olabildiğince geniş olası sonuçların verimliliği için önemlidir. Yapılacak çalışmalarla beraber elde edilen bilgiler doğrultusunda ilk etapta verilen bu geniş aralıklar daraltılabilir ya da artırılabilir (Montgomery, 2001).

Çalışma kapsamında ele alınacak bağımlı değişken olan boya kalınlığını optimize etmek için öncelikli olarak boya kalınlığı değişkeninin müşteri/tasarımcı tarafından talep edilen alt ve üst limitleri müşteri teknik dökümanları incelenerek belirlenecektir. Ardından bu değişkeni etkilediği düşünülen parametrelerin belirlenmesi aşamasına geçilecektir. Bu süreçte iki yöntem kullanılacaktır. Bu yöntemlerden ilki literatür araştırmaları ile teorik bilgilerin elde edilmesidir, ikincisi ise ilgili tesiste çalışan operatör ve mühendislerle seri

toplantılar yaparak geçmişte edinilen tecrübelerden istifade edilmesidir. Faktörler belirlendikten sonra bu faktörlerin seviyelerinin belirlenmesi aşamasına geçilecektir. Bu süreçte her faktör için iki seviye (alt/üst) belirlenecektir. Sadece iki seviyenin belirlenecek olmasının nedeni ise yapılacak deney sayısını azaltmaktır. Alt ve üst limit aralıklarının belirlenmesi sürecinde ise, hem müşteri teknik dökümanlarının verdiği referans aralıkları dikkate alınacak hem de geçmişte yaşanılan tecrübelerden istifade edilecektir. Bu süreçte belirlenecek seviyelerin aralığının olabildiğince geniş olmasına çalışılacaktır. Bunu yapabilmek için ilgili faktör için müşterinin verdiği referans aralıkları mevcut ise bu referans aralığının tamamı kullanılacaktır. Eğer müşteri teknik dökümanlarında bilgi mevcut değil ise ilgili alan çalışanlarının geçmiş tecrübelerine başvurulacak ve ilgili faktörler için, kullanılan seviyede kalite hatası yaşanılmayan değerler alt/üst limit olarak alınacaktır.

Üretimde kullanılan deney tasarım metotları, bağımlı değişken üzerine etki eden faktörlerin en iyi kombinasyonunu bulabilmek için çeşitli metotlar kullanılarak geliştirilmiştir. Önceden her seferinde bir faktörün seviyesi değiştirilip, diğerleri sabit bırakılarak deneyler yapılmakta iken Fisher birden fazla faktörün etkisinin eş zamanlı analiz edilmesinin önemli avantajlar sağlayacağına işaret ederek faktöriyel deneylerin gelişmesine öncülük etmiştir (Kumaş, 2011).

Faktöriyel deney tasarımları, genellikle mühendisler tarafından üretim alanlarında kullanılan, ürün üzerinde etkisi olan faktörlerin etkilerinin ve birbirleriyle olan etkileşimlerinin belirlenmesine olanak sağlayan etkili deney düzenleridir. Bu yönleri itibariyle uygulamada geniş bir kullanım alanına sahiptir. Faktöriyel deney tasarımları, çok sayıdaki faktörün ikiden fazla seviyelerinin bir arada incelenmesine ve olası tüm faktör kombinasyonlarının elde edilmesine imkan verir. Böylelikle bir ürün ya da süreci etkileyen en önemli faktörlerin bulunmasını sağlar. İçerdikleri faktör sayısına göre 2-3-4… faktörlü, içerdikleri düzey seviyesine göre de 2-3-4… düzeyli olarak adlandırılırlar. 3 faktörün ve her bir faktörün 2 farklı düzeyinin bulunduğu bir faktöriyel deney düzeni 2^3 faktöriyel deney olarak gösterilir ve adlandırılır. Bu gösterimden de anlaşılacağı üzere faktör sayısının ve/veya seviyesinin artmasıyla birlikte yapılacak deney sayısı da hızlı bir şekilde artacaktır. (Kumaş, 2011)

Deney tasarımında tekrarlama kavramı, deneyin rassal sıklıklar ile birden fazla kez yapılması anlamına gelmektedir. Tekrarlama yapmanın temelde iki nedeni mevcuttur. Bunlardan ilki deneyi yapan kişinin deneysel hatayı giderme imkanı tanımasıdır. İkincisi ise araştırmacıya, faktör etkilerini çok daha net olarak değerlendirmesini sağlamasıdır. (Antony, 2003)

Bir deneyde tekrar sayısı ne kadar çok ise ilgili deneyin maliyeti de o denli çok olacaktır. Bununla beraber istatistiksel olarak belirli bir anlamlılık düzeyinde yapılan testlerin geçerliliğinin arttırılması ve daha kesin sonuçlar elde edilmek amaçlanıyorsa bu sayısının arttırılması gerekmektedir. (Karslıoğlu, 2013)

Deneylerin gerçekleştirilmesi sonrasında tüm bağımsız ve bağımlı değişkenler için normal dağılım analizi yapılacaktır. Literatürde sıklıkla kullanılan korelasyon, varyans analizi ve regresyon gibi parametrik testlerin temel varsayımlardan birisi normal dağılımdır. Normalliğin iki bileşeninin çarpıklık ve basıklık değerleri olduğu belirtilebilir. (Uysal ve Kılıç, 2021). Güçlü istatistiksel testlerin çoğunluğu verilerin normal dağılıma uygunluk gösterdiği varsayımı ile çalışmaktadır. Bu yüzden verilerin normal dağılıma uygunluğunun analiz edilmesinin istatistiksel analizin en önemli aşaması olduğu değerlendirilebilir (Büyükuysal, 2014). Çalışmada tüm bağımsız ve bağımlı değişkenlerin verilerinin normal dağılıma uygunluk gösterdiği varsayımı yapılabilmesi için çarpıklık ve basıklık katsayıları incelenecektir. İlgili analiz SPSS programı kullanılarak yapılacaktır.

Korelasyon analizi iki veya daha fazla değişken arasındaki ilişkiyi belirtmek için kullanılan bir yöntemdir. Korelasyon analizi ile iki değişken arasındaki ilişkinin anlamlılığı, gücü ve yönü belirlenir. Korelasyon analizi sonucunda korelasyon katsayısı elde edilir. Korelasyon katsayısı ±1 aralığındadır. Bu değer ±1 değerine yaklaşıkça değişkenler arası korelasyonun gücü artmaktadır. Değer 0 olduğunda ise değişkenler arasındaki korelasyon olmadığı yorumlanır. Korelasyon katsayısı -1'e yaklaştığında değişkenler arasındaki ilişkinin yönünün negatif olduğu +1'e yaklaştıkça ise değişkenler arası ilişkinin pozitif olduğu anlamına gelmektedir. Değerin 0'dan ±1'e yaklaşması ilişkinin gücünün artması olarak yorumlamaktadır. Son olarak ise korelasyon analizinde hipotez testi uygulaması mevcuttur. Analiz sonrası değişkenler arasındaki korelasyonun anlamlı olup olmadığına ilgili hipotez testleri ile bakılır. (Goytay ve Thatte, 2016). Belirtilen bilgiler ışığında bağımlı ve bağımsız değişkenlerin ilişkileri analiz edilecektir. Regresyon analizinin temel varsayımları arasında, bağımsız değişkenlerin birbiri ile anlamlı ilişkisinin olmaması ve/veya bu ilişkinin gücünün zayıf olması varsayımları mevcuttur. Korelasyon analizi için SPSS Programı kullanılacaktır.

Ardından Minitab Programı kullanılarak faktöriyel deney analizi gerçekleştirilecek, ANOVA (Analysis of Variance) tablosu incelenecek ve Regresyon Modeli oluşturulacaktır.

ANOVA, diğer adıyla varyans analizinin geliştirilmesine Ronals Fisher öncülük etmiştir. Varyans analizi, hipotez testi için en sık kullanılan yöntemlerden birisidir. ANOVA çalışmalarında çeşitli girdi faktörlerinin çıktı faktörü üzerindeki etkisi incelenir. (Stahle ve

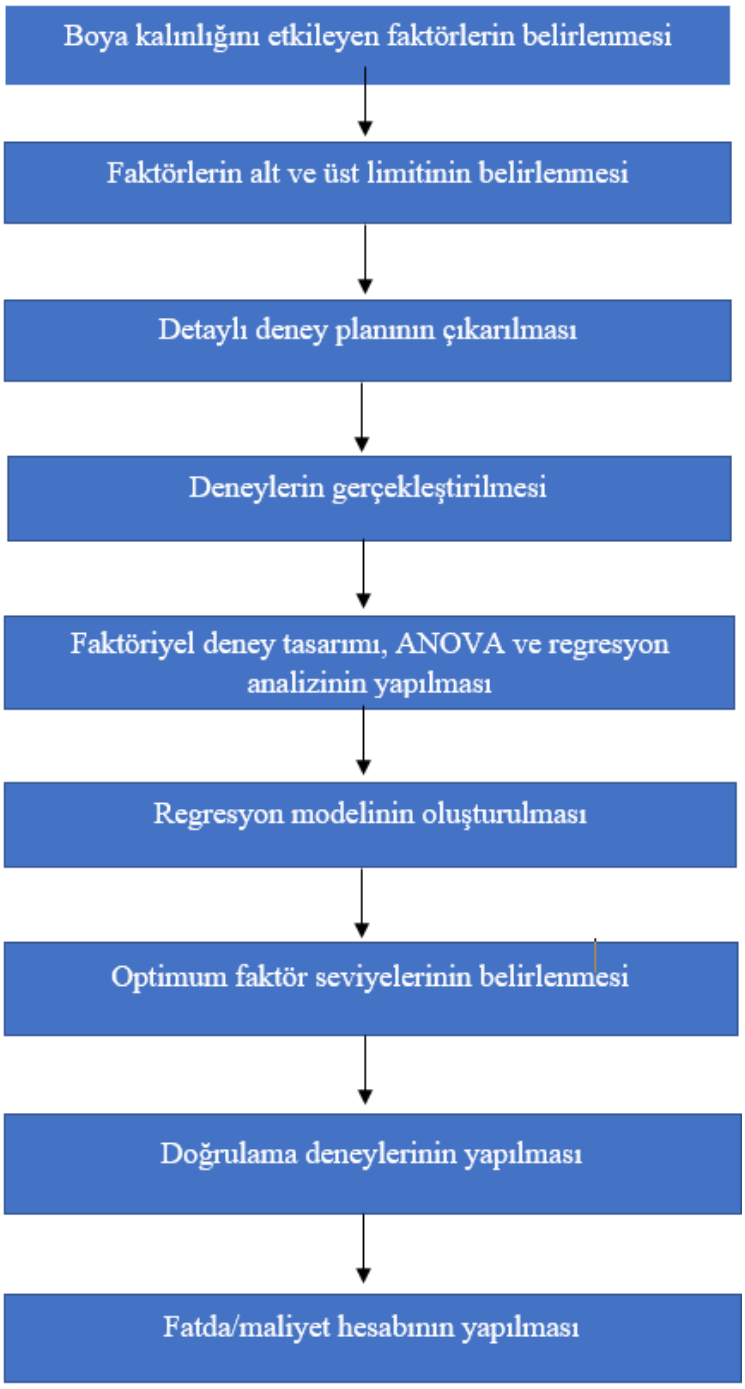
Wold, 1989). Varyans analizlerinde çıktıların yani bağımlı değişkenlerde meydana gelen değişimler, girdi değişkeni yani bağımsız değişkenlerde meydana gelen değişim ile açıklanır. Eğer bağımsız değişken sayısı bir tane ise bu analize tek değişkenli varyans analizi, eğer bağımsız değişken sayısı birden çok ise bu analize çok değişkenli varyans analizi adı verilir. (Biçkici, 2007)

Regresyon analizi yöntemi ile bağımlı değişken ile bağımsız değişkenler arasındaki ilişki ve bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkeni etkisi incelenir. Eğer model için bulunan p değeri, 0.05 den küçük ise bağımsız değişkenin bağımlı değişkeni anlamlı olarak etkilediği yorumlanır. Analizde R^2 değeri incelenir. Bu değer 1'e ne kadar yakınsa modelin o kadar iyi olduğu yorumlanır. (Kılıç, 2013) Regresyon modelinin anlamlılığının test edilmesi için otokorelasyon analizi yapılacaktır. Otokorelasyon analizini yapmak, otokorelasyon var mı yok mu incelemek ve eğer mevcut ise önemli olup olmadığı hakkında yorum yapmak için kullanılan testlerin başında Durbin-Watson testi gelmektedir. (Uysal ve Günay, 2001) Durbin-Watson değeri, 0-4 aralığından bir değerdir. Değer 1.5-2.5 aralığında ise otokorelasyon olmadığı, bunun dışındaki değerlerde ise otokorelasyon olduğu değerlendirmesi yapılabilir. 1.5-2.5 değerlerine yakın durumlara karasız bölge adı verilir ve test sonucunda belirtilen durum yaşanır ise, bu durumda uygulanacak yöntemlerden biri VIF (Variance Inflation Factor) değerlerinin incelenmesidir. Bağımsız değişkenlere ilişkin korelasyon matrisinin tersinin köşegen öğelerine VIF denir. VIF değeri, bağımsız değişkenlerle bağımlı değişkenin ilişkisinin derecesini belirlemek için kullanılır; 10'a eşit veya yüksekse çoklu doğrusal bağlantı problemi mevcuttur. (Büyükuysal ve Öz, 2016). Tüm bu bilgiler ışığında regresyon analizi sonrası Durbin-Watson testi yapılacak, ihtiyaç duyulur ise VIF değerleri analiz edilecektir.

Üstte belirtilen çalışmaların sonunda optimizasyon çalışması yapılıp, değişkenlerin optimum seviyeleri belirlenecektir. Sonrasında değişkenlerin optimum seviyeleri ile deneyler tekrar edilecek ve sonuçlar analiz edilecektir.

Son olarak çalışma kapsamında elde edilen finansal kazanç hesaplanacaktır.

Önerilen modelin ana adımları Şekil 3.1' de gösterilmiştir.



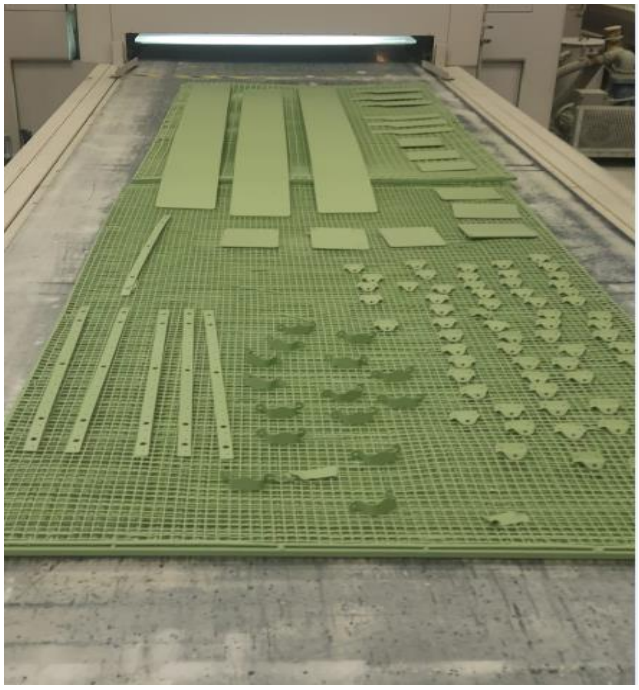
Şekil 3.1 Önerilen Modelin Uygulanmasına İlişkin Akış Şeması

4. UYGULAMA

4.1 Tesisin Çalışma Prensibi

Çalışma kapsamında ele alınan ve deneyleri yapılacağı tesis ülkemizde bulunan Havacılık ve Savunma Sanayi firmalarından birine aittir. Tesiste 6000'den fazla farklı havacılık detay parçasının boya işlemi yapılmaktadır. Günlük ortalama 2000 adetten fazla parça boyanmaktadır. Robot oryantasyonu parçaya göre değişkenlik göstermeyip sabittir. Yani her bir parça için robota ayrı ayrı rotalama çalışması yapılmamaktadır. Bu sebepten ötürü de tesiste kompleks parçaların boyama işlemi gerçekleştirilmemektedir. Prosesin renk değişim sistemi esnek değildir. Bu bağlamda herhangi bir projeye ait parçaların boya süreci planlanacağı zaman, ilgili projenin seri üretim projesi olması ve her boya setinde aynı renk ile boyanabilen olabildiğince fazla parçanın boyanması kritik bir parametre olarak ele alınmaktadır. Tesisin çalışma prensibi kısaca altta belirtildiği gibidir:

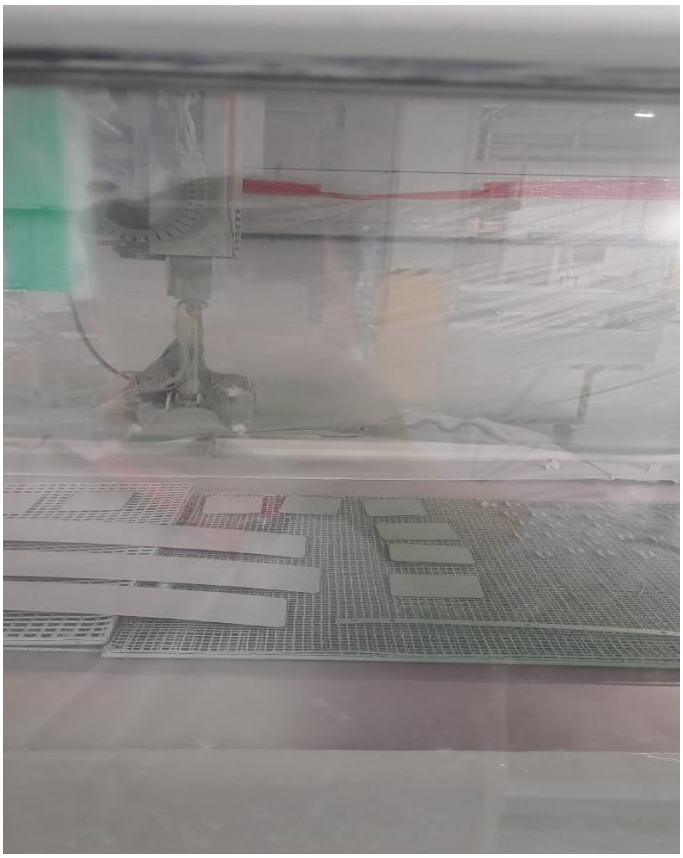
- Uygulanacak boya 2K (2 komponentli boya hazırlama sistemi) sistemi tarafından hazırlanır,
- Aynı boya ile boyanması planlanan hava aracı detay parçaları, Şekil 4.1'de görüldüğü gibi 3,5*4 metre uzunluğundaki aparatın/kartonun üstüne dizilir,
- Dizilme sürecinde kalite hatası yaşanmaması için parçaların birbirine değmemesi sağlanır ve parça aralarında belirli mesafe bırakılır,



Şekil 4.1. Boya Hattına Beslenen ve Üzerinde Parça Bulunan Aparat

- Üzerinde detay parçalar bulunan aparat, konveyör vasıtasıyla boya kabinine beslenir,
- Robotun bulunduğu kabinin girişinde bulunan fotoseller aparatın/kartonun dijital fotoğrafını çeker ve bu bilgiyi boya robotuna gönderir,
- Boya robotu fotosellerden gelen bilgi doğrultusunda aparatı boyamak için hazırlanır,
- Şekil 5'de görüleceği gibi, aparat robotun altından geçerken aparatla/kartonla beraber parçalar boyanır.

Sistemin çalışma prensibi gereği robot fotosellerden gelen bilgi doğrultusunda aparatı/kartonu boyamak için boya püskürtme işlemi yapmaktadır; parçalar aparatın/kartonun üzerinde olduğu için bu süreçte parçalar da boyanmaktadır.



Şekil 4.2. Parçaların Boya Robotu ile Boyanması Süreci

- Parçalar boyanın kürlenmesi amacıyla konveyörler vasıtasıyla boya fırınına beslenir,
- Boya fırını birbirinden bağımsız 40 adet tepsiden oluşmaktadır ve her bir aparat/karton bu 40 adet tepsiden birinin içine konumlanır,
- Boya fırınındaki tepsinin içine konumlanan aparat/kartonun üzerinde bulunan parçaların boyanan yüzeylerinin kürlenme işlemi gerçekleşir,
- Parçaların boyaları kürlendikten sonra, parçaların üzerinde bulunduğu aparat/karton konveyörler vasıtasıyla fırından çıkar,

- Parçalar diğer yüzeylerinin boyanması için ters çevrilir ve tekrar boya tesisine besleme yapılır,
- Parçaların diğer yüzeyleri robot tarafında boyanır,
- Parçalar konveyörlerle tekrar fırına beslenir ve kürlenme gerçekleşir,
- Kürlenme sonrası parçalar fırından çıkar ve eğer son kat boya uygulanmayacak ise toplanır ve kalite istasyonuna gönderilir,
- Parçaların son kat boya işlemi mevcut ise aynı döngü her iki yüzeylerin boyanması için tekrar edilir.

Tesiste 2K (iki komponetli) boya sistemi kullanılmaktadır. Bu sistemlerde boyanın ham malzemelerinden olan reçine ve sertleştirici otomatik olarak 2K sisteminde belirlenen dozajda bir araya gelir ve ardından kısa bir süre sonra boya uygulamaya hazır hale gelir. 2K boya hazırlama sistemlerinin en önemli avantajları, boya hazırlama sürecinin otomatik olması ve buna bağlı olarak çalışanların boyaya maruz kalma sürelerinin çok kısa olması, manuel boya hazırlama sürecinde meydana gelebilecek hatalı karışım vb. kalite hatalarının otomatik sistemlerde olmaması veya riskin çok az olması ve son olarak boya hazırlama için gerekli olan işçilik maliyetinin 2K sistemlerde bulunmamasıdır. Bu sistemin bir dezavantajı olarak viskozite değeri manuel olarak ayarlanamamakta, sistem viskoziteyi belirli bir referans aralığında otomatik olarak ayarlamakta ve ölçmektedir. Manuel sistemlerde olduğu gibi boya karışımına çözücü eklenerek viskozite değerinde ince ayar yapılamamaktadır.

4.2 Faktörler, Faktörlerin Alt / Üst Limitleri

Faktörlerin belirlenmesi amacıyla ilk olarak literatür çalışması yapılmış ve sonrasında tesiste çalışan operatör ve mühendislerle seri toplantılar yapılmıştır. Boya kalınlığı etkileyen faktörler/değişkenler bu iki çalışma sonrasında belirlenmiştir. Faktörlerin belirlenmesinin ardından faktörler, kontrol edilebilen ve edilemeyen faktörler olarak sınıflandırılmıştır. Kontrol edilebilen faktörler için alt ve üst limitler yine ilgili alan çalışanları ile beraber belirlenmiştir.

4.2.1 Kontrol edilemeyen faktörler

Boya kalınlığını etkilediği düşünülen fakat kontrol edilemeyen ya da kontrol etmesi çok maliyetli veya emek isteyen parametreler aşağıda belirtilmiştir.

4.2.1.1 Robotun oryantasyonu/eksen hareketi

Boya robotu yatay ve düzlemsel olarak hareket edebilme kabiliyetine sahip olmakla beraber, tesiste oldukça parçanın aynı anda üretiminin yapılmasından dolayı süreçte robot

sadece yatay eksenli ve sabit hızda kullanılmaktadır. Sadece bazı özel parçalar için (yarı kompleks) düzlemsel eksen de kullanılabilmektedir. Tez kapsamında, ilgili tesiste üretimin büyük çoğunluğunu oluşturan kompleks yüzeye sahip olmayan parçaların boya süreci ele alındığı için, ilgili faktör çalışma kapsamında kontrol edilemeyen faktör olarak ele alınmış ve yapılan deneylerde hızı ve yönünde değişiklik yapılmamıştır.

4.2.1.2 Boya kabininin hava akış hızı

Robotun bulunduğu boya kabininin üst tarafından aşağı yönlü hava akışı mevcuttur. İlgili akışın hızı için sürekli bir takip sistemi tesiste bulunmamaktır ve ihtiyaç haline hava akış hızı bir ölçüm cihazı ile ölçülmektedir. Tesisin tasarım parametresinde belirlenen hava akış hızı çok değişkenlik göstermemekle beraber, değiştirmek istenildiğinde bu işlem hızlıca yapılamamaktadır. Son olarak geçmiş tecrübeler dikkate alındığında hava akış hızının boya kalınlığı üzerinde etkisinin olmadığı veya çok az olduğu ekipçe değerlendirilmiş olup (tesis tasarım parametresinin belirlediği aralıkta kalındığı sürece), ilgili faktör çalışma kapsamında kontrol edilemeyen faktör olarak ele alınmıştır.

4.2.1.3 Boya kabininin nemi

Robotun bulunduğu boya kabininin nemi, müşteriler/tasarımcılar tarafından belirtilen bir aralıkta tutulmaktadır. İlgili parametre, tesis dizaynı gereği bir aralıkta osilasyon hareketi yapmakta olup, herhangi bir seviyede sabit tutulamamaktadır. Ek olarak tesisin geçmişte edindiği tecrübelerde, nemdeki değişimin kalınlık parametresi üzerinde majör bir etkiye sahip olmadığı görülmüştür. Tüm bunlarla beraber, ilgili parametre çalışma kapsamında kontrol edilemeyen faktör olarak ele alınmıştır.

4.2.1.4 Boya tabancasının boyayı atma basıncı

Boya tabancasının boyayı atma basıncı faktörünün boya kalınlığı üzerinde etkisi olduğu değerlendirmekle beraber, ilgili değişkenin tesis tasarımı gereği sürekli ölçümünün yapılamaması, belirtilen parametrenin büyük oranda boya pompasının basıncının değişimi ile doğrusal ve güçlü bir ilişki içerisinde olması, boya pompası basıncının tez kapsamında zaten kontrol edilebilen faktör olarak ele alınma sebepleri göz önüne alınarak ilgili parametre tez kapsamında değiştirilebilir faktör olarak ele alınmamıştır.

4.2.1.5 Boya tabancasının açısı

Boya tabancasının açısının değiştirilmesi için boya robotunun muhtelif ekipmanlarının sökülmesi, açının değişim işleminin manuel yapılması ve değişim sonrası açı değerinin

manuel olarak ölçülmesi gereklilikleri mevcuttur. Bahsedilen işlemler için hem tesisin uzun süre durması gerekmektedir hem de bu süreç işçilik maliyetine yol açmaktadır. Bu durumlar dikkate alındığında, ilgili faktörün çalışma kapsamında değiştirilemez faktör olarak ele alınmasına karar verilmiştir.

4.2.1.6 Boyanın viskozite değeri

Boyanın viskozite değerinin boya kalınlığı üzerinde etkisinin olduğu değerlendirilmekle beraber, ilgili değişkenin 2K sistemlerde manuel olarak ayarlanamaması, viskozite değerinin boya kabin sıcaklığı ile direk ilişkisinin değerlendirilmiş olması ve boya kabin sıcaklığının çalışma kapsamında zaten değiştirilebilir faktör olarak ele alınması konuları göz önüne alınarak ilgili faktörün çalışma kapsamında değiştirilemez faktör olarak ele alınmasına karar verilmiştir.

4.2.2 Kontrol edilebilen faktörler

Boya kalınlığı üzerinde etkisi olduğu düşünülen ve değiştirilebilen, kontrol atında tutulabilen değişkenler kontrol edilebilen faktörler olarak belirlenmiş olup tez kapsamında yapılacak çalışma kapsamına dahil edilmiştir. Bu faktörler ve açıklamaları alt tarafta belirtilmiştir.

4.2.2.1 Boya robotu ile boyanan parça arasındaki uzaklık

Boyanacak parça ile boya robotunun tabancasının arasındaki mesafedir. Operatörler tarafından ayarlanabilmektedir. Uzaklığın artması ya da azalması, boya robotundan çıkan boyanın parça üzerine ulaşma süresi ve boyanın parçaya ulaştığındaki paterni üzerinde etkili olduğu için, ilgili faktörün boya kalınlığı üzerinde etkisinin mevcut olduğu değerlendirilmiştir. İlgili alandaki operatörler ve mühendislerle yapılan görüşmelerde; üretim sürecinde parametrenin 160 mm ve 200 mm arasında bir değere ayarlandığı, değişkenin bu aralığın altına ya da üstünde olduğu durumlarda parçaların boyama süreci sonrası kalite hataları (akıntı, ince / kalın boya vb.) gözlemledikleri belirtilmiştir. Bu bağlamda güvenli aralık olarak alt limit 160 mm, üst limit ise 200 mm olarak belirlenmiştir.

Şekil 4.3. Boya Robotu ile Parça Arası Uzaklık

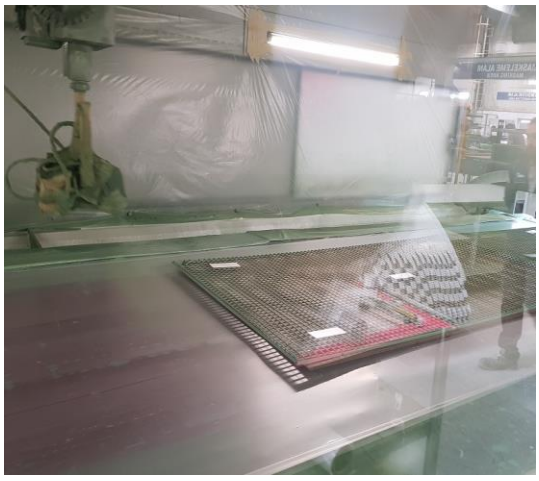
4.2.2.2 Boya pompasının basıncı

Boyanın boya hazırlama sisteminden robota, robottan da parçaya ulaşabilmesi için boya pompası kullanılmaktadır. Boya pompasının basıncının değiştirilmesine bağlı olarak boya robotuna ulaşan boyanın miktarı artacağı ya da azalacağı için ilgili faktörün boya kalınlığı üzerinde etkili olduğu değerlendirilmiştir. İlgili faktörün daha önce yapılan muhtelif denemelerde 0,5-1,2 psi arasında ayarlandığı, bu değerlerin üzerine çıkıldığında ya da altına inildiğinde kalite hataları alındığı tesis çalışanlarınca belirtilmiştir. Bu bağlamda basınç için alt limit değeri 0,5 psi, üst limit değeri ise 1,2 psi olarak belirlenmiştir.

Şekil 4.4. Boya Pompa Basıncı

4.2.2.3 Boyanan parçanın taşındığı konveyörün hızı

Parçalar sisteme bir konveyör vasıtasıyla beslenmektedir. Konveyör hızı ayarlanabilmektedir. Robot oryantasyonu sabit olduğu için konveyör hızının artması ya da azalması, parçanın robot altından geçerken geçirdiği süreye etki yaptığı için boya kalınlığı üzerinde etkili olduğu değerlendirilmektedir. Yine diğer parametrelerde olduğu gibi kalite hataları yaşamamak adına daha önce ilgili alan operatörleri tarafından tecrübe edilen değerler dikkate alınarak konveyör hızı için alt limit 3 metre/dakika, üst limit ise 3,5 metre/dakika olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.5. Boyanan Parçanın Taşındığı Konveyör

4.2.2.4 Boyanın sıcaklığı

Uygulanan boya sıcaklığı, boyanın bulunduğu kabinin sıcaklığı değiştirilerek artırılabilmekte ya da azaltılabilmektedir. Boya sıcaklığı, boyanın viskozitesini ve akış hızını etkilediği için boya kalınlığı üzerinde etkili bir parametre olarak değerlendirilmiştir. Müşteri teknik dokümanlarında boya sıcaklığı için alt ve üst limitler verilmiştir ve bu dokümanlar dikkate alınarak alt limit 19 ºC ve üst limit olarak da 25 ºC olarak belirlenmiştir.

Şekil 4.6. Boya Kazanlarının Bulunduğu Kabin

4.2.2.5 Boya kabininin sıcaklığı

Boya kabin sıcaklığının değişmesi, boya robotundan çıkan ve parçaya düşen boya taneciklerinin yapısını etkileyeceği için, bu parametrenin boya kalınlığı üzerinde etkili olduğu değerlendirilmiştir. Genel olarak boya tesislerinde müşteri ya da boya üreticisi firmalar tarafından boya kabinlerinin sıcaklık değerleri (alt/üst limit) belirlenmektedir. Çalışma kapsamında boyanan parçalar için kabin sıcaklığının alt ve üst limitleri müşteri tarafından belirtilen değerler baz alınarak 15 – 35 ºC olarak belirlenmiştir.

4.2.2.6 Boya tabancası meme çapı

Boyanın boya robotundan çıktığı bölgedeki boya tabancasının ucunda tabanca memesi bulunmaktadır. Çapının değişmesi robottan çıkan boyanın miktarı ve paternini değiştireceğinden boya kalınlığı üzerinde etkili olduğu değerlendirilmiştir. Tesiste 2 adet tabanca memesi kullanılmaktadır; 0,6 mm iç çaplı ve 0,9 mm iç çaplı tabanca memeleri. Her

ikisi de tesisi kuran firma tarafından önerilmiştir ve aktif olarak kullanılmaktadır. Bu bağlamda boya tabancası meme çapı için bu iki değişken alt ve üst limit olarak belirlenmiştir.

Şekil 4.7. Boya Tabanca Memesi

Tablo 4.1. Faktörlerin Alt ve Üst Limitleri

Faktör	Alt Limit	Üst Limit	Birim	Açıklama
Boya robotu ile boyanan parça arasındaki uzaklık	160	200	mm	Daha önce yapılan uygulamalarda 160 mm altında ve 200 mm üstünde kalite muhtelif hataları tesis çalışanları tarafından gözlemlenmiştir. Güvenli aralık olarak 160-200 mm seçilmiştir.
Boya pompasının basıncı (Set değeri)	0,5	1,2	psi	Tesis çalışanları tarafından daha önce yapılan uygulamalarda belirtilen aralığın dışında kalite hataları gözlemlendiği bildirilmiştir.
Boyanan parçanın taşındığı konveyörün/bantın hızı	3	3,5	m/min	Tesis çalışanları tarafından daha önce yapılan uygulamalarda belirtilen aralığın dışında kalite hataları gözlemlendiği bildirilmiştir.
Boyanın sıcaklığı	19	25	°C	Müşterinin ilgili dökümanı sıcaklık değerinin 25 °C den küçük olması gerekliliğini belirtmektedir. Tesis çalışanları tarafından da tecrübelere göre 19 °C nin altında kalite hataları ortaya çıktığı bildirilmiştir.
Boya kabininin sıcaklığı,	15	35	°C	Değerler müşteri tarafından bildirilen gereksinimlerdir.
Boya tabancası meme çapı.	0,6	0,9-	mm	Tesiste 2 farklı meme çapı kullanılmaktadır. Bunlar tesisi kuran firma tarafından önerilmiştir.

Tablo 4.1'de görüleceği üzere, bazı faktörlerin alt ve üst limiti direk olarak müşteri isteklerinden gelmekle beraber, bazılarının ki ise alanda daha önceden edinilen tecrübelere binaen ortaya belirlenmiştir.

4.3 Deney Planı

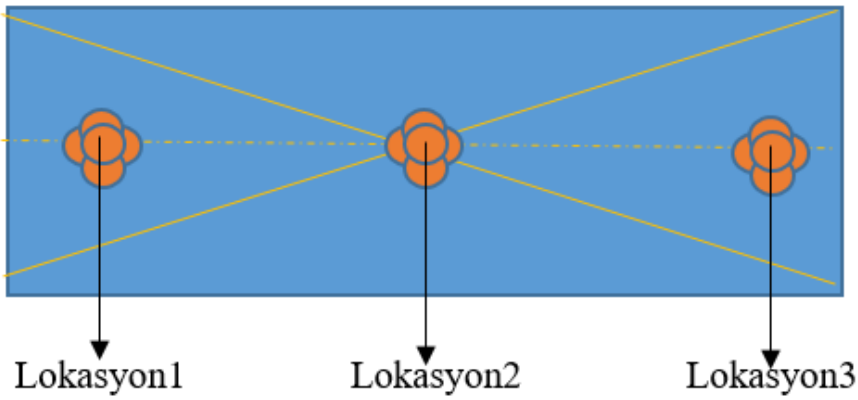
Deney sayısının belirlenmesi için 2^{n-3} faktöriyel deney tasarımı kullanılmıştır. Ve formül kullanılarak gerekli deney sayısı ortaya çıkarılmıştır.

$f(x) = 2^{n-3}$
n: Faktör sayısı
$n = 6$
$f(x) = 2^{6-3} = 8$

Faktöriyel deney tasarımı sonucunda 8 farklı deneyin yapılması sonucu ortaya çıkmıştır. Yapılacak deneyler sonrasında yine aynı 8 adet parametre seti için testler tekrar edilecek olup, toplamda 16 adet deney yapılması planlanmıştır.

Deneylerin sıralaması için Minitab Programı kullanılacaktır. Her bir deney öncesinde ilk olarak boş bir adet aparat/karton boyanacaktır. Bunun nedeni değişkenler ayarlandıktan sonra ilk aparatın/kartonun boyanması sürecinde tesisin rejime girmesi beklenecektir. İkinci aparatla/kartonla beraber parçalar da boyanacaktır.

Her bir aparatta 10 adet parça boyanacaktır. Müşteri isterleri doğrultusunda her bir parçanın 3 farklı yerinden kalınlık ölçümü sağlanacaktır. Boyanan parçaların, müşterinin belirttiği kalınlık referans aralığına girip girmediğinin kontrol edilebilmesi için parçanın tek bir yerinden kalınlık değeri alıp kontrol etmek yeterli olmamaktadır. Parçanın bir bölgesindeki kalınlık değeri isterlerin içerisinde kalabilirken başka bir bölgesindeki değer isterlerin dışında kalabilmektedir. Bu bağlamda boya kalınlık değerinin parça üzerinde homojen bir şekilde uygun olarak dağılıp dağılmadığını analiz edebilmek için 3 farklı yerden ölçüm alınacaktır. Bu ölçümlerden ilki boyanan parçanın orta kısmından alınacak; diğer iki değer ise parçaların uç kısımlarına olabildiğince yakın yerlerden (ölçümün sağlıklı yapılabildiği en yakın yerden) yapılacaktır. Şekil 4.8'de ölçüm yapılacak yerler gösterilmiştir.

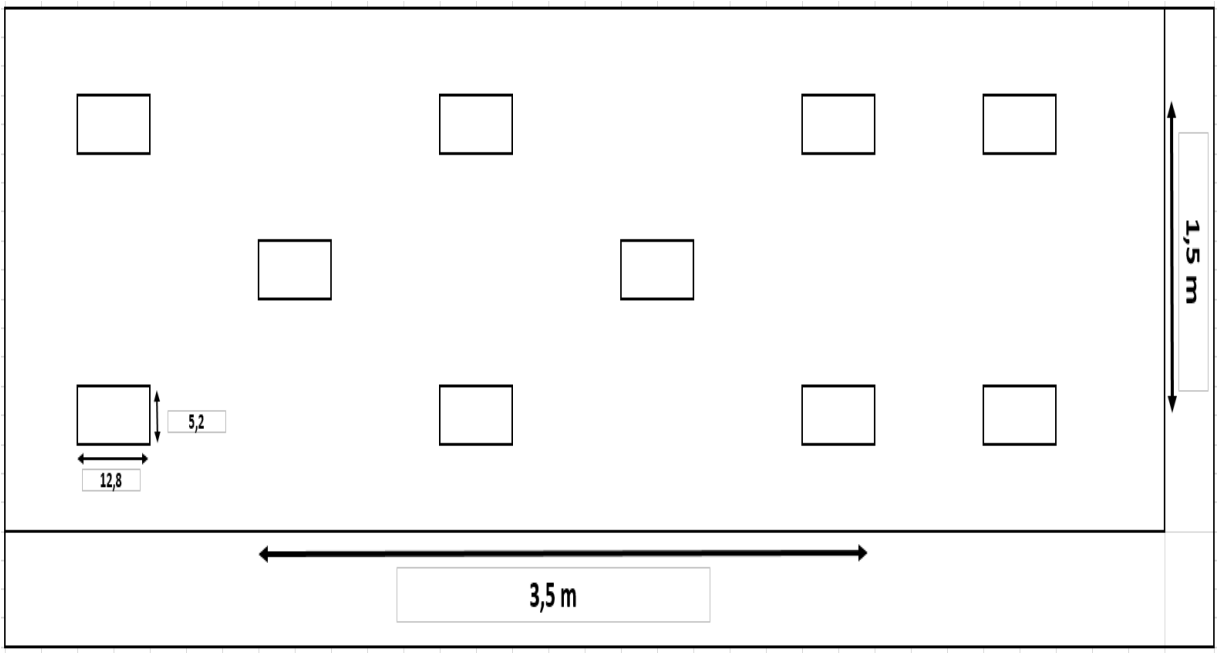


Şekil 4.8. Kalınlık Ölçüm Lokasyonları

Kalınlık ölçümü yapılırken ölçüm hatası meydana gelmemesi için, her bir ölçüm 5'er kez tekrar edilecektir. Böylelikle hem cihazın anlık verebileceği hatalı ölçüm sonuçlarının hem de ölçümü yapan personel kaynaklı oluşabilecek hataların önüne geçilebileceği değerlendirilmektedir.

Özetle 1 deney sırasında:

- İlk olarak 1 adet boş aparat/karton boyanacaktır; bu süreçte tesisin rejime girmesi sağlanacaktır,
- Sonrasında aparat/karton üzerinde bulunan 10 adet parça tesisin çalışma prensibinde bahsedilen proses eşliğinde boyanacaktır,
- Boyanan parçaların boyalarının fırında kürlenmesi sağlanacaktır,
- Kürlenme sonrası parçalar kalite istasyonuna getirilecek ve her bir parçadan 15 kez ölçüm alınacaktır, (3 farklı yerden 5 er kez tekrarlanan ölçümler)
- Toplamda bir deney sırasında 150 adet kalınlık ölçümü yapılacaktır,
- 16 adet deneyle beraber tüm deneyler tamamlandığında toplamda 2400 veri elde edilecektir.



Şekil 4.9. Parçaların Aparat Üzerine Dizilmesi

Deneyler sırasında kullanılacak olan parça büyüklükleri ise 5,2*12,8 cm olarak belirlenmiş ve malzeme maliyeti yaşanmaması için hurda edilmiş malzemelerin belirtilen ölçülerde kestirilmesi ve deneylerde kullanılması planlanmıştır. Kesimi yapılan Alüminyum parçaların, normal parçaların prosesinde olduğu gibi kimyasal işleme (anodize) tabi tutulması ve böylelikle deney sürecinde kullanılacak parçaların boya için hazır hale getirilmesi planlanmıştır. Boya prosesi sonrası kalınlık ölçümünde kullanılacak cihaz Şekil 4.10'da gösterilmiştir.

Şekil 4.10. Positector 6000 Kalınlık Ölçüm Cihazı

Minitab Programı kullanılarak deney planı Tablo 4.2'de gösterildiği gibi oluşturulmuştur.

Tablo 4.2. Deney Planı

Deney Planı							
StdOrder	RunOrder	Robot Parça Arası Uzaklık (mm)	Basınç (bar)	Bant Hızı (m/dk)	Boya Sıcaklığı (°C)	Kabin Sıcaklığı (°C)	Meme Çapı (mm)
15	1	160	1,2	3,5	19	15	0,9
9	2	160	0,5	3,0	25	35	0,9
6	3	200	0,5	3,5	19	35	0,6
11	4	160	1,2	3,0	19	35	0,6
1	5	160	0,5	3,0	25	35	0,9
8	6	200	1,2	3,5	25	35	0,9
16	7	200	1,2	3,5	25	35	0,9
2	8	200	0,5	3,0	19	15	0,9
12	9	200	1,2	3,0	25	15	0,6
5	10	160	0,5	3,5	25	15	0,6
3	11	160	1,2	3,0	19	35	0,6
4	12	200	1,2	3,0	25	15	0,6
10	13	200	0,5	3,0	19	15	0,9
14	14	200	0,5	3,5	19	35	0,6
7	15	160	1,2	3,5	19	15	0,9
13	16	160	0,5	3,5	25	15	0,6

Tablo 4.2'de görüldüğü üzere plan dahilinde 16 adet deney gerçekleştirilmiştir.

4.4 Deney Sonuçları

Deneyler planlandığı gibi gerçekleştirilmiş ve yine planlandığı gibi her bir deneyde 10 adet parça boyanmış, boyanan her bir parçanın 3 farklı bölgeden 5 er kez kalınlığı

ölçülmüştür. Sonuçların analiz sürecinde problem oluşturmaması için deneyler aynı ekipler tarafından gerçekleştirilmiş ve yine kalınlık ölçümleri de aynı ekipler tarafından yapılmıştır.

Yapılan deneyler sonucu elde edilen 2400 adet veri ve deney numaraları Tablo 4.3'de gösterilmiştir.

Tablo 4.3. Deney Sonuçları

DENEY SONUÇLARI (mikron)																
TEST NO	Parça No	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5
1	1	52	54	56	54	49	48	56	49	56	52	49	51	53	54	54
	2	56	54	58	54	54	58	58	58	52	56	56	54	54	58	58
	3	51	58	56	52	56	55	58	58	55	58	56	57	54	57	56
	4	54	52	57	55	58	55	56	56	58	58	58	58	56	57	56
	5	56	52	55	58	57	56	56	58	55	58	59	52	59	54	56
	6	52	55	57	56	52	58	55	54	58	58	55	58	58	55	55
	7	56	54	52	53	57	56	55	54	55	58	52	55	58	55	58
	8	56	58	54	56	52	54	55	58	56	55	58	55	58	58	54
	9	56	55	54	53	54	58	58	58	56	58	57	58	55	56	55
	10	52	54	56	52	53	56	54	58	56	58	52	58	58	58	55
2	1	21	23	24	24	23	23	21	24	23	25	23	23	23	23	23
	2	20	21	21	20	22	22	22	20	20	23	21	23	21	23	20
	3	24	21	22	20	22	20	24	24	21	21	22	24	21	22	23
	4	18	20	19	19	18	19	18	19	20	20	19	20	21	21	19
	5	16	18	19	21	20	18	20	21	19	20	20	21	21	20	19
	6	22	19	21	21	21	19	21	23	21	22	22	21	22	23	23
	7	20	19	22	20	20	21	20	22	19	21	22	20	21	22	21
	8	20	19	22	23	22	21	23	22	22	23	24	22	24	25	23
	9	21	20	19	19	21	22	21	21	20	20	21	20	21	20	21
	10	20	21	21	20	20	20	20	23	21	19	23	21	21	21	20
3	1	11	10	11	10	12	11	09	11	9	9	13	13	9	11	9
	2	9	8	7	10	8	9	8	9	9	9	11	9	9	9	7
	3	11	14	17	14	16	12	16	14	13	14	13	14	14	14	12
	4	12	12	12	16	14	16	12	14	12	12	14	11	14	16	12
	5	12	12	12	11	11	14	12	12	12	10	14	13	12	13	13
	6	9	11	11	12	10	12	7	10	14	14	13	10	12	15	14
	7	12	11	13	9	12	12	14	14	8	13	10	14	13	12	14
	8	12	12	14	9	14	14	8	14	13	10	12	13	12	9	14
	9	16	10	12	14	13	12	11	15	10	12	14	17	15	12	15
	10	17	13	13	8	14	10	15	11	13	14	17	13	14	13	16
4	1	31	31	28	28	28	27	26	27	25	26	29	31	28	27	30
	2	27	28	28	27	26	29	27	28	28	30	29	28	27	29	30
	3	29	26	26	29	28	26	29	30	31	26	30	30	29	30	24

	4	30	30	27	29	26	31	29	26	26	29	27	26	26	26	27
	5	27	26	26	26	27	23	26	26	29	27	31	29	30	26	24
	6	26	26	26	26	26	28	26	29	26	26	26	27	26	25	25
	7	29	28	26	29	29	26	25	26	26	26	26	25	27	26	26
	8	25	28	25	27	31	24	27	26	24	27	26	24	28	28	29
	9	25	26	26	26	27	29	28	30	27	26	26	28	28	28	28
	10	28	30	29	25	28	26	28	27	26	26	27	26	26	27	26
5	1	19	20	23	19	19	21	21	23	19	20	21	23	21	23	20
	2	20	22	23	19	22	19	23	22	19	23	22	19	20	22	19
	3	19	24	19	19	19	22	21	20	20	23	24	24	23	21	22
	4	19	21	20	19	19	18	19	20	20	18	20	21	19	21	20
	5	16	19	22	20	20	18	23	22	20	18	22	22	19	19	20
	6	21	20	19	22	19	23	20	20	21	23	22	19	23	23	20
	7	20	20	19	20	18	19	20	19	19	22	23	23	23	23	20
	8	14	19	24	24	20	22	22	22	19	20	19	23	19	22	22
	9	22	19	22	20	19	21	20	21	20	22	23	19	23	19	23
	10	21	19	21	22	19	20	22	22	21	22	21	23	19	23	20
6	1	38	38	38	39	40	36	38	37	39	40	38	37	37	38	39
	2	41	42	40	40	39	41	41	41	41	42	38	41	37	37	39
	3	50	49	47	47	48	47	49	49	49	52	49	52	52	52	50
	4	41	42	40	38	39	41	41	40	41	41	42	44	43	42	42
	5	47	43	48	48	46	44	45	45	46	47	46	47	46	48	49
	6	45	45	47	46	45	45	48	47	46	46	47	46	44	44	46
	7	45	46	43	47	45	44	42	45	46	46	42	45	43	46	42
	8	46	44	46	47	43	44	43	43	42	42	40	43	41	43	41
	9	47	44	46	47	46	49	49	48	43	48	48	46	47	47	46
	10	46	47	46	47	46	44	46	44	43	46	42	43	42	43	43
7	1	41	37	41	38	41	38	37	40	37	41	37	40	38	40	39
	2	38	40	42	37	42	40	41	40	41	38	38	41	41	40	39
	3	41	38	42	48	41	45	39	49	51	40	49	41	52	52	38
	4	38	41	41	42	45	39	40	39	41	39	41	41	45	39	41
	5	47	41	48	39	47	45	39	45	41	49	45	41	41	39	45
	6	47	45	44	44	46	46	46	47	44	43	41	45	46	46	42
	7	45	46	43	47	45	44	42	45	46	43	42	45	43	46	42
	8	46	43	44	48	43	41	42	45	46	40	44	45	49	45	42
	9	46	44	45	45	46	42	48	47	46	48	41	47	49	42	49
	10	45	46	45	43	45	46	45	46	42	48	41	47	48	44	47
8	1	28	28	30	28	29	28	26	32	29	32	32	30	33	32	32
	2	27	28	29	30	30	29	28	27	32	32	28	32	30	32	30
	3	27	31	30	26	32	29	29	29	28	28	29	33	29	28	29
	4	30	31	30	32	27	32	32	30	30	29	32	30	28	31	32
	5	34	32	29	26	32	30	30	28	28	30	30	29	29	28	30
	6	31	29	30	30	32	32	29	32	28	31	28	31	32	28	32

	7	27	30	30	26	27	29	28	28	29	28	29	27	28	29	28
	8	30	28	28	27	26	32	28	30	27	29	27	30	31	28	30
	9	28	29	26	29	29	28	28	28	32	28	29	30	27	28	32
	10	26	26	28	29	27	29	30	32	29	28	30	28	30	30	30
9	1	46	49	50	50	50	48	49	50	52	52	49	48	48	50	49
	2	54	54	56	56	54	50	52	50	52	54	56	52	54	54	52
	3	48	48	45	47	52	48	52	50	46	47	50	52	54	52	54
	4	49	50	50	52	52	48	52	48	48	50	52	52	52	49	48
	5	50	46	49	52	52	48	52	49	46	47	52	47	46	50	49
	6	52	52	50	52	50	50	52	52	50	48	49	46	48	47	48
	7	52	50	52	52	49	49	50	49	48	49	45	46	46	45	46
	8	50	54	54	52	50	50	54	56	50	54	52	50	52	54	54
	9	54	52	54	54	52	52	50	54	50	50	54	52	52	52	52
	10	58	46	48	45	48	52	47	48	50	50	49	48	50	48	49
10	1	22	22	25	26	24	23	23	22	24	22	20	23	23	23	24
	2	22	25	22	20	21	23	23	23	22	22	21	24	25	25	24
	3	21	24	23	26	20	22	21	21	21	23	23	21	23	21	21
	4	21	20	18	23	22	22	21	20	19	22	25	19	25	19	23
	5	23	24	22	23	23	22	23	22	23	23	23	23	21	22	21
	6	21	21	21	17	22	17	19	22	18	20	20	18	19	22	22
	7	19	22	23	25	27	24	25	26	24	26	24	22	22	21	24
	8	23	23	25	24	25	21	22	20	23	23	21	23	22	21	21
	9	20	20	22	20	22	19	21	22	21	21	24	20	20	24	24
	10	24	22	22	22	25	21	20	20	20	22	23	22	22	22	23
11	1	24	26	28	28	30	25	27	27	25	25	30	20	25	29	29
	2	27	28	25	27	26	25	27	29	28	25	28	25	24	29	28
	3	28	24	26	29	24	26	25	23	28	30	29	28	28	25	25
	4	30	30	26	26	31	30	31	26	25	29	29	29	25	25	24
	5	27	26	24	24	24	25	25	25	23	25	26	29	26	25	23
	6	26	26	29	29	25	28	25	25	28	26	25	24	28	26	23
	7	29	25	25	27	26	26	26	27	28	29	24	29	29	26	28
	8	25	25	29	25	31	24	26	28	26	29	30	30	26	30	30
	9	23	25	30	29	27	26	26	31	25	28	29	29	29	26	29
	10	30	30	29	25	26	29	31	27	26	26	26	26	26	30	27
12	1	52	50	52	52	54	49	52	50	50	50	47	52	50	47	48
	2	50	50	49	49	51	51	52	54	54	50	49	52	54	49	52
	3	52	54	54	52	54	52	51	54	54	52	49	50	52	52	51
	4	52	52	54	52	50	54	54	53	54	52	50	52	50	52	52
	5	52	50	52	50	52	54	54	54	53	54	52	52	50	51	51
	6	47	49	49	52	49	50	48	48	50	48	49	49	52	48	50
	7	50	50	50	50	52	52	49	48	52	49	47	48	45	47	49
	8	54	54	49	52	48	51	50	50	49	50	54	49	49	52	51
	9	50	49	46	49	48	48	52	50	49	50	47	48	48	48	52

	10	44	43	45	45	42	46	45	44	44	46	47	43	45	42	42
13	1	26	28	26	26	28	24	28	24	29	32	28	30	28	29	26
	2	26	24	25	26	24	28	25	26	28	25	28	28	26	30	28
	3	28	25	29	26	30	29	28	32	30	28	29	26	28	30	28
	4	28	26	27	27	32	28	28	28	27	28	28	29	30	30	27
	5	32	32	27	26	28	29	30	29	25	29	29	29	30	28	30
	6	30	29	29	27	30	29	32	30	30	28	28	29	30	29	30
	7	29	26	30	28	27	28	29	28	28	30	30	30	30	30	32
	8	29	26	28	30	28	28	28	29	31	27	30	28	30	28	27
	9	28	30	30	29	31	29	26	28	29	30	29	29	29	32	30
	10	28	26	28	26	30	30	28	30	28	28	28	29	30	31	29
14	1	11	12	10	9	8	12	13	12	10	9	11	10	13	10	11
	2	12	7	8	11	7	11	7	7	13	9	9	11	9	12	8
	3	10	8	13	13	15	11	11	13	10	13	9	7	10	9	12
	4	12	10	11	12	13	13	9	13	10	10	9	10	13	9	14
	5	10	12	7	11	10	13	10	8	10	12	12	9	9	13	14
	6	9	7	9	9	10	12	11	12	8	10	14	13	13	10	14
	7	10	13	10	10	10	12	13	12	12	12	14	10	10	13	13
	8	12	9	13	9	13	10	8	12	12	12	13	12	11	8	9
	9	16	11	13	11	13	10	9	12	10	12	13	8	9	12	9
	10	10	13	9	9	14	12	12	12	8	14	13	9	13	12	9
15	1	56	54	54	57	59	59	58	57	62	61	59	60	58	30	60
	2	62	52	53	55	59	58	60	59	54	60	54	58	60	58	61
	3	58	57	59	56	61	61	56	59	58	61	61	58	58	63	58
	4	55	55	59	54	55	58	56	61	58	57	59	56	58	56	57
	5	59	58	58	60	56	59	59	58	60	59	63	60	62	59	58
	6	61	60	59	58	59	59	58	61	57	58	58	58	56	57	59
	7	56	56	58	61	59	58	58	60	58	57	57	59	58	59	58
	8	57	54	61	62	59	57	59	57	57	54	59	57	58	58	58
	9	58	61	60	57	58	58	58	60	55	59	59	59	57	59	59
	10	57	61	56	54	58	59	58	55	59	58	59	61	59	58	59

4.5 Normal Dağılım Analizi

Elde edilen sonuçlar doğrultusunda tüm bağımlı değişkenler ve bağımsız değişken için normal dağılım analizi yapılmıştır. Normal dağılım analizi için SPSS programı kullanılmıştır. Her bir değişken için Skewness ve Kurtosis (çarpıklık ve basıklık) değerleri incelenmiştir. Analiz yapılan değişkenler aşağıda belirtilmiştir.

Bağımsız Değişkenler:

A: Boya robotu ile boyanan parça arasındaki uzaklık

B: Boya pompasının basıncı

C: Boyanan parçanın taşındığı konveyörün/bantın hızı

D: Boyanın sıcaklığı

E: Boya kabininin sıcaklığı

F: Boya tabancası meme çapı

Bağımlı Değişken:

Y: Boya kalınlığı

4.5.1 Boya robotu ile boyanan parça arasındaki uzaklık değişkeni için normal dağılım analizi

SPSS Programı kullanılarak boya robotu ile boyanan parça arasındaki uzaklık değişkeni için normal dağılım varsayımı analizi yapılmıştır. Analiz sonucu Tablo 4.4'de gösterilmiştir.

Tablo 4.4. Boya Robotu ile Boyanan Parça Arasındaki Uzaklık Değişkeni İçin Normal Dağılım Analizi

Descriptives				
			Statistic	Std. Error
A	Mean		180,00	,408
	95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	179,20	
		Upper Bound	180,80	
	5% Trimmed Mean		180,00	
	Median		180,00	
	Variance		400,167	
	Std. Deviation		20,004	
	Minimum		160	
	Maximum		200	
	Range		40	
	Interquartile Range		40	
	Skewness		,000	,050
	Kurtosis		-2,000	,100

Tablo 4.4 incelendiğinde, çarpıklık ve basıklık değerlerinin (Skewness & Kurtosis) +-2 aralığında olduğu görülmektedir. Bu durum dikkate alındığında boya robotu ile boyanan parça arasındaki uzaklık değişkeni verilerinin normal dağıldığı varsayımı yapılabilmektedir.

4.5.2 Boya pompasının basıncı değişkeni için normal dağılım analizi

SPSS Programı kullanılarak boya pompasının basıncı değişkeni için normal dağılım varsayımı için analiz yapılmıştır. Analiz sonucu aşağıdaki Tablo 4.5'de gösterilmiştir.

Tablo 4.5. Boya Pompasının Basıncı Değişkeni İçin Normal Dağılım Analizi

Descriptives				
			Statistic	Std. Error
B	Mean		,850	,0071
	95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	,836	
		Upper Bound	,864	
	5% Trimmed Mean		,850	
	Median		,850	
	Variance		,123	
	Std. Deviation		,3501	
	Minimum		,5	
	Maximum		1,2	
	Range		,7	
	Interquartile Range		,7	
	Skewness		,000	,050
	Kurtosis		-2,000	,100

Tablo 4.5 incelendiğinde boya pompasının basıncı değişkeni için çarpıklık ve basıklık değerlerinin (Skewness & Kurtosis) +-2 aralığında olduğu görülmektedir. Bu durum dikkate alındığında, ilgili değişken için verilerin normal dağılım sağladığı varsayımı yapılabilmektedir.

4.5.3 Boyanan parçanın taşındığı konveyörün/bantın hızı değişkeni için normal dağılım analizi

SPSS Programı kullanılarak boyanan parçanın taşıdığı konveyörün/bantın hızı değişkeni için normal dağılım varsayımı analizi yapılmıştır. Analiz sonucu aşağıdaki Tablo 4.6' da gösterilmiştir.

Tablo 4.6. Boyanan Parçanın Taşındığı Konveyörün/Bantın hızı Değişkeni İçin Normal Dağılım Analizi

Descriptives				
			Statistic	Std. Error
C	Mean		3,250	,0051
	95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	3,240	
		Upper Bound	3,260	
	5% Trimmed Mean		3,250	
	Median		3,250	
	Variance		,063	
	Std. Deviation		,2501	
	Minimum		3,0	
	Maximum		3,5	
	Range		,5	
	Interquartile Range		,5	
	Skewness		,000	,050
	Kurtosis		-2,000	,100

Tablo 4.6 incelendiğinde boyanacak parçanın taşındığı bantın/konveyörün hızı değişkeni için çarpıklık ve basıklık değerlerinin +-2 aralığında olduğu görülmektedir. Bu durum dikkate alındığında boyanacak parçanın taşındığı bantın/konveyörün hızı değişkeni için verilerin normal dağılım sergilediği varsayımı yapılabilmektedir.

4.5.4 Boyanın sıcaklığı değişkeni için normal dağılım analizi

SPSS Programı kullanılarak boyanın sıcaklığı değişkeni için normal dağılım varsayımı analizi yapılmıştır. Analiz sonucu aşağıdaki Tablo 4.7'de gösterilmiştir.

Tablo 4.7. Boyanın Sıcaklığı Değişkeni İçin Normal Dağılım Analizi

Descriptives				
			Statistic	Std. Error
D	Mean		22,031	,0548
	95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	21,924	
		Upper Bound	22,139	
	5% Trimmed Mean		22,035	
	Median		22,000	
	Variance		7,206	
	Std. Deviation		2,6845	
	Minimum		19,2	
	Maximum		24,8	
	Range		5,6	
	Interquartile Range		5,4	
	Skewness		-,001	,050
	Kurtosis		-1,994	,100

Tablo 4.7 incelendiğinde boyanın sıcaklığı değişkeni için çarpıklık ve basıklık değerlerinin +-2 aralığında olduğu görülmektedir. Bu durum dikkate alındığında boyanın sıcaklığı değişkeni için verilerin normal dağılım sergilediği varsayımı yapılabilmektedir.

4.5.5 Boya kabininin sıcaklığı değişkeni için normal dağılım analizi

SPSS Programı kullanılarak boya kabininin sıcaklığı değişkeni için normal dağılım varsayımı analizi yapılmıştır. Analiz sonucu aşağıdaki Tablo 4.8'de gösterilmiştir.

Tablo 4.8. Boya Kabininin Sıcaklığı Değişkeni İçin Normal Dağılım Analizi

Descriptives				
			Statistic	Std. Error
E	Mean		25,125	,1950
	95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	24,743	
		Upper Bound	25,507	
	5% Trimmed Mean		25,139	
	Median		25,150	
	Variance		91,259	
	Std. Deviation		9,5529	
	Minimum		15,2	
	Maximum		34,8	
	Range		19,6	
	Interquartile Range		19,1	
	Skewness		,000	,050
	Kurtosis		-2,000	,100

Tablo 4.8 incelendiğinde boya kabininin sıcaklığı değişkeni için çarpıklık ve basıklık değerlerinin +-2 aralığında olduğu görülmektedir. için verilerin normal dağıldığı varsayılabilir. Bu durum dikkate alındığında boya kabini değişkeni için verilerin normal dağılım sergilediği varsayımı yapılabilmektedir.

4.5.6 Boya tabancası meme çapı değişkeni için normal dağılım analizi

SPSS Programı kullanılarak boya tabancası meme çapı değişkeni için normal dağılım varsayımı için analiz yapılmıştır. Analiz sonucu aşağıdaki Tablo 4.9'da gösterilmiştir.

Tablo 4.9. Boya Tabancası Meme Çapı Değişkeni İçin Normal Dağılım Analizi

Descriptives				
			Statistic	Std. Error
F	Mean		,750	,0031
	95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	,744	
		Upper Bound	,756	
	5% Trimmed Mean		,750	
	Median		,750	
	Variance		,023	
	Std. Deviation		,1500	
	Minimum		,6	
	Maximum		,9	
	Range		,3	
	Interquartile Range		,3	
	Skewness		,000	,050
	Kurtosis		-2,000	,100

Tablo 4.9 incelendiğinde boya tabancası meme çapı değişkeni için çarpıklık ve basıklık değerlerinin +-2 aralığında olduğu görülmektedir. Bu durum dikkate alındığında boya tabancası meme çapı değişkeni için verilerin normal dağılım sergilediği varsayımı yapılabilmektedir.

4.5.7 Boya kalınlığı değişkeni için normal dağılım analizi

SPSS Programı kullanılarak boya kalınlığı değişkeni için normal dağılım varsayımı analizi yapılmıştır. Analiz sonucu aşağıdaki Tablo 4.10'da gösterilmiştir.

Tablo 4.10. Boya Kalınlığı Değişkeni İçin Normal Dağılım Analizi

Descriptives				
			Statistic	Std. Error
G	Mean		32,573	,3066
	95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	31,972	
		Upper Bound	33,175	
	5% Trimmed Mean		32,398	
	Median		28,000	
	Variance		225,570	
	Std. Deviation		15,0190	
	Minimum		7,0	
	Maximum		63,0	
	Range		56,0	
	Interquartile Range		26,0	
	Skewness		,339	,050
	Kurtosis		-1,153	,100

Tablo 4.10 incelendiğinde çarpıklık ve basıklık değerlerinin +-2 aralığında olduğu görülmektedir. Bu durum dikkate alındığında boya kalınlığı değişkeni için verilerin normal dağılım sergilediği varsayımı yapılabilmektedir.

Özet olarak yapılan analizler sonrasında tüm değişkenler için Skewness&Kurtosis değerlerinin +-2 aralığı içerisinde kaldığı görülmüş olup, tüm değişkenler için verilerin normal dağılım sergilediği varsayımı yapılabilmektedir.

4.6 Korelasyon Analizi

Regresyon analizi öncesi korelasyon analizi yapılmıştır. Analizler SPSS Programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Regresyon analizinin anlamlı olabilmesi için bağımsız değişkenler arasındaki ilişkinin anlamsız ya da düşük düzeyde olması beklenmektedir. Ek olarak her bir bağımsız değişkenin bağımlı değişken ile korelasyonu da incelenecektir. Bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkenler ile anlamlı ilişkisinin olması beklenmektedir. Analiz sürecinde ilişkilerin yönüne, gücüne ve anlamlı olup olmadığına bakılacaktır. Eğer değişkenler arasında anlamlı ilişki yok ise ilişkinin yönüne ve gücüne bakılmayacaktır.

Korelasyon katsayısı r_{xy} olarak ele alınır ise, bu katsayının +-1 aralığında olması beklenmektedir. ($-1 \leq r_{xy} \leq 1$)

r_{xy} değeri -1'e giderken negatif yönlü ilişki, +1'e giderken pozitif yönlü ilişki olduğu değerlendirilmektedir. Yine korelasyon katsayısı;

- $0.70 \leq r_{xy} \leq 1$ aralığında ise değişkenler arasında güçlü ilişki olduğu,
- $0.40 \leq r_{xy} < 0.7$ aralığında ise değişkenler arasında orta düzey ilişki olduğu,

$0 < rxy < 0.4$ aralığında ise değişkenler arasında zayıf ilişki olduğu yorumlaması yapılacaktır.

4.6.1 Bağımsız değişkenlerin birbiri arasındaki korelasyon analizi

Bağımsız değişkenlerin birbiri ile ilişkisini incelemek için SPSS Programı kullanılmıştır. Yukarıda da ifade edildiği gibi değişkenlerin birbiri ile korelasyonunun olmaması veya zayıf ilişkisi olması beklenmektedir. Analiz sonucu Tablo 4.11'de gösterilmiştir.

Tablo 4.11. Bağımsız Değişkenlerin Birbiri Arasındaki Korelasyon Analizi Tablosu

Correlations							
		A	B	C	D	E	F
A	Pearson Correlation	1	,000	,000	-,002	,000	,000
	Sig. (2-tailed)		1,000	1,000	,909	1,000	1,000
	N	2400	2400	2400	2400	2400	2400
B	Pearson Correlation	,000	1	,000	-,002	,003	,000
	Sig. (2-tailed)	1,000		1,000	,909	,898	1,000
	N	2400	2400	2400	2400	2400	2400
C	Pearson Correlation	,000	,000	1	-,002	-,003	,000
	Sig. (2-tailed)	1,000	1,000		,909	,898	1,000
	N	2400	2400	2400	2400	2400	2400
D	Pearson Correlation	-,002	-,002	-,002	1	,023	-,016
	Sig. (2-tailed)	,909	,909	,909		,267	,425
	N	2400	2400	2400	2400	2400	2400
E	Pearson Correlation	,000	,003	-,003	,023	1	,000
	Sig. (2-tailed)	1,000	,898	,898	,267		1,000
	N	2400	2400	2400	2400	2400	2400
F	Pearson Correlation	,000	,000	,000	-,016	,000	1
	Sig. (2-tailed)	1,000	1,000	1,000	,425	1,000	
	N	2400	2400	2400	2400	2400	2400

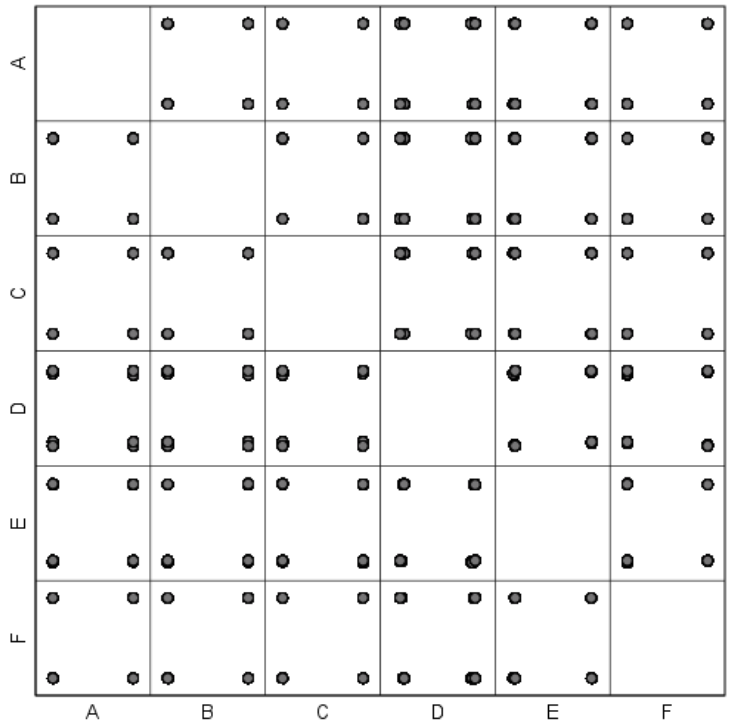
Tablo 4.11 incelendiğinde;

- A ve B değişkenleri için test istatistiğinin olasılık düzeyinin (1.000), anlamlılık düzeyinden (0.05) büyük olduğu ve buna bağlı olarak da bu iki değişken arasında anlamlı bir ilişki olmadığı,
- A ve C değişkenleri için test istatistiğinin olasılık düzeyinin (1.000), anlamlılık düzeyinden (0.05) büyük olduğu ve buna bağlı olarak da bu iki değişken arasında anlamlı bir ilişki olmadığı,
- A ve D değişkenleri için test istatistiğinin olasılık düzeyinin (0.909), anlamlılık düzeyinden (0.05) büyük olduğu ve buna bağlı olarak da bu iki değişken arasında anlamlı bir ilişki olmadığı,
- A ve E değişkenleri için test istatistiğinin olasılık düzeyinin (1.000), anlamlılık düzeyinden (0.05) büyük olduğu ve buna bağlı olarak da bu iki değişken arasında anlamlı bir ilişki olmadığı,
- A ve F değişkenleri için test istatistiğinin olasılık düzeyinin (1.000), anlamlılık düzeyinden (0.05) büyük olduğu ve buna bağlı olarak da bu iki değişken arasında anlamlı bir ilişki olmadığı,
- B ve C değişkenleri için test istatistiğinin olasılık düzeyinin (1.000), anlamlılık düzeyinden (0.05) büyük olduğu ve buna bağlı olarak da bu iki değişken arasında anlamlı bir ilişki olmadığı,
- B ve D değişkenleri için test istatistiğinin olasılık düzeyinin (0.909), anlamlılık düzeyinden (0.05) büyük olduğu ve buna bağlı olarak da bu iki değişken arasında anlamlı bir ilişki olmadığı,
- B ve E değişkenleri için test istatistiğinin olasılık düzeyinin (0.898), anlamlılık düzeyinden (0.05) büyük olduğu ve buna bağlı olarak da bu iki değişken arasında anlamlı bir ilişki olmadığı,
- B ve F değişkenleri için test istatistiğinin olasılık düzeyinin (1.000), anlamlılık düzeyinden (0.05) büyük olduğu ve buna bağlı olarak da bu iki değişken arasında anlamlı bir ilişki olmadığı,
- C ve D değişkenleri için test istatistiğinin olasılık düzeyinin (0.909), anlamlılık düzeyinden (0.05) büyük olduğu ve buna bağlı olarak da bu iki değişken arasında anlamlı bir ilişki olmadığı,
- C ve E değişkenleri için test istatistiğinin olasılık düzeyinin (0.898), anlamlılık düzeyinden (0.05) büyük olduğu ve buna bağlı olarak da bu iki değişken arasında anlamlı bir ilişki olmadığı,

- C ve F değişkenleri için test istatistiğinin olasılık düzeyinin (1.000), anlamlılık düzeyinden (0.05) büyük olduğu ve buna bağlı olarak da bu iki değişken arasında anlamlı bir ilişki olmadığı,
- D ve E değişkenleri için test istatistiğinin olasılık düzeyinin (0.267), anlamlılık düzeyinden (0.05) büyük olduğu ve buna bağlı olarak da bu iki değişken arasında anlamlı bir ilişki olmadığı,
- D ve F değişkenleri için test istatistiğinin olasılık düzeyinin (0.425), anlamlılık düzeyinden (0.05) büyük olduğu ve buna bağlı olarak da bu iki değişken arasında anlamlı bir ilişki olmadığı,
- E ve F değişkenleri için test istatistiğinin olasılık düzeyinin (1.000), anlamlılık düzeyinden (0.05) büyük olduğu ve buna bağlı olarak da bu iki değişken arasında anlamlı bir ilişki olmadığı görülmüştür.

Özetle, bağımsız değişkenlerin tamamı analiz edilmiş ver herhangi birinin diğeri ile anlamlı bir ilişkisi gözlemlenmemiştir.

Ek olarak grafiksel olarak da SPSS programı kullanılarak bağımsız değişkenlerin birbiri ile ilişkisi incelenmiştir. İlişki grafiği Şekil 4.11'de gösterilmiştir.



Şekil 4.11. Bağımsız Değişkenlerin Birbiri Arasındaki İlişkinin Grafiği

Şekil 14'de görüleceği üzere bağımsız değişkenlerin birbiri arasında anlamlı ilişkisi bulunmamaktadır.

4.6.2 Bağımsız değişkenlerin bağımlı değişken ile korelasyon analizi

Bağımsız değişkenlerin her birinin bağımlı değişken ile anlamlı ilişkisi olması beklenmektedir. Bu bağlamda her bir bağımsız değişken ile bağımlı değişkenin ayrı ayrı ilişkisi SPSS programı kullanılarak incelenmiştir. Ardından sonuçlar yorumlanmıştır.

4.6.2.1 Boya robotu ile boyanan parça arasındaki uzaklık ve boya kalınlığı arasındaki ilişki

Boya robotu ile boyanan parça arasındaki uzaklık ile boya kalınlığı arasındaki ilişki SPSS Programı kullanılarak incelenmiştir. Sonuçlar Tablo 4.12'de gösterilmiştir.

Tablo 4.12. Boya Robotu ile Boyanan Parça Arasındaki Uzaklık ve Boya Kalınlığı Arasındaki Korelasyon Tablosu

Correlations			
		Y	A
Y	Pearson Correlation	1	,064**
	Sig. (2-tailed)		,002
	N	2400	2400
A	Pearson Correlation	,064**	1
	Sig. (2-tailed)	,002	
	N	2400	2400
**. Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).			

Tablo 4.12 incelendiğinde test istatistiğinin olasılık düzeyinin (0.002) anlamlılık düzeyinden (0.05) küçük olduğu görülmektedir. Bu durum bize boya robotu ile boyanan parça arasındaki uzaklık ve boya kalınlığı arasında anlamlı ilişki olduğunu göstermektedir. Değişkenler arasında anlamlı ilişki olduğundan ilişkilerin yönü ve gücü de analiz edilmiştir. Korelasyon katsayısı (0.064) dikkate alındığında değişkenler arasındaki ilişkinin pozitif ve zayıf olduğu görülmektedir. Özetle boya robotu ile boyanan parça arasındaki uzaklık ve boya kalınlığı değişkenleri arasında:

-Pozitif,

- Zayıf,

-Anlamlı bir ilişki olduğu görülmektedir.

Boya robotu ile boyanan parça arasındaki uzaklığa bağlı olarak robottan çıkan boyanın parça üzerine düşen miktarının ve boyanın paterninin değişeceği konuları göz önüne

alındığında iki değişken arasında anlamlı ilişki olması beklenen bir durum olarak karşımıza çıkmaktadır.

4.6.2.2 Boya pompasının basıncı ile boya kalınlığı arasındaki ilişki

Boya pompasının basıncı ve boya kalınlığı arasındaki ilişki SPSS Programı kullanılarak incelenmiştir. Sonuçlar Tablo 4.13'de gösterilmiştir.

Tablo 4.13. Boya Pompasının Basıncı ile Boya Kalınlığı Arasındaki Korelasyon Tablosu

Correlations			
		Y	B
Y	Pearson Correlation	1	,787**
	Sig. (2-tailed)		,000
	N	2400	2400
B	Pearson Correlation	,787**	1
	Sig. (2-tailed)	,000	
	N	2400	2400
**. Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).			

Tablo 4.13 incelendiğinde test istatistiğinin olasılık düzeyinin (0.000) anlamlılık düzeyinden (0.05) küçük olduğu görülmektedir. Bu durum bize boya pompasının basıncı ile boya kalınlığı arasında anlamlı ilişki olduğunu göstermektedir. Değişkenler arasında anlamlı ilişki olduğundan ilişkilerin yönü ve gücü de analiz edilmiştir. Korelasyon katsayısı (0.787) dikkate alındığında değişkenler arasındaki ilişkinin pozitif ve güçlü olduğu görülmektedir. Özetle boya pompasının basıncı ve boya kalınlığı değişkenleri arasında:

-Pozitif,

- Güçlü,

-Anlamlı bir ilişki olduğu görülmektedir.

Boya pompasının basıncının artmasına ya da azalmasına bağlı olarak boya robotuna gelen boya debisinin değişmesi ve bunun sonucunda da robottan parçalara gönderilen boyanın değişmesi beklenen bir durumdur. Yapılan korelasyon analizi de beklenildiği gibi anlamlı çıkmıştır.

4.6.2.3 Boyanan parçanın taşındığı konveyörün/bantın hızı ile boya kalınlığı arasındaki ilişki

Boyanan parçanın taşındığı konveyörün/bantın hızı ile boya kalınlığı arasındaki ilişki SPSS Programı kullanılarak incelenmiştir. Sonuçlar Tablo 4.14'de gösterilmiştir.

Tablo 4.14. Boyanan Parçanın Taşındığı Konveyörün/Bantın hızı ile Boya Kalınlığı Arasındaki Korelasyon Tablosu

Correlations			
		Y	C
Y	Pearson Correlation	1	,055**
	Sig. (2-tailed)		,007
	N	2400	2400
C	Pearson Correlation	,055**	1
	Sig. (2-tailed)	,007	
	N	2400	2400
**. Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).			

Tablo 4.14 incelendiğinde test istatistiğinin olasılık düzeyinin (0.007) anlamlılık düzeyinden (0.05) küçük olduğu görülmektedir. Bu durum bize boyanan parçanın taşındığı konveyörün/bantın hızı ile boya kalınlığı arasında anlamlı ilişki olduğunu göstermektedir. Değişkenler arasında anlamlı ilişki olduğundan ilişkilerin yönü ve gücü de analiz edilmiştir. Korelasyon katsayısı (0.055) dikkate alındığında değişkenler arasındaki ilişkinin pozitif ve zayıf olduğu görülmektedir. Özetle boya pompasının basıncı ve boya kalınlığı değişkenleri arasında:

-Pozitif,

- Zayıf,

-Anlamlı bir ilişki olduğu görülmektedir.

Boyanacak parçaları taşıyan konveyörün/bantın hızının değişmesine bağlı olarak parçaların üzerine boya robotundan düşen boya miktarının değişmesi beklenen bir durumdur. Yapılan korelasyon analizi de bu doğrultu da anlamlı olarak karşımıza çıkmıştır.

4.6.2.4 Boyanın sıcaklığı ile boya kalınlığı arasındaki ilişki

Boyanan sıcaklığı ile boya kalınlığı arasındaki ilişki SPSS Programı kullanılarak incelenmiştir. Sonuçlar Tablo 4.15'de gösterilmiştir.

Tablo 4.15. Boyanın Sıcaklığı ile Boya Kalınlığı Arasındaki Korelasyon Tablosu

Correlations			
		Y	D
Y	Pearson Correlation	1	,080**
	Sig. (2-tailed)		,000
	N	2400	2400
D	Pearson Correlation	,080**	1
	Sig. (2-tailed)	,000	
	N	2400	2400
**. Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).			

Tablo 4.15 incelendiğinde test istatistiğinin olasılık düzeyinin (0.000) anlamlılık düzeyinden (0.05) küçük olduğu görülmektedir. Bu durum bize boyanın sıcaklığı ile boya kalınlığı arasında anlamlı ilişki olduğunu göstermektedir. Değişkenler arasında anlamlı ilişki olduğundan ilişkilerin yönü ve gücü de analiz edilmiştir. Korelasyon katsayısı (0.080) dikkate alındığında değişkenler arasındaki ilişkinin pozitif ve zayıf olduğu görülmektedir. Özetle boyanın sıcaklığı ve boya kalınlığı değişkenleri arasında:

-Pozitif,

- Zayıf,

-Anlamlı bir ilişki olduğu görülmektedir.

Boya sıcaklığının değişmesine bağlı olarak boyanın viskozitesinin değişmesi, akış hızının değişmesi, boya robotundan çıkan boyanın parça üzerine düşerken ki hızı ve paterninin değişmesi ve tüm bunların sonucunda da boya kalınlığının değişmesi beklenen bir durumdur. Korelasyon analizi sonucu da değişkenler arası ilişki anlamlı çıkmıştır.

4.6.2.5 Boya kabininin sıcaklığı ile boya kalınlığı arasındaki ilişki

Boya kabininin sıcaklığı ile boya kalınlığı arasındaki ilişki SPSS Programı kullanılarak incelenmiştir. Sonuçlar aşağıdaki gibidir.

Tablo 4.16. Boya Kabininin Sıcaklığı ile Boya Kalınlığı Arasındaki Korelasyon Tablosu

Correlations			
		Y	E
Y	Pearson Correlation	1	-,454**
	Sig. (2-tailed)		,000
	N	2400	2400
E	Pearson Correlation	-,454**	1
	Sig. (2-tailed)	,000	
	N	2400	2400
**. Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).			

Tablo 4.16 incelendiğinde test istatistiğinin olasılık düzeyinin (0.000) anlamlılık düzeyinden (0.05) küçük olduğu görülmektedir. Bu durum bize boyanın kabininin sıcaklığı ile boya kalınlığı arasında anlamlı ilişki olduğunu göstermektedir. Değişkenler arasında anlamlı ilişki olduğundan ilişkilerin yönü ve gücü de analiz edilmiştir. Korelasyon katsayısı (-0,454) dikkate alındığında değişkenler arasındaki ilişkinin negatif ve orta güçlü olduğu görülmektedir. Özetle boyanın kabininin sıcaklığı ile boya kalınlığı değişkenleri arasında:

-Negatif,

- Orta güçlü,

-Anlamlı bir ilişki olduğu görülmektedir.

4.6.2.6 Boya tabancası meme çapı ile boya kalınlığı arasındaki ilişki

Boya tabancası meme çapı ile boya kalınlığı arasındaki ilişki SPSS Programı kullanılarak incelenmiştir. Sonuçlar Tablo 4.17'de gösterilmiştir.

Tablo 4.17. Boya Tabancası Meme Çapı ile Boya Kalınlığı Arasındaki Korelasyon Tablosu

Correlations			
		Y	F
Y	Pearson Correlation	1	,329**
	Sig. (2-tailed)		,000
	N	2400	2400
F	Pearson Correlation	,329**	1
	Sig. (2-tailed)	,000	
	N	2400	2400
**. Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).			

Tablo 4.17 incelendiğinde test istatistiğinin olasılık düzeyinin (0.000) anlamlılık düzeyinden (0.05) küçük olduğu görülmektedir. Bu durum bize boya tabancası meme çapı ile boya kalınlığı arasında anlamlı ilişki olduğunu göstermektedir. Değişkenler arasında anlamlı ilişki olduğundan ilişkilerin yönü ve gücü de analiz edilmiştir. Korelasyon katsayısı (0,329) dikkate alındığında değişkenler arasındaki ilişkinin pozitif ve zayıf olduğu görülmektedir. Özetle boyanın kabininin sıcaklığı ile boya kalınlığı değişkenleri arasında:

- Pozitif,

- Zayıf,

-Anlamlı bir ilişki olduğu görülmektedir.

Yapılan kolerasyon analizleri sonucunda özet olarak tüm bağımsız değişkenlerin bağımlı değişken üzerinde anlamlı bir etkisi olduğu görülmektedir. Bağımsız değişkenlerin kendi aralarında ilişkisi olmadığı da daha önce yapılan analizlerde görülmüştü. Yine daha önce yapılan analizlerde tüm değişkenlerin normal dağılım sergilediği varsayımı da yapılmıştı. Tüm bu analizler sonucunda ANOVA ve Regresyon analizi yapılacaktır.

4.7 Deney Tasarımı ve Analizler

Minitab Programı kullanılarak faktöriyel deney tasarımı analizi yapılmıştır. İlk olarak ANOVA analizi yorumlanmış ve modelin anlamlılığına bakılmıştır.

Tablo 4.18. ANOVA Analizi

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	7	526816	75259	12564,85	0,000
Linear	6	514747	85791	14323,16	0,000
A	1	2185	2185	364,80	0,000
B	1	334790	334790	55894,48	0,000
C	1	1624	1624	271,07	0,000
D	1	5692	5692	950,27	0,000
E	1	111848	111848	18673,48	0,000
F	1	58608	58608	9784,86	0,000
2-Way Interactions	1	12069	12069	2014,99	0,000
A*F	1	12069	12069	2014,99	0,000
Error	2392	14327	6		
Total	2399	541143			

Tablo 4.18 incelendiğinde test istatistiğinin olasılık değerinin (0) anlamlılık değerinden (0.05) küçük olduğu görülmektedir, model anlamlıdır. Bunun yanı sıra tüm değişkenler için test istatistiğinin olasılık değerinin (0) anlamlılık değerinden (0.05) küçük olduğu görülmektedir. Ardından model özeti tablosu kullanılarak bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkeni açıklama oranı analiz edilmiştir. Tablo 4.19'da sonuçlar görülebilir.

Tablo 4.19. Bağımsız Değişkenlerin Bağımlı Değişkenleri Açıklama Oranı

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
2,44738	97,35%	97,34%	97,33%

Tablo 4.19 incelendiğinde, bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkeni %97,35 (Adjuested R Square) oranında açıkladığı görülmektedir. Bu oran oldukça yüksek bir oran olarak değerlendirilmektedir. Kalan yaklaşık yüzde 2,7'lik kısmın, boya kalınlığını etkileyen

fakat tez kapsamında ele alınmayan (değiştirilemeyen) faktörler (örn. viskozite) kaynaklı olduğu değerlendirilmektedir.

Son olarak katsayıların anlamlı olup olmadığı incelenmiştir. Tablo 4.20'de sonuçlar görülebilir.

Tablo 4.20. Regresyon Analizi

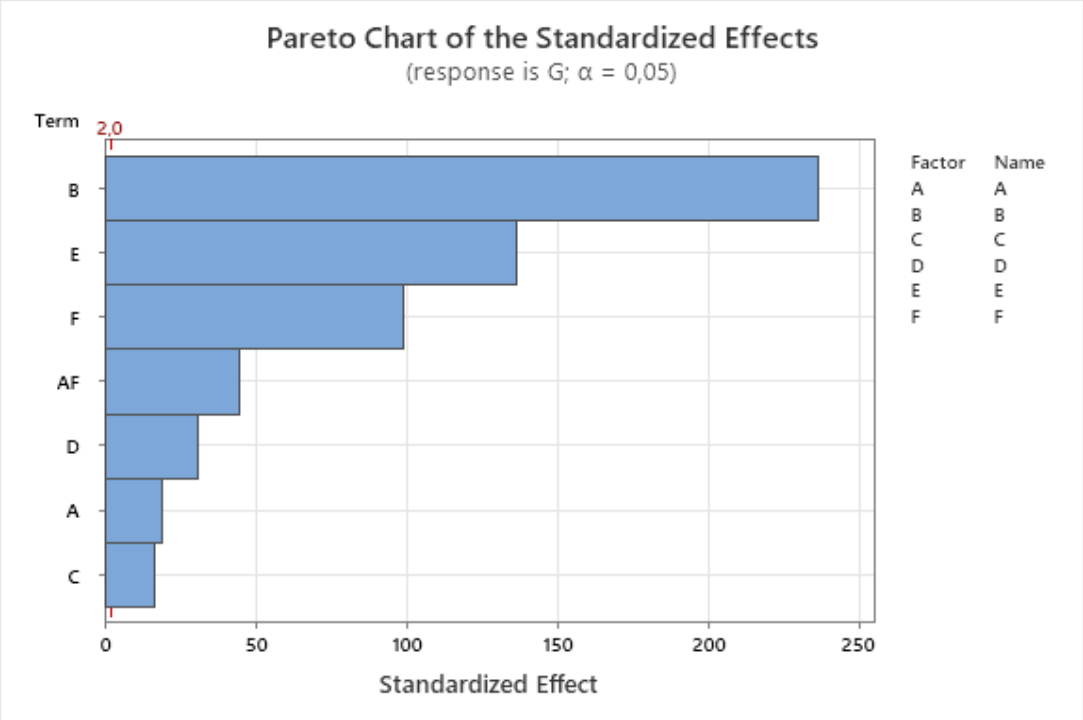
Term	Effect	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant		32,5733	0,0500	652,03	0,000	
A	1,9083	0,9542	0,0500	19,10	0,000	1,00
B	23,6217	11,8108	0,0500	236,42	0,000	1,00
C	1,6450	0,8225	0,0500	16,46	0,000	1,00
D	3,0800	1,5400	0,0500	30,83	0,000	1,00
E	-13,6533	-6,8267	0,0500	-136,65	0,000	1,00
F	9,8833	4,9417	0,0500	98,92	0,000	1,00
A*F	-4,4850	-2,2425	0,0500	-44,89	0,000	1,00

Tablo 4.20 incelendiğinde, tüm değişkenler için test istatistiğinin olasılık düzeyinin anlamlılık düzeyinden düşük olduğu (0) görülmüş ve katsayıların anlamlı olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bu çalışmalar neticesinde regresyon denklemi aşağıda belirtildiği gibidir.

Y= 32,57 + 0,95A + 11,81B + 0,82C +1,54D- 6,82E + 4,49F-2.24AF

Denklem incelendiğinde boya kalınlığına en çok etki eden değişkenlerin B (Boya pompasının basıncı) ve E (Boya kabininin sıcaklığı) olduğu görülmektedir. Ek olarak A (Boyanan robotu ve boyanan parka arasındaki uzaklık) ve F (boya tabancası meme çapı) değişkenlerinin bağımlı değişken üzerinde çift yönlü etkisi olduğu görülmektedir. Ek olarak tabloda bulunan VIF (Variance Inflation Factor) değerleri incelenmiş olup, değerlerin aralığında olduğu ve daha analiz edilmiştir.

Şekil 4.12'de, değişkenlerin bağımlı değişken üzerindeki etkilerinin pareto analizi mevcuttur.



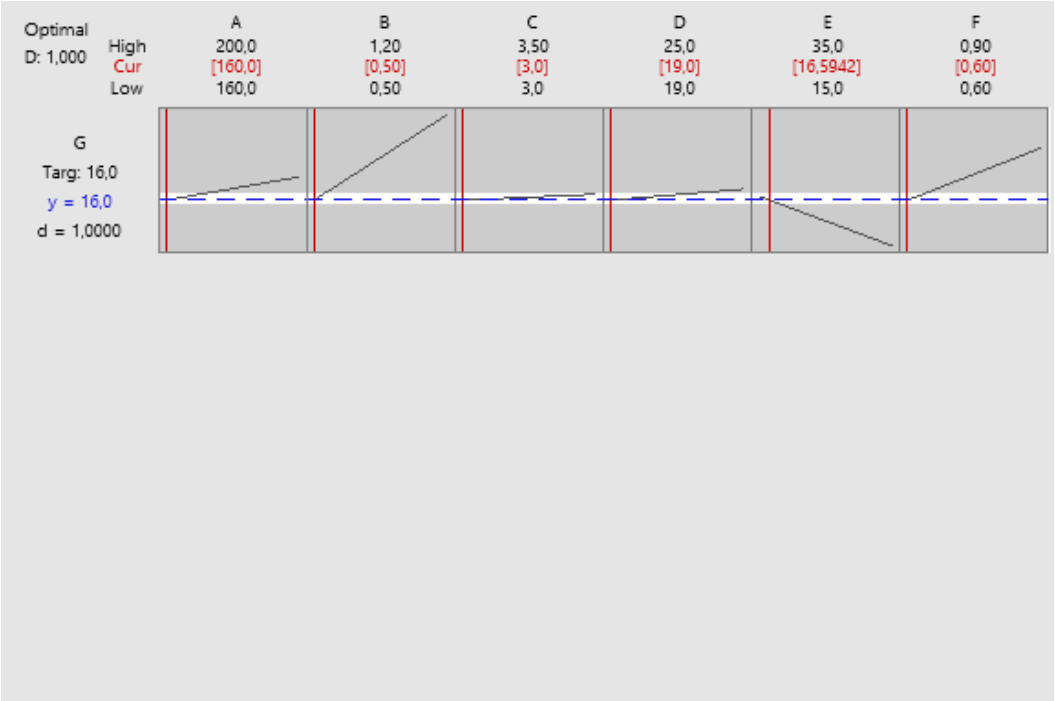
Şekil 4.12. Bağımsız Değişkenlerin bağımlı Değişken Üzerindeki Etkisinin Pareto Analizi

Şekil 4.12 incelendiğinde tüm değişkenlerin bağımlı değişken üzerinde anlamlı etkisi olduğu görülmektedir. Faktörlerin optimum seviyelerinin belirlenmesi öncesinde son olarak Durbin-Watson değeri incelenmiştir ve Tablo 4.21'de görüldüğü üzere değerin 1.38 olduğu görülmüştür. Bu değer ideal değer aralığı olan 1.5-2.5 aralığı içerisinde olmamakla beraber, seviyenin ideal değere yakın olması, VIF değerlerinin 1 olması dikkate alınmış ve daha iyi bir model için çalışmadan değişken çıkarılmaması ya da değişken değişikliğine gidilmemesi kararı verilmiştir.

Tablo 4.21. Durbin-Watson Katsayısı

Durbin-Watson Statistic	
Durbin-Watson Statistic =	1,38621

Regresyon denkleminin oluşturulmasının ardından Minitab Programı kullanılarak değişkenlerin optimum seviyeleri "Response Optimizer" aracı ilebelirlenmiştir. Sonuçlar Şekil 4.13'de gösterilmiştir.



Şekil 4.13. Bağımsız Değişkenlerin Optimum Seviyeleri

Şekil 4.13'e göre değişkenlerin optimum değerleri aşağıdaki gibidir.

A=160, B=0.50, C=3, D=19.00, E=16.59 ve F=0.60.

Özet olarak optimum değerler analiz edildiğinde;

- Boya robotu ile parça arası uzaklık, boya pompasının set değeri, konveyör hızı ve boyanın sıcaklığı alt limittedir,
- Boya kabinin sıcaklığı alt limite yakındır,
- Boya tabancasının meme çapı küçük seviyededir.

4.8 Doğrulama Deneyleri

Faktörlerin optimal değerleri belirlendikten sonra, ilgili değerler kullanılarak doğrulama deneyi yapılmıştır. Doğrulama deneylerinde 10 adet parça boyanmış ve her bir parçanın 3 farklı yerinden kalınlık ölçümü alınmıştır. Bu ölçümler 5'er kez tekrarlanmıştır. Doğrulama deneyleri ve ölçümler diğer deneyleri gerçekleştiren ekip tarafından yapılmıştır. Deney parametreleri ve sonuçlar aşağıdaki Tablo 4.22'de verilmiştir.

Tablo 4.22. Doğrulama Deneyleri Sonuçları

Robot Parça Arası Uzaklık	Basınç	Konveyör Hızı	Boya Sıcaklığı	Kabin Sıcaklığı	Meme Çapı	Kalınlık (mikron)															Ort.
(mm)	(psi)	(m/dk)	(C)	(C)	(mm)	1-1	1-2	1-3	2-1	2-2	2-3	3-1	3-2	3-3	4-1	4-2	4-3	5-1	5-2	5-3	
160	0.5	3,0	19	16.6	0.6	16	20	19	18	17	19	20	18	16	19	19	18	16	17	19	18
						19	19	16	18	19	19	16	19	17	18	19	18	17	16	18	18
						19	17	17	16	18	18	19	17	17	17	18	17	16	19	17	17
						20	16	16	19	16	18	16	16	17	19	17	17	19	17	17	17
						18	19	19	16	20	18	18	18	19	19	19	16	17	18	18	18
						19	16	19	18	18	19	16	18	17	17	17	19	18	19	16	18
						16	18	18	18	17	18	17	19	16	17	18	18	16	18	18	17
						19	16	16	16	18	16	18	18	17	16	17	17	17	16	17	17
						20	19	16	19	20	17	18	18	20	17	19	19	18	17	20	18
						16	16	17	16	18	19	18	18	16	17	16	19	16	18	18	17
GENEL ORTALAMA (mikron)																					18

Tablo 4.22 incelendiğinde, parçaların tamamında boya kalınlığı değerlerinin müşteri/tasarım isterlerinin (15-25 mikron) içerisine girdiği görülmektedir. Bu durum bize baya kalınlığına bağlı kalite hatalarının yok olduğunu göstermektedir. Ek olarak kalınlık değerlerinin müşteri/tasarım isterlerinin belirttiği aralığın alt limitine yakınsadığını göstermektedir. (ortalama 17.6 mikron) Çalışma öncesi yaklaşık 25 mikron olan bu değer göz önüne alındığında, yapılan çalışma ile beraber boya sarfiyatında bu duruma bağlı olarak yaklaşık %29,6 azalma olduğu gözlemlenmektedir.

4.9 Fayda/Maliyet Hesabı

Tez kapsamında yapılan çalışmalardan elden edilen kazanç ve bu süreçte meydana gelen maliyetler ayrı ayrı hesaplanmış, fayda/maliyet analizi çıkarılmış ve son olarak çalışmanın geri ödeme süresi hesaplanmıştır.

4.9.1 Fayda hesabı

Yapılan çalışmalarla beraber tesiste iki tür finansal kazanç meydana geldiği görülmüştür. Bunlardan ilki boya kalınlık değerinin müşteri/tasarım isterlerinde belirtilen aralığın alt limitine yakınsamadan meydana gelen boya sarfiyatı kazancıdır. İkincisi ise çalışma sonrası yapılan doğrulama deneylerinde görüldüğü üzere, tüm parçalarda spesifikasyonlarının verdiği kalınlık aralığı değerlerinin içinde kalınabilmesi, bunun sonucunda boya kalınlığına bağlı olarak meydana gelen kalite hatalarının bitmesi ve tüm bunların sonucunda da yeniden tamir için ihtiyaç duyulan kalitesizlik maliyetlerinin azalmasına bağlı olarak meydana gelen kayıp işçilik ve boya sarfiyatı kazancıdır. Alttaki başlıkta her iki kazanç ayrı ayrı hesaplanmıştır. Kazanç hesabı yapılırken proje süresi (10 yıl) dikkate alınarak toplam kazanç hesabı yapılmıştır. Boyanın birim fiyatının ve işçilik birim saat bedelinin enflasyon oranı ile aynı oranda artacağı varsayılmıştır ve bu bağlamda değerler yıllara sari olarak değiştirilmemiştir.

4.9.1.1 Boya sarfiyatından kazanç

Tesiste çalışma öncesi yapılan analizler de ortalama boya kalınlığının 25 mikron civarında olduğu görülmüştür. Bu değer spesifikasyonlarda belirtilen üst değerdir. Çalışma sonrası ise Tablo 21'de görüleceği üzere bu değer ortalama17.6 mikrona düşürülmüştür. Bu veriler bizlere boya kalınlığında ve buna bağlı olarak da boya sarfiyatında yaklaşık %29,6 iyileşme olduğunu göstermektedir. Projenin yaklaşık 10 yıl daha devam edeceği göz önüne alınarak kazanç hesabı 10 yıllık toplam proje süresi üzerinden yapılmıştır.

İlgili tesiste yapılan çalışma kapsamında ele alınan parametrelerle boyanabilen parça miktarı 20 aparat/gün dür. Her bir aparat/karton ile parça boyanırken harcanan boya miktarı ise 820 gram/karton olarak hesaplanmıştır.

Tesis yıllık ortalama 300 gün çalışmaktadır. Tüm bu değerler baz alındığında çalışma öncesi durumda yıllık boya sarfiyatı 4920 kg/yıl iken, çalışma sonrası bu değer %29,6 azalarak 3464 kg'a düşmüştür. Özet olarak yıllık 1456 kg boya sarfiyatında azalma meydana gelmiştir. Boyanın kg maliyeti 23,2 kg/$ olarak hesaplanmıştır. Yapılan hesaplama ile kazancın yıllık yaklaşık 33787$/yıl olduğu görülmüştür. 10 yıllık proje

sürecindeki boya sarfiyatında toplam kazanç da 337866 $ olarak hesaplanmıştır. Yapılan tüm bu hesaplamalar Tablo 4.23'de gösterilmiştir.

Tablo 4.23. Boya Sarfiyatı Kazancı

Parametre	Değer	Birim
Günlük boyanan karton sayısı	20	karton/gün
Harcanan boya/karton	820	gram/karton
Günlük boya tüketimi	16.4	kg/gün
Yıllık çalışılan iş günü	300	gün/yıl
Yıllık boya tüketimi	4920	kg/yıl
Önceki durum boya kalınlığı (ort.)	25	mikron
Sonraki durum boya kalınlığı (ort.)	17.6	mikron
İyileşme	29.60	%
Boya tüketimindeki yıllık azalma	1456.32	kg/yıl
Kazanç/yıl	33787	$/yıl
Proje süresi	10	yıl
Boya Sarfiyatı Toplam Kazancı	337866	$/Proje Süresi

4.9.1.2 Yeniden işleme maliyetinin yok olmasına bağlı olarak meydana gelen kazanç

Çalışma öncesi tesiste boyanan parçaların yaklaşık %15'i boya kalınlığı probleminden dolayı tekrar işleme tabi tutulmaktadır. Bu parçalara yapılan işlemler sırası ile aşağıdaki gibidir;

İlgili parçanın üzerinden boyanın zımparalama yöntemi ile sökülmesi,

Eğer gerekli ise parçaya tekrar kimyasal işlem uygulanması,

Parçaların boya aparatına/kartonuna beslenmesi,

Boya sürecinin tekrar edilmesi.

Boya kalınlığına bağlı olarak tekrar işlemeye tabi tutulan parçalar için çoğunlukla kimyasal işlem tekrarı yapılmamaktadır. Bu yüzden kazanç hesabına kimyasal işlem maliyeti katılmamıştır. Ayrıca yeniden işleme sürecinde kullanılan zımpara ve diğer sarf malzemelerin maliyeti eser miktarda varsayıldığından yine kazanç hesabında göz önüne

alınmamıştır. Bu durumda yeniden işlemeye dair kazançlar iki ana başlık altında toplanmıştır. Bunlar;

Yeniden işleme kaynaklı boya sarfiyatı,

Yeniden işleme işçiliği.

İlk olarak boya kalınlığı kalite hatasının yok olmasına bağlı olarak yeniden işleme sürecindeki boya sarfiyatından kazanç hesaplanacaktır. Daha öncede belirtildiği üzere, tesiste tez kapsamında ele alınan (kompleks yüzeye sahip olmayan) parçalardan günlük ortalama 20 karton/aparat boyanmaktadır. Tesisin yıllık 300 gün çalıştığı göz önüne alındığında tesiste yıllık yaklaşık 6000 karton/aparat parça boyanmaktadır. Çalışma öncesi bu parçaların yaklaşık %15'i boya işlemeden dolayı yeniden işlemeye tabi tutulmakta idi. Bu oran dikkate alındığında yıllık yaklaşık 900 kartonun boya kalınlığına bağlı kalite hatalarından dolayı tekrar boyandığı, bu süreçte yaklaşık 738 kg boya sarfiyatı yapıldığı ve bunun da yıllık 17121,6 $ lık kayba sebebiyet verdiği görülmektedir. Projenin 10 yıl süresi dikkate alındığında çalışma ile beraber yeniden işlemeye bağlı olarak meydana gelen boya sarfiyatı yok edilmiş ve buradan yaklaşık 171216 $ kazanç sağlanmıştır. Tablo 4.24'de hesaplamanın detayları verilmiştir.

Tablo 4.24. Yeniden İşleme Maliyetinin Yok Olmasına Bağlı Olarak Meydana Gelen Boya Sarfiyatının Azalması Kaynaklı Finansal Kazanç

Parametre	**Değer**	**Birim**
Tesiste Günlük Boyanan Karton/Aparat Sayısı	20	adet/gün
Yıllık Çalışılan İş Günü	300	gün
Tesiste Yıllık Boyanan Karton/Aparat Sayısı	6000	karton/yıl
Kalite Hata Oranı	15	%
Yıllık Hatalı Çıkan ve Tekrar İşleme Tabi Tutulan Karton Sayısı	900	karton/yıl
Harcanan Boya/Karton	0,82	kg/karton
Yeniden İşlemeye Bağlı Yıllık Boya Tüketimi Miktarı	738	kg/yıl
Boyanın Birim Fiyatı	23,2	$/kg
Yeniden İşleme Maliyetinin Ortadan Kalkmasına Bağlı Olarak Meydana Gelen Boya Sarfiyatı Kazancı	17121,6	$/yıl
Proje Süresi	10	yıl
Toplam Kazanç	171216	$/Proje Süresi

Yeniden işleme kaynaklı boya sarfiyatı kazancından sonra yine aynı nedene bağlı olarak meydana gelen işçilik kazancı hesabı yapılmıştır. Daha önce yapılan hesaplamalarda yıllık yaklaşık 900 karton/aparat parçanın yeniden işleme tabi tutulduğu hesaplanmıştı. Her bir aparat/kartonda yaklaşık 10 adet parça boyanmakta, her bir parçanın yeniden işlenmesi için işçilik maliyeti ise yaklaşık 0,3 saattir. Tüm bu datalar dikkate alındığında yıllık işçilik kazancı yaklaşık 40500 $, proje süresinde toplam kazanç ise yaklaşık 405000 $ olarak hesaplanmıştır. Detaylar Tablo 4.25' de verilmiştir.

Tablo 4.25. Yeniden İşleme Maliyetinin Yok Olmasına Bağlı Olarak Meydana Gelen İşçilik Kazancı

Parametre	**Değer**	**Birim**
Tesiste Günlük Boyanan Karton/Aparat Sayısı	20	adet/gün
Yıllık Çalışılan İş Günü	300	gün
Tesiste Yıllık Boyanan Karton/Aparat Sayısı	6000	karton/yıl
Kalite Hata Oranı	15	%
Yıllık Hatalı Çıkan ve Tekrar İşleme Tabi Tutulan Karton Sayısı	900	karton/yıl
Harcanan işçilik/parça	0,3	saat/parça
Karton başı ortalama parça sayısı	10	parça/saat
Harcanan İşçilik / Karton	3	saat/karton
Yıllık Harcanan İşçilik	2700	saat/yıl
İşçilik Birim Fiyatı	15	$/saat
Yeniden İşleme Maliyetinin Ortadan Kalkmasına Bağlı Olarak Meydana Gelen İşçilik Kazancı	40500	$/yıl
Proje Süresi	10	yıl
Toplam Kazanç	405000	$/Proje Süresi

Yapılan hesaplamalar doğrultusunda, yeniden işleme maliyetlerinin ortadan kalkmasına bağlı olarak toplam kazanç Tablo 4.26'da verilmiştir.

Tablo 4.26. Yeniden İşleme Maliyetinin Yok Olmasına Bağlı Olarak Meydana Gelen Kazanç

	Kazanç Miktarı	Birim
Yeniden İşleme Kaynaklı Boya Sarfiyatından Kazanç	171216	$/Proje Süresi
Yeniden İşleme Kaynaklı İşçilik Kazancı	405000	$/Proje Süresi
Toplam Kazanç	576216	$/Proje Süresi

Tablo 4.26 incelendiğinde, boya kalınlığı hatalarının çözümüne bağlı olarak ilgili tesiste proje süresi boyunca (10 yıl) toplam kazancın 576216 $ olduğu görülmektedir.

4.9.1.3 Toplam finansal kazanç

Yapılan çalışma ile beraber daha önce belirtildiği üzere, hem boya kalınlığının müşteri/tasarım isterlerinin belirttiği aralığın alt sınırına yakınsamadan dolayı meydana gelen boya sarfiyatının azalmasına bağlı kazanç, hem de boya kalınlığı kaynaklı kalite hatalarının yok edilmesine ve böylelikle yeniden işleme ihtiyacının ortadan kalkmasına bağlı kazanç vardır. Projeden elde edilen toplam kazanç Tablo 4.27' de belirtilmiştir.

Tablo 4.27. Çalışmadan Elde Edilen Toplam Finansal Kazanç

	Kazanç Miktarı	Birim
Boya Sarfiyatının Azalmasından Dolayı Elde Edilen Kazanç	337866	$
Yeniden İşleme İhtiyacının Ortadan Kalkmasına Bağlı Elden Edilen Kazanç	576216	$
Projenin Toplam Finansal Kazancı	914082	$

Tablo 4.27 incelendiğinde yapılan çalışma ile beraber ilgili tesiste proje süresi boyunca yaklaşık 915000 $ finansal kazanç sağlandığı görülmektedir.

4.9.2 Maliyet hesabı

Çalışma kapsamında deneylerin gerçekleştirilebilmesi için meydana gelen maliyetler; deneyler sırasında kullanılan boyanın maliyeti, deneyler sırasında kullanılan Aluminyum ham malzemeye yapılan kimyasal işlemin maliyeti ve deneylerin gerçekleştirilmesi için harcanan işçilik maliyetleri olarak toplamda üç alt başlıkta belirlenmiştir. Deneylerde kullanılan Aluminyum ham malzeme olarak hurda malzeme kullanıldığından, ilgili kalem bir maliyet kalemi olarak ele alınmamıştır. Her bir maliyet kalemi detaylı olarak hesaplanmış ve çalışmanın toplam maliyeti çıkarılmıştır.

4.9.2.1 Boya sarfiyatına bağlı meydana gelen maliyet

Deney sürecinde 8 farklı deney için plan oluşturulmuş ve doğrulama deneyleri ile beraber toplam 16 adet deney gerçekleştirilmiştir. Her bir deney için parçaların üzerinde bulunduğu 1 adet karton/aparat boyanmış olup, ilgili karton/aparat boyanmadan önce de 1 adet karton/aparat üzerinde parça olmaksızın tesisin rejime girebilmesi için boyanmıştır. Özet olarak toplamda 16 adet karton/aparat deney için, 16 adet karton/aparat da tesisin rejime girmesi için boyanmış olup toplamda deney sürecinde 32 adet kartonun/aparatın boyanması sağlanmıştır. Karton başına harcanan boya miktarı ve boyanın birim fiyatı parametreleri de dikkate alınarak deneyler sürecinde harcanan boyanın toplam maliyeti belirlenmiş ve Tablo 4.28'de gösterilmiştir.

Tablo 4.28. Deneyler için Kullanılan Boyanın Maliyeti

Maliyet Kalemi	Değer	Birim
Deneyler Sürecinde Boyanan Karton/Aparat Sayısı	16	karton
Deneyler Sürecinde Tesisin Rejime Girmesi İçin Boyanan Karton/Aparat Sayısı	16	karton
Deneyler Sürecinde Toplam Boyanan Karton/Aparat Sayısı	32	karton
Harcanan Boya/Karton	0,82	kg/karton
Deneyler için Kullanılan Toplam Boya Miktarı	26,24	kg
Boyanın Birim Maliyeti	23,2	$/kg
Deneyler İçin Toplam Kullanılan Boyanın Maliyeti	609	$

Tablo 4.28 incelendiğinde deneyler için harcanan boyanın toplam maliyetinin 609 $ olduğu görülmektedir.

4.9.2.2 Deneylerde kullanılan parçalara yapılan kimyasal işlemin maliyeti

Deneyler için kullanılan Alüminyum malzemelere boya öncesinde, normal süreçte üretilen parçalara uygulandığı gibi kimyasal işlem uygulanmıştır. İlgili operasyonun birim parça maliyeti de dikkate alınarak maliyeti oluşturulmuş ve Tablo 29'da gösterilmiştir.

Tablo 4.29. Deneyler için Parçalara Yapılan Kimyasal İşlem Maliyeti

Maliyet Kalemi	Değer	Birim
Deneyler Sürecinde Kullanılan Parça Sayısı	2400	adet
Parça Başı Kimyasal İşlem Maliyeti	5,5	$/adet
Deneyler için Kullanılan Parçalara Yapılan Kimyasal İşlemin Maliyeti	13200	$

Tablo 4.29 incelendiğinde deneylerin yapılabilmesi için test kuponlarına uygulanan kimyasal işlemin maliyetinin 13200 $ olduğu görülmektedir.

4.9.2.3 Çalışma kapsamında harcanan işçilik kaynaklı maliyet

Çalışmanın kapsamında harcanan işçilik kaynaklı maliyet iki alt başlıkta ele alınmıştır. Bunlar; deneylerin gerçekleştirilmesi için ve parçaların kalınlık kontrolünün yapılması için harcanan işçilik kalemleridir. Her iki maliyet kelamı hesaplanmış ve Tablo 4.30'da sunulmuştur.

Tablo 4.30. Çalışma İçin Gerçekleştirilen İşçilik Maliyeti

Maliyet Kalemi	Değer	Birim
Deney Aşamasında Boyama Sürecinde Çalışan Teknisyen Sayısı	2	adet
Bir Deney Sırasında Boya Sürecinin Gerçekleştirilme Süresi	4	saat
Bir Deney Sırasında Boya Sürecinin Gerçekleştirilmesi için Harcanan İşçilik	8	saat/adet
Toplam Deney Sayısı	16	adet
Boyama İçin Harcana İşçilik	128	saat
İşçilik Birim Fiyatı	15	$/saat
Deneylerin Boya Sürecinin İşçilik Maliyeti	1920	$
Parçalar Üzerinde Yapılan Kalınlık Kontrol Sayısı	2400	adet
Her Bir Ölçüm İçin Harcanan İşçilik	20	sn
Parçaların Kalınlık Kontrolü İçin Harcanan Toplam İşçilik Saati	13	saat
Parçaların Kalınlık Kontrolü Sürecinin İşçilik Maliyeti	200	$
Toplam İşçilik Maliyeti	2120	$

Tablo 4.30 incelendiğinde, deneylerin gerçekleştirilmesi sürecinin işçilik maliyetinin 1920 $ olduğu görülmektedir. Deneylerde boyanan parçaların kalınlık kontrolünün yapılabilmesi için işçilik maliyetinin ise 200 $ olduğu görülmektedir. Toplam işçilik maliyeti ise bu iki kalemin toplamı olarak 2120 $ olarak hesaplanmıştır.

4.9.2.4 Çalışmanın toplam maliyeti

Çalışmanın toplam maliyetininin hesaplanabilmesi için, deneyler sırasında kullanılan boyanın maliyeti, deneyler sırasında kullanılan Aluminyum ham malzemeye yapılan kimyasal işlemin maliyeti ve deneylerin gerçekleştirilmesi için harcanan işçilik maliyetleri toplanmış ve Tablo 4.31'de sunulmuştur.

Tablo 4.31. Çalışmanın Toplam Maliyeti

Maliyet Kalemi	Değer	Birim
Deneyler İçin Toplam Kullanılan Boyanın Maliyeti	609	$
Deneyler için Kullanılan Parçalara Yapılan Kimyasal İşlemin Maliyeti	13200	$/adet
İşçilik Maliyeti	2120	$
Toplam Maliyet	15929	$

Tablo 4.31 incelendiğinde, çalışmanın toplam maliyetinin 15929 $ olduğu ve en büyük maliyet kalemini test kuponlarının kimyasal işlem yapılması süreci olduğu görülmektedir.

4. 10. Toplam Fayda/Maliyet Analizi

Çalışma kapsamında proje süresi boyunca (10 yıl) elde edilen finansal kazançlar ve maliyetlerin kümülatif toplamı hesaplanmış ve Tablo 4.32'de sunulmuştur. Tablo oluşturulurken, boyanın birim fiyatının ve işçilik birim saat bedelinin yıllar bazında enflasyon ile aynı oranda artacağı varsayılmıştır ve bu durum göz önüne alınarak yıllara sari değerlerde değişim yapılmamıştır.

Tablo 4.32. Çalışmanın Net Kazancı

Kazanç/Maliyet Kalemi	Değer	Birim
Kalınlık Azalmasına Bağlı Boya Sarfiyatının Azalmasına Bağlı Olarak Meydana Gelen Kazanç	337870	$
Kalite Hatalarının Yol Olmasına Bağlı İşçilik Kazancı	171210	$
Kalite Hatalarının Yok Olmasına Bağlı Olarak Meydana Gelen Boya Sarfiyatı Kazancı	405000	$
Toplam Kazanç	914080	$
Deneyler Sürecinde Sarf Edilen Boyanın Maliyeti	609	$
Deneylerde Kullanılan Parçalara Uygulanan Kimyasal İşlemin Maliyeti	13200	$
Deneylerin işçilik Maliyeti	2120	$
Toplam Maliyet	15929	$
Net Kazanç	898151	$

Tablo 4.32 incelendiğinde, çalışma kapsamında 10 yıllık proje süresi dikkate alındığında, toplam finansal kazancın 914080 $, toplam maliyetin 15929 $ ve projenin net kazancının 898151 $ olduğu görülmektedir.

4.11 Geri Ödeme Süresi

Proje kapsamında yapılan harcama ve kazançlar göz önüne alınarak çalışmanın geri ödeme süresi hesaplanmıştır ve Tablo 4.33'de sunulmuştur.

Tablo 4.33. Geri Ödeme Süresi

Geri Ödeme Süresi Hesabı	Değer	Birim
Kalınlık Azalmasına Bağlı Boya Sarfiyatının Azalmasına Bağlı Olarak Meydana Gelen Kazanç	33787	$/yıl
Kalite Hatalarının Yol Olmasına Bağlı Işçilik Kazancı	17121	$/yıl
Kalite Hatalarının Yok Olmasına Bağlı Olarak Meydana Gelen Boya Sarfiyatı Kazancı	40500	$/yıl
Toplam Kazanç	91408	$/yıl
Deneyler Sürecinde Sarf Edilen Boyanın Maliyeti	609	$
Deneylerde Kullanılan Parçalara Uygulanan Kimyasal İşlemin Maliyeti	13200	$
Deneylerin işçilik Maliyeti	2120	$
Toplam Maliyet	15929	$
Geri Ödeme Süresi	0,17	yıl

Tablo 4.33 incelendiğinde projenin geri ödeme süresinin yaklaşık 0,17 yıl olduğu görülmektedir.

5. SONUÇ

Çalışma kapsamında hava araçlarının detay parçalarının yatay ve sabit eksenli boya robotları ile boyanması sürecinde boya kalınlığına etki eden faktörlerin belirlenmesi ve optimum faktör değerlerinin elde edilmesi hedeflenmiştir.

Boyama sistemi olarak yatay ve sabit eksenli boya robotları kullanılmış, parça tipi olarak ise belirtilen boya robotu tipi ile boyanabilen kompleks yüzeye sahip olmayan düz metal parçalar belirlenmiştir. Malzeme tipi olarak havacılık sektöründe kullanımı oldukça yaygın olan alüminyum malzeme ve boya tipi olarak su bazlı boya kullanılmıştır. Tesiste kalınlığa etki eden tüm parametreler belirlenmiş ve bunlardan 6 tanesi kontrol edilebilen faktör olarak ele alınıp çalışma kapsamına dahil edilmiştir. Diğer değişkenler kontrol edilemeyen faktörler olarak değerlendirilmiştir.

Her bir faktör için hem müşteri teknik dokümanları, hem de tesis çalışanlarının geçmiş tecrübeleri dikkate alınarak alt ve üst limitler belirlenmiş, sonrasında faktöriyel deney tasarımı planlamış ve deneyler gerçekleştirilmiştir. Bu süreçte 8 farklı parametre seti ile deneyler gerçekleştirilmiş ve sonrasında her biri için bir tekrar deneyi yapılmıştır. Özetle 16 kez deney yapılmıştır. Yapılan deney sonuçlarıyla bağlantılı toplamda 2400 adet veri toplanmıştır. Ölçüm sonuçları alındıktan sonra, ilk olarak değişkenler için normal dağılım analizi yapılmış; çarpıklık ve basıklık değerleri incelenmiş ve tüm değişkenler için verilerin normal dağılım sergilediği varsayımı yapılabilmiştir. Ardından bağımsız değişkenlerin birbiri ile ilişkisini incelemek için korelasyon analizi yapılmış, analiz sonucunda bağımsız değişkenlerin birbiri ile anlamlı bir ilişkisi olmadığı sonucu görülmüştür. Sonrasında bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkenle korelasyonu incelemiş, boya robotu ile boyanan parça arasındaki uzaklık, boyanan parçanın taşındığı konveyörün hızı, boyanın sıcaklığı ve boya tabancası meme çapı ile boya kalınlığı arasında anlamlı, pozitif ve zayıf ilişki, boya pompasının basıncı ile boya kalınlığı arasında anlamlı, pozitif güçlü ilişki ve boya kabin sıcaklığı ile boya kalınlığı arasında anlamlı, negatif ve güçlü ilişki gözlemlenmiştir.

Faktöriyel deney tasarımı yöntemi uygulanarak ANOVA tablosu oluşturulmuş ve Regresyon modeli çıkarılmıştır. ANOVA tablosu incelendiğinde ortaya çıkan modelin anlamlı olduğu, çalışma kapsamında ele alınan faktörlerin tamamının boya kalınlığı üzerinde anlamlı etkisinin olduğu ve bu faktörlerin boya kalınlığını %97,34 oranında açıkladığı sonuçlarına ulaşılmıştır. Bu oranın oldukça yüksek olduğu değerlendirilmiş ve belirlenen faktörlerin boya kalınlığı değişkenini büyük oranda açıkladığı sonucuna ulaşılmıştır. Ardından otokorelasyon analizi yapılmış ve Durbin-Watson değerinin 1.38 çıktığı görülmüş,

daha iyi bir model oluşturulup oluşturulamayacağı sorusuna cevap için VIF değerleri yorumlanmıştır. VIF değerlerinin tüm değişkenler için yaklaşık 1 değerine sahip olması ve Durbin-Watson değerinin ideal değerlere (1.5-2.5) yakınlığı durumları göz önüne alınıp daha iyi bir model için sistemden değişken çıkartılmamasına karar verilmiştir.

Regresyon analizi sonrası, tüm değişkenlerin boya kalınlığı üzerinde anlamlı etkisi olduğu sonucuna ulaşılmakla beraber, yatay ve sabit eksenli boya robotlarında boya kalınlığına en çok etki eden değişkenlerin boya pompasının basıncı ve boya kabini sıcaklığı olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca boya robotu ile boyanan parça arasındaki uzaklık ve boya tabancası meme çapı değişkenlerinin boya kalınlığı üzerinde iki yönlü etkisi olduğu sonuçlarına varılmıştır.

Faktörlerin optimum seviye değerlerinin belirlenmesi için optimizasyon çalışması yapılmış ve her bir değişkenin optimum seviye değerleri belirlenmiştir. Belirlenen değerler yorumlanmış ve tüm faktörlerin optimum seviye değerlerinin, faktörler için belirlenen alt seviye ya da alt seviyeye yakın değerlerde çıktığı görülmüştür. Elde edilen optimum değerlerle doğrulama deneyi yapılmıştır. Deneylerin sonucunda alınan 150 veri analiz edilmiş, verilerin tamamının müşteri isterlerinin belirttiği aralıkta olduğu görülmüştür. Bu durum bizleri tesiste çalışma öncesi parçaların %15 inde meydana gelen boya kalınlığı kalite hatalarının yok olduğunu sonucuna ulaştırmıştır. Ek olarak çalışma sonrası faktörlerin optimum seviye değerleri ile yapılan deneyler sonucu elde edilen kalınlıkların ortalama değerinin 17.6 mikron olduğu görülmüş, çalışma öncesi 25 mikron seviyelerinde olan bu değerin, tasarım isterlerinde belirtilen aralığın alt limitine (15 mikron) bizleri oldukça yaklaştırdığı, boya sarfiyatının da bu duruma bağlı olarak yaklaşık %29,6 azaldığı görülmüştür. Bu iki sonuç ile beraber çalışmanın başında hedeflenen boya kalınlığına bağlı kalite hatalarının önüne geçilmesi ve boya kalınlığının isterlerde belirtilen aralığın alt seviyesine yakınsama hedeflerinin yakalandığı değerlendirilmiştir.

Çalışma sonrası fayda maliyet analizi yapılmıştır. İlk olarak finansal kazanç analiz edilmiş ve çalışma ile beraber iki tür finansal kazanç meydana geldiği görülmüştür. Bunlardan ilki boya kalınlığının mühendislik dokümanlarında belirtilen aralığının alt sınırına yakınmasına bağlı olarak meydana gelen boya sarfiyatı kazancıdır. Boyanın birim fiyatı, tesiste ortalama boyanan parça sayısı, parça başı harcanan boya miktarı, çalışma ile boya sarfiyatında meydana gelen azalma ve proje ömrü süresi parametreleri dikkate alınarak proje ömrü boyunca yaklaşık 337866 $ kazanç meydana geldiği hesaplanmıştır. Çalışma sonrası ortaya çıkan ikinci kazanç ise boya kalınlığı kalite hatalarının yok olmasına bağlı

olarak, yeniden işleme maliyetlerinin ortadan kalkması ve bunun sonucu olarak da işçilik ve boya sarfiyatı kazançlarının meydana gelmesidir. Parça başı yeniden işleme saati, personellerin saatlik ücreti, tesisin çalışma gün sayısı, proje ömrü, yeniden işleme sürecinde oluşan boya sarfiyatı ve çalışma öncesi durumdaki hata oranı parametreleri göz önüne alınarak finansal kazanç hesaplanmış ve bu değerin 576216 $ olduğu görülmüştür. Böylelikle işçilik ve boya sarfiyatı kaynaklı proje ömrü boyunca (10 yıl) toplam 924082 $ kazanç sağlanmıştır. Ardından maliyet hesabı yapılmış, çalışmanın gerçekleştirilmesi sürecinde meydana gelen denemeler sürecinde kullanılan boya maliyeti, test kuponlarına kimyasal işlem uygulanması kaynaklı maliyet ve işçilik maliyet kalemleri hesap edilmiş ve çalışmanın toplamda 15929$'a mal olduğu görülmüştür. Son olarak çalışmanın geri ödeme süresi analiz edilmiş ve bu değer 2.1 ay olarak hesaplanmıştır.

Tez kapsamında yapılan araştırmalarda, boya kalınlığı optimizasyonu çalışmalarının değişken rotalı boya robotlarına ya da manuel boya uygulamalarına yoğunlaştığı görülmüştür. Yapılan araştırma ile beraber yatay ve sabit eksenli boya robotlarında, boya kalınlığını etkileyen faktörlerin optimize edilebileceği görülmüş ve bu bilginin literatüre kazandırıldığı değerlendirilmiştir. Yatay ve sabit eksenli boya robotlarında hem kaliteli ürün elde etmek hem de boya sarfiyatlarını minimize etmek için parametreleri optimize etmenin yeterli olabileceği sonuçlarına ulaşılmıştır. Ek olarak yine yapılan araştırma kapsamında Havacılık Sektöründeki detay parçaların boyanması sürecinde boya kalınlığını etkileyen parametreler ile ilgili bir çalışma bulunamamıştır. Yapılan çalışmanın Havacılık Sektörü'ne hizmet veren bir işletmede yapılmış ve uçak detay parçaları kullanılarak yapılmış olmasının, boya kalınlığını etkileyen parametrelerin optimizasyonunun bu sektörde de kullanılabileceği sonuçları yorumlanmıştır.

Tez kapsamında yapılan çalışmalarda sadece metal detay parçalar ele alınmıştır. Havacılık Sektöründe kompozit parçaların kullanımı her geçen gün artmaktadır. Kompozit parçalarda kalınlık ölçümünün metal parçalara göre farklı olması, uygulanan boyanın kompozit yüzeylerde dağılımının metal parçalara göre farklılık göstermesi vb. hususlar dikkate alındığında, gelecek çalışmalarda kompozit parçalarla boya kalınlığı optimizasyonu yapılmasının faydalı olacağı değerlendirilmektedir.

Çalışma kapsamında sadece düz metal parçalar ele alınmış olup, yatay ve sabit eksenli robotlarla boyanabilen kompleks yüzeye sahip olmayan fakat düz de olmayan, yarı kompleks parçaların boyanması sürecinde de boya kalınlığına etki eden faktörlerin analiz edilmesi önerilmektedir.

Son olarak tez kapsamında 2K Boya hazırlama sistemi kullanılan bir boya tesisinde çalışmalar yapılmış olup, bu tarz sistemlerde viskozite manuel olarak ayarlanamamaktadır. Bu bağlamda boyanın viskozitesi faktörü değiştirilemez faktör olarak değerlendirilip tez kapsamında yapılan çalışmalarda ele alınmamıştır. Viskozite değerinin boya kalınlığına etkisinin olduğunun bilinmesi, birçok boya sisteminde 2K sistem yerine 3K sistem kullanılması ve 3K sistemlerinde viskozitenin manuel olarak ayarlanabilmesi durumları dikkate alındığında, 3K sistemlerinde de benzer çalışmaların yapılması ve bu çalışmalarda viskozite değerinin de kontrol edilebilen faktör olarak ele alınmasının faydalı olacağı değerlendirilmekte ve önerilmektedir.

KAYNAKLAR

Almansoori, N., Aldulaijan, S., Althani, S., Hassan, N.M., Ndiaye, M. ve Awad, M. (2020). Manuel spray painting process optimizing using Taguchi robust design. *International Journal of Quality & Reliability Management, 38*, 46-47. doi: 10.1108/IJQRM-07-2019-0248.

Antony, J. (2003). *Design of experiments for engineers and scientists* (3. Baskı). Amsterdam: Elsevier.

Arıkan, M. A. ve Balkan, Tuna. (2001). Process simulation and paint thickness measurement for robotic spray painting. *CIRP Annals, 50,* 291-294. doi: doi.org/10.1016/S0007-8506(07)62124-6.

Baldwin, S. (1998). Robotic paint automation: The pros and cons of using robots in your paint finishing system. *Metal Finishing,* 6, 167-171. doi: doi.org/10.1016/S0026-0576(00)80408-0.

Bhalamurugan, R. ve Prabhu, S. Performance characteristic analysis of automated robot spray painting using taguchi method and fray relational analysis. *Arabian Journal for Science and Engineering, 40*, 1657-1667. doi: doi.org/10.1007/s13369-015-1628-7.

Biçkici, B. (2007). *Çok değişkenli varyans analizi ve çoklu doğrusal regresyon analizinin uygulamalı olarak karşılaştırılması* (Yayınlanmış yüksek lisans tezi). Atatürk Üniversitesi, Erzurum.

Blum, S., Henkel, N., Lehnhaeuser, K. ve Chipttepu, K. (2011). Optimization of process parameters for automotive psint application. *SAE International Journel of Aerospace*, 2011-28-0072.

Chen, H., Xi, N., Wei, Z., Chen, Y. ve Dahl, J. (2003). *Robot Trajectory integration for painting automotive parts with multiple patches.* International Conference on Robotics & Automation, Taipei.

Chen, Y., Chen, W., Li, B., Zhang, G. ve Zhang, W. (2017). Paint thickness simulation for painting robot trajectory planning: a review. *Industrial Robot: An International Journal, 44,* 629-638. doi: doi.org/10.1108/IR-07-2016-0205

Büyükuysal, M.Ç. (2014). *Farklı örneklem genişliklerinde normal dağılım testlerinin karşılaştırılması* (Yayınlanmış doktora tezi). Bülent Ecevit Üniversitesi, Zonguldak.

Büyükuysal, M.Ç. ve Öz, İ.İ. (2016). Çoklu doğrusal bağıntı varlığında en küçük karelere alternatif yaklaşım: Ridge Regresyon. *Düzce Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 6(2),* 110-11.

Chidhambara, K.V., Shankar, B.L. ve Vijaykumar. (2018). *Optimization of robotic spray painting process parameters using Taguchi Method.* International Conference on Advances in Materials and Manufacturing Applications, Bengaluru.

Ferah, M. (2003). Çok yanıtlı Taguchi deneysel tasarım metodu ive alüminyum sanayinde bir uygulama. *SAU Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 7(2)*.

Gleeson, D., Jakobsson, S., Salman, R., Sandgren, N., Edelvik, F., Carlson J.S., ….Lennartson, B. (2022). Generating Optimized Trajectories for Robotic Spray Painting. *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering, 19(3),* 1380-1391.

Goodman, E.D. ve Hoppensteadt, L.T. (1991). *A method for accurate simulation of robotic spray application using empirical parameterizaiton*. International Conference on Robotics and Automation, California.

Goytay, N.J. ve Thatte, U.M. (2017). Principles of correlation analysis. *Journal of The Association of Physicians of India*, *65*, 78-81.

Jassbi, J., Alborzi, M. ve Ghoreshi, F. (2011). Car paint thickness control using artificial neural netwok and regression method. *Journal of Industrial Engineering International, 7(14),* 1-6.

Jozsef, B. ve Blaga, P. (2017). Optimizing production costs with the correct setting of the paint thickness parameters. *Procedia Engineering, 181*, 1021-1027. doi: doi.org/10.1016/j.proeng.2017.02.502.

Kaufmann, M. (2008). *Cost/Weight optimization of aircraft structures* (Yayınlanmış doktora tezi). KTH School of Engineering Sciences, Stockholm.

Kumaş, Esra. (2011). *Mühendisler için istatistiksel deney tasarımında hazırlık aşaması* (Yayınlanmış yüksek lisans tezi). Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale.

Luangkularb, S., Prombanpong, S. ve Tangwarodumnukun, V. (2014). Material consumption and dry film thickness in spray coating process. *Procedia CIRP, 17,* 789-794. doi: doi.org/10.1016/j.procir.2014.02.046 .

Luangpaiboon, P. (2010). Improving an electrostatic powder coating process via signal to noise response surface. *American Journal of Applied Sciences, 7(11),* 1521-1527.

Mountain, J. R. ve Mazlumder, M. K. (2007). Transfer Effiency Enhancementof Power Coating Application Using Response Surface. Particulate Science and Technology, 14(3), 255-266. doi: doi.org/10.1080/02726359608906699.

Muzan, I.W., Faisal, T., Assadi, H. ve Iwan, M. (2012). Implementation of industrial robot for painting applications. *Procedia Engineering, 41,* 1329-1335. doi: doi.org/10.1016/j.proeng.2012.07.318.

Papasavva, S., Kia, S., Claya, J. ve Gunther, R. (2001). Characterization of automotive paints: an environmental impact analysis. *Progress in Organic Coatings, 43,* 193-206. doi: doi.org/10.1016/S0300-9440(01)00182-5.

Seegmiller, N.A., Bailiff, J.A. ve Franks, R.K. (2009). Precision robotic coating application and thickness control optimization for F-35 final finishes. *SAE International Journel of Aerospace*, 2009-01-3280. doi: doi.org/10.4271/2009-01-3280.

Stahle, L. ve Wold, S. (1989). Analysis of variance (ANOVA). *Chemomerrics and Intelligent Laboratory Sysiems, 6,* 259-262. doi: doi.org/10.1016/0169-7439(89)80095-4.

Suh, S.H., Woo, I.K. ve Noh, S.K. (1991). Development of an automatic trajectory planning system (atps) for spray painting robots. *Journal of Manufacturing System, 10(5),* 396-406. doi: 10.1109/ROBOT.1991.131912.

Uysal, M. ve Günay. (2001) S. Durbin-Watson ölçüsüne göre kararsızlık bölgesinde bulunan negatif otokorelasyon için bazı testler. *Anadolu University Journal of Science and Technology, 2(2),* 277-284.

Uysal, İ. ve Kılıç, A.F. (2021). Normal dağılım ikilemi. *Andolu Journal of Educational Sciences İnternational,* 220-225. doi: doi.org/10.18039/ajesi.962653.

Wei, C. ve Dean, Z. (2009). *Tool trajectory optimization of robotic spray painting*. Second International Conference on Intelligent Computation and Automation, Changsha.

Yu, S. ve Cao, L. (2011). *Modeling and prediction of paint film deposition rate for robotic spray painting*. International Conference on Mechatronics and Automation, Beinjing.

Zeynep, K. (2013). Fire analizinde deney tasarımı (Yayınlanmış doktora tezi). İstanbul Üniversitesi, İstanbul.