BİNEK ARAÇLARIN MONTAJINDA KULLANILAN SAPLAMALARIN KAYNAK PROSESİNDE SAPLAMA KOPMASINA ETKİ EDEN PARAMETRELERİN İNCELENMESİ

Hande ATALAY BULUT

T.C.
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BİNEK ARAÇLARIN MONTAJINDA KULLANILAN SAPLAMALARIN KAYNAK PROSESİNDE SAPLAMA KOPMASINA ETKİ EDEN PARAMETRELERİN İNCELENMESİ

Hande ATALAY BULUT
0000-0002-6550-3552

Prof. Dr. Abdil KUŞ
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2022
Her Hakkı Saklıdır

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

BİNEK ARAÇLARIN MONTAJINDA KULLANILAN SAPLAMALARIN KAYNAK PROSESİNDE SAPLAMA KOPMASINA ETKİ EDEN PARAMETRELERİN İNCELENMESİ

Hande ATALAY BULUT

Bursa Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Abdil KUŞ

Günümüz otomotiv sektörü, son kullanıcı olan müşterinin beklentilerini karşılayacak araçların üretiminde minimum parça ile üretim hedeflemektedir. Her ne kadar optimizasyonlar yapılsa da binek bir aracın üretiminde binlerce parça kullanılmaktadır. Bu parçaların birleştirilmesi üretim tesislerinde çeşitli kaynak yöntemleri, kenet, macun, vidalama teknolojileri gibi metotlar kullanılarak gerçekleşmektedir. Farklı malzeme özelliklerine sahip binlerce parçanın bir araya getirilmesinde kullanılan bu yöntemlerde bazı ön görülemeyen sebepler tekrar üretime ya da ürün kalitesizliği sebebiyle tamir işçiliklerinin doğmasına neden olmaktadır. Bu tez çalışmasında ise otomotiv montaj parçalarının gövde üzerine sabitlenmesi sırasında kullanılan saplamaların parça montajı esnasında sacı yırtarak kopmasına etki eden parametreler incelenmiştir.

Çalışma kapsamında, Minitab 18 programına kopmaya etki ettiği belirlenen faktörlerden sac malzeme cinsi, sac kalınlığı ve sıkım değeri iki seviyeli olarak girilmiş ve on tekrarlı deney tasarımı yapılmıştır. Deney tasarımına göre çelik saplamalar ark saplama kaynak yöntemi ile 0,7 mm ve 1,2 mm kalınlığındaki IF 210 ile DP 600 saclar üzerine kaynatılmıştır. Saplama kaynatılmış parçalar üzerine 6 Nm ve 4,5 Nm sıkım tork değerlerinde parçalar sıkılmıştır. Sıkım esnasında sacın arka yüzünde oluşan çökme miktarları ölçülerek parametrelerin çökme miktarına etkisi incelenmiştir. Saplamanın sacı yırtarak kopmasını önlemek için sacın arka yüzeyinde oluşan çökme miktarının minimum olması hedeflenmiştir. Minitab 18 de yapılan optimizasyona göre 1,2 mm kalınlığında DP 600 saca kaynatılmış saplamaya montaj parçası 4,5 Nm ile sıkıldığı durumda sacın arka yüzeyinde hedeflenen minimum çökme görülecektir. Bu sayede parçaların montajında kullanılan saplamaların sıkım esnasında sacı yırtarak kopmasının önüne geçilecektir.

Anahtar Kelimeler: Saplama kaynak prosesi, proses parametre optimizasyonu, istatistiksel proses kontrolü, araç gövdesi sacları, deney tasarımı

2022, xiii + 72 sayfa.

ABSTRACT

MSc Thesis

INVESTIGATION OF THE PARAMETERS AFFECTING THE STUD BREAK IN THE WELDING PROCESS OF THE STUD USED IN THE ASSEMBLY OF PASSENGER VEHICLES

Hande ATALAY BULUT

Bursa Uludağ University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Automotive Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Abdil KUŞ

Today's automotive industry aims to produce vehicles that will meet the expectations of the end-user with minimum parts. Although optimizations are made, thousands of parts are used in the production of a passenger car. The joining of these parts is carried out in the production areas by using various methods such as welding methods, hemming, sealing, screwing technologies. In these methods, which are used to assemble thousands of parts with different material properties, some unforeseen reasons cause re-production or repair workmanship due to poor quality of product. In this thesis, the parameters affecting the break off the welded studs together with the sheet metal during assembly were investigated.

Within the scope of study, the type of sheet material, sheet thickness and tightening value, which are the factors determined to affect the break off, were entered in the Minitab 18 program as two levels and a ten repetitive experiment design was made. According to the experimental design, the steel studs were welded on 0,7 mm and 1,2 mm thickness IF 210 and DP 600 sheets by arc stud welding method. The parts are tightened with 6 Nm and 4,5 Nm tightening torque values on the stud welded parts. The effect of the parameters on the amount of indentation rate was investigated by measuring the amount of indentation rate on the back surface of the sheet during tightening. In order to prevent the stud from tightening by tearing the sheet metal, it is aimed to minimize the indentation rate of the back surface of the sheet. According to the optimization made in Minitab 18, when the assembly part is tightened with 4,5 Nm to the stud welded to the 1,2 mm thick DP 600 sheet, the targeted minimum indentation will be seen on the back surface of the sheet. In this way, the studs used in the assembly of the parts will be prevented from break off by tearing the sheet metal during tightening.

Key words: Stud welding process, optimization of process parameters, statistical process control, sheet metals on body in white, experimental design,

2022, xiii + 72 pages.

TEŞEKKÜR

Öncelikle tezimin hazırlanmasında tavsiye ve deneyimleri ile çalışmama destek olan danışmanım Sayın Prof. Dr. Abdil KUŞ'a teşekkürlerimi sunarım.

Çalışma süresince desteklerini esirgemeyen çalışma arkadaşlarıma ve değerli TOFAŞ ailesine teşekkürlerimi sunarım.

Eğitim hayatım boyunca her zaman yanımda olan anne ve babama teşekkürlerimi sunarım.

Hande ATALAY BULUT
05/05/2022

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET vi
ABSTRACT vii
TEŞEKKÜR viii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ x
ŞEKİLLER DİZİNİ xii
1. GİRİŞ…… 1
2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI 3
2.1. Kaynak Tarihçesi 3
2.2. Saplama Kaynak Prosesi Üzerine Yapılan Çalışmalar 5
2.3. Saplama Kaynak Yöntemi ve Çeşitleri 9
2.3.1. Ark saplama kaynağı (ASW) 11
2.3.2. Kondansatör boşaltmalı saplama kaynağı (CDSW) 13
2.4. Saplama Kaynak Yönteminde Kaynak Havuzunun Korunması 14
2.4.1. Seramik halkalı saplama kaynağı 14
2.4.2. Koruyucu gaz altında saplama kaynağı 15
2.4.3. Korumasız saplama kaynağı 15
2.5. Saplama Kaynak Yönteminde Karşılaşılabilecek Problemler 15
2.6. Saplama Kaynatılan Parçalara Uygulanan testler 17
2.6.1. Eğme testi 17
2.6.2. Sertlik testi 17
2.6.3. Tork testi 18
2.6.4. Çekme testi 18
2.7. Gövde Üzerinde Saplama Kaynak Prosesinin Uygulandığı Bölgeler 19
2.8. Araç Gövdesinde Kullanılan Çeliklerin Kalitesi 20
2.9. İstatistiksel Kavramlar ve İstatistiksel Proses Kontrolü 26
3. MATERYAL ve YÖNTEM 37
3.1. Saplama Kaynak Prosesinin Yeterlilik Analizi 37
3.2. Deney Hazırlığı 44
3.3. Deney Tasarımı 45
4. BULGULAR ve TARTIŞMA 56
4.1. Artıkların Analizinin Yorumlanması 56
4.2. Ana Etki ve Etkileşim Grafiklerinin Yorumlanması 56
5. SONUÇ… 65
KAYNAKLAR 67
ÖZGEÇMİŞ 72

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
Re	Akma mukavemeti
A	Alan
H_1	Alternatif olarak kurulan hipotez
Al	Alüminyum
N	Ana kütledeki veri sayısı
μ	Ana kütlenin ortalaması
σ	Ana kütlenin standart sapması
R	Aralık
Ar	Argon
Cu	Bakır
B	Bor
d	Çap
Rm	Çekme mukavemeti
DC	Doğru akım
P	Fosfor
F	Eksenel yük
P-Value	Hesaplanan olasılık
BH_2	Isıtmadan sonraki akma mukavemeti
H_0	İlk kurulan hipotez
$\sum X_i$	İncelenen değişkenlerin toplamı
C	Karbon
CO_2	Karbondioksit
τ	Kesme mukavemeti
Cr	Krom
S	Kükürt
Mn	Mangan
Mo	Molibden
Nb	Niyobyum
$\bar{x}$	Örneklemin ortalaması
s	Örneklemin standart sapması
n	Örneklemin veri sayısı
C_{pk}	Prosesin performansı
C_p	Prosesin potansiyel yeterliliği
t	Sac kalınlığı
d_p	Saplama kafa çapı
DF	Serbestlik derecesi
Si	Silisyum
k	Sürtünme katsayısı
Ti	Titanyum
A50	Uzama (L_0=50mm)
A80	Uzama (L_0=80mm)
n*	Uzama sertleşmesi üssü
α	Yanılma olasılığı
$R_{P0,2}$	Yüksek sıcaklıkta akma mukavemeti

Kısaltmalar	Açıklama
ASL	Alt sınır limit
IF	Arayersiz çelikler
DP	Çift fazlı çelikler
DOE	Deney tasarımı
TRIP	Dönüşüm kaynaklı plastisite çelikler
MILD	Düşük karbonlu çelikler
BH	Fırında sertleşebilen çelikler
AHSS	Geliştirilmiş yüksek mukavemetli çelikler
TWIP	İkizlenme kaynaklı plastisite çelikler
İPK	İstatistiki proses kontrol
IS	İzotropik çelikler
CMn	Karbon manganezli çelikler
Adj SS	Kareler toplamı
Adj MS	Kareler ortalaması
CP	Karmaşık fazlı çelikler
CDSW	Kondansatör boşaltmalı saplama kaynağı
Max.	Maksimum
Nm	Newton metre
mm	Milimetre
ms	Milisaniye
M.Ö.	Milattan önce
PPM	Milyondaki hatalı parça sayısı
Min.	Minimum
TOFAŞ	Türk otomobil fabrikası anonim şirketi
PDM	Topraklama saplaması
USL	Üst sınır limit
IF-HS	Yüksek mukavemetli arayer atomsuz çelikler
HSLA	Yüksek mukavemetli düşük alaşımlı çelikler

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Kaynak prosesleri sınıflandırması....4
Şekil 2.2. Saplama örneği 9
Şekil 2.3. Otomotivde kullanılan saplama örnekleri....9
Şekil 2.4. Saplama kaynak prosesi ekipmanlarının şematik gösterimi 11
Şekil 2.5. Saplama kaynak prosesi aşamaları....12
Şekil 2.6. CDSW cihazlarında kullanılan özel uçlu saplamalar....13
Şekil 2.7. Saplama kaynağı esnasında proses kaynaklı yaşanan problemler 16
Şekil 2.8. Montaj parçasının saplamalara bağlanması esnasında yaşanan problemler ...16
Şekil 2.9. Saplamaya uygulanan eğme testi 17
Şekil 2.10. Kaynak sonrası sertlik ölçümü yapılan bölge 18
Şekil 2.11. Tork testi şematik gösterimi 18
Şekil 2.12. Çekme testi şematik gösterimi 19
Şekil 2.13. Saplama kaynak prosesinin gövde üzerinde uygulandığı bölgeler 19
Şekil 2.14. Çelik sınıflarının dayanım- uzama eğrisi 21
Şekil 2.15. Çelik sınıflarının gövde üzerindeki kullanım yerleri 24
Şekil 2.16. Proses ortalamasının kayması 27
Şekil 2.17. Verilerin dağılım grafikleri 30
Şekil 2.18. Normal eğri altındaki alanlar ve yüzdeleri 31
Şekil 2.19. Proses kontrol durumları ve spesifikasyon yayılımı....31
Şekil 3.1. Akım verilerinin normal dağılım grafiği....40
Şekil 3.2. Kaynak zamanı verilerinin normal dağılım grafiği....41
Şekil 3.3. Akım verileri için proses yeterlilik analizi....42
Şekil 3.4. Kaynak zamanı verileri için proses yeterlilik analizi....43
Şekil 3.5. Deneylerde kullanılan parçalar 44
Şekil 3.6. Deneylerde kullanılan saplama kaynak makinesi 44
Şekil 3.7. Deneylerde kullanılan kaynak parametreleri 45
Şekil 3.8. Parçaların saplamalara sıkımında kullanılan ekipmanlar 46
Şekil 3.9. Parça montajı esnasında sıkım işleminin sac üzerinde oluşturduğu etki 47
Şekil 3.10. Minitab 18 programında oluşturulan tam faktöriyel deney tasarımı 49
Şekil 3.11. Sacın arka yüzeyinde oluşan çökme miktarının kompratör ile ölçümü 49
Şekil 3.12. Minitab18 programına faktörlerin girilmesi 52
Şekil 3.13. Ana etkilerin ve etkileşimlerinin sadeleşmiş modeli 54
Şekil 4.1. Artıkların analizi 56
Şekil 4.2. Ana etkilerin grafiği....57
Şekil 4.3. Ana etkilerin etkileşim grafiği 58
Şekil 4.4. Optimizasyon için Minitab18 programına hedef değerlerin girilmesi....59
Şekil 4.5. Optimize edilmiş değerlere göre oluşan ortalama çökme miktarı 59
Şekil 4.6. DP 600 sac, 1,2 mm kalınlık ve 6 Nm sıkımdaki ortalama çökme miktarı ...60
Şekil 4.7. DP 600 sac, 0,7 mm kalınlık ve 4,5 Nm sıkımdaki ortalama çökme miktarı.61
Şekil 4.8. DP 600 sac, 0,7 mm kalınlık ve 6 Nm sıkımdaki ortalama çökme miktarı....61
Şekil 4.9. IF 210 sac, 0,7 mm kalınlık ve 4,5 Nm sıkımdaki ortalama çökme miktarı...62
Şekil 4.10. IF 210 sac, 0,7 mm kalınlık ve 6 Nm sıkımdaki ortalama çökme miktarı....62
Şekil 4.11. IF 210 sac, 1,2 mm kalınlık ve 4,5 Nm sıkımdaki ortalama çökme miktarı.63
Şekil 4.12. IF 210 sac, 1,2 mm kalınlık ve 6 Nm sıkımdaki ortalama çökme miktarı....63

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1. Binek araçlarda kullanılan saplama örnekleri 20
Çizelge 2.2. IF210 çelik sacının mekanik özellikleri 25
Çizelge 2.3. IF210 çelik sacının kimyasal özellikleri 25
Çizelge 2.4. DP600 çelik sacının mekanik özellikleri 25
Çizelge 2.5. DP600 çelik sacının kimyasal özellikleri 25
Çizelge 2.6. Deneylerde kullanılan saplamaların mekanik özellikleri 25
Çizelge 2.7. C_p değerinin yorumlanması 32
Çizelge 2.8. C_{pk} değerinin yorumlanması 32
Çizelge 2.9. Verilerin normal dağılım uygunluğunun analizinde kullanılan yöntemler 33
Çizelge 2.10. P-Value değerinin yorumlanması 34
Çizelge 2.11. Tip I ve Tip II hata 34
Çizelge 3.1. Saplama kaynağı esnasındaki kaynak parametreleri 37
Çizelge 3.2. Kaynak parametrelerinin ortalaması ve standart sapması 39
Çizelge 3.3. Çalışmada kullanılan değişkenler ve seviyeleri 48
Çizelge 3.4. Montaj parçasının saplamaya sıkımı sonrası oluşan çökme miktarları 50
Çizelge 3.5. Ana etkilerin ve etkileşimlerinin çökme miktarı üzerindeki etkileri 53
Çizelge 3.6. Sadeleşmiş modelde ana etki ve etkileşimlerinin çökmeye olan etkileri 55
Çizelge 4.1. Farklı kombinasyonlara göre sacda görülecek ortalama çökme miktarı 64

1. GİRİŞ

Günümüzde hayatımızın büyük bir bölümünü kaplayan otomotiv endüstrisinin tarihi 19. yüzyılda buharın enerji kaynağı olarak kullanılmasıyla başlar. Petrolün içten yanmalı motorlarda kullanımı ve sağladığı konfor ile de hayatımızın büyük bir parçası olmuştur.

FORD T Modeli'nin benimsenmesi ile otomotiv üretimi hız kazanmıştır. İkinci Dünya Savaşı'ndan hemen önce ise araç üretimi elli milyonun üzerine çıkmıştır. Dünya üzerinde yıllık binek otomobil üretimi 2017 ve 2018 yıllarında ise yetmiş milyonun üzerine çıkmıştır (OICA, 2019).

Müşteri beklentilerinin, rekabetin ve üretim hızının her geçen yıl arttığı bir endüstride ilk seferde kaliteli ve hızlı üretimde önem kazanmaktadır. Bir otomobilin üretiminde yaklaşık otuz bin parçanın kullanıldığı düşünüldüğünde ilk seferde kaliteli ve hızlı üretim daha da zorunlu hale gelmiştir. Bu kadar adetteki parçalar farklı süreçlerden geçerek bir araya getirilir. Üretim süreçleri pres, gövde, boya ve montaj olmak üzere dört kısma ayrılabilir (Lopes vd., 2017).

Dört ana üretim tesisinden geçen her bir araca ilgili parçalar çeşitli üretim yöntemleri ile birleştirilir. Bu üretim yöntemleri kaynak, sıvı macun, kenet, perçin uygulamaları, vidalı birleştirmeler vb. olarak sıralanabilir. Tüm bu metotların her birinin alt süreçleri, teknik detayları ve kısıtları vardır. Ancak bu çalışma kapsamında iç trim, tesisat, halı gibi montaj parçalarının gövde üzerine montajında kullanılan saplamaların kaynak prosesinin detaylarından bahsedilmiştir ve parçaların montajı esnasında saplamaların sacı yırtarak kopmasını engellemek için parametre optimizasyonu yapılmıştır.

Saplama kaynağı 1920'li yıllardan itibaren kullanılmasına rağmen son kırk yılda daha da yaygın kullanılır hale gelmiştir (Ercan, 2011). Saplama kaynak prosesinde saplamanın çapına göre değişen kaynak akımı kullanılarak 3 mm'den 30 mm çapına kadar saplamalar milisaniyeler içerisinde iş parçasına birleştirilir (Erol, 2018). Saplama kaynak prosesi uygulanırken ortam şartlarına dikkat edilmesi gerekir. Uygulama esnasında saplama ve iş parçası üzeri boya, toz, yağ gibi kirlilik kaynaklarından arındırılmış olması gerekmektedir.

Yöntemin ilk kullanım dönemlerinde kaynak bölgesinin güvenilirliği çok azdı ve malzeme kullanımında sınırlamalar vardı. Gemi parçalarının bağlantısında kullanıldı. Ancak günümüzde saplama kaynak makinelerinde ve malzemede yaşanan gelişmeler sayesinde sadece çap kesite sahip saplamalar değil farklı şekillerdeki saplamalarda kaynatılabilir hale geldi. Saplama kaynak prosesi artık otomotiv sektöründe, köprü, bina, demir yolu inşaatında da kullanılmaktadır (Erol, 2018).

Çalışmada, sıkım değeri, çelik kalitesi ve sac kalınlığının montaj parçalarının saplama kaynatılmış iş parçası üzerine bağlanırken sacı yırtarak kopmasına etkisi incelenecektir. Tez çalışmasının ikinci kısmında, saplama kaynak prosesi ile ilgili yapılan çalışmalardan, saplama kaynak prosesinden, gövde üzerinde kullanılan çeliklerin kalitesinden, istatistiksel kavramlardan ve istatistiksel proses kontrolünden bahsedilmiştir. Tez çalışmasının üçüncü kısmında, deneyin yapıldığı prosesin yeterliliği incelendikten sonra veri toplama ve deney tasarımına geçilmiştir. Dördüncü kısımda ise deney çalışmasının çıktıları yorumlanmıştır. Son bölüm olan beşinci kısımda deneylerin sonuçları değerlendirilmiş ve gelecek çalışmalar için öneriler sunulmuştur.

2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI

Çalışmanın bu kısmında kaynak prosesinin tarihçesinden ve çeşitlerinden kısaca bahsedilmiştir. Çalışmanın konusu olan saplama kaynak prosesine ait yapılan çalışmalara değinilmiş ve saplama kaynak çeşitleri detaylı olarak anlatılmıştır. Ayrıca bu yöntemin araç gövdesi üzerinde uygulandığı bölgelerden ve montaj hatlarında saplamalara parça bağlanması esnasında yaşanan problemlerden de bahsedilmiştir. Son olarak istatistiksel proses kontrol yöntemlerinden ve kavramlarından da bahsedilmiştir.

2.1. Kaynak Tarihçesi

Kaynak, metal malzemenin ısı, basınç veya her ikisinin etkisiyle aynı cinsten ve ergime aralığı aynı veya yaklaşık bir malzeme katarak veya katmadan birleştirtilmesi yöntemidir (Kumru, 2007).

Tarihi milattan önceye dayanan kaynak yöntemi, zaman içerisinde gelişti ve pek çok çeşitli yöntemi bulundu. Kaynak terimi ilk kez M.Ö. Eski Ahit'te ortaya çıktı. 1922 yılında Krallar Vadisin'de mezarı bulunan Tutankamon'un lahidinin başı buna örnektir (Cornu, 1988).

19. yüzyıl ortalarına kadar neredeyse değişmeden kullanılan kaynak yöntemi demirciler tarafından yapılan dövme kaynak yöntemidir. Zamanla şekillendirme yöntemleri geliştirilerek mekanik montaj yöntemleri iyileştirildi ve ilkel kaynak yöntemlerinin yerini aldı (Cornu, 1988).

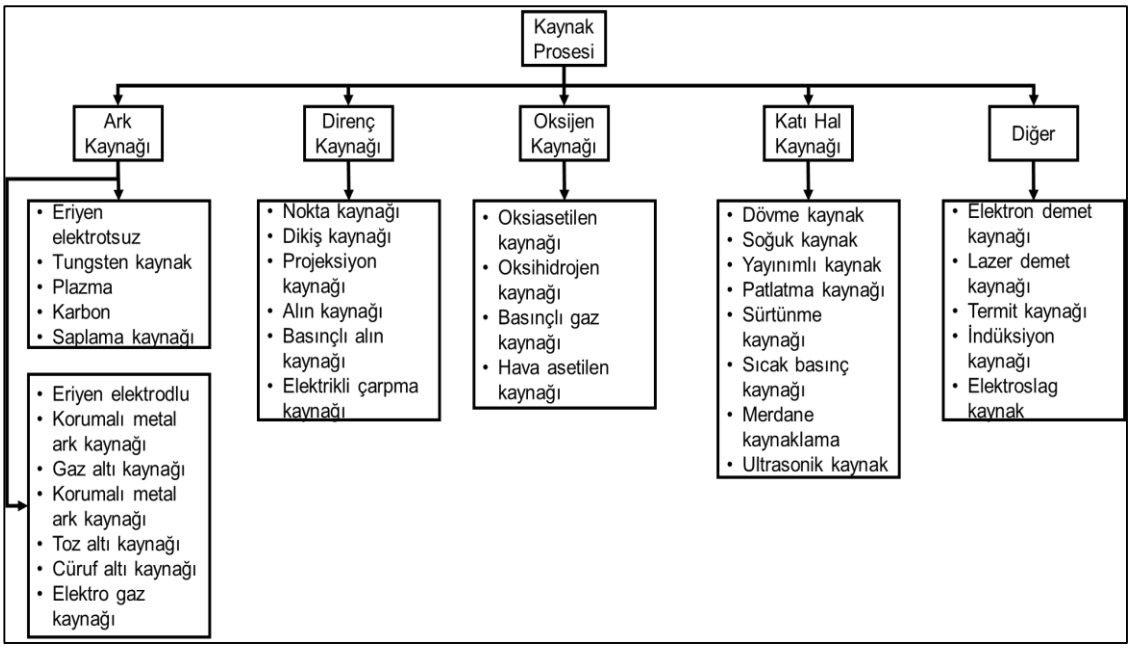
Kaynak için yeterli ısının oluşturulabilmesi için oksijen ve asetilen gibi gazları birleştirmek ve saklamak zaman içerisinde mümkün hale geldi. Ayrıca direnç ve ark kaynak metotları için gerek duyulan elektrik akımı da üretilebilir hale geldi. Sonunda kaynatılmak istenen parçalar arasında birleştirici bağ oluşturmak üzere katılaşan bir erimiş havuz oluşturulabildi. Direnç kaynağı, gaz kaynağı ve ark kaynağı gibi temel kaynak yöntemlerinin tümü I. Dünya Savaşı'ndan önceki dönemde geliştirildi (Weman, 2012).

Kaynak metodunun gelişimini hızlandıran ilk kimyasal yöntemlerdi. Termit kaynağı, akış kaynağının gelişmesiyle erimiş metalin dolgu malzemesi olarak kullanılması ve 1905-1930 yılları arasında Oksiasetilen kaynağı evrensel kaynak metodu oldu (Cornu, 1988).

Elektrik ark kaynağı, 1920'ler, 1930'lar ve 1940'larda örtülü elektrotların ve alternatif akımla yapılan kaynakların gelişmesiyle birlikte gelişmesi ilerleyen bir yöntem oldu (Anık vd., 1991).

Kaynak yöntemlerinin gelişmesini savunma ve uzay endüstrisinin talepleri de teşvik etmiştir. Örneğin, İkinci Dünya Savaşında magnezyumdan imal edilen uçaklar için TIG/MIG kaynak metodu geliştirilmiş, endüstride hemen hemen bütün yarı otomatik kaynak yöntemlerinde kullanılır hale gelmiştir (Anık, 1991).

Endüstrinin hemen her alanında kullanılan ve gerek işlem çeşitliliğine gerekse imalat çeşitliliğine göre sınıflandırılabilen kaynağın kırktan fazla yöntemi olduğu bilinmektedir. Şekil 2.1'de kaynak prosesinin işlem çeşidine göre sınıflandırılması verilmiştir.



Şekil 2.1. Kaynak prosesleri sınıflandırması (Hamza, 2014'ten değiştirilerek alınmıştır)

2.2. Saplama Kaynak Prosesi Üzerine Yapılan Çalışmalar

Ramasamy (2002), yapmış olduğu çalışmada 5754-O ve 6061-T6 alüminyum alaşımlı malzemelere ark saplama kaynağı yöntemi ile saplamaların kaynak edilebilirliğini test ederek bağlantıların mekanik ve makro yapısal özelliklerini incelemiştir. Çalışmanın sonucunda bu alaşımlarda DIN 8563 standardına göre minimum gözenek tespit etmiştir. Ayrıca kaynakların iyi mekanik özellikte kaynatılabileceğini tespit etmiştir.

Ganeshmurth ve Grzadzinski (2007), yaptıkları çalışmada kaynak saplaması diş tipi, saplama kaplaması, sac kalınlığı ve saplama malzemesinin sıkım esnasında saplama üzerinde oluşan tork-gerilim üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Saplama kaplamasının bakırdan çinkoya değiştirildiğinde somun faktörü, diş sürtünme katsayısı ve alt sürtünme katsayısı değerlerinin azaldığını ve yüksek malzeme sınıfı saplamaların kullanıldığı durumlarda ise saplama mukavemetinin arttırıldığından, somun faktörü, diş sürtünme katsayısı ve alt sürtünme katsayısı değerlerinin de arttığını tespit etmişlerdir.

Samardzic vd. (2009), çalışmalarında çelik levha ve boru üzerinde seramik halkalı çekilmiş ark kaynağı ile saplamaların kaynatılması sırasında kaynak parametrelerinin sertleşmiş bölge uzunluğuna etkisini ve kaynak parametrelerinin penetrasyon derinliğine etkisini incelemişlerdir. Parametrelerin penetrasyon derinliği üzerindeki etkisi için deney tasarımında kaynak akımı, kaynak süresi ve ana metal geometrisini iki seviye olarak kullanmışlardır. Kaynak akımı, zaman ve kaynak geometrisinin kaynak sırasında nüfuz etmede önemli bir etkisi olduğunu ancak en büyük etkinin kaynak akımı olduğunu tespit etmişlerdir. En yüksek penetrasyonu ise en yüksek akımda ve kaynak süresinde boru üzerinde elde etmişlerdir. Sertleştirilmiş bölge uzunluğu için ise deney tasarımında kaynak akımını ve kaynak süresini iki seviyeli olarak kullanmışlardır. Kaynak akımının sertleştirilmiş bölge üzerinde etkisinin fazla olduğunu tespit etmişlerdir.

Ercan (2011), kondansatör boşaltmalı saplama kaynak yöntemi ile 3 mm ve 5 mm kalınlığındaki bakır levhalar üzerine, 3 mm kalınlığındaki bakır kaplı çelik saplamaları farklı voltaj değerlerinde kaynatarak saplamaların birleşme mukavemetini ve mikro yapısını incelemiştir. En sağlam dayanımı 150 volt kaynak geriliminde, 5 mm

kalınlığındaki bakır levhaya uyguladığı saplama kaynak bölgesinde görmüştür. Çalışmasında kalın parçalarda voltaj değerine bağlı olarak gözenekli yapıları gözlemlemiştir. Ayrıca kalın parçalarda soğuma hızı arttığından kaynak metali geçiş kısımlarında sertlik artışları da gözlemlemiştir.

Gündoğdu (2011), kondansatör boşaltmalı saplama kaynak yöntemi ile 5 mm kalınlığındaki Al levhalar üzerine farklı voltaj değerlerinde 5 mm çapındaki saplamaların kaynak edilebilirliğini incelemiştir. Bu çalışmasında 100 volt üstündeki değerlerde saplamaların kaynatılabildiğini ancak 100 volt atında saplamaların kaynatılamadığı gözlemlemiştir. Ayrıca düşük volt değerlerinde ark başlangıç bölgesinde gözenekli yapının oluştuğunu ancak yüksek volt değerlerinde gözenekli yapıların oluşmadığını gözlemlemiştir.

Güleç (2013), dört farklı FeAl intermetalik malzeme üzerine farklı kaynak gerilmelerinde çelik, alüminyum ve bakır kaplı saplamaları kaynatarak kaynak bölgesi mikro yapılarını incelemiştir. En sağlam dayanımı 170 volt kaynak gerilimi ile paslanmaz çelik saplamanın Fe30Al intermetalik plaka üzerine kaynatılmasında hesaplamıştır. Kaynak bölgesindeki penetrasyonun akım ve kaynak süresinin artmasıyla hızla arttığını ancak daldırma ve çekmenin artmasıyla az arttığını tespit etmiştir.

Hildebrand ve Soltanzadeh (2014), çalışmalarında saplama ark kaynağında ısının yapısal değişiklikler üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Malzeme yorulma mukavemetinin enerji girişi, termal ve mekanik davranışı ile kaynak sırasındaki metalürjik sertleşmeyle de etkileşimlerine bağlı olduğunu belirtmişlerdir. Isıdan etkilenen bölgenin düşük sertlikte ve küçük boyutlu olduğu durumlarda çekme etkisinin iyileştiğini savunmuşlardır.

Hamza (2014), çalışmasında ark saplama kaynağı yöntemi ile AISI304 paslanmaz çelik saplamaları aynı tip plakalara kaynatarak kaynak parametrelerinin mikro yapıya etkisini incelemiştir. Kaynak parametrelerini kaynak zamanı, kaynak süresi, daldırma ve kaldırma olarak belirlemiştir. Çalışmasında saplama çapının büyümesiyle daha büyük kaynak akımlarına ve kaynak süresine ihtiyaç duyulduğunu gözlemlemiştir. Çekme

mukavemetine en çok etki eden parametrenin kaynak süresinin olduğunu ve bunu sırasıyla akım, daldırma ve çekme parametrelerinin olduğunu gözlemlemiştir.

Talaş vd. (2014), mikrodalgada sinterlenmiş Fe-26Al toz karışımlı levhalar üzerine düşük karbonlu çelik saplamalar kaynatmış ve kaynak voltajının etkisini incelemişlerdir. Çelik saplamaların kaynak bölgesinde çatlamaya eğilimli olduklarını ve düşük voltajda hızlı soğumanın etkisiyle kaynak bölgesinde metal tozlarının arasında kohezyonun olduğunu tespit etmişlerdir. Kaynak sırasında Al tozlarının eriyerek kohezyonu arttırdığını da tespit etmişlerdir. Ayrıca kaynağın voltaj değerini arttırdıkça kaynak bölgesindeki çatlakların sayısının ve boyutunun arttığını gözlemlemişlerdir.

Çakmakkaya vd. (2016), çalışmalarında kondansatör boşaltmalı saplama kaynağı yöntemi ile çapı 4 mm olan standart alüminyum saplamaların 6082 alaşımlı plakalara farklı voltaj değerlerinde kaynak edilebilirliğini incelemişlerdir. Çalışmalarında düşük voltaj ile yapılan kaynak işlemlerinde kaynağın başarısız olduğunu ancak 150 volt ve 160 volt değerlerindeki kaynak işleminin başarılı olduğunu tespit etmişlerdir. Çalışmalarında saplamaların kaynak edilebilirliğine ilave olarak malzemelerin penetrasyonunu ve kırılgan bölge oluşumunu da incelemişlerdir. Çalışmaları sonucunda en önemli parametrenin kaynak gerilimi olduğunu tespit etmişlerdir.

Yılmaz vd. (2017), ark saplanma kaynağı yöntemiyle plakalar üzerine 6 mm çapında 6013-T6 alüminyum alaşımlı saplamaları aynı alaşımlı plakalar üzerine kaynatıp parçaları çekme ve sertlik testlerine tabi tutmuşlar ve mikro yapılarını incelemişlerdir. Çalışmalarında kaynak metali ve geçiş bölgesinde kaynak geriliminin artması ile sertlik değerlerinde azalmanın olduğunu görmüşlerdir.

Erol (2018), dış çapı 10 mm ancak iç çapı 6 mm, 7 mm ve 8 mm olan içi boş paslanmaz ASI304 çelik saplamaları, paslanmaz AISI304 çelik levhalara ark saplama kaynak yöntemi kullanılarak kaynatmıştır. Çalışmasında farklı parametrelerin kaynak bölgesindeki etkisini incelemiştir. Çalışmasında kaynak kalitesi üzerinde, akım değerinin ve kaynak zamanı parametrelerinin, daldırma ve çekme parametrelerine göre daha etkili olduğunu gözlemlemiştir. İyi bir çekme kalitesi için, akım, kaynak zamanı,

dalma ve çekme parametrelerinin iç çapı farklı olan her bir saplama için ayrı ayrı hesaplanarak girilmesi gerektiğini tespit etmiştir. En iyi çekme mukavemetini iç çapı 6 mm olan saplama için 800 amper, 0,3 saniye kaynak süresi, 2,5 mm dalma, 4 mm kaldırma olarak hesaplarken; 7 mm iç çapa sahip saplama için 700 amper akım, 0,25 saniye kaynak süresi, 2 mm daldırma, 3 mm kaldırma olarak hesaplamış ve 8 mm iç çapa sahip saplama için ise 600 amper akım, 0,25 saniye kaynak süresi, 2,5 mm dalma ve 4 mm kaldırma olarak hesaplamıştır.

Abbas vd. (2021), çalışmalarında ark saplama kaynağı metodu ile AISI 316Lve AISI 304 paslanmaz çelik saplamaları AISI 1020 plakalarının üzerine farklı akım ve farklı kaynak zamanları parametreleri girilerek kaynatmışlar, kaynağın mekanik özelliklerini ve mikro yapılarını incelemişlerdir. Çalışmalarında ısıdan etkilenen bölgede farklı karbür türlerinin oluştuğunu gözlemlemişlerdir. Artan ısı ile ısıdan etkilenen bölgenin sertlik değerinin arttığını tespit etmişlerdir.

Babacan vd. (2022), çalışmalarında kondansatör boşaltmalı saplama kaynak yöntemi ile atmosfer korumasız ortamda 6060, 6082 ve 6005 alaşımlı 5 mm kalınlığındaki plakalara 5 mm çapındaki saplamaları farklı volt değerlerinde kaynatarak deneyde kullanılan parametrelerin etkilerini incelemişlerdir. Çalışmalarının sonucunda genel olarak 70 volt 80 volt gibi düşük ve 150 volt -160 volt gibi yüksek volt değerlerinde saplama çevresinde gözenekler tespit etmişlerdir. Yüksek volt değerlerinde ayrıca saplamaların dışına doğru kaynak sıçraması ve metal birikintisi tespit etmişlerdir. Saplamalar kaynatıldıktan sonra yapılan tüm testlerde düşük voltajla yapılan deney numunelerinin koptuğunu gözlemlemişlerdir.

Saplama kaynak prosesi üzerine yapılan çalışmalar daha çok, çeşitli saplama kaynak metotları kullanılarak, farklı malzeme özelliklerine sahip saplamaların, farklı malzeme özelliklerine sahip plakalar üzerine kaynak edilebilirliği üzerinedir. Yapılan çalışmalarda saplamaların kaynak edilebilirliğinin yanı sıra farklı değerlerde akım, gerilim ve kaynak zamanları gibi parametreler kullanılarak ısıdan etkilenen bölgenin uzunluğu ve mikro yapısındaki değişimlerde incelenmiştir. Literatürde incelenen çalışmalarda başarılı bir şekilde gerçekleşen saplama kaynak prosesinde, parça montajı

sırasında yaşanan kalite problemleri incelemesine rastlanmamıştır. Bu çalışma kapsamında ise başarılı bir şekilde gerçekleşmiş saplama kaynak prosesi sonucu montaj tesisinde parça bağlanması esnasında yaşanan kalite problemlerinden biri olan saplamanın sacı yırtarak kopması durumu incelenmiştir.

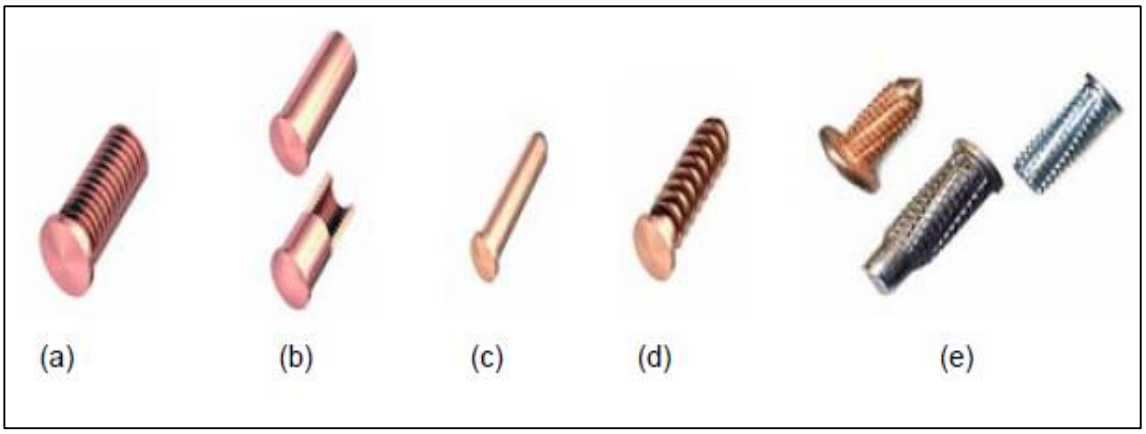
2.3. Saplama Kaynak Yöntemi ve Çeşitleri

Her iki ucuna vida açılmış başsız cıvatalar saplama olarak isimlendirilir (Harre ve Şan, 2020). Şekil 2.2'de bir saplama örneği gösterilmiştir.



Şekil 2.2. Saplama örneği (Harre ve Şan, 2020)

Ancak otomotiv sektöründe kullanım amacına ve yerine göre saplamalar çeşitlilik göstermektedir. Şekil 2.3'te otomotivde kullanılan saplamalara örnek verilmiştir.



Şekil 2.3. Otomotivde kullanılan saplama örnekleri **a)** Standart saplama **b)** İçten dişli saplama **c)** Dişsiz saplama **d)** Klips bağlantı saplaması **e)** Özel tip saplama (Ercan, 2011)

Saplama kaynağı, iş parçasına bağlantı elemanı olan kaynak saplamasının kaynatılarak birleştirilmesi yöntemidir (Al-Sahib vd., 2009). Saplama kaynağının işlem farklılıkları göz önüne alındığında, kondansatör boşaltmalı ve ark saplama kaynağı olmak üzere iki farklı çeşidi vardır. Saplama kaynak çeşitlerinin seçimi, kaynak işlemi uygulanacak malzemelerin özelliklerine, kaynaklı parçaya uygulanacak yükün miktarı gibi kriterler göz önünde bulundurularak yapılır.

Hızlı ve basit olması sebebiyle çokça tercih edilen bir yöntemdir. Birleştirilecek parçalar ark vasıtasıyla kısa fakat yoğun bir şekilde ısıtılır ve bu ısı yüzeyleri eritir. Cıvata veya saplama özel bir kaynak tabancasıyla kaynak havuzuna daldırılır (Weman, 2012). Saplama kaynağı, manuel veya robotik bir proses olarak uygulanabilir.

Gillings (2019)'e göre saplama kaynağının avantajları:

- **Estetik:** Cıvata ya da saplama iş parçasının tek tarafına kaynatıldığından parçanın diğer tarafında çok az etki bırakır. Hem estetik açıdan gözü yormadığı hemde güvenli olduğundan tercih edilen bir yöntemdir.

- **Uygulanabilirlik:** Çeşitli malzeme özelliklerine sahip iş parçalarına, farklı ebatlardaki saplama ve somunlar kolaylıkla uygulanabilir.

- **Ergonomi:** Kaynak işleminin özellikle manuel uygulamalarında operatörün ekstra çaba sarf etmesine gerek yoktur. Parçanın tek tarafına erişimi yeterlidir.

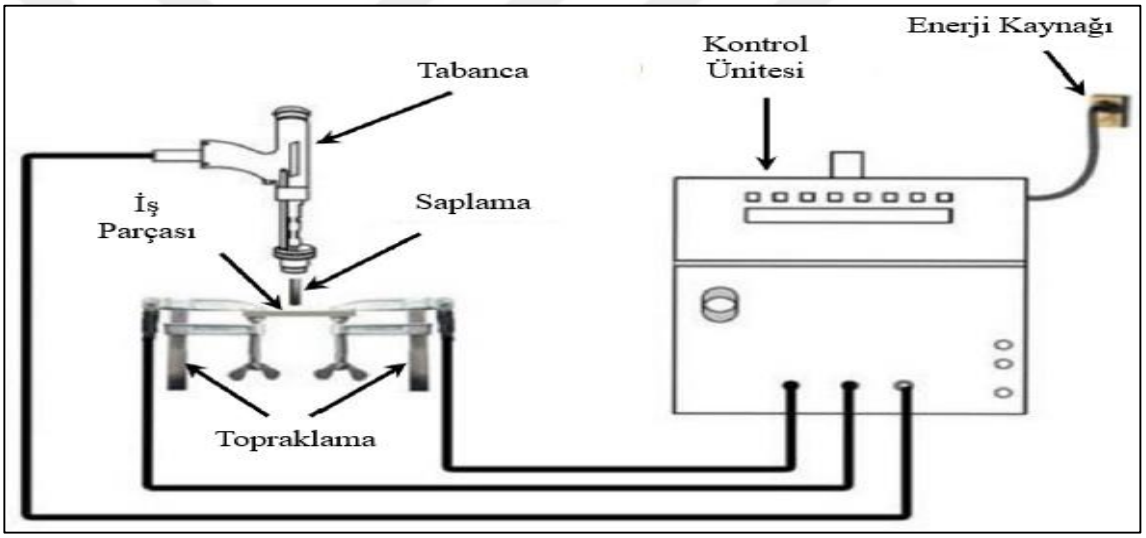
- **Ekstra Operasyon:** Saplama kaynağında iş parçası sacına delik açılmadığından kaynak sonrası sacın temizlenmesine veya herhangi bir operasyonun tanımlanmasına ihtiyaç yoktur.

- **Hız:** Saplama kaynağı hızlı bir kaynak yöntemidir. Hızı arttırmak için proses kısmen ya da tamamen otomatikleştirilebilir.

- **Otomasyon:** Yatırım bütçesine, beklenen kaliteye ve üretim hızına bağlı olarak sürecin tamamı ya da bir kısmı otomasyona dayalı olarak tasarlanabilir.

Saplama kaynağı, sac metal işlerinde, elektrik panolarının imalatında, otomotivde, gemi inşaat endüstrisinde, çelik mobilyaların imalatında, yalıtım malzemelerinin tutturulasında, makine imalatında, vb. olmak üzere endüstrinin pek çok alanında tercih edilmektedir.

Saplama kaynağı prosesinde, saplama öncelikle iş parçasına dik olarak yanaştırılır. İş parçasına yaklaştırılan saplama ile parça arasında kılavuz ark oluşturulur. Saplama yüzeye temas ettirilerek çekilir ve ark oluşturulur. Yüzeyler arasında erime gerçekleştiğinde saplama kaynak havuzuna daldırılır ve kaynak tamamlanır (Gündoğdu, 2011). Şekil 2.4'te saplama kaynak prosesi ekipmanlarının şematik gösterimi verilmiştir.

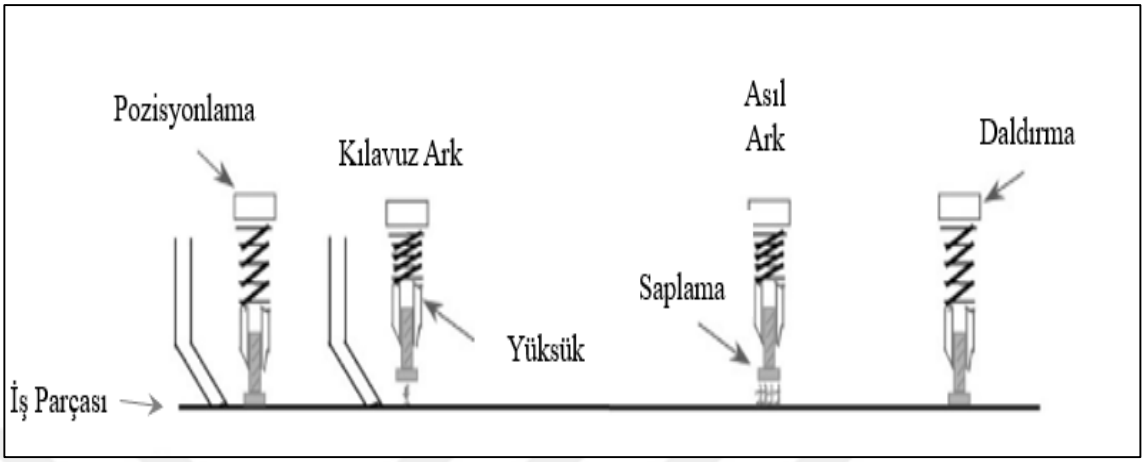


Şekil 2.4. Saplama kaynak prosesi ekipmanlarının şematik gösterimi (Erol, 2018'den değiştirilerek alınmıştır)

2.3.1. Ark saplama kaynağı (ASW)

Ark saplama kayağı yönteminde saplama ile metal levha arasında doğru akım ile ark oluşturulur. Doğru akım oluşturmak için transformatör kullanılır. Bu yöntemin proses akışı; saplama önce kaynatılacak parçaya yaklaştırılır ve yaklaşık 10 amperlik bir ön akım oluşturulur. Ön akımdan sonra saplama bir miktar geri çekilir. Akım ark oluşturmaya devam eder ve bu esnada tam güç uygulanarak asıl akım değeri verilir. Saplama ve metal levha erimesi sağlanır. Saplama erimiş metal havuzuna daldırılarak

kaynak işleminin tamamlanması sağlanır (Güleç, 2013). Şekil 2.5'te saplama kaynağının aşamaları verilmiştir.



Şekil 2.5. Saplama kaynak prosesi aşamaları (Ramasamy, 2002'den değiştirilerek alınmıştır)

Akı ve yüksük ark saplama kaynağı, kısa çevrim ark saplama kaynağı gazlı ark saplama kaynağı olmak üzere üç farklı çeşidi vardır.

- **Akı ve yüksük ark saplama kaynağı:** Bu yöntemde akı, kaynak havuzunu çevredeki kirlilik kaynaklarından korur. Kaynak esnasında çevredeki kirlilik kaynaklarından kaynak bölgesini korumak için saplama etrafına seramik yüksük eklenir. Kaynak sonrasında seramik yüksük kırılarak parçadan ayrılması sağlanır (Hamza, 2014).

- **Kısa çevrim ark saplama kaynağı:** Bu yöntemde kaynak bölgesini çevresel kirden koruyan akı veya seramik yüksük kullanılmaz. En kısa sürede gerçekleşen saplama kaynak yöntemidir. Kaynak havuzunu çevresel etkilerden koruyan bir yapı olmadığı için kaynak bölgesinde mukavemeti zayıflatan gözenekli yapılar oluşabilir. Bu sebeple mukavemetin çok önemli olmadığı ancak sürenin ve maliyetin önem kazandığı durumlarda tercih edilir (Hamza, 2014).

- **Gazlı ark saplama kaynağı:** Bu yöntemde de akı ve seramik yüksük kullanılmaz ancak kaynak bölgesi koruyucu soy gazlarla korunur. Akı ve yüksük ark saplama kaynağına göre saplamanın parça içerisine daha az nüfuz ettiği yöntemdir.

2.3.2. Kondansatör boşaltmalı saplama kaynağı (CDSW)

Bu yöntemde, kondansatörde depolanmış enerji çok kısa süre içerisinde boşaltılır ve bu esnada oluşan akımın teorikte sonsuz değerde olacağı esasına dayanır. Bu yöntemde kullanılan saplamaların ucu özeldir ve ucunda silindirlik bir çıkıntı vardır (Şekil 2.6). Uç, kaynak yapılacak iş parçasına değdirildiğinde ve tetiğe basıldığında, kondansatörün enerjisini boşaltan bir akım geçer, bu sayede ucun buharlaşarak iyonlaşması sağlanır. İyonize ortamda iş parçası ve saplamanın eriyerek kaynamasını sağlayan ark oluşur (Atmaca vd., 2014).



Şekil 2.6. CDSW cihazlarında kullanılan özel uçlu saplamalar (Atmaca vd., 2014)

İlk temas kondansatör boşaltma saplama kaynağı, ilk boşluk kondansatör boşaltma saplama kaynağı, çekilmiş ark kondansatör boşaltma saplama kaynağı olmak üzere üç farklı çeşidi vardır.

- **İlk temas kondansatör boşaltma saplama kaynağı:** Yöntemin ortalama çevrim süresi 6 milisaniyedir. Çevrim iş paçası üzerine saplamanın değdirilmesi ile başlar. Saplama üzerindeki ucu eritmek üzere akım boşaltılır. Akım etkisiyle saplama yüzeyi ve iş parçası yüzeyi eritilir. Kaynak esnasında saplama tabanca içerisindeki yay vasıtası ile kaynak havuzu içerisine daldırılır (Hamza, 2014).

- **İlk boşluk kondansatör boşaltma saplama kaynağı:** İlk temas yönteminden daha kısa sürede gerçekleşir. Saplamanın iş parçasına girişimi 0,1-0,15 mm kadardır. Estetik yüzeyler için uygun bir yöntemdir. Bu yöntemin işlem çevrimi saplamanın iş parçasından uzak tutulmasıyla başlar. Çevrimin başında, iş parçası yüzeyine doğru parça zorlanır ve akımın geçmesi sonucunda yüzeyler erir. Yayın uyguladığı basınç sayesinde saplama kaynak havuzuna daldırılır (Hamza, 2014).

- **Çekilmiş ark kondansatör boşaltma saplama kaynağı:** Bu yöntemde çevrim süresi daha uzundur. Proses iş parçasına, saplamanın temasıyla başlar. Çevrim başladığında saplama üzerindeki uç akım dalgalanmasına maruz bırakılır. Bu esnada tabanca saplamayı iş parçasından arada az bir boşluk kalacak şekilde geri çeker. Oluşan akım ile yüzeyler eritildikten sonra tabanca içindeki yay ile saplama kaynak havuzuna daldırılır ve çevrim tamamlanır (Hamza, 2014).

2.4. Saplama Kaynak Yönteminde Kaynak Havuzunun Korunması

Kaynak bölgesinin oksitlenmesini gidermek, kaynak kalitesini arttırmak için kaynak esnasında kaynak havuzunun korunması gerekmektedir. Kaynak havuzu, seramik halkalarla ya da gaz ile korunabilir.

Büyük kaynak havuzlarının oluştuğu 10-25 mm çapındaki saplamalar için arkın yoğunlaşması ve şişen kısımların şekillendirilmesinde seramik halkalar kullanılır. Kaynak bölgesinde gözenekli yapının oluşumunu önlemek için koruyucu gazlarda kullanılır (Güleç, 2013).

2.4.1. Seramik halkalı saplama kaynağı

Kaynak havuzunun seramik halka ile korunduğu yöntemde, kaynak bölgesi etrafında yanma odası oluşturulur. Oluşturulan yanma odası ile kaynak sıçramaları engellenir ve halka sayesinde ark belirli bir bölgede yoğunlaştırılır. Seramik halkanın kullanıldığı yöntemde ısının uzaklaşması engellenir ve ani soğumanın önüne geçilir (Ercan, 2011).

2.4.2. Koruyucu gaz altında saplama kaynağı

Kaynak bölgesinin dayanımını ve korozyon direncini arttırmak için koruyucu gazlar kullanılır. Kolay iyonlaşması, iyi oksit temizleme kabiliyeti ve düşük maliyet sebebiyle genellikle tercih edilen gaz argondur. Argon gazı, eriyik metallerle reaksiyona girmediği için paslanmaz çelik, bakır ve alüminyum malzemeleri korumak için kullanılır. Bir miktar CO_2 ve oksijenin eklenmesiyle, kaynak metali özelliklerinin iyileştirilmesi sağlanır (Erol, 2018). Kaynak yığılmasının iyi şekillendirilebilmesi ve dar bir alanda arkın yoğunlaşması talep edildiğinde ilave olarak seramik halkada kullanılabilir (Ercan, 2011).

2.4.3. Korumasız saplama kaynağı

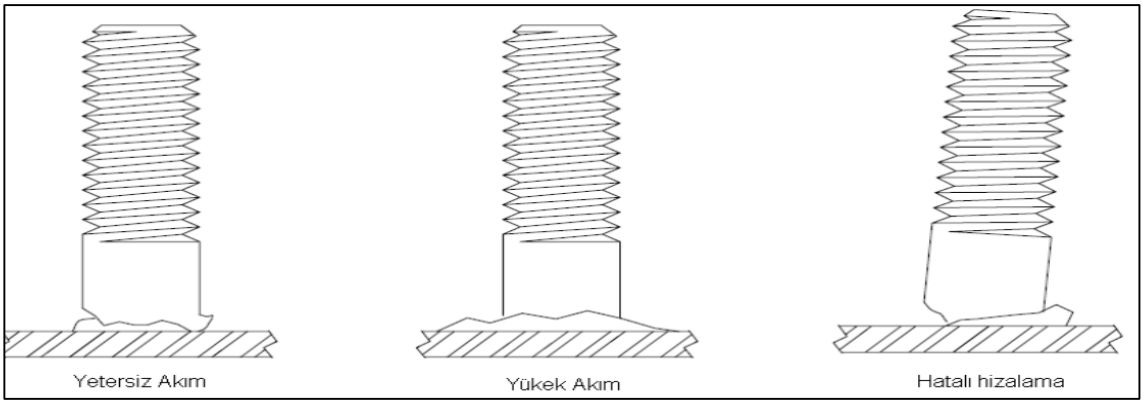
Daha çok küçük çaplı saplamalar (d<10mm) ve ince saclar kullanıldığında kaynak havuzları korunmayabilir. Korumasız kaynak havuzları için 100 ms gibi kısa kaynak süreleri tercih edilir (Ercan, 2011).

2.5. Saplama Kaynak Yönteminde Karşılaşılabilecek Problemler

Saplama kaynağında, karşılaşılabilecek problemleri iki gruba ayırmak mümkündür. Bunlar kaynak prosesindeki zafiyetler sebebiyle yaşanabilecek problemler ve iş parçasına bağlantı elemanı olarak kaynatılan saplamaya parça montajlanması sırasında yaşanabilecek problemlerdir.

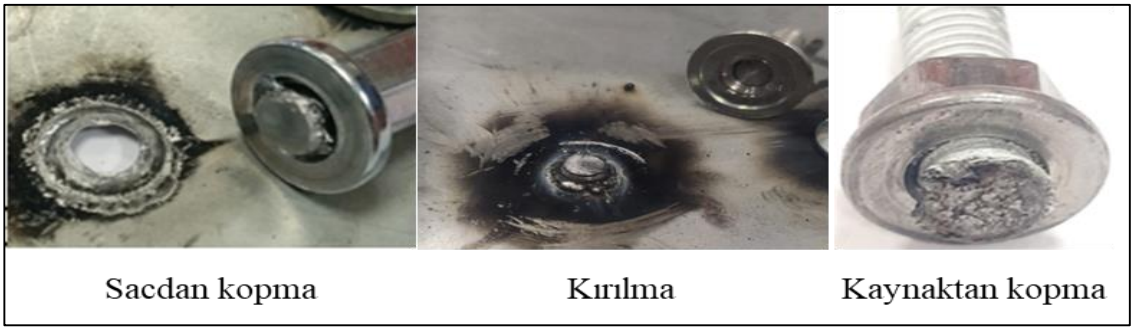
Saplamanın iş parçasına kaynatılması esnasında proses zafiyetleri sebebiyle yaşanabilecek üç çeşit problem Şekil 2.7'de gösterilmiştir. Akımın yetersiz olduğu durumlarda oluşan ark zayıf olacaktır ve sağlıksız bir kaynak birleşmesi gerçekleşecektir. Akımın yüksek ve dolayısı ile arkın yüksek olduğu durumlarda ise ısıdan etkilenen bölge fazla olacağından büyük bir kaynak havuzu oluşacaktır. Bu durumda malzemelerin mekanik özellikleri değişecek ve kullanım yerine göre estetik hatalara da sebep olacaktır. Kaynak esnasında yaşanabilecek bir diğer problem ise saplamanın düzgün hizalanamamasıdır. Saplama kaynağında beklenti saplamanın iş parçasına dik kaynatılmasıdır. Kaynak esnasında saplama yüzeyinin değişmesi kaynak

parametrelerini değiştirebilir ve zayıf bir kaynağın elde edilmesine sebep olabilir (Doğan, 2011).



Şekil 2.7. Saplama kaynağı esnasında proses kaynaklı yaşanan problemler (Doğan, 2011)

İş parçası üzerine kaynatılan saplamaya montaj parçası bağlanırken bazı problemlerle karşılaşılabilir. Bu tez çalışmasında, montaj parçasının saplamalara bağlanması esnasında yaşanan sacdan kopma problemine etki eden parametreler incelenecektir. Şekil 2.8'de ise montaj parçasının saplamalara bağlanması esnasında yaşanan problemler gösterilmiştir.



Şekil 2.8. Montaj parçasının saplamalara bağlanması esnasında yaşanan problemler

Montaj esnasında saplama kaynaklarında görülen problemlerin pek çok sebebi olabilir. Sac malzeme dayanımı ve montaj parçasının bağlanması esnasındaki uygulanan tork değerinin uyumsuzluğu sacdan kopmaya sebep olurken, saplama dişleri arasında kalan herhangi bir çapak, kir ise saplamanın kırılmasına sebep olmaktadır. Ayrıca gözle

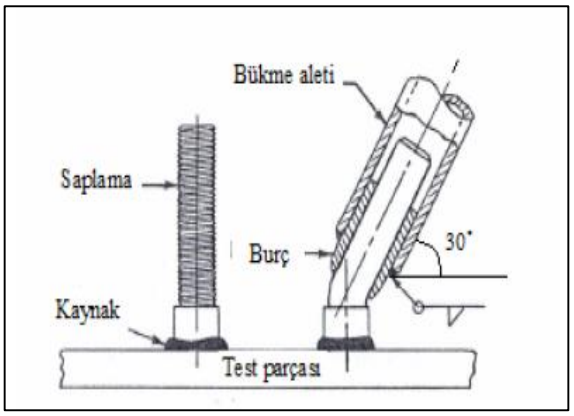
kontrol edildiğinde kaynak bölgesinde herhangi bir problem yokmuş gibi gözükmesine rağmen sac ve saplama arasında yeterli penetrasyonun gerçekleşmediği durumlarda, parça montajı esnasında saplamanın kaynak bölgesinden kopması da söz konusudur.

2.6. Saplama Kaynatılan Parçalara Uygulanan testler

Saplama kaynatılan parçalara kaynağın uygunluğu için eğme testi, sertlik testi, tork testi ve çekme testi olmak üzere dört farklı test yapılır. Bu testler tesis ilk kurulduğunda ürünün ve prosesin doğruluğu için yapılmalıdır. Ancak vardiya geçişlerinde, önemli üretim duruşları sonrasında, proseste yapılan büyük değişiklikler sonrasında ya da üretim şartlarına göre belirlenen aralıklarda yapılması gerekebilir.

2.6.1. Eğme testi

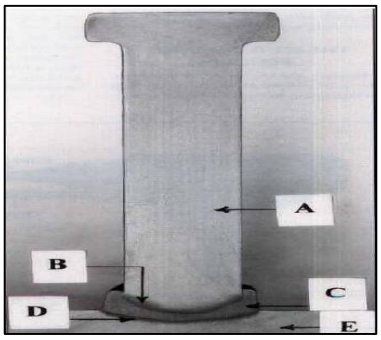
Bir boru vasıtasıyla parça üzerine kaynatılmış saplama minimum 30^0 eğilmeye zorlanır. Test sırasında borunun saplamaya hasar vermemesi için burç kullanılmalıdır. Bu yöntemde AWS Structural Welding code D1.1-72 standartlarında belirtilen hususlar dikkate alınmalıdır (Ercan, 2011). Başarılı gerçekleşen kaynak prosesinde saplamanın kaynak bölgesinden kopmaması beklenir. Şekil 2.9'da eğme testi gösterilmiştir.



Şekil 2.9. Saplamaya uygulanan eğme testi (Ercan, 2011)

2.6.2. Sertlik testi

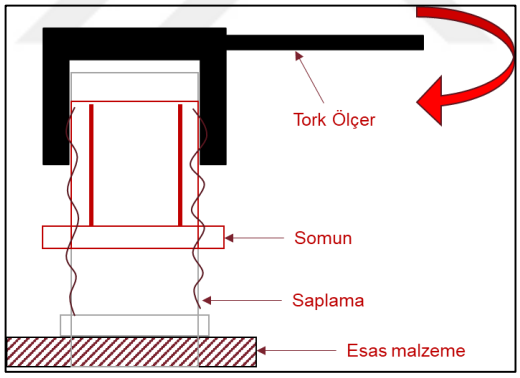
Kaynak sonrasında, saplama, kaynak metali, esas metal ve kaynak geçiş bölgelerinin ölçümü sertlik ölçüm cihazı ile yapılır. Şekil 2.10'da sertlik ölçümü yapılacak bölgeler gösterilmiştir.



Şekil 2.10. Kaynak sonrası sertlik ölçümü yapılan bölgeler **A)** Saplama **B)** Saplama kaynak metaline geçiş **C)** Kaynak metali **D)** Kaynak metali esas metale geçiş **E)** Esas metal (Gündoğdu, 2011)

2.6.3. Tork testi

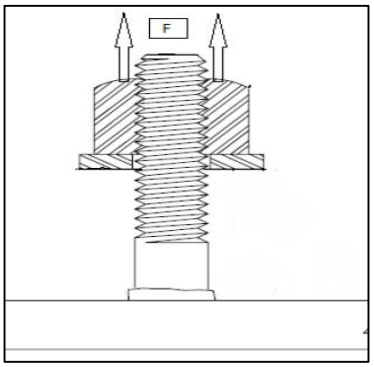
Saplamalar kaynatıldıktan sonra, tork kontrol ekipmanıyla saplama üzerine somun önceden belirlenen değere ulaşıncaya kadar sıkılır. Tork testi ISO 13918 standartlarında belirtilen esaslara göre yapılmalıdır (Ercan, 2011). Başarılı gerçekleşen kaynak prosesinde saplamanın kaynak bölgesinden kopmaması beklenir. Şekil 2.11'de testin şematik gösterimi verilmiştir.



Şekil 2.11. Tork testi şematik gösterimi

2.6.4. Çekme testi

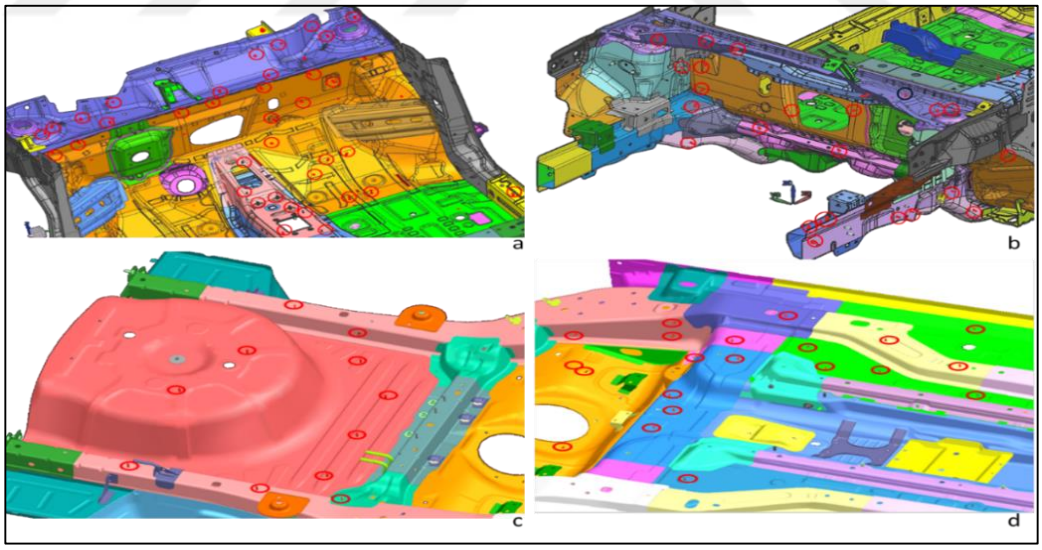
Saplamalar plaka üzerine kaynatıldıktan sonra çekme testi ekipmanı ile numune parçalar kopana kadar çekmeye maruz bırakılırlar. ISO 13918 nolu standartta belirtilen esaslara göre test yapılır (Ercan,2011). Şekil 2.12'de testin şematik gösterimi verilmiştir. Başarılı gerçekleşen kaynak prosesinde saplamanın kaynak bölgesinden kopmaması beklenir.



Şekil 2.12. Çekme testi şematik gösterimi (Gündoğdu, 2011)

2.7. Gövde Üzerinde Saplama Kaynak Prosesinin Uygulandığı Bölgeler

Araç gövdesi üzerinde saplama kaynak prosesi, iç ve dış trim parçalarının, kablo tesisat montajlarının yapılabilmesi amacıyla, taban altına, davlumbaz boşluklarına, kabin içine, ön göğüs bölgesine, ön ve arka şasi kolları olmak üzere hemen hemen aracın tüm bölgesine uygulanır. Araç üzeri bagajlarının montajı için tavandaki su oluğu bölgesine uygulanan saplama kaynak prosesi de mevcuttur. Şekil 2.13'te saplama kaynak prosesinin araç üzerinde uygulandığı bölgelere örnek verilmiştir.



Şekil 2.13. Saplama kaynak prosesinin gövde üzerinde uygulandığı bölgeler **a)** Kabin içi **b)** Ön göğüs bölgesi ve ön şasi kolları **c)** Arka taban ve arka şasi kolları **d)** Orta taban altı

Gövde üzerine kaynatılan saplama adetleri ve tipleri otomotiv üretici firmadan firmaya, aracın ebatlarına ve montaj hatlarında bağlanan parça çeşitliliğine göre değişiklik göstermektedir.

Tofaş'ta mevcutta üretilen binek model araçların tesisat klipslerini bağlamak için 5x14, iç trim parçalarının montajı için M6x20 ve topraklama kablolarının bağlanması için M6x20 topraklama saplamaları (PDM) kullanılmaktadır. Çizelge 2.1'de Tofaş'ta üretilen binek model araçlarda kullanılan saplama örnekleri verilmiştir.

Çizelge 2.1. Binek araçlarda kullanılan saplama örnekleri

Kullanım Amacı	Tesisat klips montajı	Trim parçalarının montajı	Topraklama tesisatı montajı
Saplama Ölçüsü	M5 x 14	M6x20	M6x20
Saplama Görseli			

2.8. Araç Gövdesinde Kullanılan Çeliklerin Kalitesi

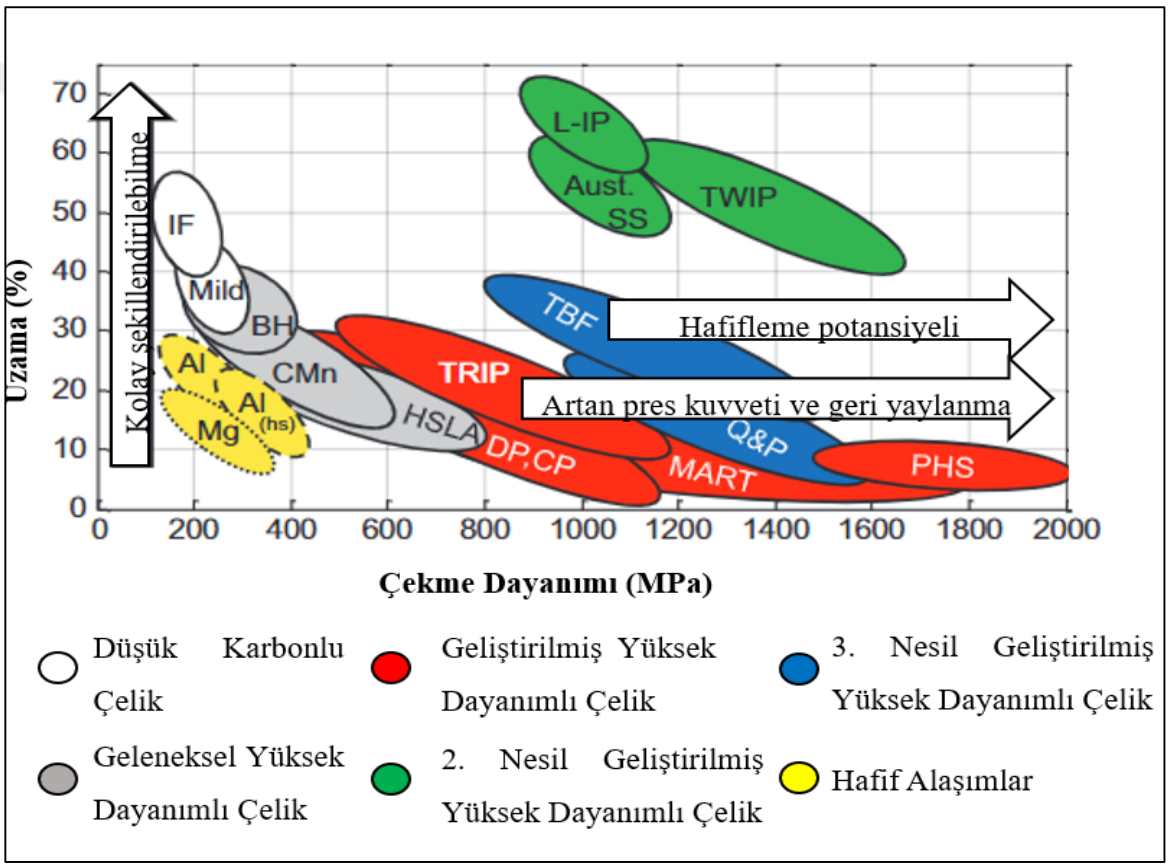
Otomotiv sektöründe çeşitli özellikte malzemeler kullanılmaktadır. Çelik alaşımlar alüminyum alaşımlar, bakır, plastik, kompozitler, kauçuk, cam, kumaş, deri malzemeler kullanılan malzemelere örnek verilebilir.

Günümüz otomotiv üretiminde araç gövdesi üzerinde ağırlıklı olarak çelik malzemeler tercih edilmektedir. Üreticilerin tercih edebileceği düşük dayanımdan yüksek dayanıma pek çok kalitede çelik sac mevcuttur. Teknolojinin ilerlemesiyle de her geçen gün çeşitlilik artmaktadır. Araç gövdesi üzerinde malzeme seçimini etkileyen faktörler; termal, kimyasal veya mekanik, çevresel direnç, dayanıklılık, montaj ve üretim kolaylığıdır (Moro, 2021).

Yakıt verimliliğini arttırarak karbon emisyonlarını azaltmak, yolcu ve sürüş güvenliğini arttırmak için yapılan optimizasyonlarda malzeme seçiminin önemli parametrelerini oluşturmaktadır. Parçanın, gövde üzerinde kullanım yerine, parçadan beklenen performansa, şekillendirilebilme kabiliyetine ve maliyet kriterlerine göre fırında

sertleşebilme özelliğine sahip BH çelikleri, yüksek mukavemetli AHSS çelikleri, dönüşüm kaynaklı plastisite çelikleri, kompozit malzemeler, vb. tercih edilmektedir.

Hemen hemen her otomobil üreticisi kendi sac standartlarını belirlemiştir. Üreticilerin farklı standartları olsa da sac kalite ve sınıfları benzerdir. Sac kalitelerini düşük karbonlu çelikler, geleneksel yüksek dayanımlı çelikler, ikinci nesil geliştirilmiş yüksek dayanımlı çelikler ve üçüncü nesil geliştirilmiş yüksek dayanımlı çelikler olmak dört ana sınıf altında toplamak mümkündür. Çeşitli kalitelerdeki çelik sacların çekme dayanımı- % uzama eğrisi Şekil 2.14'de gösterilmektedir.



Şekil 2.14. Çelik sınıflarının dayanım- uzama eğrisi (Billur, 2017)

Düşük karbonlu çeliklerin, çekme mukavemeti 400 MPa ve karbon içeriği %0.05-%0.25 dir. Düşük karbonlu çelikler ferritik yapıdadırlar (Hu ve Feng, 2021). Derin çekme ve şekillendirilebilirlik kabiliyetleri yüksektir. Ancak dayanımlarının düşük olması nedeniyle yük taşıması beklenmeyen gövde sac parçalarında kullanılabilirler.

Özellikle son zamanlara arayer atomsuz IF çelikleri mekanik özellikleri sayesinde gerek otomotiv sektöründe gerekse beyaz eşya sektöründe tercih edilir hale gelmiştir. Çok az arayer atomu içeren bu çelikler akma mukavemetlerinin düşük, yüksek uzama ve derin çekilebilmeleri sayesinde çok iyi şekillendirilebilirler (Yedekçioğlu, 2020). IF çelikler otomobilin yüksek mukavemet gerektiren kısımlarında tercih edilir. Bu bölgelere, kapı içindeki barlar, ön çamurluk sacları, kaporta örnek olarak verilebilir.

Geleneksel yüksek dayanımlı çelikler (HSS) grubunda yüksek dayanımlı düşük alaşımlı çelikler (HSLA), fırında sertleşebilen çelikler (BH) ve karbon manganezli çelikler (CMn) yer almaktadır. Yüksek dayanımlı düşük alaşımlı çeliklerin çekme dayanımları 800 MPa'dır. İlk yaygın olarak kullanılan yüksek dayanımlı çeliklerdendir. Şekillendirilebilirliği ve kaynaklanabilirliği korumak için düşük alaşım ve karbon içeriğine sahiptirler. Güçlendirme amacıyla bakır, titanyum, vanadyum ve niyobyum eklenir (Hu ve Feng, 2021). Taşıyıcılar, kapı direkleri, ray gibi enerji sönümlemesinin önemli olduğu parçalarda kullanılır.

Fırında sertleşebilen çelikler (BH) şekillendirilmesi zor yüksek dayanımlı çeliklerin kullanımı azaltmak için geliştirilmiştir. Bu sacların başlangıçta düşük dayanım ve şekillendirilebilirlikleri yüksek olduğundan karmaşık gövde parçalarının üretimine olanak sağlar. Şekillendirme ve boya fırınlarındaki proses sonrasında sac büyük oranda yaşlanır ve akma dayanımının artması sağlanır (Doğan, 2018). Kaporta, araç yan kapı panelleri, bagaj , motor kaputu gibi gövde parçalarında fırında sertleşen çelikler tercih edilebilir.

Geliştirilmiş yüksek dayanımlı çeliklerin (AHSS) ilk nesli, çift fazlı çelikler (DP), karmaşık fazlı (CP), martensitik düşük karbonlu çelikler ve dönüşüm kaynaklı plastisite (TRIP) çelikleridir.

Çift fazlı çelikler yüksek miktarda enerjiyi sönümleme kapasitesine sahiptir. Çift fazlı çeliklerin akma ve çekme oranları yüksek dayanımlı düşük alaşımlı çeliklere kıyasla daha fazla olduğundan enerji sönümlemeleri de daha fazladır. Bu sebep ile özellikle aracın çarpışma bölgelerinde tercih edilirler (Efe, 2019). Mukavemet ve şekil

verilebilirlik arasındaki denge ferritik ve martensitik fazlar sayesinde sağlanır. Kapı içindeki barlarda, çarpışma barlarında, taban saclarında, koltuk raylarında kullanımları mevcuttur.

Karmaşık fazlı (CP) çeliklerde martensit ve ferritin yanı sıra beynit mikro yapısıda mevcuttur. Bu sayede çift fazlı çeliklere nazaran şekillendirilme özelliği daha fazladır. Araç gövdelerinin yan panellerinde, süspansiyon kolu, A ve B direk takviyelerinde kullanım örnekleri vardır (Hu ve Feng, 2021).

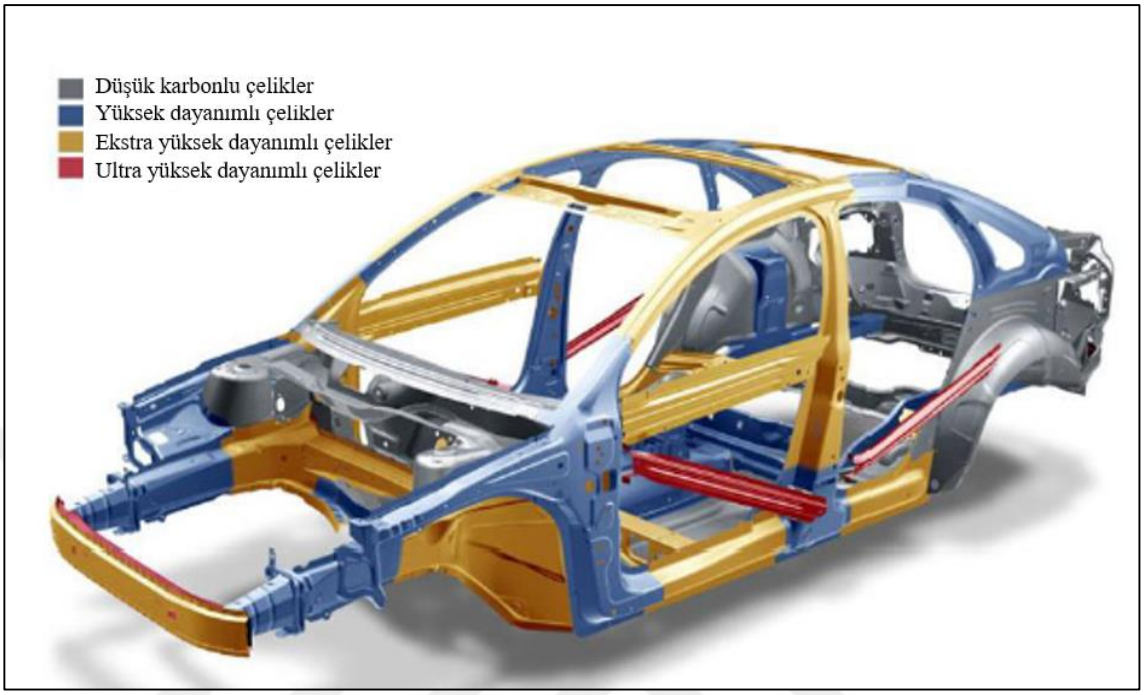
Dönüşüm kaynaklı plastisite (TRIP) çelikleri ferrit ve martensit yapısına ilave olarak, deformasyon esnasında martensit yapıya dönüşebilen östenit mikro yapısına sahiptir. Bu sayede büyük miktarda enerji sönümleme kabiliyetleri vardır. Gövde üzerinde ön ve arka şasi kolları, aracın ön ve arka bölgesindeki yapılarda kullanım örnekleri vardır. Martensitik çelikler ise geliştirilmiş yüksek dayanımlı birinci nesil çelik grubunun en sert ve şekillendirilmesi en zor grubudur. Bu sebep ile karmaşık parçaların üretilmesi mümkün değildir. Çarpışma esnasında deformasyonun sınırlandırılması gerkeen bölgelerde kullanılır (Hu ve Feng, 2021).

Geliştirilmiş yüksek dayanımlı çeliklerin ikinci neslinin şekillendirilebilirliği birinci nesle göre daha fazladır. Ancak ikinci nesil çelikleri yüksek oranda alaşım elementleri içerir. Bu da onları birinci nesle göre daha pahalı çelikler haline getirir. Pahalı olmaları sebebi ile otomotivdeki kullanımları sınırlıdır (Hu ve Feng, 2021).

Günümüzde üçüncü nesil geliştirilmiş yüksek dayanımlı çeliklerin geliştirilmesi çalışmaları devam etmektedir. Bu çeliklerin geliştirilmesindeki çaba, ikinci nesil geliştirilmiş yüksek dayanımlı çelikler gibi gelişmiş dayanım ve birinci nesil geliştirilmiş yüksek dayanımlı çelikler gibi uygun maliyettir (Billur, Çetin ve Gürleyik, 2016).

Gövde üzerindeki farklı kalitelerdeki çeliklerin kullanım bölgesi ile ilgili kesin bir kural yoktur. Sacın şekillendirilebilmesi, beklenen çarpışma performansı, maliyet, üretim proseslerindeki kaynak yapılabilirlik gibi faktörlere göre çelik kaliteleri tercih

edilmektedir. Kesin bir kural olmamasına rağmen genel olarak kullanılan çelikler Şekil 2.15'deki gibi dağılım göstermektedir.



Şekil 2.15. Çelik sınıflarının gövde üzerindeki kullanım yerleri (Hu ve Feng, 2021)

Bu tez çalışmasında aracın özellikle taban altı, kabin içi ve ön göğüs bölgelerine kaynatılan saplamalar esas alındığından bu bölgelerde kullanılan farklı sac kalitelerindeki çelikler deneyde kullanılmıştır. Bu çalışma kapsamında mevcut üretimde aracın taban altı bölgelerinde kullanılan şekillendirilebilme kabiliyetleri yüksek ancak farklı sac kalitelerine sahip DP 600 ve IF 210 çelikleri kullanılmıştır. Bu sayede parça montajı sırasında kullanılan sapmaların farklı kalite ve sac kalınlıklarına sahip çeliklere kaynatıldığındaki kopma davranışı incelenmiştir.

Deneyde kullanılan IF 210 plakalarının mekanik özellikleri Çizelge 2.2'de, kimyasal özellikleri Çizelge 2.3'te, DP 600 plakalarının mekanik özellikleri Çizelge 2.4'te ve kimyasal özellikleri Çizelge 2.5'te verilmiştir. Çizelge 2.6'da ise deneylerde kullanılan saplamaların mekanik özellikleri verilmiştir.

Çizelge 2.2. IF 210 çelik sacının mekanik özellikleri

Mekanik Özellikler				
$R_{p0,2}/R_e$ N/ mm^2 (kg/mm^2)	R_m N/ mm^2 (kg/mm^2)	A50 (%) Min	A80 (%) Min.	n* 10-20%
210-270	340-430	36	33	0,18

Çizelge 2.3. IF 210 çelik sacının kimyasal özellikleri

Kimyasal bileşim (%)							
C % Max.	Si % Max.	Mn % Max.	P % Max.	S % Max.	Al % Max.	Ti % Max	Nb % Max.
0,01	0,30	0,90	0,08	0,025	0,010	0,12	0,09

Çizelge 2.4. DP 600 çelik sacının mekanik özellikleri

Mekanik Özellikler					
$R_{p0,2}/R_e$ N/ mm^2 (kg/mm^2)	R_m N/ mm^2 (kg/mm^2)	BH2 N/mm^2 (kg/mm^2) min.	A60 (%) Min.	A80 (%) Min.	n* 10-20%
340-400 (34,7-40,7)	590 (60,1)	30 (3,1)	-	20	0,14

Çizelge 2.5. DP 600 çelik sacının kimyasal özellikleri

Kimyasal bileşim (%)									
C % Max.	Si % Max.	Mn % Max.	P % Max.	S % Max.	Al % Max.	Cu % Max.	Ti + Nb % Max.	Cr + Mo % Max.	B % Max.
0,15	0,75	2,5	0,080	0,015	0,01-1,5	0,2	0,15	1,40	0,005

Çizelge 2.6. Deneylerde kullanılan saplamaların mekanik özellikleri

Mekanik Özellikler		
R_e N/ mm^2 (kg/mm^2)	R_m N/ mm^2 (kg/mm^2)	Sertlik
245	$\geq$ 390	$\geq$ 68 (HRB)

2.9. İstatistiksel Kavramlar ve İstatistiksel Proses Kontrolü

Otomotiv sektöründe en önemeli kalite yaklaşımlarından biri istatistiksel proses kontrolüdür. Üretim aşamalarında kullanılan tesislerin ve çıkan ürünlerin kalitesel durumunu analiz edebilmek için istatistiksel proses kontrolü (İPK) metotları kullanılır.

İstatistiksel proses kontrol metodu proses değişkenliklerinin tespit edilerek, değişkenliği ortadan kaldırmak için kullanılan en yaygın metotlardandır (Patır, 2009). İstatistiksel proses kontrol metotlarından önce üretim süreçlerinde klasik yaklaşım uygulanıyordu.

Klasik yaklaşımda ürün nihai sürecini tamamlandıktan sonra kalite kontrolü yapılıyordu. Kontrol edilen ürün eğer müşteri beklentilerini karşılıyorsa sürecine devam ediyordu aksi durumda ya tamir ediliyor ya da ıskarta ediliyordu (Kaynar, 2020). Üretilen tüm ürünlere bu kontrol metodu uygulandığından bu yöntem verimsiz ve maliyetliydi.

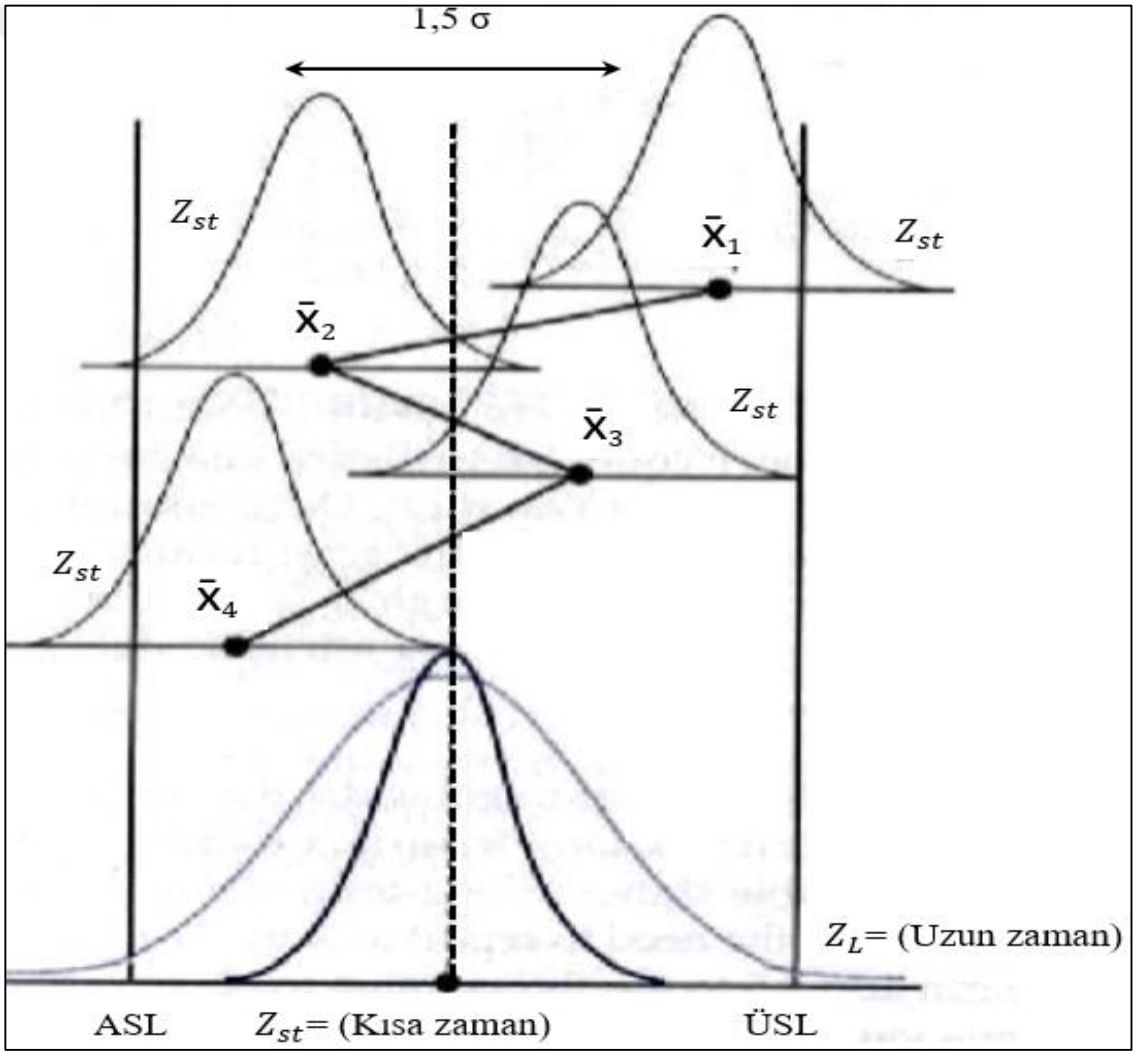
İstatistiksel yöntemlerin uygulanmaya başlanmasıyla, ürünün üretim süreci tamamlanmadan önce süreç pek çok kısma ayrılır. Ayrılan her bir kısım istatistiki analiz ile kontrol altında tutulmaya çalışılır. Bu sayede sürecin herhangi bir kademesinde yeterli kalite sağlanmadan bir sonraki kısma geçişe müsaade edilmez. İstatistiksel proses kontrol yöntemleri prosesin önceki dönemlerdeki durumu ve değişkenliklerini izlemeyi sağlar (Kaynar, 2020).

Bir prosesten aynı ekipman ve yöntemle ardı ardına üretilen ürünler kalite özellikleri yönüyle tamamen aynı özellikte olmazlar. Her zaman az ya da çok farklılık gösterirler. Proseste değişikliğe sebep olan etkenler, makine ekipmanlarının aşınması, malzemenin kalınlık, kaplama, sertlik vb. değerlerindeki uygunsuzluk, operatörün uygun işlem sırasına göre çalışmaması ve sıcaklık, ışık gibi çevresel etmenler olabilir (Aladağ, 2018).

Proses değişkenlik sebepleri özel veya genel sebepler olabilir. Özel nedenler kök nedeni tam belli olmayan, prosesi yöneten kişilerin önceden tahmin etmesi zor sebeplerdir. Kesin bir düzeni yoktur ve ansızın gerçekleşir. Tedbir alınmadığı durumlarda tekrar

edebilirler. Tespit edilmeleri ve müdahale edilmeleri kolaydır. Genel nedenlerin proses değişkenliği üzerindeki etkisi azdır. Tespit edilmesi ve düzeltilmesi zor ancak tahmin edilebilir sebeplerdir (Kaynar, 2020). Ekipmanların aşınması, titreşim gerilim dalgalanmaları bu sebeplere örnek verilebilir.

Genel ve özel sebepler proses üzerinde iki ana problemin yaşanmasına sebep olur. Bu problemler değişkenliklerin yaşanması ve ortalamanın kaymasıdır. Şekil 2.16'da bir prosesin ortalamasının kayması ve uzun dönemde izlediği yol, birinci ve dördüncü grafikte ise proses ortalamasının kayması nedeniyle alt ve üst sınır (ASL, USL) limitlerinin dışına çıkarak ıskarta verdiği durum gösterilmiştir (Aladağ, 2018).



Şekil 2.16. Proses ortalamasının kayması (Aladağ, 2018)

İstatistiksel proses kontrolü yapmak, çıkan grafikleri okuyup anlamlandırabilmek için temel istatistiksel kavramları bilmek gerekir.

- Veri; nicel ve nitel veri olmak üzere iki ana veri grubu vardır. Nicel veriler sayılabilir verilerdir. Kendine özgü birimi olan hız, zaman, ağırlık gibi ölçülebilir veriler sürekli veri, biriminin adet olduğu veriler sayılabilen veri, biriminin yüzde olduğu veriler ise yüzde veri olarak olarak isimlendirilebilirler. Nitel veriler ise kategorik verilerdir. Sınıfsal özellikleri vardır. Nitel veriler uygun – uygun değil, iyi – kötü, kırık – kırık değil, vb. olarak sınıflandırılırlar.

- Ana kütle; bir gruba ait bütün birimlerinin ölçümlerini kapsayan veri kümesidir. Örneklem kütle ise; ana kütle içerisinden yalnızca bir kısmına ait verileri kapsayan kümedir.

- Aritmetik ortalama; veri grubundaki tüm verilerin toplanarak, veri sayısına bölünmesi ile elde edilen değerdir.

  Ana kütlenin aritmetik ortalaması:

$$\mu = \frac{\sum X_i}{N} \tag{2.1}$$

  Örneklem kütlenin aritmetik ortalaması:

$$\bar{X} = \frac{\sum X_i}{n} \tag{2.2}$$

- Medyan; bir veri grubu içerisindeki ortanca değerdir. Veri grubu büyüklüklerine göre sıralandığında ortadaki değer medyanı verir. Toplam veri adedi çift olduğu durumda ise medyan, değerler sıralandığında ortada kalan iki değerin aritmetik ortalamasıdır.

- Mod; bir veri grubu içerisinde en çok tekrar eden değerdir. Mod bir veri grubunun dağılımda nerede yoğunlaştığını verir.

- Range; veri grubunun değişkenlik aralığını verir. Veri grubundaki en büyük değer ile en küçük değerin farkına eşittir.

- Standart sapma; veri grubundaki verilerin ortalamaya göre yayılımını gösteren değerdir.

  Ana kütlenin standart sapması:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(X_i - \mu)^2}{N}} \tag{2.3}$$

  Örneklem kütlenin standart sapması:

$$s = \sqrt{\frac{\sum(X_i - \bar{x})^2}{n-1}} \tag{2.4}$$

- Varyans; bir değişkenlik değeridir. Bir veri grubundaki verilerin ortalamadan sapmalarının kareler toplamının, veri sayısına bölünmesidir. Standart sapmanın karesine eşittir.

  Ana kütlenin standart sapması:

$$\sigma^2 = \frac{\sum(X_i - \mu)^2}{N} \tag{2.5}$$

  Örneklem kütlenin standart sapması:

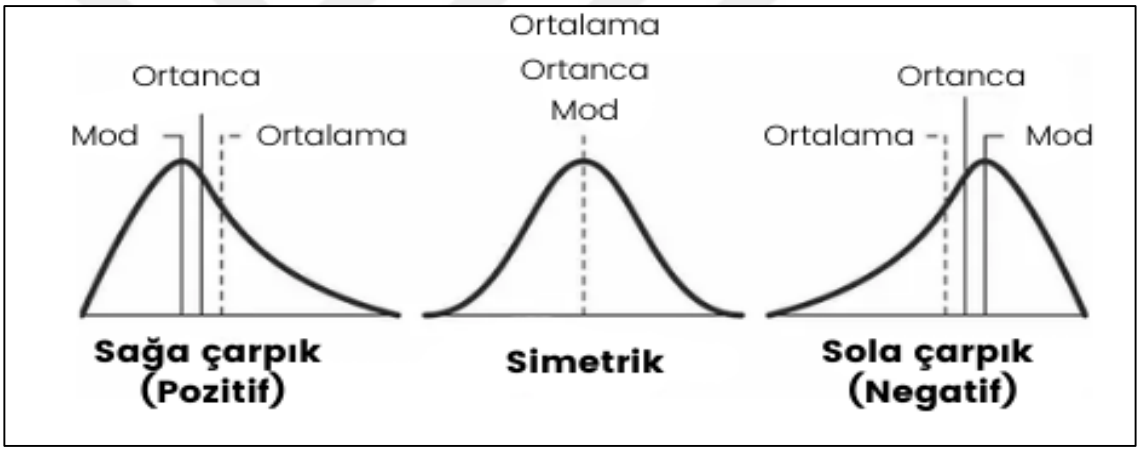
$$s^2 = \frac{\sum(X_i - \bar{x})^2}{n-1} \tag{2.6}$$

- İstatiksel dağılımlar; kesikli ve sürekli olma üzere iki ana dağılım türü vardır.

Kesikli dağılımlar, rastgele ve sayılabilir bir durumun meydana gelmesindeki olası dağılımı tanımlar (Akça, 2009). Bernoulli dağılımı, binom dağılımı, negatif binom dağılımı, geometrik dağılım, poisson dağılımı, hipergeometrik dağılım olmak üzere farklı kesikli dağılım türleri vardır.

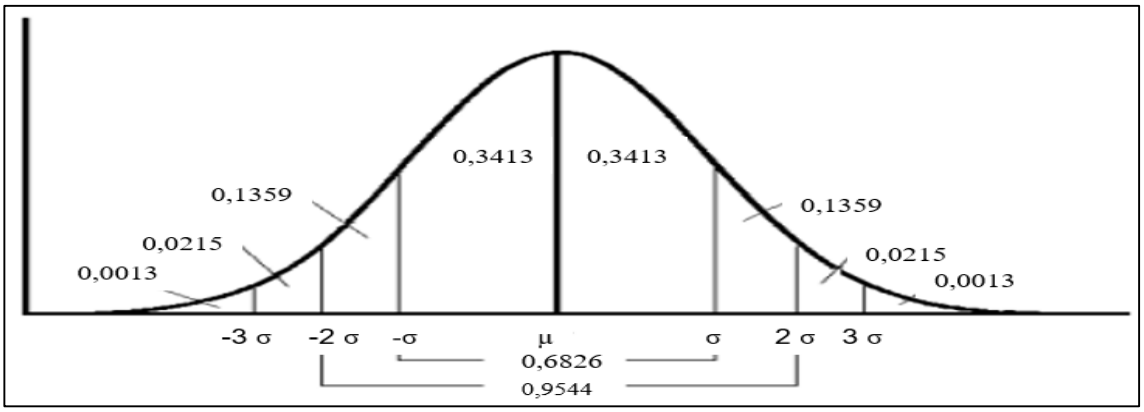
Sürekli dağılım ise, değişkenleri sürekli olan ve belirli aralıkta bulunması olasılığı ile ilgilenen dağılımlardır (Ugar, 1999). Düzgün dağılım, normal dağılım, standart normal dağılım, üstel dağılım, gamma dağılımı, ki kare dağılımı, T dağılımı, F dağılımı, vb. olmak üzere pek çok sürekli dağılım türleri vardır. Bu tez çalışması kapsamında sürekli dağılım türlerinden biri olan normal dağılım hakkında bilgi verilecektir.

0 incelenerek süreçler hakkında tahminde bulunmada sıkça kullanılan dağılımdır. Mükemmel bir normal dağılımda veri kümesine ait mod, medyan ile ortalama değerleri birbirine eşittir ve dağılım simetriktir. Ortalamanın medyandan büyük olduğu durumda dağılım pozitif çarpıklık gösterir, ortalamanın medyandan küçük olduğu durumda ise dağılım negatif çarpıklık gösterir. Verilerin dağılım grafikleri Şekil 2.17'de verilmiştir.



Şekil 2.17. Verilerin dağılım grafikleri (Dayanıklı, 2021)

Bir veri kümesi normal dağılım gösteriyorsa verilerin %99,73 ü ±3 σ aralığında yer alır (Şahin, 2013). Şekil 2.18'de normal bir dağılıma sahip verilerin ±3 σ aralığındaki dağılım yüzdeleri verilmiştir.

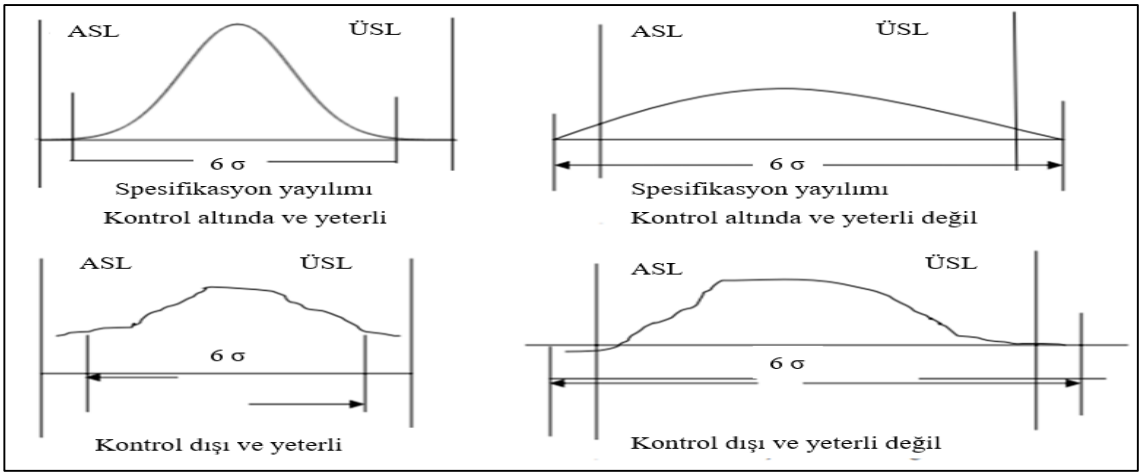


Şekil 2.18. Normal eğri altındaki alanlar ve yüzdeleri (Şahin, 2013)

Yeterlilik analizine bakılacak proseslerin normal dağılım göstermesinin yanında istatistiki olarak kontrol altında olması gerekmektedir. Proses kontrol altında olsa bile her durumda alt ve üst sınır limitlerini karşılamada yeterli olmayabilir. Proses yeterlilikleri ile ilgili şu durumlarla karşılaşılabilir.

- Proses kontrol altında ve limitleri karşılamada yeterli,
- Proses kontrol altında ancak limitleri karşılamada yeterli değil,
- Proses kontrol dışında ancak limitleri karşılamada yeterli,
- Proses kontrol dışında ve limitleri karşılamada yeterli değil,

Bu durumlar Şekil 2.19'da grafiksel olarak da gösterilmiştir.



Şekil 2.19. Proses kontrol durumları ve spesifikasyonların yayılımı (Şahin, 2013)

Herhangi bir prosesin yeterliliğinin belirlenmesinde C_p ve C_{pk} yeterlilik indisleri kullanılır. C_p değeri bize prosesin potansiyel yeteneğini gösterirken, C_{pk} ise belirlenen sınırlar içerisinde dağılım potansiyelini ve ortalamanın hedefe göre olan konumunu verir. C_p ve C_{pk} değerlerinin hesaplanması Denklem 2.7 ve Denklem 2.8'de verilmiştir.

$$C_p = \frac{\text{Ü}SL - ASL}{6\sigma} \tag{2.7}$$

$$C_{pk} = \frac{\text{Ü}SL - \mu}{3\sigma} \quad \text{Ya da} \quad C_{pk} = \frac{\mu - ASL}{3\sigma} \tag{2.8}$$

C_{pk} değeri için her iki formülde kullanılır ve küçük çıkan değer prosesin C_{pk} değeri olarak kabul edilir. Hedef olarak C_p ve C_{pk} değerleri teoride birden büyük olarak alınır. Firmaların kabul kriterlerine göre değerler farklı bir değere de ayarlanabilir. Ancak teorik olarak örneklemin C_p ve C_{pk} değerleri hesaplanırken ana kütlenin ortalaması ve standart sapması yerine Denklem 2.2'de verilen örneklemin ortalaması ve Denklem 2.4'te verilen örneklemin standart sapması formülleri kullanılmalıdır.

Hesaplanan C_p ve C_{pk} verilerinin yorumlanması kısmı kritiktir. Bu değerler bize prosese müdahale edilip edilmemesi gerektiği hakkında bilgi verir. Çizelge 2.7'de C_p değeri ve Çizelge 2.8'de C_{pk} değeri için yorumlamalara yer verilmiştir.

Çizelge 2.7. C_p değerinin yorumlanması (Bircan, 2003)

C_p	**Değerlendirme**	**Yorum**
$C_p \leq 1$	Yetersiz	Süreç yetersiz. İyileştirmeler yapılmalıdır.
$1 < C_p < 1{,}33$	Kabul edilebilir	Süreç spesifikasyonları karşılamaz. Süreç kontrollü sürdürülebilir
$C_p \geq 1{,}33$	Yeterli	Süreç spesifikasyonları karşılar

Çizelge 2.8. C_{pk} değerinin yorumlanması (Bircan, 2003)

C_{pk}	**Değerlendirme**
$C_{pk} = 1$	Verilerin bir kısmı spesifikasyonları karşılar.
$C_{pk} > 1$	Verilerin tamamı spesifikasyon limitleri içine düşer
$0 < C_{pk} < 1$	Süreç ortalaması spesifikasyon limitleri içindedir.
$C_{pk} = 0$	Süreç ortalaması spesifikasyon limitlerinin birbirine eşittir.
$C_{pk} < 0$	Süreç ortalamasının spesifikasyon limitlerinin dışında olduğunu gösterir.

Verilerin normal dağılım gösterip göstermediğinin belirlenmesi için grafik yöntemleri veya normallik testleri kullanılır. Literatürde birbirinden türetilerek çoğaltılmış pek çok yöntem vardır. Bu yöntemlerden bazıları Çizelge 2.9'da verilmiştir.

Çizelge 2.9. Verilerin normal dağılım uygunluğunun analizinde kullanılan yöntemler

Grafik Yöntemler	Normallik Testleri
Histogram	Shapiro - Wilk testi
Kutu – Çizgi grafiği	Kolmogrov – Smirnov testi
Q-Q grafiği	Cramer-Von-Mises Test
Gövde – Yaprak grafiği	Anderson – Darling testi
P-P grafikleri	Jarque – Bera testi

Her bir yöntemin kendi içerisinde avantaj ve dezavantajı vardır. Kullanılacak yönteme karar verirken, örneklemin büyüklüğü, örneklem ve karşılaştırılması beklenen normal dağılım parametreleri, dağılımın karakteristik özellikleri, testin gücü gibi faktörler göz önüne alınarak karar verilmelidir. Çalışmada verilerin normal dağılıma uygunluğunun analizi için Minitab18 programı kullanılmıştır. Minitab18 programında kullanılabilecek normallik testleri Anderson-Darling, Ryan Joiner ve Kolmogrov Smirnov'dur. Bu çalışma kapsamında her bir yöntemin detaylarından bahsedilmeyecektir. Çalışmada Minitab 18 programında tercih edilen Anderson-Darling testi hakkında bilgi verilecektir.

Anderson-Darling testi 1974 yılında Anderson ve Darling tarafından Kolmogrov Smirnov testinden türetilmiş bir testtir (Büyükuysal, 2014). Bu testte dağılımın kritik değerleri kullanılır. Tüm dağılımlar için ayrı olarak kritik değer hesaplanır. Kolmogrov Smirnov testi dağılımın merkezinde daha duyarlıyken Anderson Darling testi dağılımın uç noktalarında duyarlıdır (Kahraman ve Özkan, 2012). Bu testte kurulan hipotezlerde eğer testin istatistiği belirlenen kritik değerden büyük ise H_0 hipotezi reddedilir. Normallik testinde tercih edilen istatistik için hazırlanmış paket programlarında P-Value olasılığı kullanılır. Minitab18 programında normallik testi sonrası çıkan P-Value değerine göre veriler analiz edilecektir.

P-Value değeri istatistiki anlamda karşılaştırma yapılacağımız değerler arasında anlamlı bir fark vardır ya da yoktur yorumunu yapacağımız hipotez tezlerinde kullanılır. Bir karar verirken hata yapma olasılığımız vardır. Ünlü istatistikçi olan Fisher bu hatanın kabul edilebilir değerinin 0,05 olduğunu önermiş ve bu öneri kabul edilmiştir.

P-Value olasılığı H_0 doğru olduğunda, test istatistiğinin hesaplanan değerine eşit ya da daha uç değerler alması olasılığıdır. Hesaplanan P-Value değeri, Fisher'ın önerdiği yanılma olasılığından (α) küçük ise H_0 reddedilir (Cengiz ve Terzi, 2018)

- P-Value> α ise H_0 hipotezi kabul edilir.
- P-Value<α ise H_1 hipotezi kabul edilir,

Bulunan P-Value değerleri Çizelge 2.10'daki gibi yorumlanabilir.

Çizelge 2.10. P-Value değerinin yorumlanması (Kul, 2014'ten değiştirilerek alınmıştır)

P-Value Değeri	Yorum
0,01 ≤P-Value<0,05	İstatistiksel anlamlılık
0,001≤P-Value<0,01	Yüksek düzeyde istatistiksel anlamlılık
P-Value<0,001	Çok yüksek istatistiksel anlamlılık
0,05≤P-Value<0,1	Anlamlılık eğilimi (sınırda anlamlılık)
P-Value> 0,1	Fark tesadüften ileri gelmiştir (istatistiksel olarak anlamlı farklılık saptanmamıştır)

Hipotez testlerinde hipotezler kabul edilirken Tip I ya da Tip II olmak üzere iki hata yapma olasılığı vardır. Tip I hatası H_0 hipotezinin aslında kabul edilmesi gerekirken yanlışlıkla reddedilmesi olarak tanımlanırken, Tip II hatası H_0 hipotezinin aslında reddedilmesi gerekirken yanlışlıkla kabul edilmesi olarak tanımlanır. Çizelge 2.11'de H_0 hipotezi kararına göre hata tipleri gösterilmiştir.

Çizelge 2.11. Tip I ve Tip II hata (Büyükuysal, 2014)

Hipotez	Karar	
	H_0 Kabul	**H_0 Red**
H_0 Doğru	Doğru karar	Tip I hata
H_0 Yanlış	Tip II hata	Doğru karar

Hipotez reddedildiğinde hangi tip hatanın oluştuğu belirlenemez. Fakat istatistiki yöntemler kullanılırken Tip I türü hata olasılığı deneyi yapan kişi tarafından belirlenir ve küçük tutulur (Büyükuysal,2019). Bu değer Fisher'ın önerdiği kabul edilebilir yanılma olasılık değeri olan 0,05 olacağı gibi 0,01, 0,001 gibi daha da küçük değerlerde olabilir.

Tip II hatalar için bir denetim yoktur. Ancak Tip I ve Tip II türü hatalar arasında Tip I azalırken Tip II artar şeklinde bir ilişki kurulur. α sabit tutulurken deney sayısının arttırılması Tip II hata olasılığını azaltır (Büyükuysal, 2014).

Örneğin, I. Tip hatanın %5'te tutulduğu bir hipotez testinde %95 güven aralığı, I. Tip hatanın %1'de tutulduğu durumda ise %99 güven aralığı hesaplanmış olur (Kul, 2014).

%95 güven aralığında yapılan bir testte, ana kütleden seçilen her n adetli örneklemde hesaplanan yüz istatistikten doksan beş tanesinin güven aralıkları içerisinde kaldığı, geriye kalan beş tanesinin ise bu aralıkların dışında kalacağı durumu anlatır.

İstatistikte kullanılan bir diğer önemli kavram ise kontrol grafikleridir. Kontrol grafikleri ilk kez Dr. Walter A. Shewhart tarafından oluşturuluş ve Shewhart grafikleri olarak da anılmaktadır (Aydın, 1996). Kontrol grafiklerinin kullanılmasındaki amaç süreç içerisinden ölçüm için alınan verilerin zaman içerisinde göstermiş olduğu değişimi görebilmektir.

Kontrol grafiklerine kontrol edilecek niteliklerin belirlenmesi, hedeflenen ortalama değerin değişmesi durumunda bu değişkenliğin hangi aralıkta kabul edilebilir olduğunun kararının verilmesi gerektiği ya da üretim sürecinin belirlenen sınırlar dahilinde yürütülmesinin ekonomik açıdan kabul edilebilir seviyede olup olmadığının gösterilmesi gerektiği durumlarda kullanılır (Aydın, 1996). Kontrol grafikleri nicel verilerin ve nitel verilerin değerlendirilebilmesi açısından iki gruba ayrılır. Çalışma kapsamında kontrol grafiklerinin detayına girilmeyecek olup, grafik çeşitleri aşağıdaki gibi açıklanmıştır.

- Nicel veriler için kontrol grafikleri;

$\bar{X}$ grafikleri R veya S grafikleriyle kullanılır. Bunun sebebi, R grafiklerinde fark edilemeyen ortalama değer değişkenlikleri $\bar{X}$ grafiklerinde fark edilir. Aynı durum tersi içinde geçerlidir (Elevli, 2020).

1- $\bar{X}$-R kontrol grafiği: Örneklem hacminin ondan küçük olduğu durumlarda tercih edilen grafik yöntemidir. Aralık değeri kolaylıkla hesaplanabildiğinden tercih sebebidir.

2- $\bar{X}$-S kontrol grafiği: Örneklemin hacmi ondan büyük olduğu durumda tercih edilir. Örneklem hacmi ondan büyük olduğunda aralık değerinin etkinliğinin azalması sebebi ile bu grafik yöntemi tercih edilmektedir.

3- Birimsel kontrol grafiği (XmR): Örneklem büyüklüğünün bire eşit olduğu durumlarda kullanılan kontrol grafiği yöntemidir. Her bir grubun hacmi bir olduğunda grup içinde değişkenlik yoktur. Bu sebeple ardışık takip eden alt gruplar arasındaki fark, değişim ölçüsü olarak alınır. Gerçekleşen bu fark ise hareketli aralık olarak isimlendirilir (Elevli, 2020).

- Nitel veriler için kontrol grafikleri;

1- P kontrol grafiği: Üretimden alınan ürünlerin kusurluluk oranlarının kontrol edildiği grafiklerdir. $\bar{X}$-R ve $\bar{X}$-S grafiklerine oranla daha büyük hacimli örneklemler için kullanılabilirler (Elevli, 2020).

2- C kontrol grafiği: Ürünlerin kontrollerinde bir birimde bulunan kusur sayısı ele alındığında c kontrol grafikleri kullanılır. Örneğin, 10 m^2'lik kumaş üzerindeki boya (Elevli, 2020).

3- U kontrol grafiği: Kontrol edilen birim başına ortalama kusur sayısı esas alınır.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

Çalışmanın bu kısmında Bölüm 2.9.'da bahsedilen bilgiler doğrultusunda deneyin yapılacağı prosesin yeterlilik analizi yapılmıştır. Deneylerde kullanılan saplama kaynak yöntemi ark saplama kaynak yöntemidir. Yeterlilik analiz sonuçlarının uygun olması neticesinde deney için gerekli çelik saclar ve saplamalar temin edilmiştir. Minitab18 programında yapılan DOE sonrası temin edilen malzemeler üzerine çelik saplamalar ark saplama kaynağı yöntemi ile kaynatılarak veriler toplanmıştır.

3.1. Saplama Kaynak Prosesinin Yeterlilik Analizi

Deneylerde kullanılan saplama kaynak makinesine akım ve kaynak zamanı parametreleri girildikten sonra hazırlanan plakalar üzerine otuz adet saplama kaynatılmıştır. Her bir kaynak işleminden sonra saplama kaynak makinesinin paneli üzerinden gerçekleşen akım ve kaynak süreleri kayıt altına alınmış ve Minitab18 programı ile İPK analizi yapılmıştır. Çizelge 3.1'de otuz adet saplama kaynak prosesi sonrası kaynak verileri gösterilmiştir.

Çizelge 3.1. Saplama kaynağı esnasındaki kaynak parametreleri

Kontrol no	Akım (A)	Kaynak zamanı (ms.)
1.	700,186	39,1167
2.	698,765	40,0580
3.	699,605	39,1946
4.	700,689	39,9173
5.	698,825	38,4045
6.	701,260	36,6518
7.	699,639	40,2286
8.	703,179	40,4949
9.	699,433	41,1769

Çizelge 3.1. Saplama kaynağı esnasındaki kaynak parametreleri (Devam)

Kontrol no	Akım (A)	Kaynak zamanı (ms.)
10.	700,904	39,7187
11.	699,664	40,7696
12.	700,869	39,6986
13.	700,664	39,7177
14.	700,152	39,6465
15.	699,685	41,5995
16.	700,519	41,0872
17.	700,167	38,4179
18.	698,669	39,0517
19.	699,719	38,063
20.	699,462	40,0525
21.	700,474	38,2272
22.	699,071	41,9126
23.	700,279	38,9101
24.	700,821	39,3494
25.	700,848	40,8167
26.	699,357	41,8774
27.	700,575	39,9567
28.	699,511	39,6572
29.	698,168	40,2517
30.	701,968	40,019

Hem akım hemde kaynak zamanı için toplanan veriler Minitab18 programına girilmiştir. Veriler girildikten sonra Stat> Basic statistics> Diplay descriptive statistics komutları kullanılarak akım ve kaynak zamanı verilerinin ortalaması, standart sapması, proseste görülen maksimum ve minimum değerleri bulunmuştur. Çizelge 3.2'de ise bulunan değerler verilmiştir.

Çizelge 3.2. Kaynak parametrelerinin ortalaması ve standart sapması

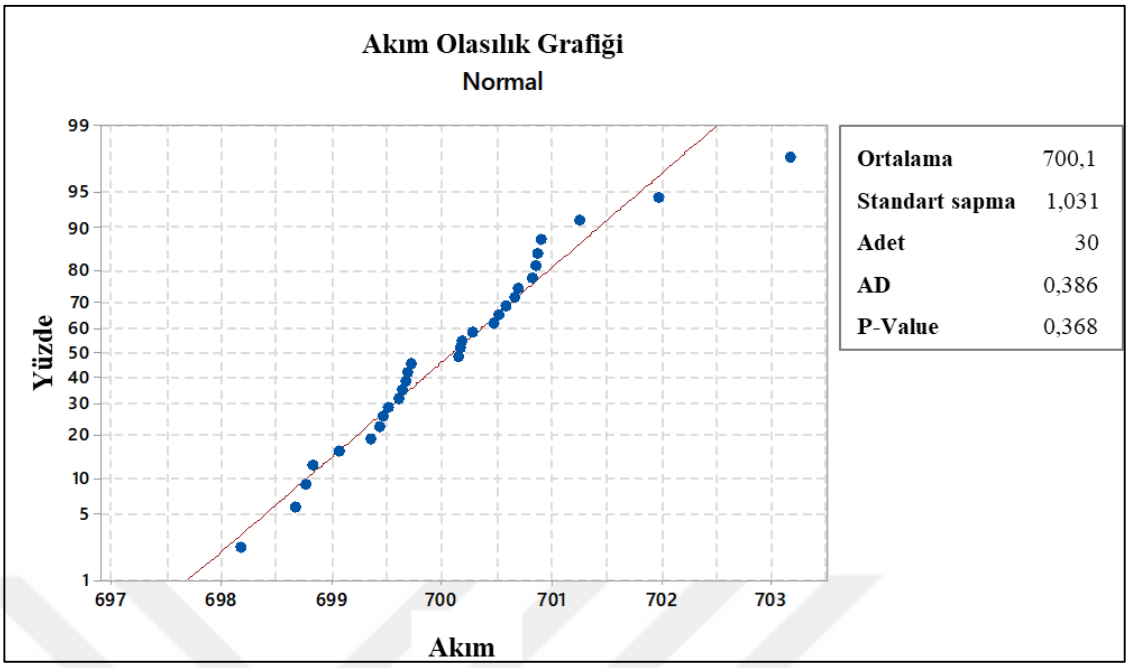
Değişken	Veri adedi	Ortalama	Standart sapma	Minimum	Medyan	Maksimum
Akım	30	700,10	1,03	698,17	700,16	703,18
Kaynak zamanı	30	39,801	1,180	36,652	39,818	41,913

Her iki verinin normal dağılım gösterip göstermediği Minitab18 programında ayrı ayrı hesaplattırılacaktır. Bu çalışma kapsamında hata yapma olasılığı 0,05 olarak kabul edilmiştir. Tüm analizlerde hata yapma olasılık değeri (α) 0,05 alınmıştır.

Akım verilerinin dağılımına göre bu çalışmadaki ilk hipotez;

- H_o dağılım normal dağılım göstermektedir.
- H_1 dağılım normal dağılım göstermemektedir.

Şeklinde kuruluştur. Minitab18 programında Stat> Basic statistics> Normality test komutları izlenerek akım verileri için normallik testi yapılmıştır. Analiz sırasında Anderson-Darling testi seçilmiştir. Test sonucunda P-Value değeri 0,368 olarak bulunmuştur. Bulunan P-Value>α olduğundan H_o hipotezi kabul edilmelidir. H_o hipotezi kabul edildiğinden akım verilerinin dağılımı normal dağılım göstermektedir. Analiz sonucu Şekil 3.1'de paylaşılıştır.

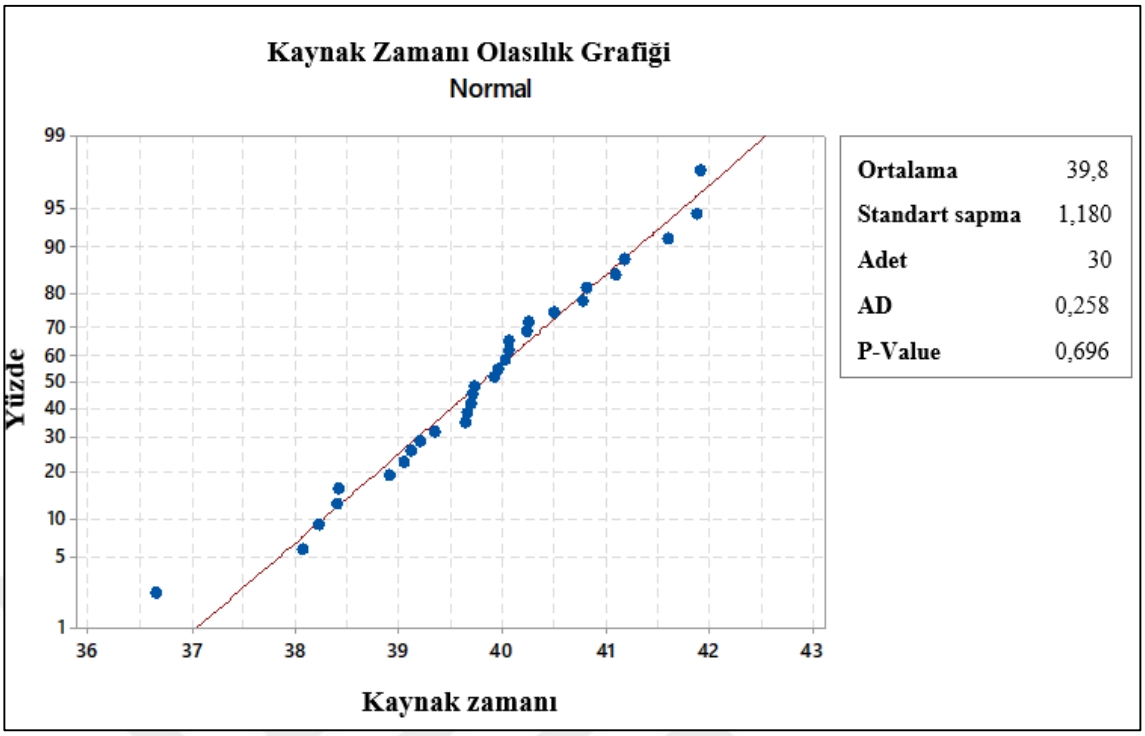


Şekil 3.1. Akım verilerinin normal dağılım grafiği

Kaynak zamanı verilerinin dağılımına göre bu çalışmadaki ikinci hipotez;

- H_o dağılım normal dağılım göstermektedir.
- H_1 dağılım normal dağılım göstermemektedir.

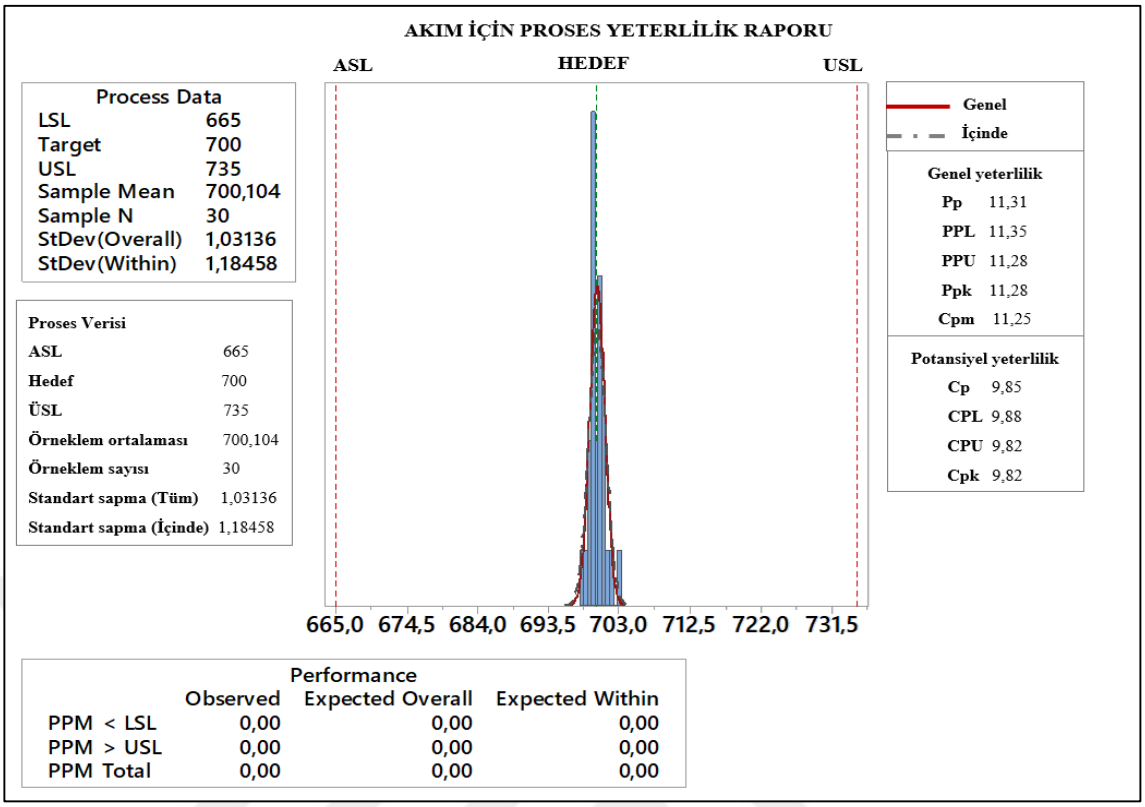
Şeklinde kuruluştur. Minitab 18 programında Stat> Basic statistics>Normality test komutları izlenerek kaynak zamanı verileri için normallik testi yapılmıştır. Analiz sırasında Anderson Darling testi seçilmiştir. Test sonucunda P-Value değeri 0,696 olarak bulunmuştur. Bulunan P-Value>α olduğundan H_o hipotezi kabul edilmelidir. H_o hipotezi kabul edildiğinden kaynak zamanı verilerinin dağılımı normal dağılım göstermektedir. Analiz sonucu Şekil 3.2'de paylaşılmıştır.



Şekil 3.2. Kaynak zamanı verilerinin normal dağılım grafiği

Hem akım hemde kaynak zamanı verilerinin normal dağılıma uygunluğu test edildikten sonra prosesin yerlilik testi için Minitab18 programının analizi kullanılmıştır. Proses uygunluğu için öncelikle akım verileri ile analiz yapılmıştır. Minitab18 programından Stat>Quality tools> capability analysis> normal komutları kullanılarak proses yeteneği sorgulanmıştır.

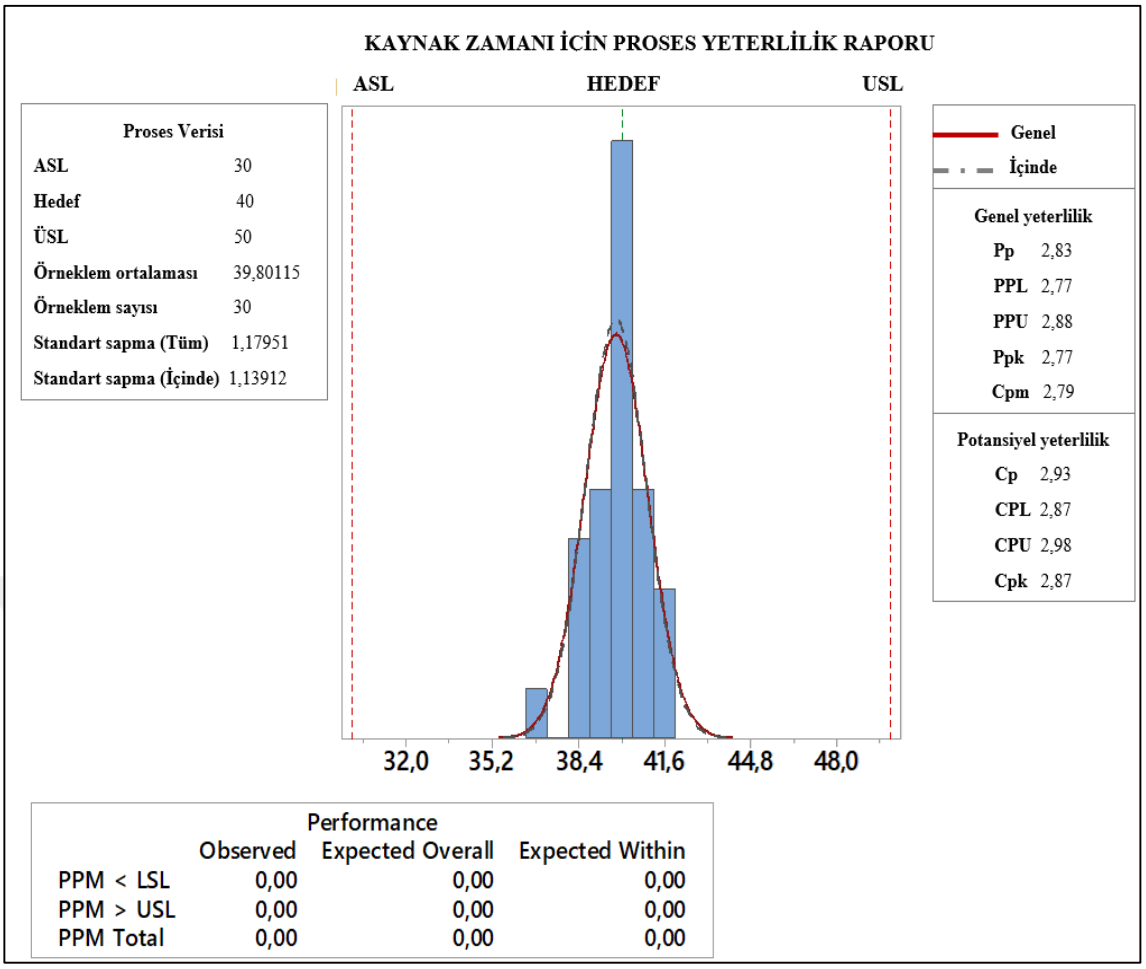
Akım verileri analiz edildiğinde C_p değeri 9,85 ve C_{pk} değerinin 9,82 çıktığı görülmüştür. Hem C_p yeterlilik indisi 1,33'ten hemde C_{pk} indisi 1'den büyük çıkmıştır. Bu sonuçlar Çizelge 2.7 ve Çizelge 2.8'e göre yorumlandığında proses spesifikasyonları karşılıyor ve verilerin tamamı spesifikasyon limitleri içine düşer yorumu yapılır. Akım verilerine göre prosesin yeterlilik raporu Şekil 3.3'te paylaşılmıştır.



Şekil 3.3. Akım verileri için proses yeterlilik analizi

Ayrıca analiz sonucunda akım verileri için proses yeterlilik analizi incelendiğinden Şekil 3.3'ün sol alt kısmında verilen değerlere göre milyon üretimde alt limitin altında ve üst limitin üstünde akım değeri gözlemlenmesi beklenmemektedir.

İkinci olarak proses yeteneği kaynak zamanı verileri içinde Minitab18 programından Stat>Quality tools> capability analysis> normal komutları kullanılarak proses yeteneği sorgulanmıştır. Kaynak zamanı verileri analiz edildiğinde C_p değeri 2,93 ve C_{pk} değerinin 2,87 çıktığı görülmüştür. Bu analizde de hem C_p yeterlilik indisi 1,33'ten hemde C_{pk} indisi 1'den büyük çıkmıştır. Bu sonuçlar Çizelge 2.7 ve Çizelge 2.8'e göre yorumlandığında proses spesifikasyonları karşılıyor ve verilerin tamamı spesifikasyon limitleri içine düşer yorumu yapılır. Kaynak zamanı verilerine göre prosesin yeterlilik raporu Şekil 3.4'te paylaşılmıştır.



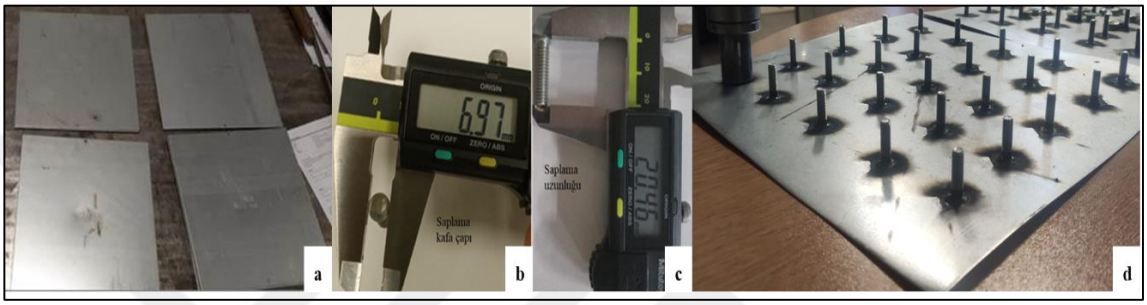
Şekil 3.4. Kaynak zamanı verileri için proses yeterlilik analizi

Kaynak zamanı verilerinin ile yapılan proses yeterlilik analizi incelendiğinden Şekil 3.4'ün sol alt kısmında verilen değerlere göre milyon üretimde alt limitin altında ve üst limitin üstünde akım değeri gözlemlenmesi beklenmemektedir.

Bölüm 3.2 ve bölüm 3.3'te bahsedilen istatistiksel bilgiler doğrultusunda saplama kaynak prosesi için İPK analizi Minitab18 programıyla yapılmış olup akım ve kaynak zamanı verilerinin normal dağılıma uygunluğu tespit edilmiştir. Ayrıca bu veriler ile yapılan proses yeterlilik testleri sonucunda deneylerde kullanılacak olan prosesin de spesifikasyonları karşıladığı ve verilerin tamamının spesifikasyon limitleri içine düştüğü doğrulanmıştır.

3.2. Deney Hazırlığı

Deneylerde saplama kaynatılmak üzere kimyasal ve mekanik özellikleri Çizelge 2.2, Çizelge 2.3, Çizelge 2.4 ve Çizelge 2.5'te verilen, ebatları 300x300 mm, kalınlıkları 0,7 mm ve 1,2 mm olan IF 210 ile DP 600 çelik plakalar kullanılmıştır. Bu plakalar üzerine ebatları M6x20 olan ve mekanik özellikleri Çizelge 2.6'da verilen saplamalar kaynatılmıştır. Şekil 3.5'te deneylerde kullanılan parçalar, saplamaların ebatları ve plaka üzerine saplamaların kaynatıldığı durum gösterilmiştir.



Şekil 3.5. Deneylerde kullanılan parçalar **a)** 300x300'lük plakalar **b)** Saplama kafa çapı **c)** Saplama uzunluğu **d)** Saplama kaynatılmış sac

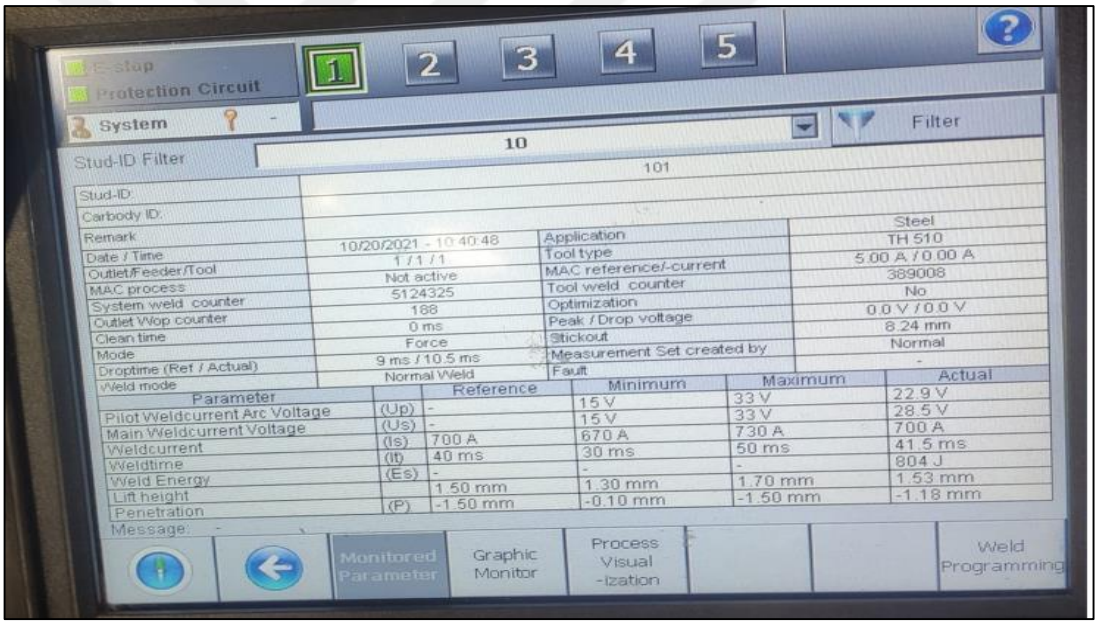
Şekil 3.6'da gösterilen Emhart Tucker'in DCE 1500 serisi enerji ünitesi, ETF21 besleme ünitesi ve LM 310 serisi tabancaları kullanılarak saplamalar sacların üzerine kaynatılmıştır. Güç ünitesi içerisinde kontrol modülleri olup belirlenen toleranslar dışına çıktığında sistem hata veriyor ve robotik uygulamalarda hattı durduruyor.



Şekil 3.6. Deneylerde kullanılan saplama kaynak makinesi

Saplama kaynağında akım ve kaynak zamanı olmak üzere saplama kaynak makinesine girilen iki ana parametre vardır. Bu parametreler saplama kaynak makinesi tedarikçisi tarafından önerilmekle birlikte proses değişkenlikleri de gözetilerek zamanla farikaların kaynak uzmanları tarafından nihai parametre değerlerine getirilmektedir. Saplama kaynak makinesine akım için kaynatılacak saplamanın kaynak bölgesi çapının yüz katı değerinin girilmesi önerilirken, kaynak zamanı içinde yine kaynak bölgesi çapının minimum beş katı değerinin girilmesi önerilir.

Bu çalışma kapsamında kullanılan saplamaların kaynak bölgesi çapı Şekil 3.5'te görüldüğü üzere 7 mm'dir. Bu sebeple deneylerde kullanılan saplama kaynak makinesine akım için girilen değer 700 Amper, kaynak zamanı için girilen değer 40 ms.'dir. Şekil 3.7'de saplama kaynak makinesine girilen değerler gösterilmiştir.



Şekil 3.7. Deneylerde kullanılan kaynak parametreleri

3.3. Deney Tasarımı

Gövde ve boya süreçlerini tamamlayan araç gövdeleri iç ve dış trim parçalarının takılabilmesi için transfer hatları ile montaj üretim tesisine gönderilir. Montaj hatlarında parçaların gövde üzerine montajı perçinle, vida somun bağlantılarıyla ya da geçme yöntemleri ile gerçekleşir. Saplamalara bağlanacak parçalar ise somun vasıtası ile

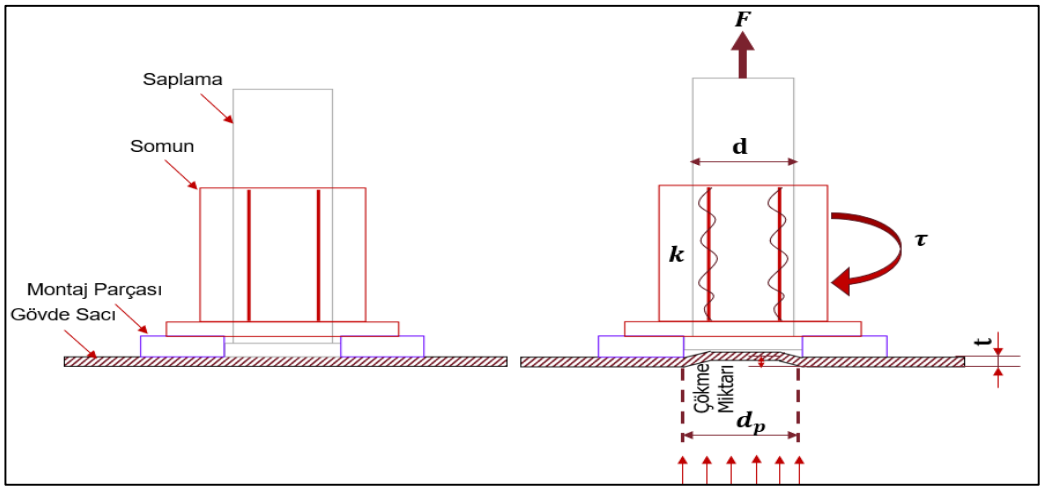
montajlanır. Bu bağlantı esnasında somunların sıkımı için manuel, pnömatik veya elektrikli el aletleri kullanılmaktadır. Sıkım esnasında kullanılacak sıkıcı özellikleri, sıkım değerinin büyüklüğüne, prosesin kritikliğine ve hassasiyetine, ergonomi koşullarına bağlı olarak değişmektedir. Çalışmanın kapsamı gereği bu çalışmada sıkım stratejilerine değinilmeyecektir. Ancak sıkım esnasında kullanılan ekipmanlar bilgi amaçlı Şekil 3.8'de gösterilmiştir.



Şekil 3.8. Parçaların saplamalara sıkımında kullanılan ekipmanlar **a)** Elektrikli sıkıcı **b)** Pnömatik sıkıcı **c)** Manuel el torku

Saplama kaynatılmış bir saca montaj parçası sıkılırken, sac üzerindeki saplamaya eksenel bir kuvvet etki eder. Sıkım esnasında montaj parçası sac ile somun arasında sıkışırken sacın arka yüzeyinde ise saplamaya etki eden kuvvet sebebiyle bir miktar çökme gerçekleşir (Şekil 3.9).

Bu çökme fazla olduğu durumda ise daha önce Şekil 2.8'de gösterildiği gibi saplama sacı yırtarak kopmaktadır. Otomotiv gibi hızın ve ilk seferde kalitenin önemli olduğu endüstriyel alanlarda ise bu yaşanması istenilmeyen durumdur. Çünkü bu yaşanan kalite problemleri tamir ve işçilik maliyetlerine sebep olduğu gibi çoğu zaman aracın ıskarta edilerek tekrar üretilmesine de sebep olmaktadır.



Şekil 3.9. Parça montajı esnasında sıkım işleminin sac üzerinde oluşturduğu etki

Şekil 3.9'da da görüldüğü üzere F eksenel değeri ne kadar fazla olursa sacda oluşacak çökme miktarı da o kadar fazla olacaktır ve saplamanın sacdan kopma ihtimali artacaktır. F değerini etkileyen faktörlerden bir tanesi parçanın saplamaya sıkımı esnasında uygulanan tork ($\boldsymbol{\tau}$) değeridir. Sıkım esnasında uygulanan tork değeri arttıkça sacdaki çökme ve dolayısıyla kopma ihtimalide artmaktadır. Sıkım esnasında saplamaya etki eden kuvvet saplamanın çapı ve somun saplama arasında oluşan sürtünme kuvveti ile ters orantılıdır. Bu durum Denklem 3.1'de verilmiştir.

$$F = \frac{\tau}{kxd} \tag{3.1}$$

$$\tau_{\substack{Gerçek \\ kesme}} = \frac{F}{A} \tag{3.2}$$

$$A = \pi \; x \; dp \; x \; t \tag{3.3}$$

Aracın saplama kaynağı prosesi uygulanan bölgeleri ve bu bölgelerde kullanabilen farklı çelik kaliteleri göz önünde bulundurularak malzeme seçimi yapılmıştı. Ancak yukarıda verilen formüller incelendiğinde Denklem 3.2'de sıkım esnasında oluşan $\boldsymbol{\tau}_{\text{gerçek kesme}}$, saplamanın saca kaynatıldığı bölgedeki alan ile ters orantılı ilişki içerisinde olduğu görülmektedir. F kuvvetinin etki ettiği alan ise Denklem 3.3'te gösterildiği üzere saplamanın saca kaynatıldığı çap bölgesinin, saplamanın kaynatıldığı sac kalınlığının çarpımına eşittir.

Saplamanın sacı yırtarak kopma ihtimalini minimize etmek için saplama üzerine parça bağlanması esnasında oluşan $\boldsymbol{\tau}_{\text{gerçek kesme}}$ değeri $\boldsymbol{\tau}_{\text{max}}$ olmalıdır. $\boldsymbol{\tau}_{\text{Max}}$ değeri Denklem 3.4'te gösterildiği gibi çekme dayanımının yarısı olarak alınır.

$$\tau_{max} = \frac{Rm}{2} \tag{3.4}$$

Çekme dayanımları ve çelik kaliteleri farklı olan çeliklerle bu çeliklerin farklı sac kalınlığındaki plakaları da çalışma kapsamına dahil edilmiştir. Kalınlık ve malzeme özellikleri farklı olan plakalarla farklı sıkım kombinasyonlarında çalışılmıştır.

Parçaların saplamalara sıkımı sonrasında sacın arka yüzeyinde minimum çökme miktarı hedeflenecektir. Oluşan çökme miktarı 0,01 hassasiyetindeki kompratör ile ölçülmüştür. Bu çalışmada sac malzeme tipi, kalınlığı ve sıkım tork değeri değiştirilerek optimum konfigürasyonun bulunması amaçlanmaktadır. Deney tasarımında kullanılacak değişkenler ve seviyeleri Çizelge 3.3'te verilmiştir.

Çizelge 3.3. Çalışmada kullanılan değişkenler ve seviyeleri

Değişkenler	**Seviyeler**	
	Seviye 1	**Seviye 2**
Sac tipi	IF210	DP600
Sac kalınlığı	0,7	1,2
Sıkım değeri	4,5	6

Minitab 18 programında Stat> DOE> Factoriel> Create factoriel design komutları kullanılarak üç faktörlü, iki seviyeli ve on tekrarlı tam faktöriyel deney tasarımı (DOE) hazırlanmıştır (Şekil 3.10). Minitab18 programında DOE hazırlanırken IF 210 malzemesi bir ve DP 600 malzemesi iki olarak kodlanmıştır. Bir tam faktöriyel deney tasarımında, deney sayısını hesaplamak için Denklem 3.5 kullanılır. Bu çalışmada, faktör sayısı üç, faktörlerin seviyesi iki ve on tekrarlı deney tasarlandığından seksen adet deney yapılmıştır.

$$\text{Tam faktöriyel deney sayısı} = (Seviye^{Faktör}) \text{ x Tekrar Sayısı} \tag{3.5}$$

Ful Faktöriyel Tasarım

Tasarım Özeti

Faktör sayısı:3 Temel Tasarım: 3; 8

Deney sayısı:80 Tekrar: 10

Blok sayısı:1 Merkez nok.(toplam): 0

C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	Malzeme	Malzeme Kalınlığı	Tork
1	1	1	1	1	0,7	4,5
2	2	1	1	2	0,7	4,5
3	3	1	1	1	1,2	4,5
4	4	1	1	2	1,2	4,5
5	5	1	1	1	0,7	6,0
6	6	1	1	2	0,7	6,0
7	7	1	1	1	1,2	6,0

Şekil 3.10. Minitab18 programında oluşturulan tam faktöriyel deney tasarımı

Deney tasarımında ön görülen her adımdaki kombinasyona göre iş parçası üzerindeki saplamalara parça sıkımı yapılmış ve sacın arka yüzündeki çökme miktarı 0,01 hassasiyetli kompratör ile ölçülmüştür (Şekil 3.11).



Şekil 3.11. Sacın arka yüzeyinde oluşan çökme miktarının kompratör ile ölçümü

Parçanın saplamalara sıkımı sonrasında, sacın arka yüzünde oluşan çökmelerin ölçüm değerleri ise kayıt altına alınarak Minitab18 programına girilmiştir (Çizelge 3.4).

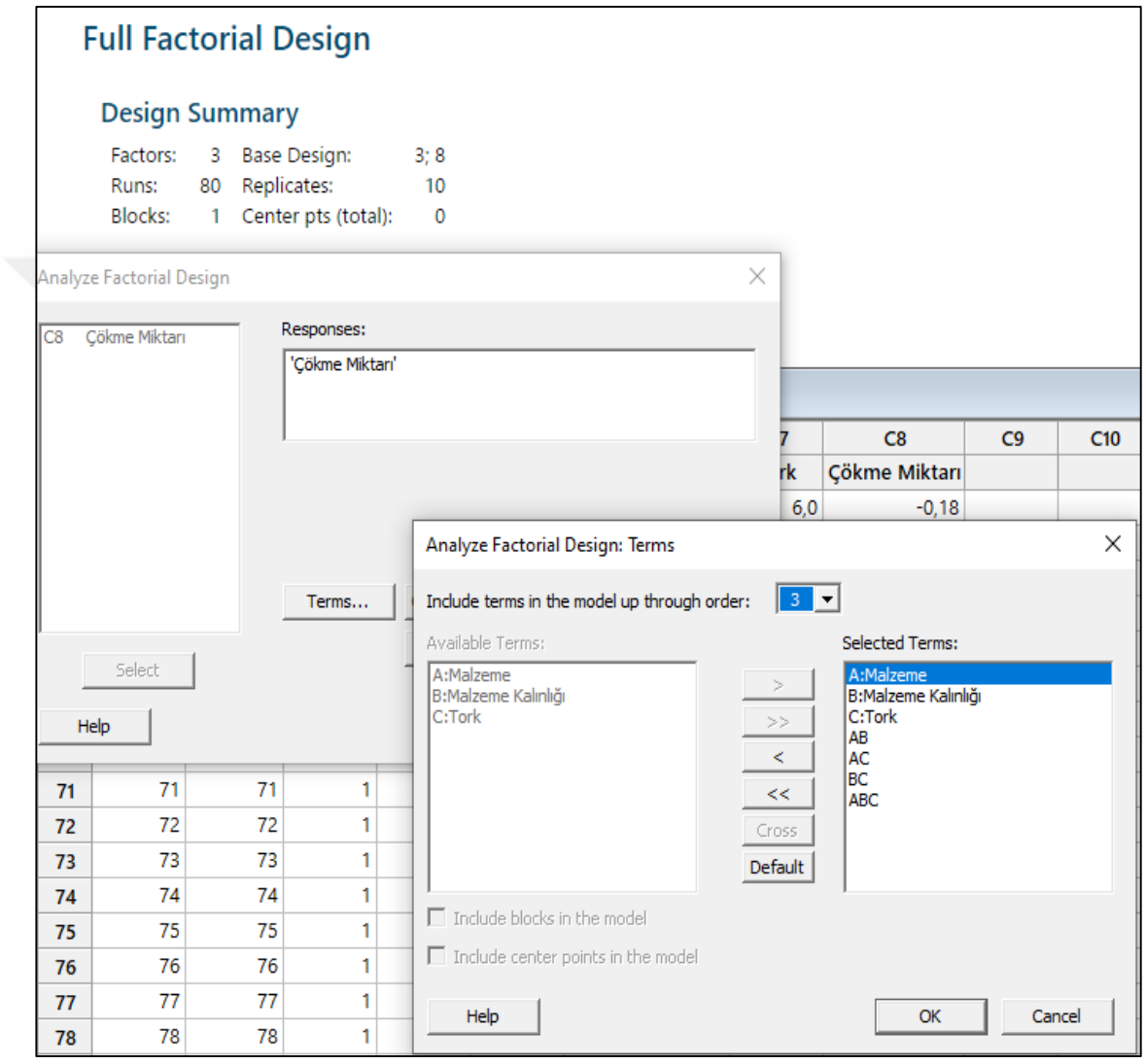
Çizelge 3.4. Montaj parçasının saplamaya sıkımı sonrası oluşan çökme miktarları

Deney no	Malzeme	Malzeme Kalınlığı	Tork	Çökme Miktarı
1	1	0,7	4,5	0,76
2	2	0,7	4,5	0,50
3	1	1,2	4,5	0,04
4	2	1,2	4,5	-0,01
5	1	0,7	6	0,33
6	2	0,7	6	0,57
7	1	1,2	6	0,06
8	2	1,2	6	0,3
9	1	0,7	4,5	0,6
10	2	0,7	4,5	0,06
11	1	1,2	4,5	-0,16
12	2	1,2	4,5	-0,07
13	1	0,7	6	1,05
14	2	0,7	6	0,25
15	1	1,2	6	0,46
16	2	1,2	6	0,02
17	1	0,7	4,5	0,76
18	2	0,7	4,5	0,17
19	1	1,2	4,5	-0,08
20	2	1,2	4,5	0,01
21	1	0,7	6	1,38
22	2	0,7	6	0,47
23	1	1,2	6	0,38
24	2	1,2	6	0,16
25	1	0,7	4,5	0,46
26	2	0,7	4,5	0,08
27	1	1,2	4,5	0,01
28	2	1,2	4,5	0,06
29	1	0,7	6	0,97
30	2	0,7	6	0,24
31	1	1,2	6	0,56
32	2	1,2	6	-0,06
33	1	0,7	4,5	0,28
34	2	0,7	4,5	0,03
35	1	1,2	4,5	-0,07
36	2	1,2	4,5	0,08
37	1	0,7	6	0,96
38	2	0,7	6	0,37
39	1	1,2	6	0,56
40	2	1,2	6	0,11

Çizelge 3.4. Montaj parçasının saplamaya sıkımı sonrası oluşan çökme miktarları (Devam)

Deney no	Malzeme	Malzeme Kalınlığı	Tork	Çökme Miktarı
41	1	0,7	4,5	0,90
42	2	0,7	4,5	0,22
43	1	1,2	4,5	0,10
44	2	1,2	4,5	0,01
45	1	0,7	6	1,00
46	2	0,7	6	0,55
47	1	1,2	6	0,44
48	2	1,2	6	0,06
49	1	0,7	4,5	0,32
50	2	0,7	4,5	0,28
51	1	1,2	4,5	0,12
52	2	1,2	4,5	0,08
53	1	0,7	6	0,59
54	2	0,7	6	0,40
55	1	1,2	6	0,04
56	2	1,2	6	0,19
57	1	0,7	4,5	0,69
58	2	0,7	4,5	0,37
59	1	1,2	4,5	-0,08
60	2	1,2	4,5	0,01
61	1	0,7	6	0,59
62	2	0,7	6	0,49
63	1	1,2	6	0,18
64	2	1,2	6	-0,04
65	1	0,7	4,5	0,69
66	2	0,7	4,5	0,59
67	1	1,2	4,5	-0,23
68	2	1,2	4,5	0,02
69	1	0,7	6	0,83
70	2	0,7	6	0,39
71	1	1,2	6	0,20
72	2	1,2	6	0,12
73	1	0,7	4,5	0,64
74	2	0,7	4,5	0,30
75	1	1,2	4,5	0,08
76	2	1,2	4,5	0,12
77	1	0,7	6	0,17
78	2	0,7	6	0,52
79	1	1,2	6	0,22
80	2	1,2	6	0,11

Çökme değerlerinin ölçümü tamamlandıktan sonra yine Minitab18 programı kullanılarak deney tasarımı analiz kısmına geçilmiştir. Amaç ana etkilerin ve etkileşimlerin çökme miktarı üzerindeki etkisini hesaplamaktır. Minitab18 programında Stat> DOE> Factoriel> Analyaze factoriyel komutları izlenerek deney tasarımı seçimi yapılmıştır. Şekil 3.12'de Minitab18 programına girilen faktörler verilmiştir



Şekil 3.12. Minitab18 programına faktörlerin girilmesi

Programa faktörler girildikten sonra faktörlerin analizi yapılmıştır. Analiz sonrası varyans analiz tablosu Çizelge 3.5'teki gibi oluşturulmuştur.

Çizelge 3.5. Ana etkilerin ve etkileşimlerinin çökme miktarı üzerindeki etkileri

Varyans Analizi						
	Serbestlik Derecesi (DF)	Kareler Toplamı (Adj SS)	Kareler Ortalaması (Adj MS)	F-Value	P-Value	% Katkı
Model	**7**	**5,71743**	**0,81678**	**22,64**	**0,000**	**68,76**
Lineer	**3**	**5,14168**	**1,71389**	**47,51**	**0,000**	**61,84**
Malzeme	1	0,94830	0,94830	26,29	0,000	11,40
Malzeme Kalınlığı	1	3,50703	3,50703	97,22	0,000	42,18
Tork	1	0,68635	0,68635	19,03	0,000	8,25
2- Yönlü etkileşimler	**3**	**0,48928**	**0,16309**	**4,52**	**0,006**	**5,88**
Malzeme*Malzeme Kalınlığı	1	0,38226	0,38226	10,60	0,002	4,6
Malzeme*Tork	1	0,10296	0,10296	2,85	0,095	1,24
Malzeme Kalınlığı*Tork	1	0,00406	0,00406	0,11	0,738	0,05
3- Yönlü Etkileşimler	**1**	**0,08646**	**0,08646**	**2,40**	**0,126**	**1,04**
Malzeme*Malzeme Kalınlığı*Tork	1	0,08646	0,08646	2,40	0,126	1,04
Hata	72	2,59737	0,03607			31,24
Toplam	79	8,31480				

Varyansların analizi (Analysis of variance) kısmındaki ana etkiler ve etkileşimleri değerlendirildiğinde, ana etkilerin çökme miktarına toplam etkisi %61,84 iken iki yönlü etkileşimlerin etkisi %5,88, üç yönlü etkileşimlerin ise toplam etkisinin %1,04 olduğu görülmüştür. Ancak bu tabloda P-Value değerlerine baktığımızda değeri 0,05'ten büyük olan etkileşimlerin olduğu görülmektedir. P-Value> α'dan büyük olan etki ve etkileşimlerin anlamlı etkisi olmadığı için analizden çıkartılmalıdır. Çıkartılan her bir değer sonrası analiz tekrar yapılarak P-Value kontrol edilmeli ve 0,05'e yaklaştığında analiz sonlandırılarak sadeleşmiş model elde edilmelidir. Çalışmada bu yaklaşım sergilendiğinde üçüncü analiz sonucunda Şekil 3.13'te gösterilen sadeleşmiş model elde edilmiştir.

Varyans Analizi

Değişken	Serbestlik Derecesi (DF)	Kareler Toplamı (Adj SS)	Kareler Ortalaması (Adj MS)	F-Value	P-Value
Model	**7**	**5,71743**	**0,81678**	**22,64**	**0,000**
Lineer	**3**	**5,14168**	**1,71389**	**47,51**	**0,000**
Malzeme					
Malzeme Kalınlığı					
Tork					
2-Yönlü Etkileşimler					
Malzeme*Malzeme Kalınlığı					
Malzeme*Tork					
Malzeme Kalınlığı*Tork					
3- Yönlü Etkileşimler					
Malzeme*Malzeme Kalınlığı*Tork					
Hata					
Total					

Varyans Analizi

Değişken	Serbestlik Derecesi (DF)	Kareler Toplamı (Adj SS)	Kareler Ortalaması (Adj MS)	F-Value	P-Value
Model	**6**	**5,63097**	**0,93849**	**25,53**	**0,000**
Lineer	**3**	**5,14168**	**1,71389**	**46,62**	**0,000**
Malzeme					
Malzeme Kalınlığı					
Tork					
2-Yönlü Etkileşimler					
Malzeme*Malzeme Kalınlığı					
Malzeme*Tork					
Malzeme Kalınlığı*Tork					
Hata					
Lack-of-Fit					
Pure Error					
Total					

Varyans Analizi

Değişken	Serbestlik Derecesi (DF)	Kareler Toplamı (Adj SS)	Kareler Ortalaması (Adj MS)	F-Value	P-Value
Model	**5**	**5,62691**	**1,12538**	**30,98**	**0,000**
Lineer	**3**	**5,14168**	**1,71389**	**47,18**	**0,000**
Malzeme	1	0,94830	0,94830	26,11	0,000
Malzeme Kalınlığı	1	3,50703	3,50703	96,55	0,000
Tork	1	0,68635	0,68635	18,90	0,000
2-Yönlü Etkileşim	**2**	**0,48522**	**0,24261**	**6,68**	**0,002**
Malzeme*Malzeme Kalınlığı	1	0,38226	0,38226	10,52	0,002
Malzeme*Tork	1	0,10296	0,10296	2,83	0,096
Error	**74**	**2,68789**	**0,03632**		
Lack-of-Fit	2	0,09052	0,04526	1,25	0,291
Pure Error	72	2,59737	0,03607		
Total	**79**	**8,31480**			

Şekil 3.13. Ana etkilerin ve etkileşimlerinin sadeleşmiş modeli

Sadeleşmiş model sonrası çökme miktarının formülü Denklem 3.6'daki gibi bulunmuş olur. Ancak bu denklemde malzeme başındaki kat sayılar için kodlanmış değerler alınmalıdır. Örneğin IF 210 malzeme için çökme miktarı hesaplanırken IF 210'un kodlanmış değeri bir olduğundan formülde malzeme yerine bir yazılmalı; DP 600 malzeme için çökme miktarı hesaplanırken kodlanmış değer iki olduğundan malzeme yerine iki yazılmalıdır.

$$\text{Çökme Miktarı} = \begin{aligned} &0{,}820 - 0{,}241\ \text{Malzeme} - 1{,}667\ \text{Malzeme Kalınlığı} + 0{,}2670\ \text{Tork} \\ &+ 0{,}553\ \text{Malzeme*Malzeme Kalınlığı} - 0{,}0957\ \text{Malzeme*Tork} \end{aligned} \quad (3.6)$$

Sadeleşmiş model üzerinden ana etki ve etkileşimlerin çökme miktarına olan katkısı Çizelge 3.6'da verilmiştir. Çizelge 3.6 incelendiğinde görülüyor ki %67,67 güven aralığında çökme miktarına en fazla etki eden ana etki %42,18 ile malzemenin kalınlığı

iken en az etki eden ana etki %8,25 ile tork değeridir. İki yönlü etkileşimlerin ise toplam etkisi %5,84 iken, üç yönlü etkileşimlerin çökme miktarına anlamlı bir etkisinin olmadığı görülmektedir.

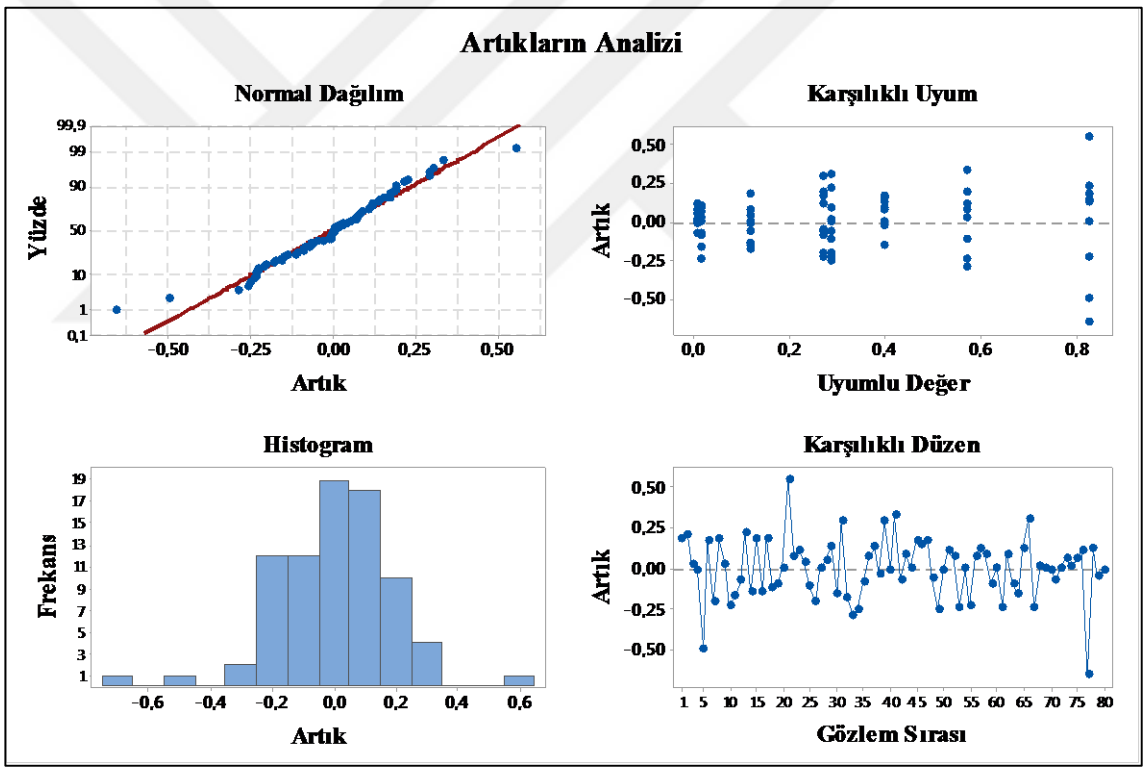
Çizelge 3.6. Sadeleşmiş modelde ana etki ve etkileşimlerinin çökmeye olan etkileri

Sadeleşmiş Modelin Varyans Analizi						
	Serbestlik Derecesi (DF)	Kareler Toplamı (Adj SS)	Kareler Ortalaması (Adj MS)	F-Value	P-Value	% Katkı
Model	**5**	**5,62691**	**1,12538**	**30,98**	**0,000**	**67,67**
Doğrusal	**3**	**5,14168**	**1,71389**	**47,18**	**0,000**	**61,84**
Malzeme	1	0,94830	0,94830	26,11	0,000	11,40
Malzeme Kalınlığı	1	3,50703	3,50703	96,55	0,000	42.18
Tork	1	0,68635	0,68635	18,90	0,000	8,25
2- Yönlü Etkileşimler	**2**	**0,48522**	**0,24261**	**6,68**	**0,002**	**5,84**
Malzeme*Malzeme Kalınlığı	1	0,38226	0,38226	10,52	0,002	4,6
Malzeme*Tork	1	0,10296	0,10296	2,83	0,096	1,24
Hata	**74**	**2,68789**	**0,03632**			**32,33**
Uyum Eksikliği	2	0,09052	0,04526	1,25	0,291	1,09
Artık Hata	72	2,59737	0,03607			31,24
Toplam	79	8,31480				

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

4.1. Artıkların Analizinin Yorumlanması

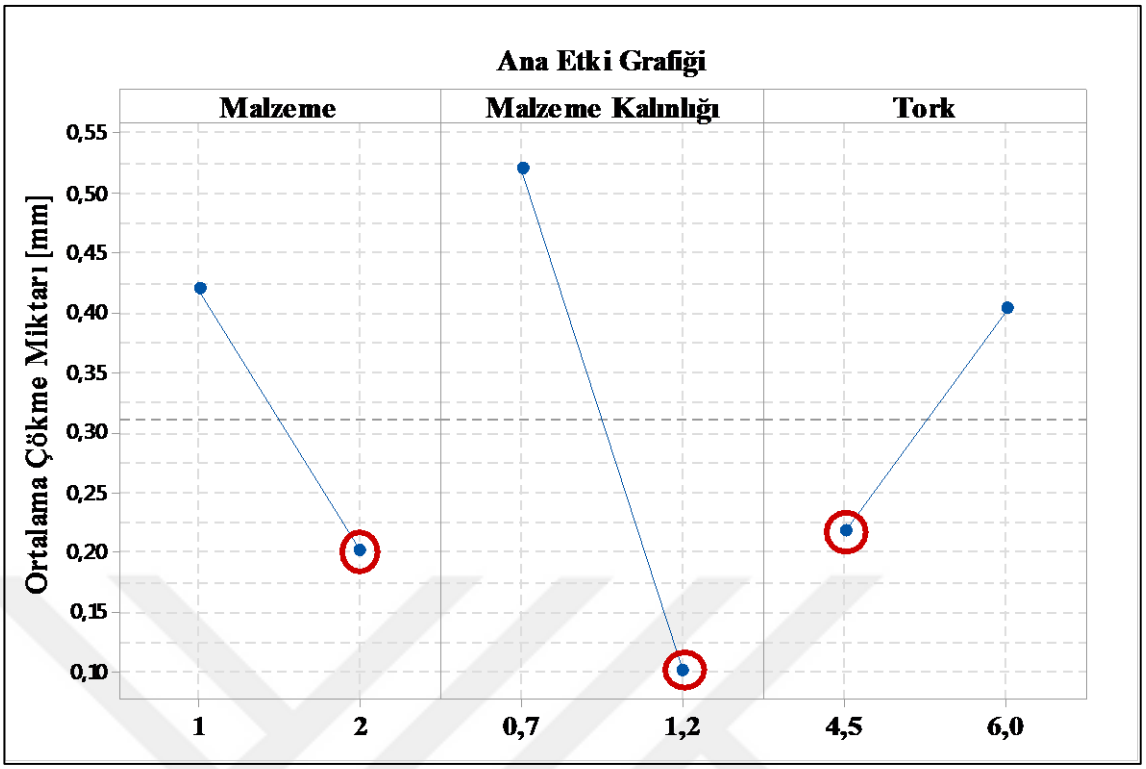
Sadeleşmiş model üzerinden artıkların analizi yapılmıştır. Şekil 4.1'de artıkların normal dağılım grafiği, karşılıklı uyum grafiği, karşılıklı düzen grafiği ve histogram grafikleri verilmiştir. Artıkların dağılım grafiğine göre artıkların normal dağılım gösterdiği görülmektedir. Artıkların histogram grafiğinde sıfır etrafında simetrik dağılması beklenmektedir (Yiğit, 2010). Çalışmadaki artıkların histogram grafiğindeki dağılımı da simetriğe yakın bir dağılım sergilemektedir. Karşılıklı uyum grafiğine göre homojen dağıldığı ve karşılıklı düzen grafiğine göre de herhangi bir trend takip etmediği görülmüştür (Şekil 4.1).



Şekil 4.1. Artıkların analizi

4.2. Ana Etki ve Etkileşim Grafiklerinin Yorumlanması

Minitab18 programında Stat> DOE> Factorial> Factorial Plots komutları kullanılarak çökme miktarına etki eden ana faktörlerin etki grafikleri çıkartılmıştır (Şekil 4.2).

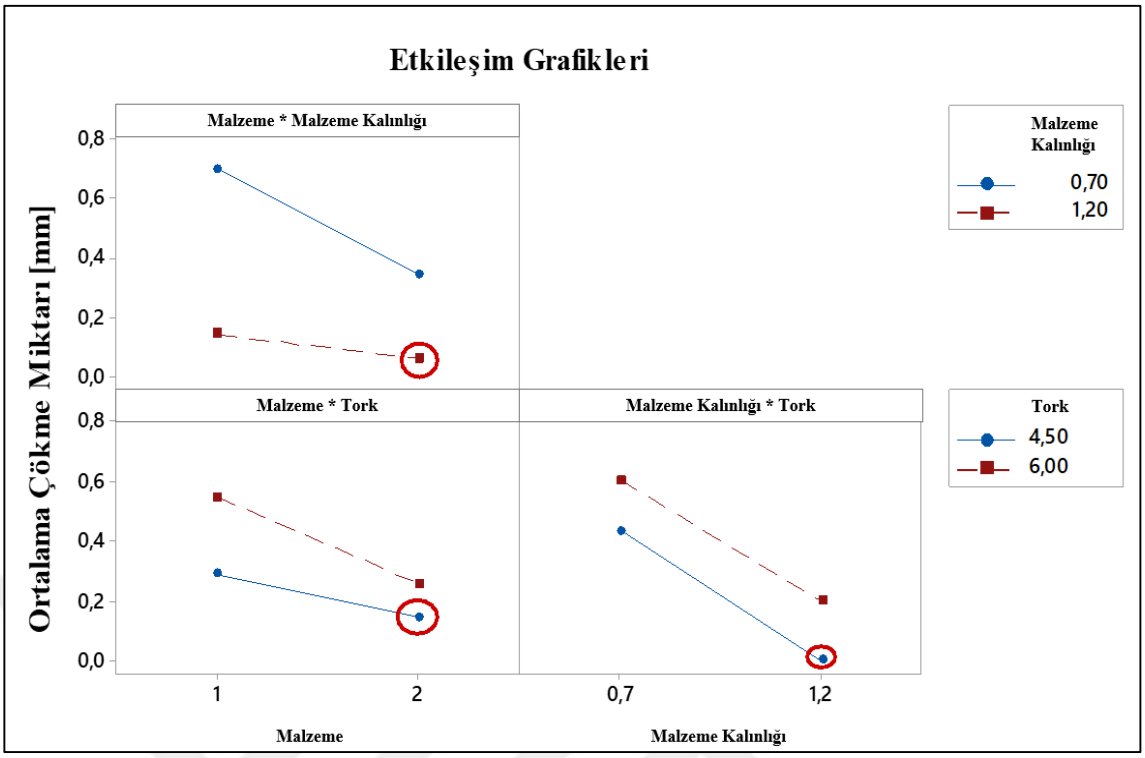


Şekil 4.2. Ana etkilerin grafiği

Bölüm 3.2.' de bahsedildiği üzere sacdan yırtılarak kopmanın olmaması için parçanın saplamalara sıkımı esnasında sacın arka yüzünde oluşan çökme miktarı minimum olarak hedeflendi. Minimum çökmenin hedef olduğu bu durumda ana etki grafiğine göre malzeme DP 600, sac kalınlığı 1,2 mm ve tork değeri 4,5 Nm seçilmelidir.

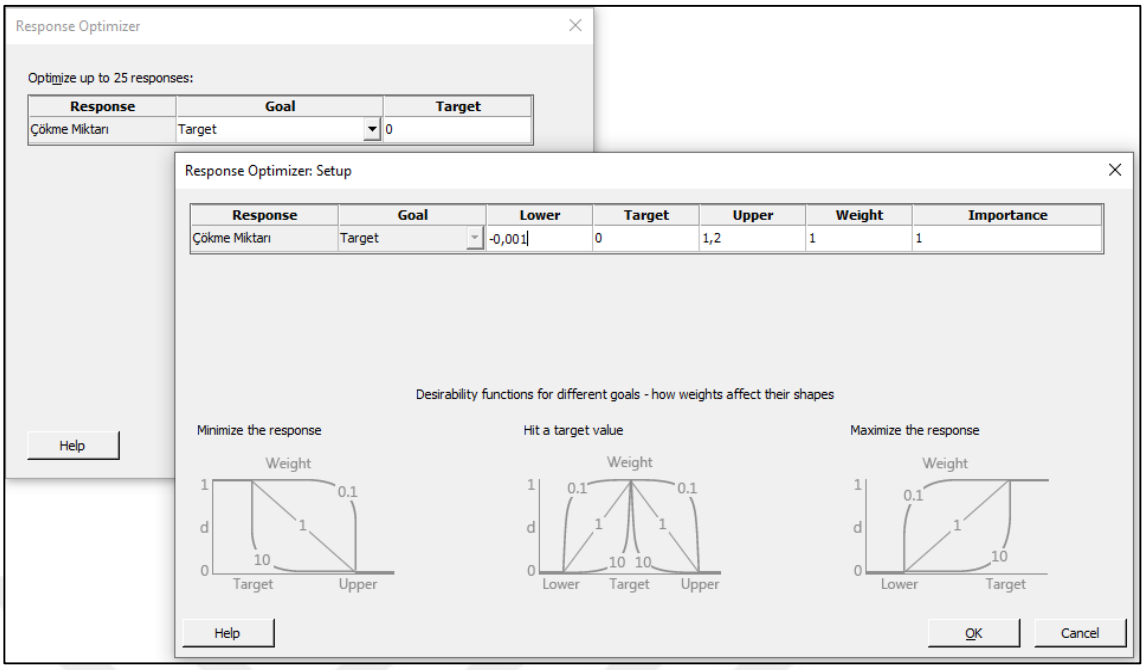
Bazı durumlarda etkileşim grafikleri ana etki grafiklerine göre farklı kombinasyonları önerebilir. Bu durumda sağlıklı olan etkileşim grafiklerine göre kombinasyonun seçilmesidir.

Yapılan etkileşim grafikleri analizine göre Şekil 4.3'te de görüldüğü üzere minimum çökme miktarı için malzeme DP 600, sac kalınlığı 1,2 mm ve tork değeri 4,5 Nm seçilmelidir.



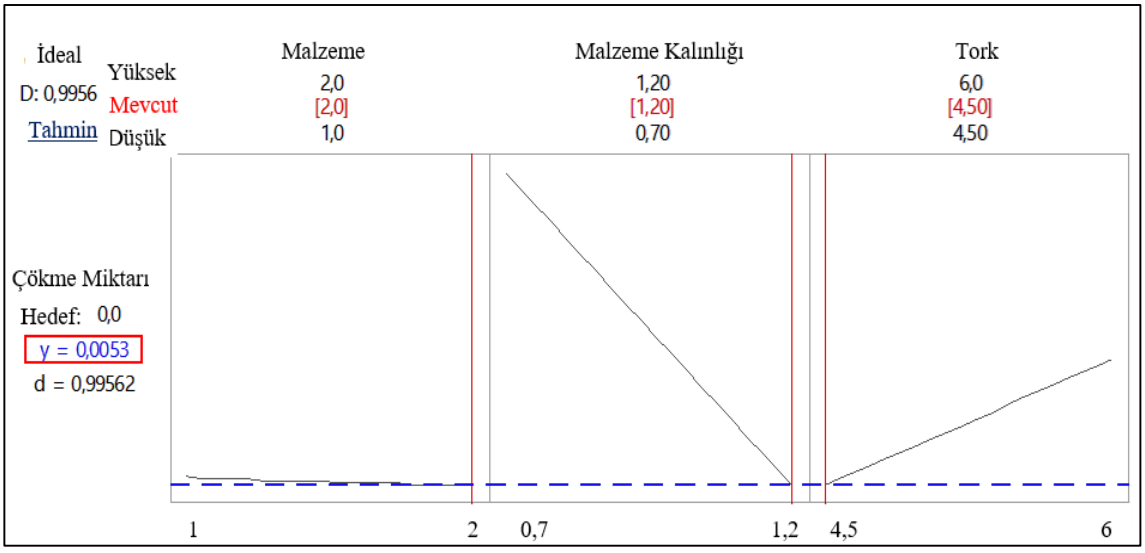
Şekil 4.3. Ana etkilerin etkileşim grafiği

Ana etkiler ve bunların etkileşimlerine göre minimum çökme miktarı için sac malzeme DP600, sac kalınlığı 1,2 mm ve sıkım değeri ise 4,5 Nm seçilerek sac yüzeyinde görülebilecek minimum çökme miktarı için Minitab 18 programında Stat> DOE> Factorial> Response Optimizer komutları izlenerek optimizasyon yapılmıştır. Optimizasyon için çökme miktarında hedef değer sıfır olarak belirlenmiş ve maksimum çökme miktarı ise sac kalınlığı girilmiştir (Şekil 4.4).



Şekil 4.4. Optimizasyon için Minitab18 programına hedef değerlerin girilmesi

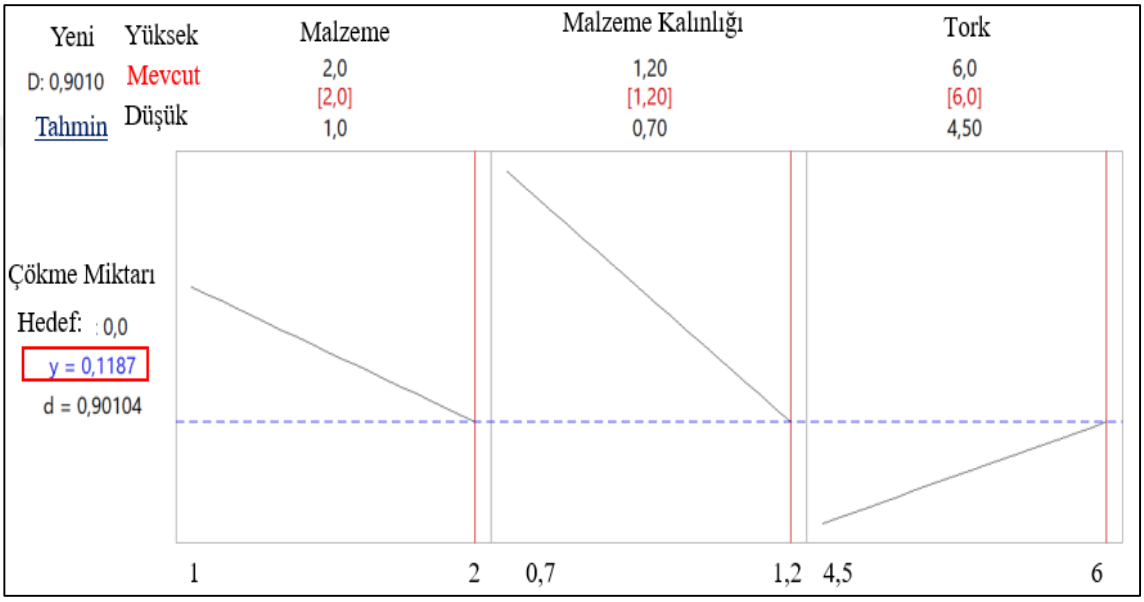
Etkileşim grafiklerinden okunan değerlere göre Minitab 18 programında optimizasyon yapıldığında görülüyor ki sac yüzeyinde gerçekleşebilecek çökme miktarı 0,005 mm olacaktır (Şekil 4.5).



Şekil 4.5. Optimize edilmiş değerlere göre oluşan ortalama çökme miktarı

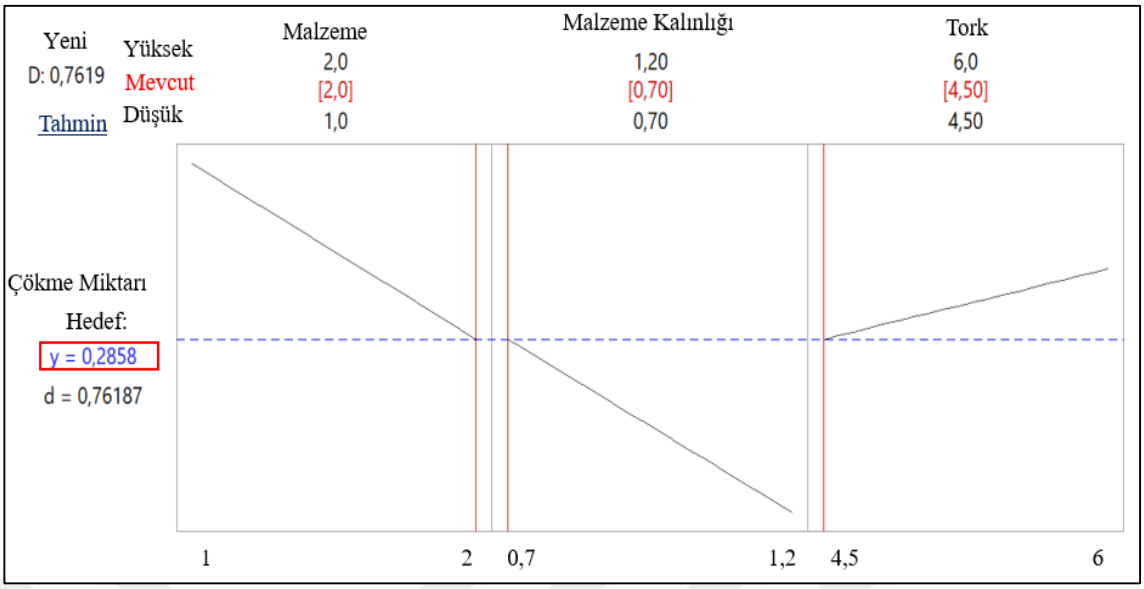
Oluşturulan optimizasyon grafiğinde girdi parametreleri değiştirildiğinde seçilebilecek diğer kombinasyonlardaki çökme miktarı da gözlenebilir. Diğer kombinasyonların seçilmesi durumunda çökme miktarları için hesaplanan değerler şu şekildedir:

- Sac malzeme cinsinin DP 600, sac kalınlık değerinin 1,2 mm ve sıkım değerinin 6 Nm seçildiği durumda sac üzerindeki çökme miktarı yaklaşık 0,12 mm olarak görülecektir (Şekil 4.6). Bu parametreler seçildiğinde sac kalınlığının yaklaşık %10'u oranında çökme olacaktır.



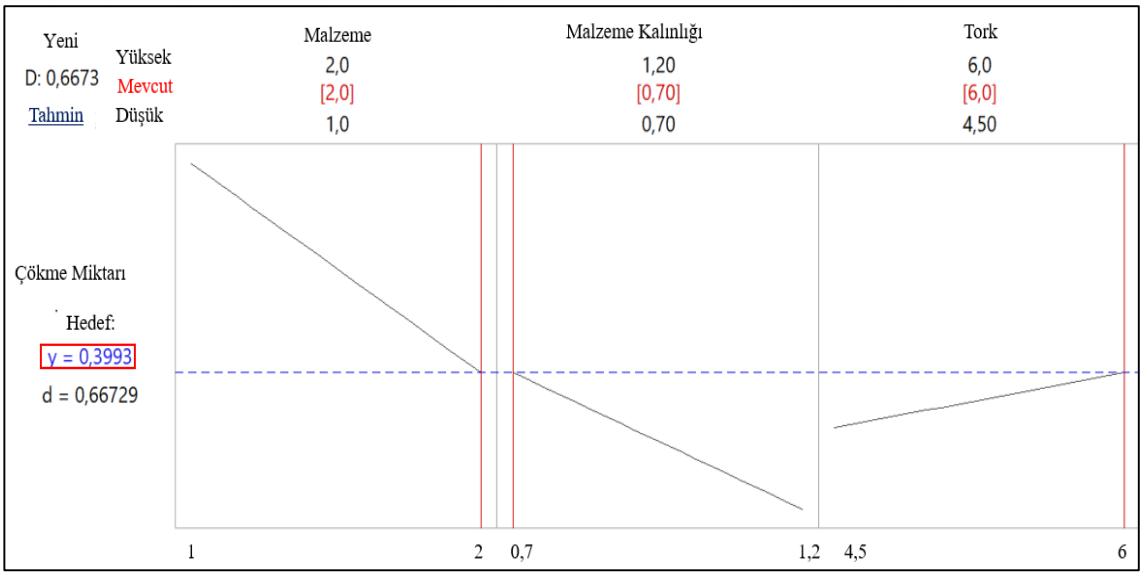
Şekil 4.6. DP 600 sac, 1,2 mm kalınlık ve 6 Nm sıkımdaki ortalama çökme miktarı

- Sac malzeme cinsinin DP 600, sac kalınlık değerinin 0,7 mm ve sıkım değerinin 4,5 Nm seçildiği durumda sac üzerindeki çökme miktarı 0,2858 mm olarak görülecektir (Şekil 4.7). Bu parametreler seçildiğinde sac kalınlığının yaklaşık %41'i oranında çökme olacaktır.



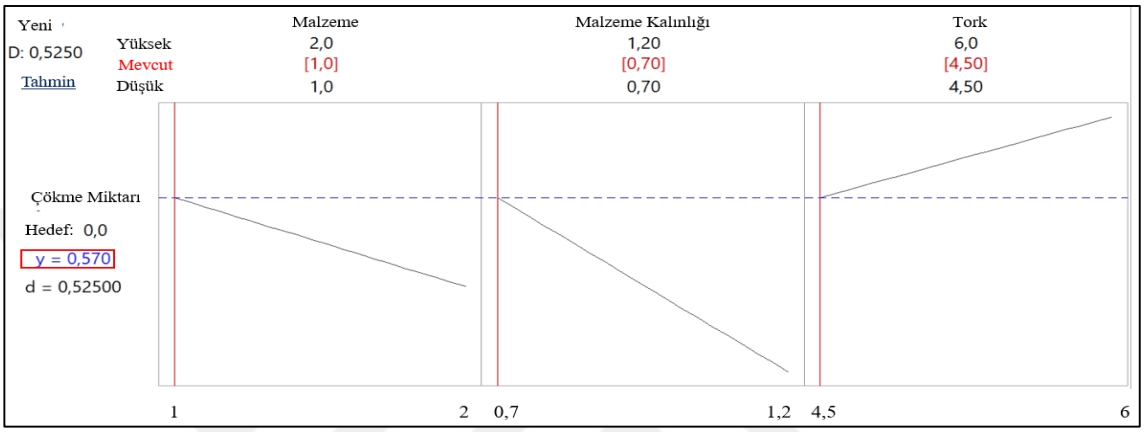
Şekil 4.7. DP 600 sac, 0,7 mm kalınlık ve 4,5 Nm sıkımdaki ortalama çökme miktarı

- Sac malzeme cinsinin DP600, sac kalınlık değerinin 0,7 mm ve sıkım değerinin 6 Nm seçildiği durumda sac üzerindeki çökme miktarı 0,3993 mm olarak görülecektir (Şekil 4.8). Bu parametreler seçildiğinde sac kalınlığının yaklaşık %56'sı oranında çökme olacaktır yorumu yapılabilir.



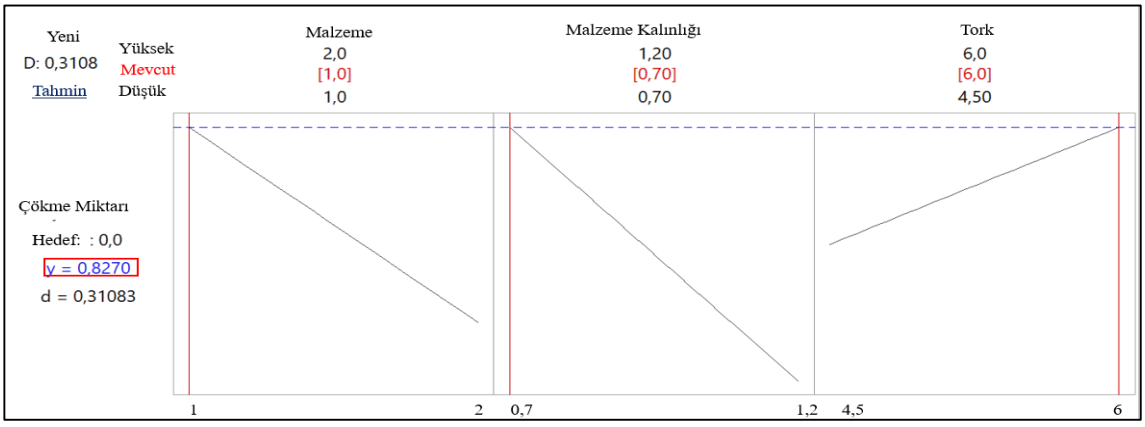
Şekil 4.8. DP 600 sac, 0,7 mm kalınlık ve 6 Nm sıkımdaki ortalama çökme miktarı

- Sac malzeme cinsinin IF 210, sac kalınlık değerinin 0,7 mm ve sıkım değerinin 4,5 Nm seçildiği durumda sac üzerindeki çökme miktarı 0,57 mm olarak görülecektir (Şekil 4.9). Bu parametreler seçildiğinde sac kalınlığının yaklaşık %81'i oranında çökme olacaktır. Bu parametreler seçildiğinde oluşacak çökme miktarına bakarak üretim esnasında sıkça sacdan kopmalar görülecektir yorumu yapılabilir.



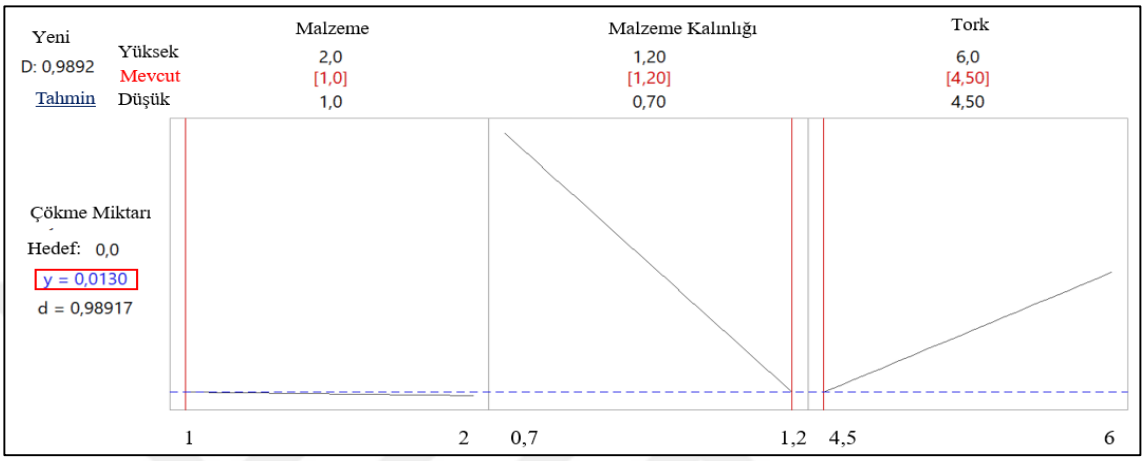
Şekil 4.9. IF 210 sac, 0,7 mm kalınlık ve 4,5 Nm sıkımdaki ortalama çökme miktarı

- Sac malzeme cinsinin IF 210, sac kalınlık değerinin 0,7 mm ve sıkım değerinin 6 Nm seçildiği durumda sac üzerindeki çökme miktarı 0,827 mm olarak görülecektir (Şekil 4.10). Bu parametreler seçildiğinde oluşacak çökme miktarına bakarak üretim esnasında sıkça sacdan kopmalar görülecektir yorumu yapılabilir.



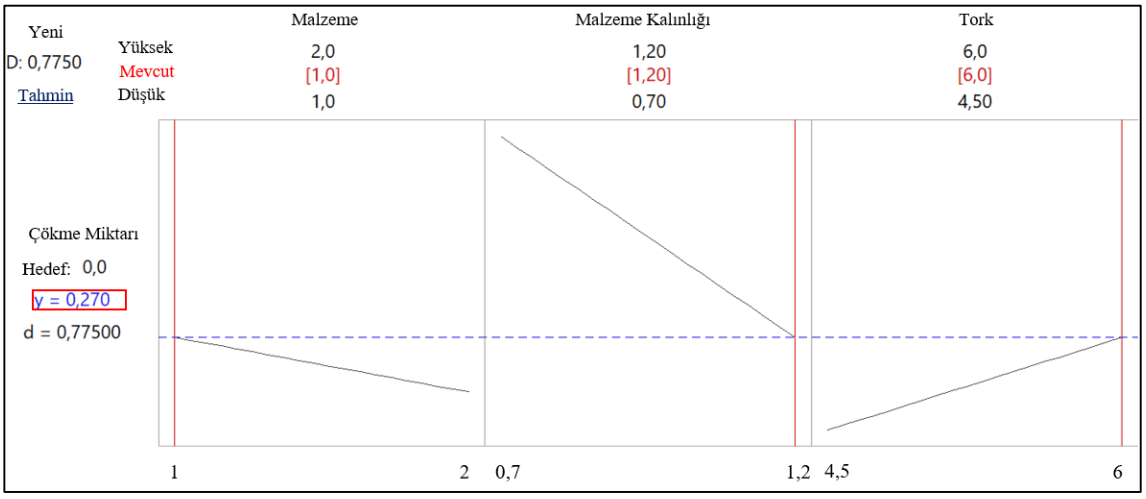
Şekil 4.10. IF 210 sac, 0,7 mm kalınlık ve 6 Nm sıkımdaki ortalama çökme miktarı

- Sac malzeme cinsinin IF 210, sac kalınlık değerinin 1,2 mm ve sıkım değerinin 4,5 Nm seçildiği durumda sac üzerindeki çökme miktarı 0,013 mm olarak görülecektir (Şekil 4.11). Bu parametreler seçildiğinde sac kalınlığına göre çok küçük oranda çökmeler olacaktır yorumu yapılabilir.



Şekil 4.11. IF 210 sac, 1,2 mm kalınlık ve 4,5 Nm sıkımdaki ortalama çökme miktarı

- Sac malzeme cinsinin IF 210, sac kalınlık değerinin 1,2 mm ve sıkım değerinin 6 Nm seçildiği durumda sac üzerindeki çökme miktarı 0,27 mm olarak görülecektir (Şekil 4.12). Bu parametreler seçildiğinde sac kalınlığının yaklaşık %23' ü oranında çökme olacaktır.



Şekil 4.12. IF 210 sac, 1,2 mm kalınlık ve 6 Nm sıkımdaki ortalama çökme miktarı

Çizelge 4.1. Farklı kombinasyonlara göre sacda görülecek ortalama çökme miktarı

Sac Tipi	Sac Kalınlığı (mm)	Sıkım Değeri (Nm)	Çökme Miktarı	Sac Kalınlığına Göre Çökme ~ (%)
IF 210	1,2	4,5	0,01	%1
IF210	1,2	6	0,27	%23
IF 210	0,7	4,5	0,57	%81
IF210	0,7	6	0,83	%119
DP600	1,2	4,5	0,005	%0
DP600	1,2	6	0,12	%10
DP600	0,7	4,5	0,29	%41
DP600	0,7	6	0,39	%56

Etkileşim grafiklerinden minimum çökmeyi oluşturacak parametreler seçilip Minitab 18 programında optimize edildiğinde görülüyor ki minimum çökmenin bu parametreler ile elde edildiği görülmüştür.

5. SONUÇ

Bu çalışmada üretim süreçlerinde pek çok kayıp ve tamir maliyetlerine sebep olan saplamaların kopması problemi incelenmiştir. Problemin yaşanmasındaki en büyük etken montaj parçasının bağlantısı esnasında oluşan eksenel yükün sac üzerinde ya da saplama üzerinde oluşturduğu deformasyondur.

Bu tez çalışmasında istatistiksel proses kontrol metotları kullanılarak prosesin yeterliliği doğrulanmış ve deney tasarımı aşamasına geçilmiştir. Çalışmada, saplamaya montaj parçasının sıkımı esnasında saplamanın sacı yırtarak kopmasına, malzeme kalınlığı %42,18, malzeme %11,4, tork %8,25 oranında etki ederken, malzeme–malzeme kalınlığı etkileşimi %4,6 ve malzeme-tork etkileşimi %1,24 oranında etki ettiği tespit edilmiştir. Buna göre sac yüzeyinde deformasyonun azaltılması için, sıkım esnasında oluşan eksenel yük azaltılabilir, eksenel yüke maruz kalan malzemenin mukavemeti arttırılabilir ya da her iki seçenekte aynı anda değerlendirilebilir.

Çalışmada alınan parametrelere göre sacın arka yüzeyinde minimum çökme 1,2 mm sac kalınlığına sahip DP600 saca montaj parçasının 4,5 Nm sıkımı ile gerçekleşmiştir.

Tez çalışmasında montaj parçalarının saplamalara montajı esnasında sacı yırtarak kopmasını engellemek için minimum çökme miktarı hedeflenmiştir. Sonuç olarak;

1. Mukavemeti düşük, kalınlığı ince saclarda, yüksek sıkım değerlerinde sac yüzeyinde çökme miktarı daha fazla olduğundan kopma ihtimali artmaktadır. Sadece tork değeri düşürüldüğü durumda dahi kopma ihtimali yüksek olan bir kombinasyon olduğu tespit edilmiştir.

2. Mukavemeti düşük sacın kalınlığı arttırılıp, sıkım değeri düşürüldüğünde sacdaki çökme miktarı azaldığından kopma ihtimalinin de azaldığı gözlenmiştir. Tork değeri 4,5 Nm'den 6 Nm'ye çıkarıldığı durumda ise sacın arka yüzünde oluşan çökme miktarı bir miktar artmış ancak yine de sac kalınlığının yarısından daha az bir çökme olmuştur.

3. Mukavemeti yüksek kalınlığı ince olan saclarda yüksek sıkım değerlerinde sacın arka yüzeyinde oluşan çökme sac kalınlığının yaklaşık yarısı kadar olduğu görülmüştür. Sıkım değeri 6 Nm'den 4,5 Nm'ye düşürüldüğünde ise sacın arka yüzeyinde oluşan çökme miktarı sac kalınlığının yarısından daha az olduğu görülmüştür.

4. Mukavemeti yüksek kalınlığı fazla olan saclarda düşük tork ile sıkımlarda neredeyse sacın arka yüzeyinde hiç çökme gözlenmemiştir. Ancak tork değeri 4,5 Nm'den 6 Nm'ye çıkarıldığı durumda ise bir miktar sacın arka yüzeyinde çökme olabileceği durum gözlemlenmiştir.

Bu çalışmanın deney tasarımı aşamasında sac malzemesinin şekillendirilebilme özellikleri faktör olarak alınmamıştır. Gelecek çalışmalarda malzemelerin kalıp süreçlerindeki parametreleri değerlendirilerek, sacın şekillendirilmesi sırasında gerçekleşen incelmelerin parça montajı esnasındaki saplamaların sacı yırtarak kopmasına olan etkileri araştırılabilir. Bulunan bulgular araç tasarım süreçlerinin en başında Ar-ge merkezlerine girdi teşkil edebilir. Bu girdiler aracın üretim ömrü boyunca proseste yaşanan hataları sıfırlamaya yönelik oldukça hem araç başı parça ve işçilik maliyeti düşecek hem de ilk seferde kaliteli üretim süreçleri gerçekleşmiş olacaktır.

Bu çalışmada saplama kaynak prosesinin önemli kaynak parametrelerinden olan kaynak zamanı ve akım değeri sabit alınmıştır. Gelecekteki çalışmalarda farklı kaynak zamanı ve akım değerleri de çalışma içerisinde dahil edilerek kaynak bölgesindeki mikro yapı değişimlerinin parça montajı esnasındaki saplamaların sacı yırtarak kopmasına olan etkileri araştırılabilir.

Gelecek çalışmalarda ayrıca saplamalara somun vasıtası ile bağlanan montaj parçalarının çeşitlilikleri de göz önüne alınarak çalışma içerisine dahil edilebilir. Montaj parçaları plastik ve metal olmakla birlikte bağlantıda kullanılan delik çaplarında ve kalınlıklarında da farklılıklar vardır. Bu çalışmaya benzer bir çalışmada farklı malzeme özelliklerine ve kalınlıklarına sahip montaj parçalarının bağlantı çapları değiştirilerek yapılabilir.

KAYNAKLAR

Abbas, M. H., Abood, A. N., Alali, M. Hussein S. Kh. ve Nawi, S. A (2021). Mechanical properties and microstructure evolution in arc stud welding joints of AISI 1020 with AISI 316l and AISI 304. *Metallograpy, Microstructure and Analysis*, 10, 321-333. https://doi.org/10.1007/s13632-021-00744-8

Akça, M. (2009, Kasım 26). Kesikli olasılık dağılımları. Mustafa Akça'nın Bloğu. https://mustafaakca.com/kesikli-olasilik-dagilimlari/

Al-Sahib, N. K. A., Ameer, H. K. A ve Ibrahim, S. G. F. (2009). Monitoring and quality control of stud welding. *Al-Khwarizmi Engineering Journal*, *5*(1), 53-70. https://www.iasj.net/iasj/download/013198762a6bab58

Aladağ, S. (2018). *Temel istatiksel proses kontrolü.* TOFAŞ Akademi.

Anık, S. (1991). *Kaynak el kitabı*. Gedik Holding.
Erişim linki: https://gedikegitimvakfi.org.tr/wp-content/uploads/2020/06/KAYNAK-TEKN%C4%B0%C4%9E%C4%B0-EL-K%C4%B0TABI.pdf

Anık, S., Tülbentçi, K. ve Kaluç, E. (1991). *Örtülü elektrod ile elektrik ark kaynağı*. Gedik Holding.

Atmaca, E. S., Algan, İ. B. ve Kurt, A. (2014, Mayıs 21-23). Saplama kaynak yöntemi ile inconel 718 süper alaşım malzemenin kaynaklanabilirliği. 3. Uluslararası Kaynak Teknolojileri Konferansı ve Sergisi, Manisa, Turkey, 588-594. https://avesis.gazi.edu.tr/publication/details/381f01d5-f3b7-4b6c-b675-e66d8ec94f7f/saplama-kaynak-yontemi-ile-inconel-718-superalasim-malzemenin-kaynaklanabilirligi

Aydın, Z. B. (1996). *İstatistiksel kalite kontrolü ve süreç yeterlilik analizi* (Tez No. 480076) [Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi]. YÖK Tez Merkezi. https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/giris.jsp

Babacan, M., Tosun, F. Can, M. (2022). Saplama kaynağının 6060,6082,6005 Alüminyum alaşımlara Uygulama parametrelerinin ve metalografiye etkisinin araştırılması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (36), 45-49. https://doi.org/10.31590/ejosat.1099675

Billur, E. (2017). Hot formed steels. İçinde R. Rana ve B. Singh (Eds.), *Autmotive steels: Design, metallurgy, processing and applications*. (ss. 387-411). Woodhead Publishing
https://doi.org/10.1016/C2015-0-00236-2

Billur, E., Çetin, B. ve Gürleyik, M. (2016). New Generation Advanced High Strength Steels: Developments, Trends and Constraints. *International Journal of Scientific and*

Technological Research, *2*(1), 50-62. https://www.iiste.org/Journals/index.php/JSTR/article/view/27986/28730

Bircan, H., ve Özcan S. (2003). *Excel Uygulamalı Kalite Kontrol*. Yargı Yayınevi.

Büyükuysal, M. Ç. (2014). *Farklı örneklem genişliklerinde normal dağılım testlerinin karşılaştırılması* (Tez No. 359631) [Doktora Tezi, Bülent Ecevit Üniversitesi]. YÖK Tez Merkezi. https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/giris.jsp

Cengiz, M. A. ve Terzi, Y. (2018). *Hipotez testleri*. *Ders Notları*. [PowerPoint sunum]. Docplayer. https://docplayer.biz.tr/161087963-Hipotez-testleri-ders-notlari-prof-dr-mehmet-ali-cengiz-prof-dr-yuksel-terzi.html

Cornu, J. (1988). Fundamentals of Fusion Welding Technology. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-662-11049-2_1

Çakmakkaya, M., Yönetken A., Erol, A. (2016). Kondansatör deşarjlı saplama kaynağı kaynak voltunun Aa6082 alüminyum alaşımlı birleşmeye etkisi. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, *31*(ÖS1), 43-50. https://doi.org/10.21605/cukurovaummfd.311208

Dayanıklı, A. S. (2021, Temmuz 8). Pyhton'da normal dağılmayan verilerin dönüştürülme (Transformation) yöntemleri. *Ravenfo*. https://ravenfo.com/2021/07/08/python-veri-donusturme-data-transformation/

Doğan, M. (2011). *Mikro dalga ısıtma ile sinterlenmiş Fe-Al toz karışımlarının saplama kaynağı ile birleştirilmesi* (Tez No. 294863) [Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi]. YÖK Tez Merkezi. https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/giris.jsp

Doğan, T. (2018). *IF ve BH çeliklerde oluşturulan farklı tane boyutlarının statik deformasyon yaşlanma davranışlarına etkisi* (Tez No. 495157) [Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi]. YÖK Tez Merkezi. https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/giris.jsp

Efe, M., (2019). *Çift Fazlı Çeliklerin Yüksek Sıcaklık Endüstriyel Deformasyon Hızlarında Şekillendirilebilirliği*. TÜBİTAK.

Elevli, S. (2020). *END 304 Kalite Kontrol Ders Notu* [PDF]. https://personel.omu.edu.tr/docs/ders_dokumanlari/9529_14889_1535.pdf

Ercan, İ. (2011). *Saplama kaynak metodu ile birleştirilen bakır malzemelerin birleştirme özelliklerinin incelenmesi* (Tez No. 338688) [Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi]. YÖK Tez Merkezi. https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/giris.jsp

Erol, H., A. (2018). *Arc stud welding for hollow parts* (Tez No. 519269) [Yüksek Lisans Tezi, Gaziantep Üniversitesi]. YÖK Tez Merkezi. https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/giris.jsp

Ganeshmurth, S. A. N ve Grzadzinski G. (2007). Torgue- angle signature analysis of the weld stud tightening. *Journal of materials and manufacturing*, *116*(5),687-698. https://link.springer.com/article/10.1007/s13296-014-2020-2

Gillings, A. (2019 Mart 2). *Stud Welding: The Basics and Benefits*. *Machine* https://www.machinedesign.com/fastening-joining/article/21837594/stud-welding-the-basics-and-benefits

Güleç, S. (2013). *Paslanmaz çelik, bakır kaplı çelik ve alüminyum saplamaların Fe-Al esaslı intermetaliklere saplama kaynağı yöntemi ile birleştirilmesi* (Tez No. 346778) [Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi]. YÖK Tez Merkezi. https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/giris.jsp

Gündoğdu, E. (2011). *Saplama kaynağı ile birleştirilmiş saplamaların kaynak bölgesinin mekanik ve metalürjik özelliklerinin araştırılması* (Tez No. 376170) [Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi]. YÖK Tez Merkezi. https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/giris.jsp

Hamza, A. A. (2014). *Investigation of the effect of parameters on mechanical and microstructural properties of arc stud welding* (Tez No. 372052) [Postgraduate thesis, Gaziantep Üniversitesi]. YÖK Tez Merkezi. https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/giris.jsp

Harre, İ. E. ve Şan, S. (2020). Makine elemanları ve maden makineleri. Erişim linki: http://meslek.eba.gov.tr/upload/dk/makine_elemanlari_ve_maden_makineleri_9_26.pdf

Hildebrand, J. ve Soltanzadeh, H. (2014). A review on assessment of fatigue in welded stud. *International Journal of Steel Stryctures*, *14*(2),421-438. https://link.springer.com/article/10.1007/s13296-014-2020-2

Hu, X., ve Feng, Z. (2021). *Advanced high-strength steel—basics and applications in the automotive industry* (Report no: ORNL/TM-2021/2047). Oak Ridge National Laboratory. https://doi.org/10.2172/1813170

Karahan, H. ve Özkan, E. (2012). Ege bölgesi standart süreli yıllık maksimum yağışları için en uygun dağılımlar. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, *19*(3), 152-157. https://dergipark.org.tr/tr/pub/pajes/issue/20496/218228

Kaynar, U. E. (2020). *Otomotiv sektöründe henüz montaj hattından çıkmamış araç üzerindeki geometrik hataların tespiti ve sinyalizasyonu için bir erken uyarı sisteminin geliştirilmesi* (Tez No. 636588) [Yüksek Lisans Tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi]. YÖK Tez Merkezi. https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/giris.jsp

Kul, S. (2014). İstatistik sonuçlarının yorumu: P değeri ve güven aralığı nedir?. *Plevra Bülteni*, *8*(11), 11-13. https://www.toraks.org.tr/site/sf/books/pre_migration/c19fa28083ae026a97e3878c26e1b03eaacfd74d114c8d66f832d8d806c56307.pdf

Kumru, E. (2007). *Farklı malzemelerin sıcak basınç kaynağı ile birleştirilmesinde işlem parametrelerinin etkilerinin incelenmesi* (Tez No. 201211) [Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi]. YÖK Tez Merkezi. https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/giris.jsp

Lopes, T. C., Sikora, C. G. S., Molina, R. G., Schibekabizn, D. Rodrigues, L. C. A. ve Magatao, L. (2017). Balancing a robotic spot welding öamufacturing line: An industrial case study. *Europan Journal of Operational Research*, *263*(3), 1033-1048. https://doi.org/10.1016/j.ejor.2017.06.001

Moro, C. (2021, Şubat 2). *Different materials used in the making of our cars!* Team-bhp. Erişim tarihi: Nisan, 3, 2022, https://www.team-bhp.com/news/different-materials-used-making-our-cars

OICA. (2019). *2018 Production statistics*. International Organization of Motor Vehicle Manufacturers. https://www.oica.net/wp-content/uploads/Passenger-Cars-2018.pdf

Patır, S. (2009). İstatistiksel proses kontrol teknikleri ve kontrol grafiklerinin malatyadaki bir tekstil (iplik dokuma) işletmesinde bobin sarım kontrolüne uygulanması. *Sosyal Ekonomik Araştırmalar Dergisi*, *9*(18), 231-250. https://dergipark.org.tr/tr/pub/susead/issue/28417/302555

Ramasamy, S. (2002). Drawn arc aluminum stud welding for automotive applications. *JOM, 54* (8), 44-46. 10.1007/BF02711866

Samardzic, I., Kladaric, I ve Klaric, S. (2009). The Influence of Welding Parameters on Weld Characteristics in Electric Arc Stud Welding. *Metallurgy*, *48*(3), 181-185.
Şahin, O. (2013). İstatistiksel proses kontrolünde proses yeterlilik analizi ve tekstil endüstirisinde uygulama. *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, *27*(2), 253- 271. https://dergipark.org.tr/tr/pub/atauniiibd/issue/2709/35776

Talaş, Ş., Doğan, M., Çakmakkaya, M. Ve Kurt, A. (2014). The effect of voltage on the arc stud welding of microwave sintered Fe+ Al powder mixture. *Materials Research*, *17*(3), 632-637. https://doi.org/10.1590/S1516-14392014005000081

Ugar, H. (1999). *Rastlantı değişkenlerinin fonksiyonları ve olasılık dağılımlarına uygulanması* [Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi]. http://nek.istanbul.edu.tr:4444/ekos/TEZ/33011.pdf

Weman, K. (2012). Welding Process handbook (2nd ed.). Woodhead Publishing Limited. ISBN 978-0-85709-518-3.

Yedekçioğlu, Ç., (2020, Haziran 13). *Otomotiv Sanayii'de Kullanılan Malzemeler*. Mühendis Gelişim Topluluğu. https://muhendisgelisim.com/otomotiv-sanayiide-kullanilan-malzemeler/

Yılmaz, N. F., Kurt H. İ., Oduncuoğlu, M. Ve Yılmaz, M (2017). Ark saplama kaynak parametresinin 6013-T6 alüminyum alaşımları kaynak bölgesi mikrıyapı ve mekanik özelliklere etkileri. *El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi*, *4*(3), 578-583. https://doi.org/10.31202/ecjse.341097

Yiğit, N. (2010). *Altı sigma metodolojisi ve otomotiv yansanayisinde uygulaması* (Tez No. 277875) [Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi]. YÖK Tez Merkezi. https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/giris.jsp