ELEKTRİK – ARK ERGİTME YÖNTEMİYLE 3B METAL YAZICI GELİŞTİRİLMESİ VE EKLEMELİ ÜRETİM BASKI PARAMETRELERİNİN İNCELENMESİ

Mustafa Sefa KARAKIZ

T.C.
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTRİK – ARK ERGİTME YÖNTEMİYLE 3B METAL YAZICI GELİŞTİRİLMESİ VE EKLEMELİ ÜRETİM BASKI PARAMETRELERİNİN İNCELENMESİ

Mustafa Sefa KARAKIZ

Prof. Dr. Murat YAZICI
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS
OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2022
Her Hakkı Saklıdır

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ELEKTRİK – ARK ERGİTME YÖNTEMİYLE 3B METAL YAZICI GELİŞTİRİLMESİ VE EKLEMELİ ÜRETİM BASKI PARAMETRELERİNİN İNCELENMESİ

Mustafa Sefa KARAKIZ

Bursa Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Murat YAZICI

Plastik bazlı PLA, ABS, TPU, PET gibi malzemelerin 3B yazıcılarda kullanımıyla birlikte hızlı prototipleme çalışmaları kolaylaştı. Günümüzde plastik bazlı üretim yapan FDM (Eriyik Yığma Modelleme – Fused Deposition Modeling) Tipi 3B yazıcılar yaygınlaştı. Çalışma konumuzun temeli FDM Tipi bir 3B yazıcının katmanlı üretim metodunu temel alarak eriyen plastik hammadde yerine metal eriterek 3 boyutlu katmanlı bir imalat gerçekleştirmek. Metal eritmek için ihtiyaç duyulan yüksek sıcaklık girdisini sanayide kullanılan otomatik tel sürme mekanizmalı MIG kaynağı (Metal İnert Gaz – Metal Inert Gas) ve MAG kaynağı (Metal Aktif Gaz – Metal Active Gas) kaynak makinelerini projemiz için tasarladığımız Kartezyen tipi bir 3B yazıcı şasesi ile birleştirdik. Otomatik tel sürme mekanizması tasarladığımız 3B yazıcı kontrol kartıyla birleştirildi. Kullandığımız kaynak makinesinin ayarları metal 3d baskılar için optimum (düzenli ve sıçrantı yapmayan, nüfuziyet derecesi düşük, sıralı imalatta yüksek ısı çıktısı olmayacak bir ayar) kaynak dikişi ve yüksekliği sağlayan voltaj ve tel sürme hızı seçildi. Yapılan ön çalışmada belirlenen kaynak makinesinin optimum çalışma değerleri için dilimleyici program içerisinde değişiklikler (ilk katman hızı, extrüder motoru tetikleme süresi, z ekseni katman yüksekliği, kaynak makinesi torcundan erimiş metalin kalınlığına göre x ve y ekseninde atılacak diğer katman ile aradaki mesafeler, katmanlı imalatta kaynak makinesi torcunun izleyeceği yol) yapıldı. Bu değişiklikler sonucu ilk üretim çalışmaları yapıldı.

Anahtar Kelimeler: Eklemeli İmalat, Metal 3B yazıcı, Elektrik Ark Ergitme

2022, viii + 52 sayfa.

ABSTRACT

MSc Thesis

DEVELOPING 3D METAL PRINTER WITH ELECTRIC – ARC MELTING METHOD AND EXAMINATION OF ADDTIVE MANUFATRUING PRINTING PARAMETERS

Mustafa Sefa KARAKIZ.

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

Supervisor: Prof. Dr. Murat YAZICI

Rapid prototyping has become easier with the use of plastic-based materials such as PLA, ABS, TPU, PET in 3d printers. Recently, FDM (Fused Deposition Modeling) Type 3d printers, which make plastic-based production, have become widespread. The basis of our work is to perform a 3D additive manufacturing by melting metal instead of melting plastic raw material, based on the additive production method of a FDM Type 3d printer. We combined the high temperature input needed for metal melting with a Cartesian type 3d printer chassis that we designed for our project, MIG welding (Metal Inert Gas - Metal Inert Gas) and MAG welding (Metal Active Gas - Metal Active Gas) welding machines with automatic wire feed mechanism used in the industry. . The automatic wire feeding mechanism was combined with the 3d printer control card we designed. The settings of the welding machine we use are optimum for metal 3d printing (regular and spatter-free, low penetration level, not high heat output in mass production), voltage and wire feed speed that provide weld seam and height. Changes in the slicer program for the optimum working values of the welding machine determined in the preliminary study (first layer speed, extruder motor triggering time, z-axis layer height, distance between the other layer to be thrown in the x and y axis according to the thickness of the molten metal from the welding machine torch, welding in additive manufacturing the path to be followed by the machine torch) was made. As a result of these changes, the first production works were carried out.

Key words: Electric Arc 3d Printing, Additive Manufacturing

2022, viii + 52 pages.

TEŞEKKÜR

Tez çalışmasında ilgi ve desteğini esirgemeyen, bilgi ve deneyimi ile çalışmalarımı yönlendiren çok kıymetli danışman hocam Prof. Dr. Murat Yazıcı'ya sonsuz teşekkür ve saygılarımı sunarım.

Bu çalışmaya katkıda bulunup desteğini esirgemeyen Gökhan Çakır'a ve çalışma esnasında yaptığı tüm yardımlar için Berk Hadzmolla'ya teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca yaptığım tüm çalışmalarımda beni destekleyen, motivasyonumu yükselten Annem Gül KARAKIZ'a, Babam Osman KARAKIZ'a ve Eşim Siğnem TİNNİ KARAKIZ'a teşekkürlerimi sunarım.

Mustafa Sefa KARAKIZ
…/…/…….

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET....i
ABSTRACT....ii
TEŞEKKÜR....iii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ....v
ŞEKİLLER DİZİNİ....vi
ÇİZELGELER DİZİNİ....viii
1. GİRİŞ....1
2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI....4
2.1. Genel Olarak 3 Boyutlu Yazıcıların Çalışma Prensibi....4
2.2. 3D Tasarım Programları....4
2.3. Üç Boyutlu Nesne Dilimleme Programları....6
2.4. FDM (Eriyik Yığma Modelleme – Fused Deposition Modeling)....7
3. MATERYAL ve YÖNTEM....9
3.1. Üç Boyutlu Yazıcı Türleri....9
3.1.1. Kartezyen tipi üç boyutlu yazıcı....9
3.1.2. Delta Tipi Üç Boyutlu Yazıcı....10
3.2. Kaynak Nedir ve Yöntemleri Nelerdir?....11
3.2.1. Basınç kaynağı....12
3.2.2. Ergitme kaynağı....12
3.2.3. Gaz kaynağı....12
3.2.4. Güç ışını kaynakları....13
3.2.5. Ark kaynağı....13
3.3. Kaynak parametrelerinin optimizasyonu....38
4. BULGULAR....40
5. TARTIŞMA ve SONUÇ....46
KAYNAKLAR....49
ÖZGEÇMİŞ....52

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
3B	Üç boyutlu
Ar	Argon
He	Helyum
CO_2	Karbondioksit
O_2	Oksijen
N_2	Azot
H_2	Hidrojen
C	Karbon
H	Hidrojen
Hz	Hertz
mm	Milimetre

Kısaltmalar	Açıklama
ABS	Akrilonitril bütadien stiren
AC	Alternatif akım
AM	Eklemeli imalat
DC	Doğru akım
FDM	Eriyik yığma modelleme
RP	Hızlı prototipleme
HDPE	Yüksek yoğunluklu polietilen malzeme
PPSU	Polifenilsülfon
STL	3B baskı dosya formatı
SLA	Stereolitografi
SLS	Seçici Lazer Sinterleme
PLA	Poliaktik asit
PC	Polikarbonat
TPU	Termoplastik poliüretan
TİG	Tungsten asal gaz
MİG	Metal inert gaz
MAG	Metal aktif gaz
CAD	Bilgisayar destekli tasarım
CAM	Bilgisayar destekli üretim
CNC	Bilgisayar destekli numerik kontrol

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1.	Eklemeli imalat sınıflandırmaları…….....	3
Şekil 2.1.	CAD (Bilgisayar Destekli Tasarım- Computer Aided Design) ..... tabanlı uygulamalar karşılaştırması.....	5
Şekil 2.2.	FDM Teknolojisi İle Malzeme Yığma.....	7
Şekil 3.1.	Kartezyen Tipi 3 Boyutlu Yazıcılar.....	9
Şekil 3.2.	Delta Tip 3D Yazıcı.....	10
Şekil 3.3.	Kaynak yöntemleri.....	11
Şekil 3.4.	Ark Oluşum Teorisi.....	13
Şekil 3.5.	Örtülü elektrod kaynağı şematik gösterimi.....	14
Şekil 3.6.	Tozaltı kaynağı.....	16
Şekil 3.7.	TİG kaynak yöntemi.....	17
Şekil 3.8.	Plazma kaynağı.....	18
Şekil 3.9.	Plazma kaynağı ile TİG kaynağı.....	19
Şekil 3.10.	MİG/MAG kaynak ekipmanı.....	20
Şekil 3.11.	Tel besleme ünitesi.....	22
Şekil 3.12.	Makara kanalları.....	22
Şekil 3.13.	MİG/MAG kaynak torcu.....	23
Şekil 3.14.	Ark uzunluğu gerilim ayarı.....	24
Şekil 3.15.	Basınç düşürücü.....	25
Şekil 3.16.	Serbest tel ucu ve ısınma alanı.....	25
Şekil 3.17.	Serbest tel boyu.....	26
Şekil 3.18.	Torç açısının etkisi.....	28
Şekil 3.19.	MİG/MAG kaynağında farklı voltaj ve amper değerlerinde..... damla iletimi.....	30
Şekil 3.20.	Kısa devre damla iletimi.....	31
Şekil 3.21.	Küresel (globular) damla iletimi.....	32
Şekil 3.22.	Sprey ark damla iletimi.....	33
Şekil 3.23.	Darbeli (pulse) akım damla iletimi.....	34
Şekil 3.24.	Darbeli (pulse) akım damla iletim gösterimi.....	34
Şekil 3.25.	Kaynak dikişinde porozite.....	35
Şekil 3.26.	Krater çatlağı görseli.....	36
Şekil 3.27.	Soğuk yapışma görseli.....	37
Şekil 3.28.	Kaynak dikişinde sıçrantı görseli.....	38
Şekil 3.29.	Soldan sağa akımın ve tel sürme hızının arttırılmış haldeki..... kaynak dikişi denemeleri.....	38
Şekil 3.30.	1, 2 ve 3 no'lu plakalar.....	39
Şekil 3.31.	2, 3 ve 4 no'lu plakalar.....	39
Şekil 4.1.	L298 DC ve Step Motor Sürücü.....	40
Şekil 4.2.	L298 DC ve Step Motor Sürücüden gelen doğru akım ile kaynak. makinesinin tel sürme tetik mekanizmasını çalıştıran röle.....	40
Şekil 4.3.	Kaynak makinemiz ile oluşturulan tüm dikişler.....	41
Şekil 4.4.	Dilimleyici katman ayarları.....	41
Şekil 4.5.	X ve Y eksenindeki motorların hareket hızları.....	42
Şekil 4.6.	Baskı öncesi arkadan görünüm.....	43
Şekil 4.7.	Baskı öncesi önden görünüm.....	43
Şekil 4.8.	Baskı esnasında görünüm.....	44

Şekil 4.9. İlk deneme sonrası kaynak makinesi tel sürme hızının yetersiz..... kalması sonucu oluşan ilk kaynak dikişi..... 44
Şekil 4.10. İkinci deneme sonucunda elde edilen daha düzenli kaynak dikişi.. 45

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 1.1. 3 Boyutlu Yazıcıların Kronolojik Gelişimi..... 2

1. GİRİŞ

Genelde 3d baskı olarak bilinen AM (Eklemeli İmalat – Additive Manufacturing) bir bileşeni işleme, kalıplama ve döküm olmadan veya minimum düzeyde malzeme kullanarak 3D dijital verilerden katman katman üretildiği doğrudan dijital bir üretim sürecidir. (Megahed, Mindt, N'Dri, Duan, & Desmaison, 2016)

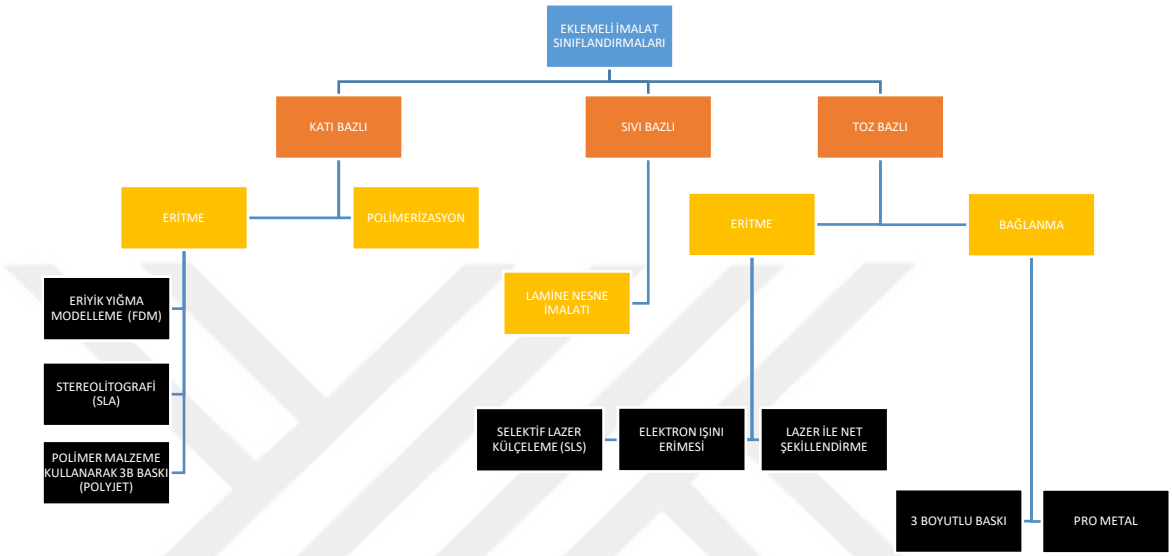
Eklemeli imalat üretilmek istenen geometrinin geleneksel yöntemlerin getirdiği kısıtlamalardan bağımsız minimum malzeme kullanılarak imalatın süresini ve maliyetini düşüren bir imalat yöntemidir. Bu yöntem günümüzde en çok 3B yazıcılarda kullanılmaktadır. 3B yazıcı, bilgisayarda çizilen 3 boyutlu nesnelerin üretilmesini mümkün kılan makinedir. Bu sayede bilinen imalat yöntemleriyle üretilemeyen geometrideki parçaların üretilmesi mümkün olmaktadır.

3B yazıcılar bilinenin aksine yeni bir teknoloji ürünü değildir, ilk üretimler 1984 yılında yapılmıştır. Son 20 yılda hızlı protipleme çalışmaları haricinde kullanımı olmadı. 2006 yılı Reprap Projesi[1] ile büyük kitlelere ulaştı. Böylelikle sıradan kullanıcılar ile birlikte kendin yap proje geliştiricileri tarafından satın alındı. Projenin başlangıcından kısa süre bir süre sonra şirketler açık kaynak kodlu 3B yazıcı üretimi ve satışı için Reprap projesinin avantajlarından yararlanıp daha geniş kitlelere ulaşmayı başardı.

[1] Reprap Projesi: RepRap projesi kendini oluşturan parçaları dahi üretebilen bir 3 boyutlu yazıcı geliştirilmesi girişimidir. RepRap ismi orijinal ismiyle; "Replicating Rapid Prototyper" seri prototip kopyalama olarak kısaltılabilir.

Çizelge 1.1 3 Boyutlu Yazıcıların Kronolojik Gelişimi (Akbaba, 2018: 24)

Yıl	Gelişme
1984	• Charles Hull SLA teknolojisi kullanılarak ilk 3 boyutlu yazıcı geliştirildi.
1986	• Charles Hull Stereolithografi yönteminin kullanım hakkını aldı. • Charles Hull, 3D Sytems firmasını kurdu ve ilk ticari 3D yazıcıyı geliştirdi.
1988	• 3D Systems tarafından, SLA 250 isimli kullanıma yönelik ilk model tanıtıldı. • SLS ve FDM teknolojileri bulundu.
1989	• Scott ve Lisa Crump Stratasys isimli 3 boyutlu yazıcı firmasını kurdu.
1991	• Helisys firması ilk 3 boyutlu imalat sistemini sattı.
1992	• Stratasys ilk FDM cihazını sattı. • DTM firması ilk SLS sistemini sattı
1993	• Solidscape firması mürekkep püskürtmeli bir cihaz üretme amacı ile kuruldu. • Massachusetts Institute of Technology (MIT) 2 boyutlu yazıcılardaki mürekkep püskürtme yöntemini kullanarak 3 boyutlu obje üretimi ile ilgili bir kullanım hakkı aldı. • İlk renkli baskı alındı.
1995	• Z Corparation şirketi MIT'in patentini lisansladı ve 3 boyutlu yazıcı satışına başladı.
1996	• Stratasys "Genisys" modelini piyasaya sürdü. • Z Corporation "Z402" modelini piyasaya sürdü • 3D Systems "Actua 2100" modelini piyasaya sürdü. 3 boyutlu yazıcı kelimesi ilk defa kullanılmaya başlandı
1997	• EOS firması stereolithografi firmasını 3D Systems'e sattı.
2007	• Açık kaynak kodlu 3 boyutlu yazıcılar Reprap ismi ile çıktı. Böylece 3 boyutlu yazıcılara ulaşma ve onları geliştirme imkânı arttı. • İlk defa 10.000$'ın altına inen 3 boyutlu bir yazıcı, 3D Systems firması tarafından pazara sunuldu.
2008	• Reprap'in ilk versiyonu tamamlandı. Bu yazıcı kendi parçalarının %50 sini üretebiliyordu. • Object Geometries firması Connex500 modelini geliştirdi. Bu cihaz aynı anda farklı malzemeleri kullanabiliyordu.
2009	• FDM teknolojisi patentinin 25 yıllık tek kullanım dönemi bitti. Böylece firmalar yasal sorunla karşılaşmadan FDM teknolojisini kullanarak 3 boyutlu yazıcı üretimine başladı. • Makerbot ve 3D Systems'in geliştirdiği modeller ile ev tipi 3 boyutlu yazıcıların sayısında artış oldu.
2011	• Southampton Üniversitesi'ndeki mühendisler dünyanın ilk 3D baskılı uçağını tasarladı.
2012	• 3 boyutlu yazıcı teknolojisi kullanılarak daha az komplikasyonlu kişiselleştirilmiş eklem protezi geliştirildi.
2013	• Sektör açısından iyi bir büyüme ve sağlamlaşma yılı oldu. • Stratasys, Makerbot şirketini devraldı.
2014	• Uzayda ilk 3 boyutlu yazıcı kullanıldı. Deneme amaçlı küçük parçalar ve el eşyaları üretildi.
2015	• NASA, uzayda 3D yazıcı ile üretim yapmaya başladı.
2016	• Adidas, 3B yazıcı ile ayakkabı tabanı üreteceğini açıkladı. • New Balance, tabanını 3D yazıcı ile ürettiği ayakkabısını piyasaya sürdü.



Şekil 1.1 Eklemeli imalat sınıflandırmaları **(Kumaravelu, Arulvel, & Kandasamy, 2022)**

2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Genel Olarak 3 Boyutlu Yazıcıların Çalışma Prensibi

3 boyutlu yazıcılar temelde x,y ve z koordinatları üzerinde 3 eksende hareket eder. Bu eksenlerdeki hareketini step (adım) motor olarak bilinen, belirli açılarda hareket ederek hareket miline tahrik veren motorlar ile sağlarlar. Step motorlar ekstrüder mekanizmasını ve eritici uç (hotend) eksenler üzerinde hareketini sağlarlar. Ekstrüder mekanizması plastikten üretilen filamenti eritici ucun olduğu kısma doğru ittirir. Eritici uç kısmında kullanılan filamentin eriyeceği bir sıcaklıkta bulunduğu için plastik erir ve nozzle olarak adlandırılan çok küçük çapta (0.1mm-0.5mm) delik bulunan metal üzerinden dışarıya akıtılır. Bilgisayar üzerinden bilgisayar destekli tasarım programları ile tasarlanan 3 boyutlu nesneler 3B yazıcılar için programlanmış dilimleme (slicing) programları ile katmanlara ayrılıp step motorların x, y ve z eksenlerinde hareket mil veya kayışlara vereceği harekete referans olan g-kod olarak adlandırılan kodlara çevrilir. Bu kodlara göre eksen hareketleri sağlanır. Eritilen plastik ihtiyaca göre sıcaklığı ayarlanabilen sıcak yatak (hot bed) üzerine katmanlar halinde işlenerek tasarımı yapılan 3 boyutlu nesne üretilir.

2.2. 3D Tasarım Programları

Üretimi yapılmak istenen geometriler bilgisayar ortamında CAD yazılımları ile modellenir. Bu modellemede 3B yazıcı ile üretilebilecek modelin sınırlandırmaları bilinerek modelleme yapılmalıdır. Aksi taktirde tasarımı yapılan modelin 3B yazıcı ile üretimi olmayabilir. Örneğin 3B yazıcının baskı alanından büyük tasarımlar, model üzerinde 45 dereceden fazla eğimi olan açılar, kullanılan nozzle ucu çapından daha küçük kesite sahip olan yerlerin üretimi mümkün olmayabilir.

3 boyutlu yazıcılar bilgisayar destekli tasarım programlarıyla uyumludur. Tasarım yapıldıktan sonra modelin geometrisi STL formatında kaydedilip dilimleme programlarına aktarılmalıdır. Son zamanlarda geniş kullanıcı ağına ulaşan bilgisayar destekli tasarım programları aşağıda verilmiştir.

PROGRAMLAR	ÖZELLİKLERİ
3ds Max	Karmaşık parçacık ve optik simülasyon, kendi betimleme diline sahip.
AutoCAD	Bol çizim ve çizim yardımcısı işlevleri
Mudbox	Kil plastisitesi kavramını kullanarak model oluşturma
Rhino 3D	Eğrilerin doğru matematiksel gösterimi ve bilgisayar grafiklerinde serbest yüzeyler (tersine poligonal ağ tabanlı uygulamalara)
Solidworks	Farklı tasarım çözümleri sunmak, tasarım hatalarını azaltmak ve ürün kalitesini artırmak
3D Slash	Modelleme, basitçe istifleme veya kesme ile yapılır.
SketchUp	Üçüncü taraf kullanıcılar tarafından sağlanan uzantılar kullanılabilir.
Autodesk 123D	En basit doğrudan sürükleme ile modelleme
Tinkercad	Basit 3 boyutlu modellerin modellenmesi
Onshape	İnternet tabanlı sunucularda gerçekleştirilen bulut bilişimi kapsamlı bir şekilde kullanılması
SculptGL	Heykel modelleme
Meshmixer	Üç boyutlu ağ dosyalarının işlenmesi
Blender	Her türlü 3D modelin mükemmel bir şekilde içe aktarma, düzenleme, değiştirme ve çizim olanakları

Şekil 2.1 CAD (Bilgisayar Destekli Tasarım - Computer Aided Design) tabanlı uygulamalar karşılaştırılması **(Guo, Zhang, & Bhandari, 2019)**

2.3. Üç Boyutlu Nesne Dilimleme Programları

Dilimleme yazılımları 3 boyutlu modelleri, 3d yazıcıların anlayacağı G-Kod'una çeviren yazılımlardır. Bütün baskı kaliteleri bu aşamada belirlenir. Bu nedenle 3d baskının en önemli aşamasıdır denilebilir.

Dilimleme yazılımı, rota planlama ve 3D model ile 3D yazıcı arasındaki bölümleri hesaplamak için bir ara sürücüdür. Genellikle, dilimleme yazılımı, 3B modeli (STL dosyaları), çok yönlülüğü iyi olan bir tür sayısal kontrol (NC) programlama dili olan bir G kodu dosyasına dönüştürür. (Guo et al., 2019)
Dilimleme programları sayesinde materyalin erime sıcaklığı, platform sıcaklığı baskı hızı katman kalınlığı, kullanılan malzemenin çapı, filament sürme hızı vb. değişkenler kontrol edilir.

G KOD: Baskı alınmadan önce dilimleyici tarafından işlenen kodlardır. G kodu önemli hareket talimatlarını barındırır. G0 hızlı düz bir hareket iken G1 düz çizgi hareketidir.
Parametreleri ve malzeme özelliklerini tasarlayan yazıcıların yanı sıra, dilimleme yazılımındaki parametre ayarları da basılan nesnelerin baskı hassasiyeti ve yapısal özellikleri için kritik öneme sahiptir (Dankar, Haddarah, el Omar, Sepulcre, & Pujola, 2018) . Ekstrüzyon hızı ve nozül hızı gibi baskı parametreleri de baskı verimliliği için çok önemlidir (Severini, Derossi, Ricci, Caporizzi, & Fiore, 2018).

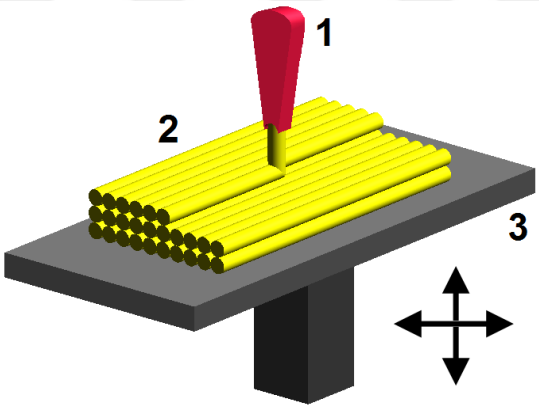
Kullanılan dilimleme programlarından bazıları şu şekildedir:

- Cura
- Makerbot
- Makerware
- Repeiter
- Skeinforge
- SuperSkein
- Slicer
- KISSlice
- Slice Crafter
- Astroprint
- SelfCAD
- Craftware
- 3DPrinterOS
- Selfcad

2.4. FDM (Eriyik Yığma Modelleme – Fused Deposition Modeling)

FDM teknolojisi 1980'lerin sonunda Scott Crump tarafından geliştirilmiş bir tekniktir. 1990 yılında Staratasys şirketi tarafından ticarileştirilmiştir. Özellikle 2007 yılında patentlerin düşmesiyle açık kaynak akımının da etkisiyle tüm dünyada yaygınlaştı.

FDM tekniğinde kullanılan termoplastik malzeme filament (tel) şeklindedir. Genellikle 1.75 ve 3 mm çapında iki farklı filament kullanılmaktadır. 3D baskı sırasında tel formundaki malzeme 0.4mm çapında bir ekstrüderden geçirilerek ergitilir ve eksenel hareket ile yığılarak üretim gerçekleştirilir. Katmanların üst üste yığılması sayesinde obje oluşturulmuş olur. Bazı FDM 3D Yazıcılarında birden fazla ekstrüder bulunmaktadır. Böylece farklı renkler bir arada üretilebilir.



Şekil 2.2 FDM Teknolojisi İle Malzeme Yığma (Pham ve diğerleri, 2001)

FDM teknolojisini kullanan 3B yazıcılarda filament olarak genelde PLA tercih ediliyor baskı maliyetinin ve filamentin üretim kolaylığı sebebiyle en çok tercih edilen filament çeşididir. PLA dan sonra ise ikinci en çok tercih edilen malzeme çeşidi ABS'dir. TPU (Termoplastik poliüretan), HDPE (Yüksek yoğunluklu polietilen malzeme), PPSU (Polifenilsülfon), PC (Polikarbonat) 3B yazıcılarda kullanılan diğer filamentlerdir.
Yaygınlaşan FDM tipi malzemelerle birlikte 3B baskı esnasında kullanılacak olan filament fiyatlarının yüksek olması sebebiyle kendin yap projecileri ve 3B baskı meraklıları kendi malzemelerini üretmek için filament ekstrüder makinelerinide

beraberinde üretip evdeki termoplastik malzemelerin geri dönüşümünü sağlayarak 3B yazıcı filamenti üretimi yapılmıştır.

FDM teknolojisin üretimdeki dezavantajlarından bazıları sıcak yatak ile yukarıya doğru 45 dereceden fazla açı yapan üretilecek parçanın yüzeyleri tabladan bir destek ile tablayla teması sağlanmalıdır. Bu üretimin başarılı bir şekilde yapılması için zorunludur fakat üretim sonrası parça üzerinden kopartılarak veya kesilerek alındığı için parça yüzeyinde hatalara sebep olabilmektedir. Bu sorunun çözümü için çift ekstrüdere sahip 3B yazıcılar ile üretim yapılarak destek malzemesi suda eriyebilen filamentlerle basılmaktadır. Baskı sonrası parça suya koyulup destek malzemesi eritilerek parça hatasız hale getirilmektedir.

Bu süreç parçanın üretim zamanını artırmaktadır. Ticari olarak satılan 3B yazıcıların büyük problemlerinden bir tanesi de yapılan üretim süresinin uzun olmasıdır.

FDM günümüzde prototipleme, model oluşturma, kendin yap projeleri ve kalıplamaya kadar birçok farklı alanda kullanılmaktadır.

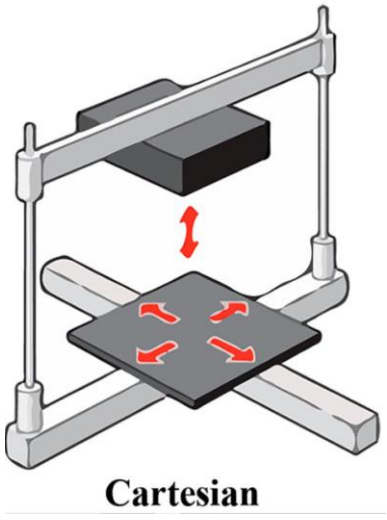
3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Üç Boyutlu Yazıcı Türleri

3.1.1. Kartezyen tipi üç boyutlu yazıcı

FDM teknolojisi kullanan yazıcılar arasında en çok tercih edilenlerden bir tanesidir. Kolay montaj ve üretimi sayesinde popülerleşmiştir. Yüksek verime sahiptir. Her bir eksen ayrı bir motor ile kontrol edilmektedir.

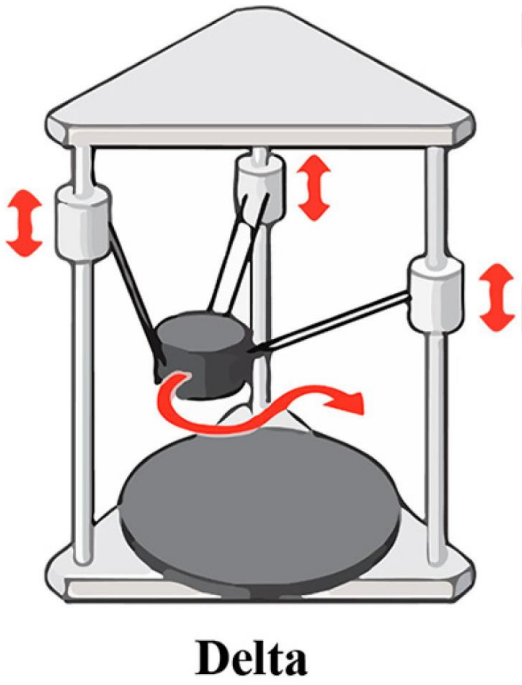
Kartezyen tipi 3B yazıcılar kartezyen koordinat sisteminde çalışırlar. X, Y ve Z düzleminde hareket ederek ön arka, aşağı yukarı, sağa sola hareket edebilirler. Bu çalışma prensibi ekstrüderi iki nokta arasında götürmek için en kolay yöntemdir. Kontrol edilmesi ve arıza tespiti daha kolaydır çünkü her eksende düz bir çizgi hareketi izlenir. Ekstrüder ve tabla genelde hareketlidir bazı modellerde tabla sabit de olabilmektedir. Ürünün daha kaliteli yüzeye sahip olması için z ekseninde hareket veren step motorlar 2 adet kullanılıp tek sürücü ile kontrol edilmektedir.



Şekil 3.1 Kartezyen Tipi 3 Boyutlu Yazıcılar ("Earls, A. and Vinod, B. (2014) The Road Ahead for 3D Printers. - References - Scientific Research Publishing," n.d.)

3.1.2. Delta Tipi Üç Boyutlu Yazıcı

Delta tipi 3b yazıcı 3 kol ile birlikte nesnenin üretimini sağladığı için montajı ve ayarları kartezyen tipi yazıcılara göre oldukça zordur. Kalibrasyonu çabuk bozulduğu için daha az tercih edilir. Fakat tablanın ve üretilecek objenin hiç hareket etmemesi sebebiyle dairesel kesitli parçalarda daha kaliteli ürün baskısı alınmaktadır. Delta robot prensibinde 3 kol bir başlıkta birleşir ve bu başlık üzerinde yazının ekstrüderi bulunur. Her kol bir mil üzerindeki taşıyıcıda aşağı yukarı hareket eder. 3 kol aynı anda hareket ederek parçayı oluşturur.



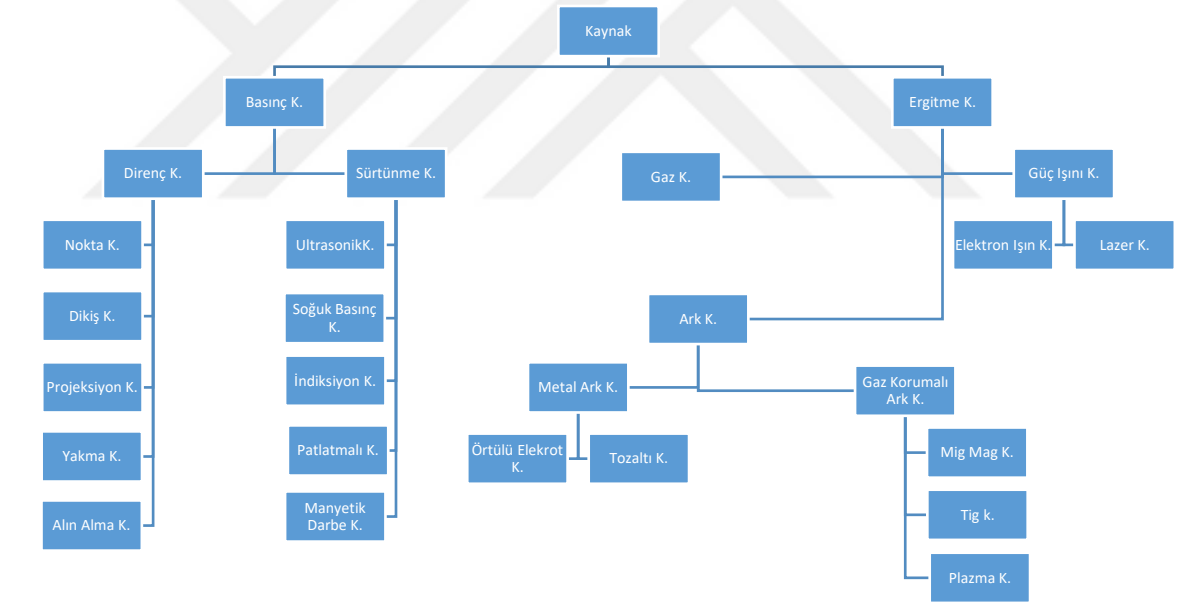
Şekil 3.2 Delta Tip 3D Yazıcı (Earls e Baya, 2014)

3.1.3. Core XY Tipi FDM 3D Yazıcı

Core XY ile çalışan 3 boyutlu yazıcılarda X ve Y eksenindeki hareketler kayış kasnaklarla kontrol edilir. Z ekseninin hareketi ise sadece tabladaki vidalı miller ile sağlanır.

3.2. Kaynak Nedir ve Yöntemleri Nelerdir?

Kaynak iki ya da daha fazla metalin, ısı ve/veya basınç etkisi altında ergime gerçekleştirilerek ve ilave metal kullanılarak ya da kullanılmaksızın birleştirilmesine yahut dolgu yapılmasına denir (Yıldırım, 2020). Metalik yapıların birleştirilmesinde kaynak yaygın bir şekilde kullanılır. Uygulanan kuvvete göre ergitme kaynağı ve basınçlı kaynak olmak üzere iki tür kaynak vardır. Ergitme kaynağında herhangi bir kuvvet uygulanmasına gerek yoktur, birbirine bakan iki yüzey dolgu metali eklenerek veya eklenmeden eritilir. Buna karşılık, basınçlı kaynak tekniklerinde, karşılıklı her iki yüzeyin plastik deformasyonuna neden olan bir dış kuvvet uygulanır ve bu yüzeyler birleştirilmesini kolaylaştırmak için ısıtılır (Weman, 2003).



Şekil 3.3 Kaynak yöntemleri (Weman, 2003)

Malzemelerin birleştirilmesinde kullanılan kaynak yöntemleri genel olarak iki ayrı başlıkta sınıflandırılır, bunlar basınç kaynağı ve ergitme kaynağı olarak adlandırılır (Erengin, 2009)

3.2.1. Basınç kaynağı

Metallere genellikle ilave malzeme katmadan basınç etkisi altında bölgesel ısı uygulanarak gerçekleştirilen kaynak yöntemidir (Erengin, 2009). Bu yöntemler; direnç kaynağı, ultrasonik kaynak, soğuk basınç kaynağı, indüksiyon kaynağı, patlama kaynağı, manyetik darbe kaynağıdır (Weman, 2003).

3.2.2. Ergitme kaynağı

Metallerin yalnızca ısı etkisi altında, bölgesel olarak sınırlandırılmış bir bölümünün eritilerek ilave metal kullanılarak ya da kullanmaksızın gerçekleştirilen kaynak yöntemleridir (Erengin, 2009). Ergitme kaynağı da gaz kaynağı, güç ışın kaynağı ve ark kaynağı olarak üçe ayrılmaktadır.

3.2.3. Gaz kaynağı

Oksi-asetilen gaz kaynağı genellikle metal ve alaşımların kaynak ve kesme işlemleri için kullanılır. Kaynak işlemi genellikle asetilen, hidrojen, propan veya bütan gibi yakıt gazlarının oksijen karışımı ile yanması sonucu oluşan ısıyı kullanarak metalleri birleştirmek için kullanılır. Oksi-asetilen kaynak işleminde gerekli yüksek sıcaklık, oksijen ve asetilen gazı içeren bir karışım kullanılarak elde edilir. Bu işlem aynı zamanda bazı malzemelerin kesilmesi için de kullanılabilir (Singh, Kumar, Dubey, & Singh, 2020).

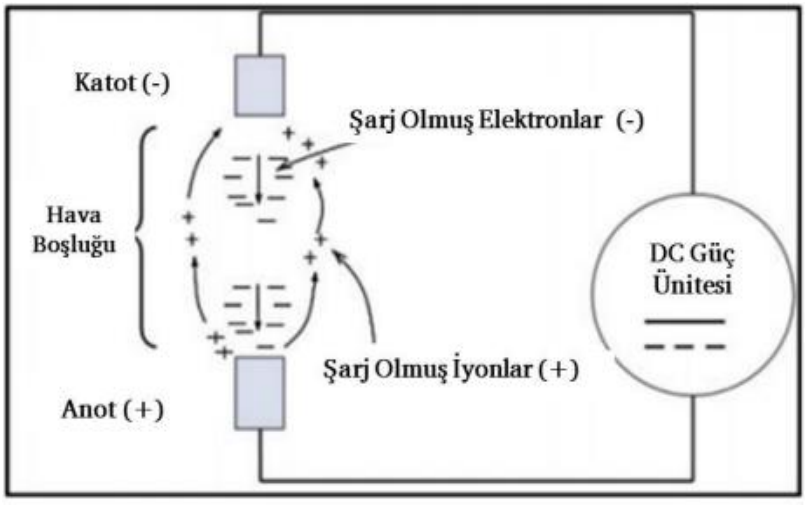
Alev, eritilmek istenen birleştirme yüzeylerine yönlendirilir, ayrıca gerektiğinde dolgu malzemesi de ilave edilebilir. Eriyik havuzu, alevin indirgen dış bölgeleri tarafından havadan korunur. Bu nedenle, kaynak tamamlandığında alev yavaşça uzaklaştırılmalıdır (Weman, 2003).

3.2.4. Güç ışını kaynakları

Güç ışını kaynaklarında yer alan elektron ışını kaynağı ve lazer kaynağı, en yüksek güç yoğunluğuna sahip kaynak yöntemleridir (Weman, 2003). Elektron ışın kaynağı, elektron ışın tabancasında üretilen parçacıkların yüksek hızla malzemenin yüzeyine çarptırılması sonucu ortaya çıkan ısı ile kaynak bölgesini oluşturarak birleştirme işleminin gerçekleştirildiği bir yöntemdir (Şaşmaz, 2020). Lazer kaynağı, yönlendirilmiş lazer ışını kullanılarak gerçekleştirilen modern bir malzeme birleştirme işlemidir. Lazer ışını, işlemin yüksek hızla dar, yüksek nüfuziyetli kaynakların elde edilmesini sağlayan güçlü ve konsantre bir ısı kaynağıdır (Moskvitin, Polyakov, & Birger, 2013). Fiber, diyot, Nd: YAG ve CO2 lazer kaynağı çeliklerin birleştirilmesinde kullanılan lazer kaynak tekniklerindendir.(Tunçel, 2020)

3.2.5. Ark kaynağı

Birleştirilecek metaller ile elektrod arasında elektrik arkının oluşturulmasıyla elde edilen ısıdan yararlanarak gerçekleştirilen kaynak işlemidir (“KAYNAK TEKNİĞİ,” n.d.). Ark, katottan yayılan elektronların hızlı bir şekilde anoda çarpması ile oluşur. Çarpma sonucunda nötr moleküller iyonlaşarak yüksek bir sıcaklığın oluşmasına sebep verir. Oluşan enerjinin %85’i ısı, %15’i ise ışık enerjisine çevrilir ((Teknolojisi et al., n.d.)).

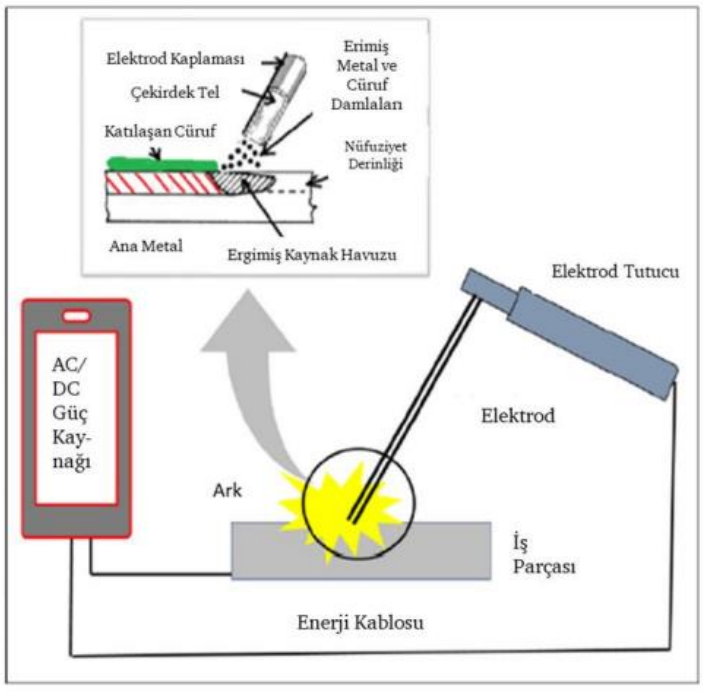


Şekil 3.4 Ark Oluşum Teorisi (Hashmi, 2014)

Ark kaynağı; örtülü elektrod ark kaynağı, toz altı kaynağı, MİG/MAG kaynağı, TİG kaynağı ve plazma kaynağı olarak sınıflandırılabilir (Weman, 2003).

• Örtülü elektrod ark kaynağı

Örtülü elektrod ile ark kaynağında elektrik akımı elektrod üzerinden iş parçasına aktarılır. İletilen bu akım sonucu oluşan ark ısı enerjisi oluşturarak, elektrod ve iş parçasını eritir, eriyen elektrottan düşen metal damlacıkları sıva metal havuzuna iletilir. Elektrod işlem bölgesinden hareket ettiğinde kaynak dikişi sertleşir ve böylelikle kaynak işlemi gerçekleştirilir. Elektrotlar genellikle fluks (kimyasal madde) ile kaplıdır. Fluks'un kaynak arkı ile ergimesi sonucu oluşan cüruf, kaynak havuzuna iletilen metal damlacıklarını ve kaynak dikişini örter ve fluksun yanması sonucu oluşan dumanla birlikte kaynak bölgesini atmosferin olumsuz koşullarından korur (Alkahla & Pervaiz, 2017)



Şekil 3.5 Örtülü elektrod kaynağı şematik gösterimi (Alkahla, Pervaiz, 2017)

Bu yöntemde kullanılan elektrodlar örtünün karakterine ve kalınlığına göre sınıflandırılmıştır. Örtü karakterine göre ayrışan elektrodların en çok kullanılan türleri;

a) Rutil karakterli elektrodlar: Bu elektrodların örtüsünde yer alan ana malzeme titanyum dioksittir. Genel amaçlı kullanıma uygun olan elektrodlardır. Farklı fluks birleşenleri hazırlanarak elektrod tüm kaynak pozisyonlarında kullanıma uygun hale getirilebilir. Mekanik özellikleri genel kullanım amacı için yeterlidir. Oluşan kaynak dikişi hidrojen içeriği yüksektir.

b) Oksit karakterli elektrodlar: Bu tür örtüler büyük oradan demir oksit ve silikalardan oluşur. Genellikle alaşımsız ve düşük alaşımlı çeliklerin yatay pozisyonlu kaynakları için kullanılır. Meydana getirdikleri dikişlerde sıcak çatlak oluşma olasılığı bulunur.

c) Selülozik elektrodlar: Yandıklarında gazlaşan organik bileşenler içeren örtülü elektrodlardır. İnce bir cüruf tabakası oluştururlar. DC (+) ya da AC olarak kutuplanabilirler.

d) Bazik elektrodlar: Kalsiyum, kalsiyum florür ve diğer toprak alkali metallerin karbonatlarını örtüsünde ihtiva eder. Dikiş üzerinden cürufu kaldırmak zordur. Çoğunlukla DC (+) ya da AC olarak kutuplanır. Sünek bir dikiş meydana getirirler. Neme karşı duyarlı olduklarından dikkatli depolanmalıdır. Dikişte hata oluşturmamak için nem alan elektrodlar 250 °C minimum 30 dakika kurutulmalıdır ((“KAYNAK TEKNİĞİ,” n.d.)).

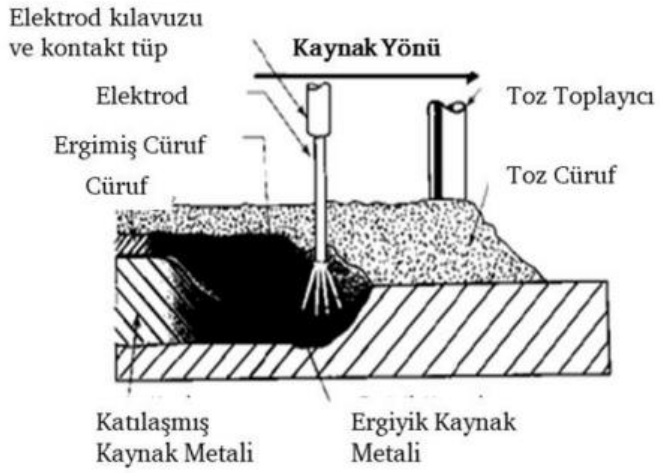
Örtülü elektrod kaynağında bir diğer elektrod sınıfı ise örtüleri kalınlıklarına göre ayırmak üzerine kurulmuştur ve ince örtülü, orta kalınlıkta örtülü, kalın örtülü olarak adlandırılmıştır (Khan, 2007).

• Toz Altı Kaynağı

Tozaltı kaynağı temel olarak ana metal ile elektrod arasında oluşan Ark’ın meydana getirdiği ısı enerjisi sonucu ana metalin ve elektrodun ergimesiyle oluşan elektrik ark kaynağı yöntemlerinden biridir. Elektrod kaynak bölgesine sürekli olarak beslenen bir makara şeklindeki dolgu metalidir. Kaynak bölgesi atmosferin olumsuz koşullarından toz

şeklindeki fluks yardımı ile korunur. Tozaltı kaynağı, örtülü elektrod kaynağı ile neredeyse aynıdır ancak bu yöntemde fluks toz şeklindeyken örtülü elektrotta elektroda kaplanmış şekilde yer alır. Örtülü elektrod yöntemi manuel yapılan bir kaynak iken toz altı otomatik sayılabilecek bir kaynak yöntemidir (Pratikno & Dhanistha, 2020).

Bu yöntemde 1-3 arası elektrod ile aynı anda kaynak yapılabilir. Ark ya da arklar toz halindeki bir fluks hattının altında oluşur. Fluks arkı örter ve eriyerek cürufa dönüşüp arkı ve sıvı metal banyosunu atmosferin olumsuz koşullarından korur. Ergimeden kalan toz sistem tarafından emilerek tekrar kullanılmak üzere toz besleme haznesine süpürülür (Weman, 2003)

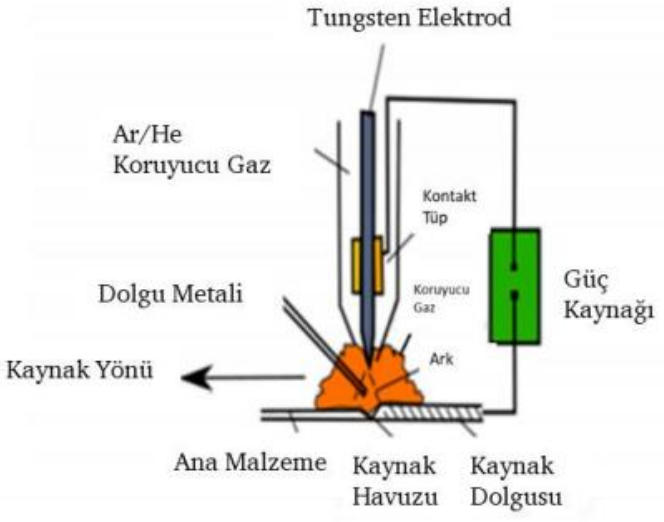


Şekil 3.6 Tozaltı kaynağı (Pratikno, Dhanistha, 2020)

Yöntemde kullanılan güç kaynakları AC ya da DC olabileceği gibi 600-2000 amper arasında değişebilir. Otomatik tel besleme ve takip sistemi sayesinde mekanize ya da yarı otomatik olarak adlandırılır ve kaynakçıdan bağımsız olarak kalite kaynak dikişleri oluşturabilir. Yüksek dolgu kapasitesi sayesinde hızlı bir kaynak yöntemidir. 25 mm'ye kadar malzemeleri tek pasoda birleştirebilir. Bu yöntem genellikle yatay pozisyondaki kaynaklar için idealdir (Khan, 2007)

- **Tungsten inert gaz kaynağı**

TİG yönteminde kaynak tükenmeyen bir tungsten elektrod ile gerçekleştirilir. TİG kaynağında ark tungsten elektrod ile iş parçası arasında inert bir koruyucu gaz atmosferinde gerçekleşir. Bu gazlar genellikle Ar, He ya da Ar-He karışımı olarak kullanılır. Proseste bir güç kaynağı, koruyucu gaz ünitesi ve kaynak torcu kullanılır. Teoride elektrod ergimeyen olarak geçse de çalışma koşullarında kontrol edilmeli ve gerektiğinde ark sonucu ergiyerek yuvarlaklaşan uç bilenerek sivrileştirilmelidir. Kalın parçaların birleştirilmesi sırasında dışarıdan ilave metal sisteme beslenerek kullanılabilir. İlave metal kaynak ortamına el ile ya da otomasyon sistemleri ile beslenebilir. Güç, güç kaynağından sağlanır, kontakt tüpü geçerek elektroda ulaşır ve iş parçası ile elektrod arasında arkı oluşturur. Tungsten elektrod ve kaynak bölgesi koruyucu gaz tarafından atmosfer ortamından ayrıştırılır. TİG yönteminde elektrik arkı 19.400 °C'ye kadar ulaşan bölgesel olarak çok daha odaklı bir ısı oluşturur. Kaynak havuzu ilave metal kullanılarak ya da kullanmaksızın birleştirmenin sağlanması için oluşturulabilir (Kesse, Buah, Handroos, & Ayetor, 2020).



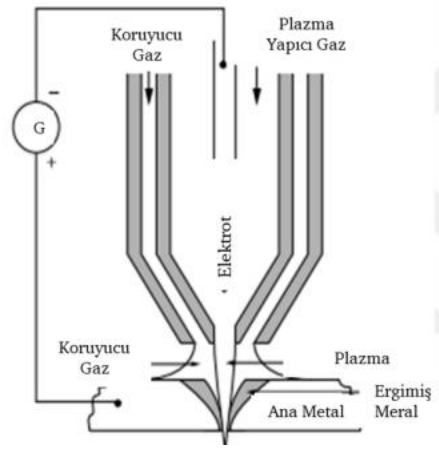
Şekil 3.7 TİG kaynak yöntemi (Kesse, Handroos, Ayetor, 2020).

Doğru akımda elektrod genellikle DCEN şeklinde kutuplanır. Böylelikle elektrotta ısınmanın azaltılması ve tungsten elektrodun ergimesinin önüne geçilmesi hedeflenir. Alüminyum, magnezyum gibi yüzeyinde oksit tabakası oluşan metallerde ise kutuplama DCEP şeklinde olabilir. Buradaki amaç metal yüzeyine iyon bombardımanı yaparak bahsi geçen oksit tabakasını kaldırmaktır ancak bu durumda elektrodun ısınması gibi bir sonuç ortaya çıkabilir. Bu sebeple yüzeyinde oksit tabakası barındıran metallerin kaynak

işleminde en doğru seçim alternatif akım üreten bir güç kaynağı kullanmaktır (Weman, 2003).

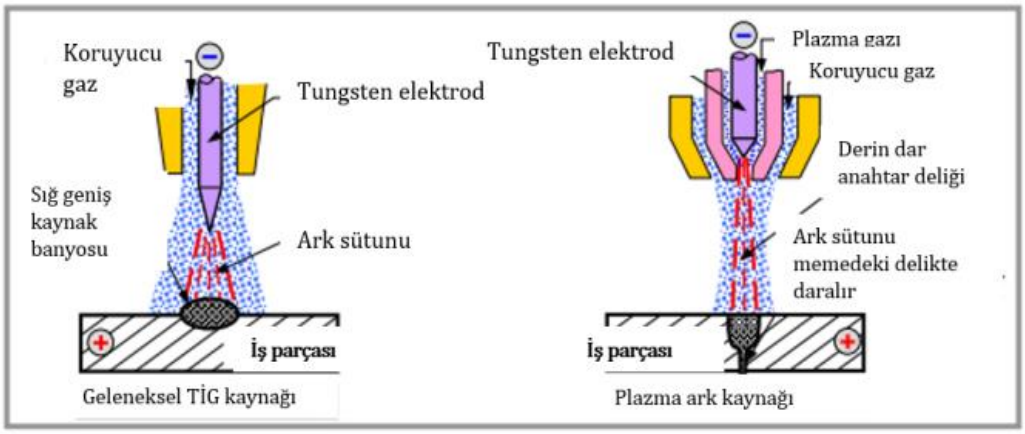
• Plazma Kaynağı

Bu kaynak yönteminde birleştirme bir plazma jeti kullanılarak gerçekleştirilir. Plazma, eş eksenli bir nozul içerisinde refrakter bir elektrod tarafından oluşturulan Ark'a iletilen plazma oluşturucu gazların (Argon, olası Hidrojen veya Helyum ilavesiyle) nozul içerisindeki dairesel boşlukta teması sonucu meydana gelir. Elektrod ergimemesi için doğru akımda genel olarak negatif olarak kutuplanır (Blondeau, 2010).



Şekil 3.8 Plazma kaynağı (Blondeau, 2008)

Plazma kaynak yöntemi TİG kaynağının bir uzantısı olarak görülebilir (Khan, 2007). Bir plazma arkı, örneğin bir TİG arkından önemli ölçüde daha düz ve daha konsantredir, bu da yöntemin ark uzunluğu değişikliklerine daha az duyarlı olduğu anlamına gelir (Weman, 2003). TİG kaynağında arkın ulaştığı sıcaklık 11.000 °C civarındayken plazma kaynağında bu değer 20.000 °C'ye kadar çıkabilir ((*PLAZMA ARK KAYNAĞI*, n.d.))

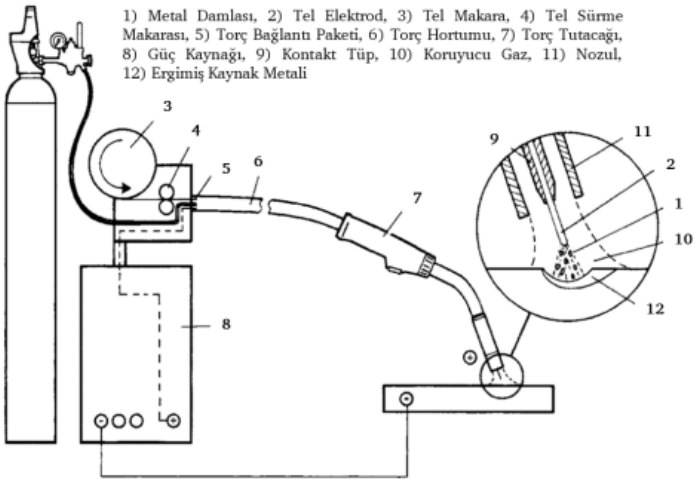


Şekil 3.9 Plazma kaynağı ile TİG kaynağı **(Kahraman & Gülenç, 2020)**

• Metal İnert Gaz, Metal Aktif Gaz (MİG/MAG) Kaynağı

Bu yöntem Gaz Metal Ark Kaynağı (GMAW) bir diğer söylemle koruyucu olarak kullanılan gaz inert ise Metal İnert Gaz (MİG), aktif ise Metal Aktif Gaz (MAG) kaynağı olarak adlandırılır (Weman & Lindén, 2006). MİG/MAG kaynağında ark ergiyen bir elektrod ile iş parçası arasında ve koruyucu gaz atmosferinde gerçekleşir (Khan, 2007).

Kaynak teli makara ya da bidonlardan sağlanır ve bir spiral içerisinden hortum paketi boyunca tel besleme makaraları sayesinde torca kadar beslenir. Ark'ın oluşması için gereken enerji ise güç kaynağından sağlanır. Kaynak için gereken akım torcun ucunda bulunan kontak meme sayesinde tel elektroda iletilir. Kontak meme genellikle pozitif kutba bağlı iken iş parçası negatif kutba bağlıdır (Weman & Lindén, 2006).



Şekil 3.10 MİG/MAG kaynak ekipmanı (Weman, 2003)

Kaynak torcu iş parçası üzerinde manuel olarak hareket ettirilirken tel elektrod otomatik olarak beslendiğinden, MİG/MAG kaynağı genellikle yarı otomatik bir yöntem olarak adlandırılır. Bununla birlikte yöntem, torç hareketlerini mekanikleştirerek veya iş parçasının bir düzenek ile hareket etmesini gerçekleştirerek otomasyona kolayca uyum sağlar (Weman, Linden, 2006). MİG/MAG kaynağı çok yönlüdür, endüstriyel üretim sektöründe ve robotik kaynakta en çok kullanılan kaynak yöntemi olarak kabul görmektedir. Bu yüksek tercih oranı aşağıda sıralanan avantajlara bağlanabilir:

- Manuel veya mekanik olarak çalıştırılabilir ve tüm kaynak pozisyonlarında kullanılabilir.
- Tüm ticari alaşımlarda kullanılabilen yüksek yüksek dolgu yapma özelliğine sahip, verimli bir tükenen elektrod kaynak yöntemidir.
- Örtülü elektrod ile karşılaştırıldığında teoride sonsuz uzunluktaki tel elektrod ile çalışma imkânı sunar.
- Tel besleme ünitesi sayesinde örtülü elektrod yöntemindeki gibi elektrod değiştirmek gerekmeksizin uzun kaynak dikişleri oluşturulabilir.
- Sprey ark damla geçişi ile birlikte derin nüfuziyetli birleştirmeler sağlar.
- Cüruf vb. bir örtü oluşturmadığından kaynak sonrası temizlik minimum seviyededir.
- Düşük hidrojenli bir süreçtir, hidrojen kırılganlığına duyarlı malzemelerin kaynaklanması için iyi bir seçimdir.
- Yöntem, diğer kaynak yöntemlerine nazaran daha kolay öğretilir ve öğrenilir.

MİG/MAG yönteminin başlıca sınırlamaları aşağıdakiler ile açıklanabilir;

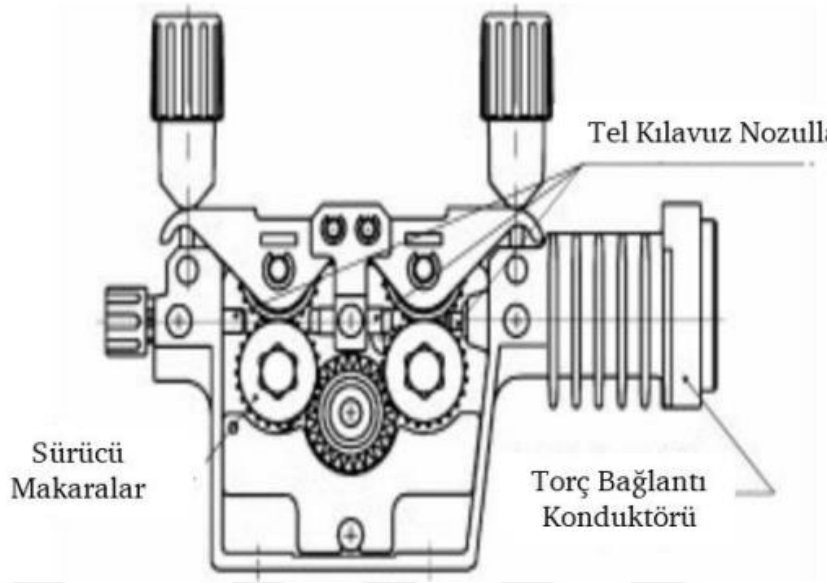
- Kaynak ekipmanları daha karmaşık, pahalı ve örtülü elektrod yöntemine göre daha az portatiftir.
- Ulaşılması güç olan yerlerde kullanılması zordur.
- Kaynak arkı hava akımlarına karşı korunmalıdır, bu sebeple dış ortamda kullanılırken ark bölgesi perdelenmelidir.
- Yöntemde soğuk yapışma, gözenek ya da sıçrantı gibi kaynak hataları oluşabilir. Yönteme ait avantaj ve sınırlamalar bu şekilde sıralanabilir (Hashmi, 2014).

- **MİG/MAG Kaynağı Ekipmanları**

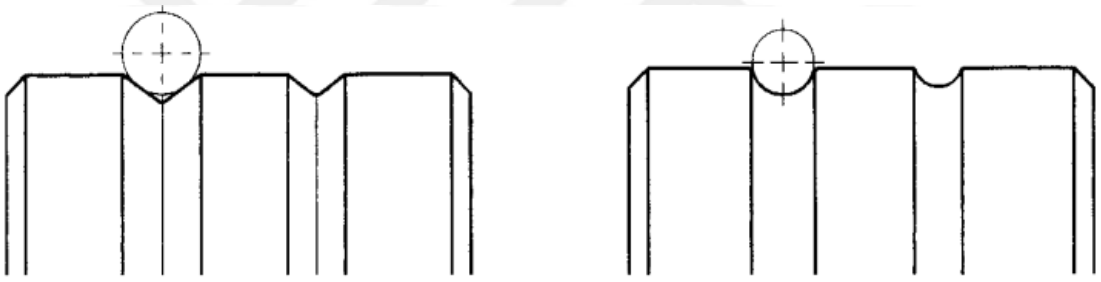
MİG/MAG kaynağı ekipmanı temel olarak dört bileşenden oluşur. Bunlar; güç kaynağı, tel besleme ünitesi, kaynak tabancası (torç olarak da adlandırılır) ve koruyucu gaz kaynağıdır ((*GAS SHIELDED-ARC WELDING*, n.d.)).

a) Tel besleme ünitesi

Tel besleme sistemi, ekipmanın kritik bir parçasıdır. Telin, beş metreye kadar uzunlukta olabilen sipiral içinden itilmesi gerekir. Kaynak kalitesini doğrudan etkileyeceği için tel beslemesinin başlatılması ve durdurulması çok hızlı olmalı ayrıca telin hızı sabit olmalı ve değişmemeli ve tel beslemede kesilmeler olmamalıdır. Besleme kuvvetini tele aktarmak için makaraların birbirine doğru bastırılması gerekir. Besleme kuvvetini tele aktarmak için makaraların birbirine doğru bastırılması gerekir. Bu kuvvet ünitede bulunan baskı rulolarınca sağlanır (Weman, Linden, 2006).

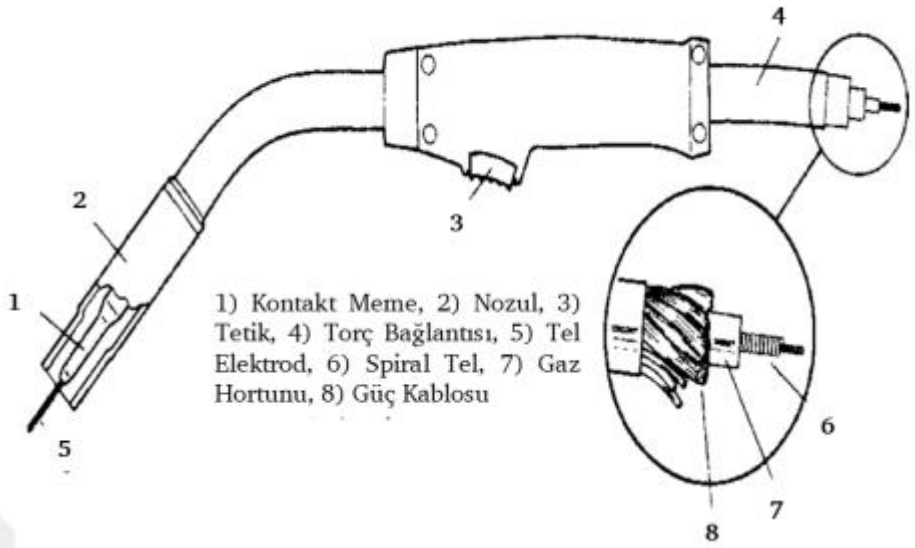


Şekil 3.11 Tel besleme ünitesi (Weman, 2003)



Şekil 3.12 Makara kanalları (Weman, 2003)

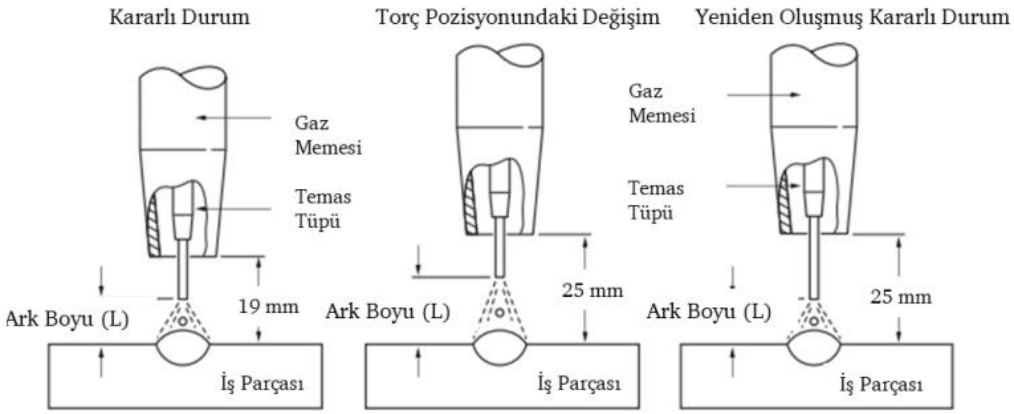
b) Kaynak tabancası (Torç): Kaynak tabancasının işlevi, teli, kaynak akımını ve koruyucu gazı ark alanına taşımaktır. Torç, koruyucu gazın yanı sıra tel beslemesini ve arkı kontrol eden bir tetik anahtarına sahiptir. Kaynak operatörü arkı yönlendirir ve kaynağı kaynak tabancasıyla kontrol eder ((*GAS SHIELDED-ARC WELDING*, n.d.)). Kaynak torçları hava ya da su soğutmalı olarak iki farklı türde olabilirler. Genel olarak 40-180 A arasında hava soğutmalı torçlar kullanılırken daha yüksek amper değerlerinde su soğutmalı torç tercih edilir (Livesey, 2018). Torç tel besleme ünitesine hortum paketi ile bağlıdır (Weman, 2003).



Şekil 3.13 MİG/MAG kaynak torcu (Weman, 2003)

c) Güç kaynağı

Güç ünitesi iş parçası ile elektrod arasında ark meydana getirmek adına elektrik enerjini üretir. MİG/MAG kaynağında genellikler DCEP kutuplama kullanılır bu sebeple elektrod pozitif kutba, iş parçası ise negatif kutba bağlanır. Yöntemin ilk yıllarında sabit akımlı (CC) güç kaynakları kullanılmıştır. CC akım üreteçleri kaynak akımını ark boyunun değişmesine rağmen sabit tutarlar. Uygulama sırasında sabit tel besleme hızında torcun hareketi ile ark boyunda meydana gelen değişmeler sonucu kaynak teli kontakt memeye doğru geri yanarak ya da iş parçasına yakınlaşarak arkın sönmesine sebep olabilir. Sabit gerilimli (CV) bir güç kaynağında ise ark boyunda meydana gelebilecek değişiklikler, tel hızının yani akımın artması ya da azalması ile kontrol edilebilir. Böylelikle arkın sönmesi gibi bir sorun ortandan kaldırılabilir. MİG/MAG kaynağında sabit gerilimli (CV) kaynak makineleri ile çalışmanın daha verimli olduğu görülmüştür (Jeffus, 2015).

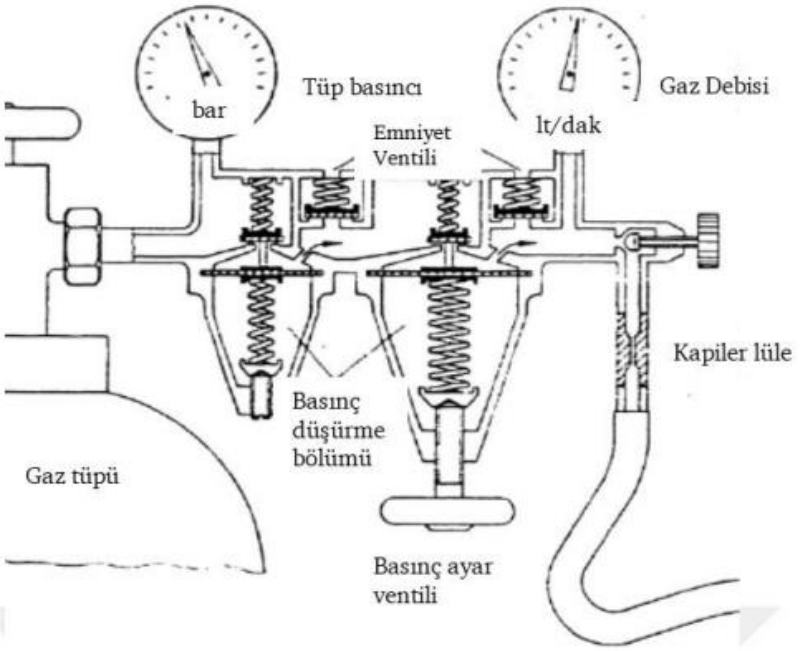


Şekil 3.14 Ark uzunluğu gerilim ayarı (Jeffus, 2015)

Kademe değiştirici, redresör üniteleri geleneksel olarak kullanılmaktadır ve en yaygın tiptir. Tristör kontrollü doğrultucu üniteler daha büyüktür ve biraz daha gelişmiştir: en gelişmiş tipler ise inverter (yeni nesil) güç kaynaklarıdır. İnvertör güç kaynakları en gelişmiş tasarıma sahiptir. Genel olarak iyi özelliklerine ve kontrol olanaklarına yanı sıra, invertörler genellikle alüminyum ve paslanmaz çeliğe uygulanan darbeli MİG/MAG kaynağının kullanımına da imkân sağlar (Weman, 2003).

d) Koruyucu gaz kaynağı

MİG/MAG kaynağında kullanılan koruyucu gazın birincil amacı, erimiş kaynak metalini atmosferdeki oksijen, nitrojen, su buharı ve diğer gazların neden olduğu kontaminasyon ve hasardan korumaktır (Livesey, Robinson, 2019). Koruyucu gazlar bu bölgeye ulaştırılırken uygun bir basınç düşürücü üzerinden gönderilir (Yıldırım, 2020).



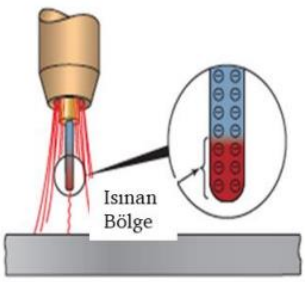
Şekil 3.15 Basınç düşürücü (Yıldırım, 2020)

- **MİG/MAG kaynak parametreleri**

MİG/MAG kaynağında birden çok parametre vardır. Bu parametrelerin birçoğu optimum kaynak özellikleri için birbirleri ile eşleşmelidir (Weman, 2003).

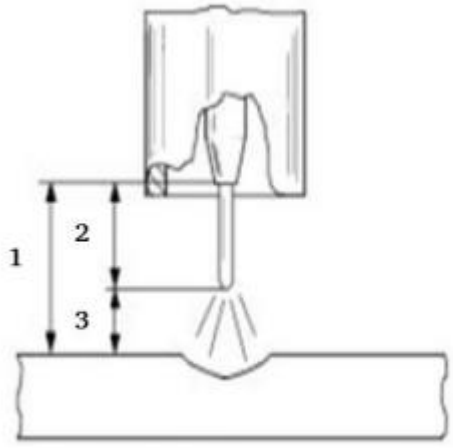
a) Serbest tel boyu

Serbest tel boyu kontak memeden çıkan tel elektrodun boyu olarak açıklanabilir. Bu bölüm elektrodun ergime öncesi ön ısınmasının gerçekleştiği alandır. Serbest tel boyu yanma oranını etkilediği için ergimiş metal damlasını boyutunu kontrol eder (Hashmi,2014).



Şekil 3.16 Serbest tel ucu ve ısınma alanı (Jeffus,2015)

Serbest tel boyu, kullanılan kaynak telinin 10, 15 katı uzunlukta olacak şekilde planlanabilir. Daha küçük serbest tel boylarında tel geri yanarak kontak memeye yapışabilirken, uzun serbest tel boylarında ise özellikle kaynak başlangıcında telin iş parçasına yapışması tehlikesi vardır (Weman, Linden, 2006).



1) Kontakt tüpün iş parçasına mesafesi, 2) Serbest tel boyu, 3) Ark boyu

Şekil 3.17 Serbest tel boyu (Weman, Linden, 2006)

Serbest tel boyu ile ergime gücü artarken nüfuziyet azalır. Bu sebeple serbest tel boyunun artması kaynak sırasında soğuk yapışma riskini beraberinde getirir (Tülbentçi, 1990).

b) Elektrod çapı

Elektrod çapı kaynak akımına göre seçilir, ancak örtülü elektrodların aksine farklı elektrodlar örtüşen ve geniş bir akım aralığına sahiptir (Weman, 2003). Elektrod çapı kaynak dikişinin boyutuna, nüfuziyete ve kaynak hızına etki eder. Genel bir kural olarak aynı akım değerlerinde elektrod çapı azaldıkça arkın nüfuziyet gücü artar (Hashmi, 2014).

c) Kaynak voltajı

(Gerilim) MİG/MAG kaynağında kullanılan güç kaynaklarının karakteristiği sebebiyle (CV) ayarlanan kaynak geriliminde kaynak boyu sabit kalma eğilimindedir. Voltaj kaynak dikişinin yüksekliği, genişliği ve yüzey sıcaklığı üzerinde rol oynar. Voltajın

işlevi, kaynak arkını stabilize etmek, pürüzsüz ve sıçrantısız bir kaynak dikişi oluşturmaktır. Her kaynak akımı için optimum bir voltaj değeri vardır, aksi halde yanma olukları ve sıçrantı gibi hatalar barındıran kaynak dikişleri meydana gelir. Yüksek voltaj değerleri geniş ve düz bir dikiş meydana getirir, düşük voltaj değerleri ise dar ve yüksek dikişler oluşturur (Hashmi, 2014).

d) Kaynak akımı

Tel besleme hızı, kaynak akım miktarını belirler. Akım terimi genellikle akım yoğunluğu ile ilgilidir (yani, elektrodun enine kesit alanının inç kare başına amperajı). Bu nedenle, belirli bir amperajda, çap olarak 0,035 inç (0,89 mm) bir elektrodun akım yoğunluğu, 0,045 inç (1,14 mm) çapındaki bir elektrodunkinden daha yüksektir. Elektrodun farklı tipi ve boyutu için minimum ve maksimum akım yoğunluğuna değerleri bulunur ve en iyi çalışma aralığı bunların arasından seçilir (Hashmi, 2014). Akım şiddeti arttıkça ergime gücü artar. Serbest tel ucundaki ısınma alanındaki değer yüksek akım yoğunluklarında artan elektrik direnci sebebiyle artar buda ergime gücünün artmasına sebep olur (Tülbentçi, 1990). Kaynak akımı ile penetrasyon arasında doğrudan bir ilişki vardır. Akım arttıkça penetrasyon değeride yükselir (Hashmi, 2014).

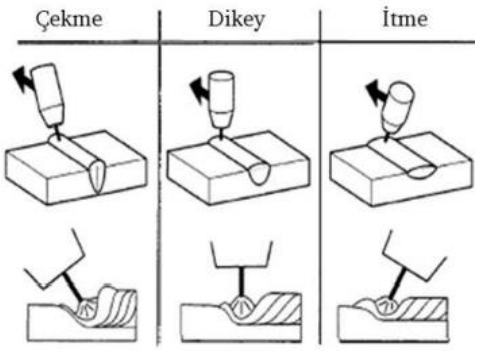
e) Kaynak hızı

Arkın erimiş kaynak havuzu içindeki konumu önemli olduğundan, kaynak ilerleme hızı arkın ana metali eritme gücünü aşamaz. Çok yüksek bir kaynak hızı, kaynak havuzunun hızlı ilerlemesine ve kontrol edilemeyen bir arkın ortaya çıkmasına neden olabilir. Ana metal ile dolgu metali arasındaki birleşme, ilerleme hızı çok yüksekse tamamen durabilir. Hareket hızı çok yavaşsa ve kaynak havuzu boyutu aşırı derecede artarsa bu durum nüfuziyeti kısıtlayabilir (Jeffus, 2015)

f) Torç açısı

Kaynaklı bağlantıda torç açısı önemli bir parametredir. Ark dikişin önünde gidiyorsa (İtme) nüfuziyet az dikiş ise geniş olacaktır. Ancak ark oluşan kaynak dikişine doğru

bakıyorsa (Çekme) bu durum derin nüfuziyetli dar bir kaynak dikişi meydana gelecektir (Weman, 2003).



Şekil 3.18 Torç açısının etkisi (Weman, 2003)

İtme yöntemi iyi bir bağlantı görünürlüğüne sahiptir ve daha az nüfuziyet ile kaynak yapılmasını sağlar; bu teknik, aşağıdan yukarı ve tavan kaynaklarda iyi sonuçlar verir. Dikey kaynak, nüfuziyet ve pekiştirmede iyi bir dengeye sahiptir ve otomatik kaynakta kullanılır. Çekme yöntemi ile iyi bir dikiş görünürlüğüne sahiptir ve daha derin nüfuziyete sahip kaynak gerçekleştirilebilir (Jeffus, 2015)

g) Koruyucu gaz

MİG/MAG kaynağında genel olarak kullanılan başlıca koruyucu gazlar oksijen, argon, karbondioksit ve helyum veya bu dört gazın bir kombinasyonudur (Hashmi, 2014)
Herhangi bir kaynak yönteminde kullanılan Hidrojen (H2), oksijen (O2), karbondioksit (CO2), nitrojen (N2), helyum (He), argon (Ar) ya da bu gazların karışımları gibi bir koruyucu gazın kaynak işlemindeki tek görevi sadece ergimiş metal damlasını ve kaynak dikişini atmosferin olumsuz koşullarından korumak değildir. Bu gazlar aynı zamanda kaynak sırasındaki metal transfer şeklini, nüfuziyeti ve dikiş genişliğini, çapak kontrolü ve kaynak sonrası temizliği, kaynak dumanı oluşumunu kontrol etmek ve kaynağın metalurjik ve mekanik özelliklerini etkilemek için kullanılır ve duruma göre seçilir (Mvola, Kah, 2017). MİG/MAG Kaynağında kullanılan gazlardan olan İnert gaz sınıfındaki Ar ve He kaynak sırasında herhangi bir element ile reaksiyona girmezler (Galvery, 2014).

Ar: Düşük ısı iletkenliği sayesinde pozisyon dışı kaynaklarda kullanılır. Helyumdan 10 kat daha ağır olması sebebiyle kaynak havuzunu daha iyi örter (Galvery, 2014). Hemen hemen tüm metallerin kaynağında kullanılır ayrıca sprey ve darbeli akım damla iletim mekanizmaları için uygundur (Mvola & Kah, 2017). Düşük ısı iletkenliği sebebiyle argon parmağı denilen bir kaynak profili meydana getirir (Weman, Linden, 2006).

He: Bu gaz arktan aldığı ısıyı kaynak bölgesine ileten mükemmel bir ısıl iletkendir. Kalın malzemelerin birleştirilmesinde kullanıldığı gibi ısıl iletkenlik katsayısı yüksek olan ve yüksek ısı girdisi ile kaynatılması gereken bakır ve alüminyum gibi metallerin birleştirilmesi içinde uygundur (Galvery, 2014). Aşağıdaki aktif gazlar ise diğer kimyasal elementlerle bileşikler oluşturacak ve MİG/MAG kaynağın 'da düşük konsantrasyonlarda belirli hedeflere ulaşmak için kullanılabilir.

CO2: Karbon çelikleri ve alaşımsız çeliklerin oksijeni giderilmiş tel elektrod ile kaynağı için uygundur. Kaynak sırasında sıçrantı oluşabilir (Mvola, Kah, 2017). Elde edilmesi kolay olduğu için nispeten ucuz bir koruyucu gazdır (Weman, Linden, 2006).

O2: Sadece ark stabilitesini, ıslatmayı, kaynak profilini ve mikro yapı kalitesini iyileştirmek için katkı gazı olarak kullanılır (Mvola, Kah, 2017).

N2: Ostenitik ve dubleks paslanmaz çeliklerin kaynağında belirli oranlarda kullanılır. Maksimum oran %5'i geçmez. Bakırın kaynağında %100 oranında kullanılabilir (Weman, Linden, 2006).

H2: Hidrojen, esas olarak östenitik paslanmaz çelikler, nikel ve nikel alaşımları gibi östenitik metalik malzemeler için yapılan kaynaklarda gaz karışımlarının içinde küçük bir bileşen olarak kullanılır (Weman, Linden, 2006). Yukarıda açıklanan gazlar, farklı durumlarda uygun özellikleri elde etmek için tek tek veya karışım halinde kullanılabilir. Ayrı ayrı gazların özellikleri karışımlarda birleştirilir, ancak her bir karışım belirli avantajlar sağlar (Weman, Linden, 2006). Bu karışımlardan bazıları aşağıda açıklanmıştır (Mvola, Kah, 2017).

Ar/He: Daha sessiz, daha kolay kontrol edilen ark oluşturur (20–80 ila 50–50). Helyumun argona eklenmesi ısı girdisini artırır. Sprey damla geçiş modu için uygundur (Mvola, Kah, 2017).

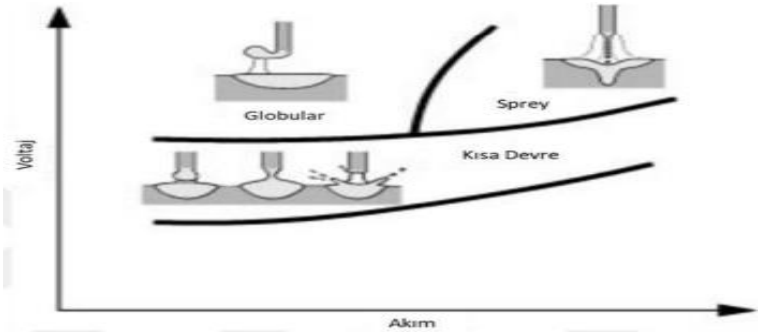
Ar/CO2: %5 ila 25 CO2 karışımı ile karbonlu çelikler, düşük ve yüksek alaşımlı çeliklerin kaynağı için uygundur. CO2 ilavesi arkı stabilize eder. Sprey ark ve kısa devre damla geçişi için uygundur (Mvola, Kah, 2017).

Ar/O2: Oksijeni giderilmiş tel ile kullanan çeşitli çelikler için kullanımı uygundur, karışıma %3–5 O2 eklenebilir ve O2 ilavesi arkı stabilize eder. Sprey ark için uygundur (Mvola, Kah, 2017).

Ar/N2: Bakırın kaynağında güçlü ve daha düzgün yanan bir ark oluşturur. %2'ye kadar azot ilave edilebilir, böylelikle ark kontrolü kolaylaşır. Bu karışım ayrıca dubleks paslanmaz çelikler içinde kullanılabilir (Mvola, Kah, 2017).

MİG/MAG kaynağında damla iletimi

Ark kaynağının en başından beri, damla iletimini etkileyen ana faktörler ark gerilimi ve kaynak akımıdır. Bu iki değişkenin değeri artarken damla iletim şeklide değişmektedir (Lordachescu, Quintino, 2008).

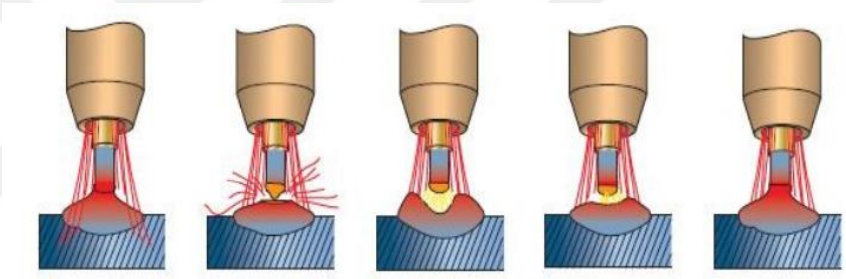


Şekil 3.19 MİG/MAG kaynağında farklı voltaj ve amper değerlerinde damla iletimi (Lordachescu, Quintino, 2008)

Bununla beraber damla iletimini birden çok faktör vardır. Bunlar; kaynak akımının büyüklüğü ve türü, elektrod çapı, elektrod bileşimi, kontak meme veya serbest tel boyu, koruyucu gaz ve güç kaynağı çıkışıdır (Hashmi, 2014). Erimiş metalin tel elektrottan ayrılmasında anahtar rol oynayan ana kuvvet türlerine bağlı olarak, temel damla iletim şekli üç ana "kategoride" tanımlanabilir; kısa devre damla iletimi, küresel (globular) damla iletimi, sprey damla iletimidir (Iordachescu & Quintino, 2008).

a) Kısa devre damla iletimi

Düşük akımlar, elektrot ucundaki sıvı metalin erimiş kaynak havuzuyla doğrudan temas yoluyla aktarılmasına izin verir. Bu işlem, tel besleyici ile güç kaynağı arasında yakın etkileşim gerektirir. Bu tekniğe kısa devre aktarımı denir (Jeffus,2015).



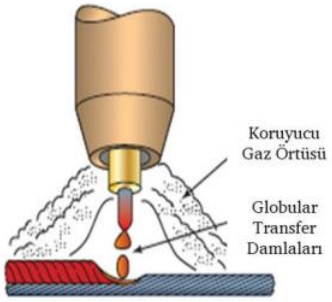
Şekil 3.20 Kısa devre damla iletimi (Jeffus,2015)

Bu damla iletim şekli tüm kaynak pozisyonlarında düşük akım aralıklarında kullanılır. Ortaya çıkan düşük ısı girdisi bu iletim şeklinin ince malzemeler için uygun olmasını sağlamaktadır (Weman, Linden, 2006). Bu damla iletim şeklinde kullanılan koruyucu gaz karışımı tipik olarak argon bakımından zengindir. İnce malzemeleri birleştirmek veya kök açıklıklarını köprülemek için uygun küçük, hızla katılaşan kaynak dikişleri oluşturur. Kısa devre transferinin sınırlamaları; nispeten düşük metal yığma hızı, daha kalın metallerde nüfuziyet eksikliği ve genel olarak daha fazla sıçrantıdır (Hashmi, 2014).

b) Küresel (Globular) damla iletimi

Kısa devre iletimi ile sprey ark iletimi arasındaki akım ve voltaj değerlerinde meydana gelen bir damla iletim şeklidir. Oluşan damlacıkların boyu tel çapından büyüktür ve iletim

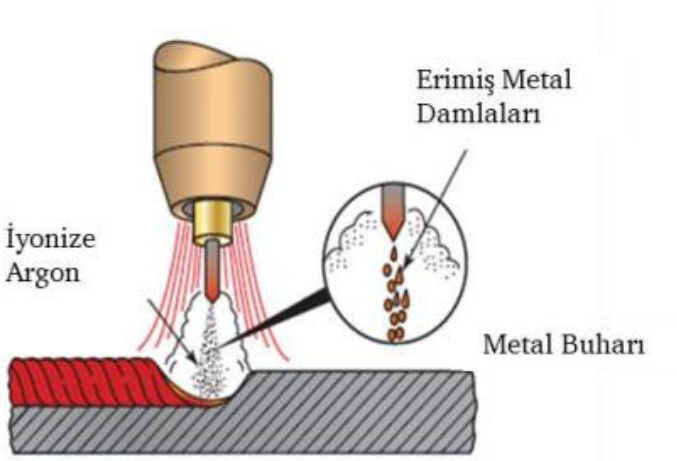
düzensizdir (Livesey, Robinson, 2019). Küresel damla iletiminin sınırlandırmaları; sıçrama oluşumu, sprey ark transferine nazaran daha az istenen kaynak dikişi görünümü, kaynak düz konumlarla ve yatay olarak köşe kaynakları için uygundur ve kaynak metal kalınlığı 3mm ve daha üstü ile sınırlıdır. Kullanılan koruyucu gazın türü de damla iletim şeklini etkiler. Örneğin, CO2 kullanırken ortaya çıkan damla iletimi, yüksek akım yoğunluğunda bile karakteristik olarak küreseldir. Kullanılan elektrod ne kadar büyükse, belirli bir akım yoğunluğu için gereken akım o kadar yüksek olur (Hashmi, 2014).



Şekil 3.21 Küresel (globular) damla iletimi (Jeffus, 2015)

c) Sprey ark damla iletimi

Sprey ark damla iletimi, tel elektrottan ana metale kadar ark boyunca küçük erimiş damlacıkların sprey bir püskürtme şeklinde iletilmesi ile oluşur. Sprey ark damla iletiminde, kısa devre transferine kıyasla nispeten yüksek voltaj, tel besleme hızı ve amper değerleri kullanır. Gerçek bir Sprey ark damla iletimi elde etmek için argon bakımından zengin bir koruyucu gaz kullanılmalıdır. Uygun parametreler kullanıldığında, sprey ark transferi karakteristik bir uğultu veya vızıldama sesi üretir. Sprey ark damla iletiminin avantajları arasında; yüksek metal yığma hızları, iyi nüfuziyet, iyi kaynak dikişi görünümü, daha büyük çaplı elektrot telleri kullanma yeteneği ve çok az sıçrama oluşumu bulunur (Hashmi, 2014). 5mm ve üzeri malzemelerin kaynağında sprey ark damla iletimi yakalanabilir (Weman, Linden, 2006).

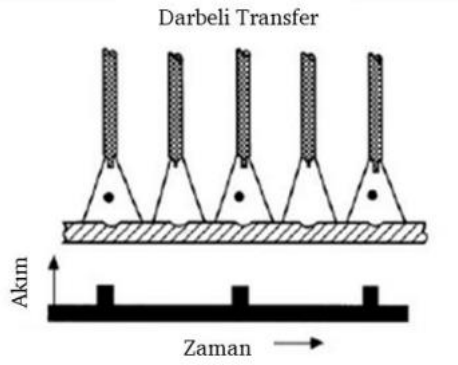


Şekil 3.22 Sprey ark damla iletimi (Jeffus, 2015).

Koruyucu gaz karışımı argon bakımından zengin olmalıdır. Bu iletim şekli, yüksek hızda ve yüksek hacimde erimiş metal ilettiğinden, sprey aktarımının yalnızca düz ve yatay pozisyonlar için uygun olduğu kabul edilir (Hashmi, 2014). Konvansiyonel kaynak makinelerinin aksine yeni nesil program kontrollü kaynak makineleri ile bir başka damla iletim şekli olan darbeli (pulse) akım damla iletimi mümkündür (Lordachescu, Quintino, 2008).

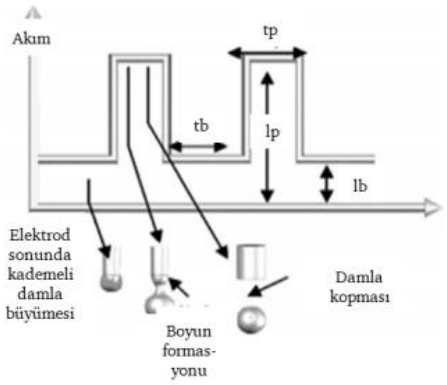
d)Darbeli (Pulse) akım damla iletimi

Bir pik akımı ile düşük değerlerdeki temel akım arasında kontrollü bir çevrimle sprey ark özelliklerinin daha düşük akım değerlerinde elde edildiği yöntemdir (Muzafferoğlu, 2008). Darbeli akım ile MİG/MAG kaynağı, karbon çeliklerinin kaynağı için de kullanılsa da esas olarak alüminyum ve paslanmaz çeliğin kaynağı için kullanılır. Güç ünitesinden gelen darbelerle (30 ± 300 Hz) tel elektrod ucundaki erimiş damlacıkları kontrol ederek, sprey ark damla iletimini aralığını düşük kaynak akım ve voltaj değerlerine kadar genişletmeyi mümkün kılar (Weman, Linden, 2006).



Şekil 3.23 Darbeli (pulse) akım damla iletimi (Livesey, Robinson, 2019)

Darbeli akım ile kaynakta işlemin kalitesi damla iletiminin düzeniyle ilişkilidir. Damla transferi, darbe başına bir damla veya darbe başına birden çok damla şeklinde gerçekleşebilir. Ayrıca genel olarak minimum kaynak hatası ve sıçrama ile en iyi kaynak kalitesini elde etmek için her darbede bir damlacığın iletilmesi gerektiğine inanılmaktadır (Praveen, Kang, & Yarlagadda, 2008).



Şekil 3.24 Darbeli (pulse) akım damla iletim gösterimi (Praveen, Kang, Yarlagadda, 2008).

Darbeli MİG/MAG kaynağı küresel damla iletimi ve kısa devre iletiminde oluşan sıçrantı ve yetersiz nüfuziyet gibi problemlerin önüne geçmek adına ortaya çıkmıştır. Bu metotta damla iletimi temel akımla elektrodun ucunda oluşmaya başlayan damlanın darbe akımı ile telden kopartılarak kaynak havuzuna iletilmesi ve bu çevrimin belirli bir periyot içerisinde devam etmesine dayanmaktadır (Muzafferoğlu, 2008). Darbeli akım ile MİG/MAG kaynağının avantajlarından bazıları olarak şunlar sayılabilir; daha düşük ısı girdisi, daha az distorsiyon, derin nüfuziyet, daha hızlı kaynak, daha az sıçrantı, yüksek

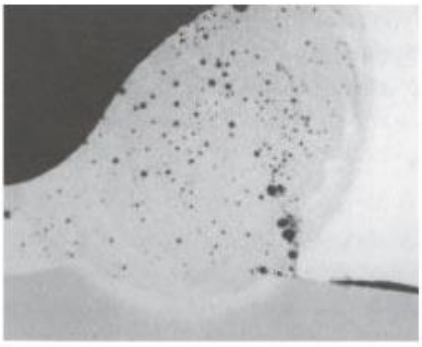
verimde damla iletimi, daha düşük duman, ark üflemesine karşı dayanım ve daha kaliteli kaynak dikişidir (Jeffus, 2015).

- **MİG/MAG kaynak hataları**

Özellikle yanlış parametrelerle gerçekleştirilen kaynak işlemlerinde, kaynak hatalarının farkına varmak önemlidir (Weman, 2003). Kalite kaynak dikişleri üretebilmek adına bu hataları bilmek ve hata giderme yöntemlerini uygulamak önemlidir ((*GAS SHIELDED-ARC WELDING*, n.d.)) MİG/MAG kaynağında en çok karşılaşılan hata türleri aşağıda sunulmaktadır (Tülbentçi, 1990).

a) Porozite (Gözenek)

Porozite genellikle atmosferik kirlenmeden kaynaklanır. Tıkalı bir nozul, koruyucu gazın çok düşük veya çok yüksek debi ile ayarlanması veya rüzgârlı bir alanda kaynak yapılması bu hataya neden olabilir. Poroziteden kaçınmak için, nozulu temiz tutmalı, doğru gaz basıncını kullanmalı ve rüzgârlı bir alanda kaynak yaparken koruyucu bir rüzgâr siperi kullanılmalıdır ((*GAS SHIELDED-ARC WELDING*, n.d.)).



Şekil 3.25 Kaynak dikişinde porozite (Weman, Linden, 2006)

b) Yanma olukları

Kaynağın ardında ana metal ya da dikişin kenarında oyuk ve çentikler şeklinde sürekli veya aralıklarla oluşan hata türüdür. Genel olarak tüm ark kaynağı metotlarında meydana gelebilen bu hatanın temel nedeni parametrelerin yanlış seçilmesidir. Yüksek akım

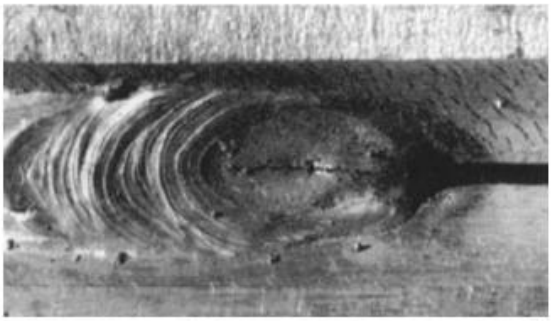
şiddeti, hızlı kaynak, torcun fazla hareket ettirilmesi, elektrodun yanlış açıyla kaynak alanına beslenmesi ve ana metalde bulunan yüksek pas miktarı bu hatanın oluşmasına neden olabilir (Tülbentçi, 1990).

c) Çatlaklar

Dinamik ve statik yükler altında çatlak içeren bir kaynaklı bağlantının çalışmasına izin verilemez. Bu sebeple kaynak hataları içerisinde en tehlikeli olan durumdur. Bu çatlaklar ana metal ve kaynak dikişinde olmak üzere ikiye ayrılır (Tülbentçi, 1990). Dikişte yer alan çatlaklar; hatalı kaynak tasarımı, dikişin derinlik/genişlik oranının yüksek olması, yüksek ısı girdisi ve distorsiyon, sıcak çatlak oluşumu (yüksek kükürt içeren malzemelerde), bağlantı elemanlarında yüksek zorlama nedeniyle meydana gelebilir .
Ana metalde yer alan çatlaklar; ITAB'da meydana gelecek aşırı sertleşme, yüksek iç gerilmelerin varlığı ya da kaynaklı bölgeye giren atomik hidrojenin kaynak sonrasında bağlantıdaki sert bölgelerde molekül yapısına dönüşmesi ile gerçekleşen hidrojen gevrekliği sebebiyle oluşabilir

d) Uç kraterleri

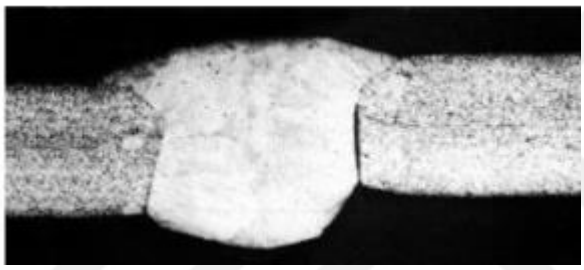
Kaynağın son noktasında oluşan kraterlerdir. Kaynak biterken meydana gelen katılaşma sırasındaki büzülmeler dikişin uç noktasında bir krater boşluğu oluşturur. Bu hata aynı zamanda çatlak olarak da kendini gösterebildiğinden krater çatlağı ismiyle de anılabilir (Weman, 2003).



Şekil 3.26 Krater çatlağı görseli (Weman, 2003)

e) Soğuk yapışma

Soğuk yapışma genellikle ark ana metali yeterince ergitemediğinde ortaya çıkar. Soğuk yapışma oluştuğunda, erimiş metal birleştirme gerçekleştirmeden ana metale akar. Genellikle bu, kaynak banyosunun çok büyük olmasına izin verildiğinde ortaya çıkar. Bu sorunu düzeltmek için, arkı kaynak banyosunun başlangıcında tutmak gerekir. Ayrıca, hareket hızını artırarak veya tel besleme hızını azaltarak kaynak havuzunun boyutunu azaltmakta gerekir. Dikiş oluşturulurken hafif bir zik zak hareketi kullanılabilir ((*GAS SHIELDED-ARC WELDING*, n.d.)).



Şekil 3.27 Soğuk yapışma görseli (Weman, Linden, 2006)

f) Nüfuziyet eksikliği

Kaynak dikişi ile ana malzemenin ya da çok pasolu kaynaklarda iki dikişin birbiri ile yeterince birleşmemesi şeklinde oluşan hatadır. Akım şiddetinin düşük olması ya da kaynak hızının yüksek olması sebebiyle temelde yetersiz ısı girdisinin sonucunda oluşan bir kaynak hatasıdır (Tülbentçi, 1990).

g) Sıçrantı

Kaynak sırasında farklı sebeplerle oluşan patlamalar sonucu sıvı metalin küçük parçalar halinde dikiş kenarlarına sıçraması sonucu oluşan kaynak hatasıdır. Dikişin görüntüsünü bozan bu hata elektrod sarfiyatını da beraberinde getirir ve temizlenmesi gerekmesi sebebiyle iş gücü kaybına neden olur. Gerilimin yüksek olması, yüksek serbest tel

uzunlukları ve yüksek akım şiddeti bu olayın meydana gelmesinin başlıca sebeplerindendir (Tülbentçi, 1990).



Şekil 3.28 Kaynak dikişinde sıçrantı görseli (Weman, Linden, 2006)

3.3. Kaynak parametrelerinin optimizasyonu

Optimizasyon için yapılan kaynak çalışmaları tel sürme hızının ve kaynak nüfuziyetinin optimum seviyede olması araştırılmıştır. Düzenli, sıçrantı yapmayan, nüfuziyet derecesi düşük, sıralı imalatta yüksek ısı çıktısı oluşturmayacak bir ayar belirlenmeye çalışılmıştır.



Şekil 3.29 Soldan sağa akımın ve tel sürme hızının arttırılmış haldeki kaynak dikişi denemeleri



Şekil 3.30 1, 2 ve 3 no'lu plakalar



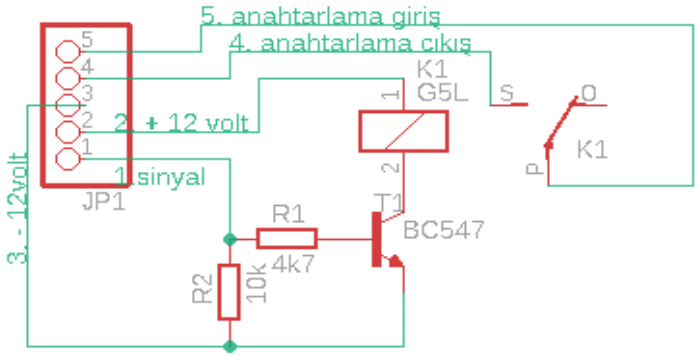
Şekil 3.31 4, 5 ve 6 no'lu plakalar

4. BULGULAR

Kurulumunu yaptığımız yazıcının anakartı ile kaynak makinesini çalıştırabilmek için L298 DC ve Step motor sürücü modülü ile PWM sinyallerini doğru akıma çevirerek araya tetikleyici röle yerleştirildi.



Şekil 4.1 L298 DC ve Step Motor Sürücü



Şekil 4.2 L298 DC ve Step Motor Sürücüden gelen doğru akım ile kaynak makinesinin tel sürme tetik mekanizmasını çalıştıran röle

Adım 1: Kaynak makinesinin belirli kalınlıktaki metal üzerindeki attığı tüm dikişler sırasıyla gözlemlendi ve kaynak dikişleri üzerinde ölçümler yapıldı. Bu dikişin boyutuna göre belirlenen değerler dilimleyici programımızda kullanıldı.



Şekil 4.3 Kaynak Makinemiz ile oluşturulan tüm dikişler

Adım 2: Dilimleyici programda sırayla kayman yüksekliği, kullanılan nozzle çapı 3 mm olarak tanımlandı (kaynak dikişi yüksekliği ve kalınlı yaklaşık ortalama 3mm olarak kabul edilmiştir), kaynak makinesi tel besleme hızına uygun yazıcının x ve y eksenindeki motorların hızları ayarlandı.



Şekil 4.4 Dilimleyici katman ayarları

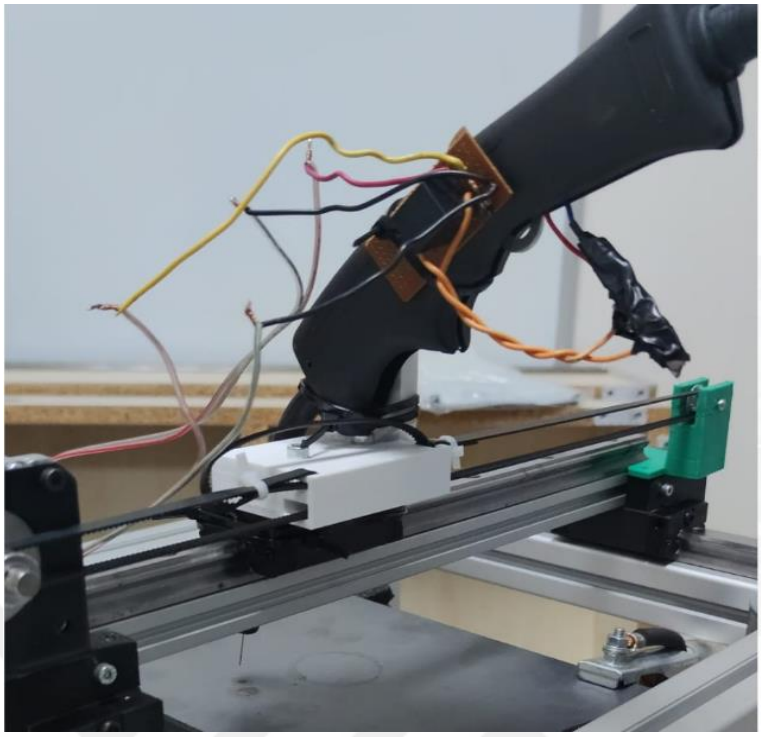


Şekil 4.5 X ve Y eksenindeki motorların hareket hızları

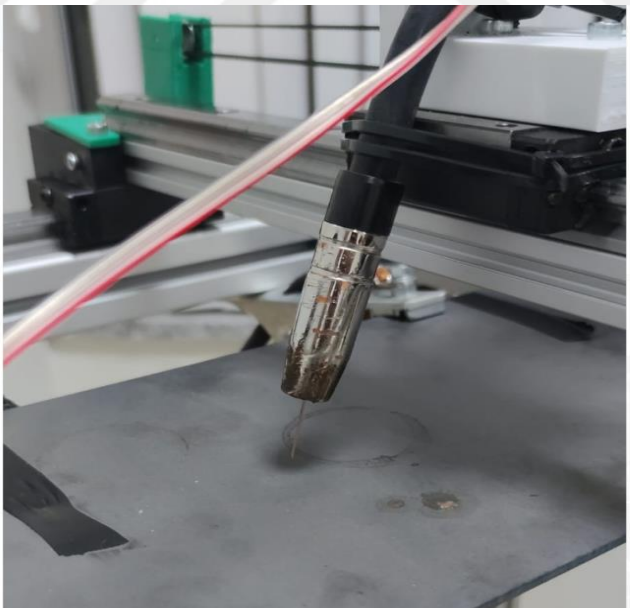
Adım 3: Dilimleyici programın ayarlarında baskının iç dolgusu boş olarak ayarlandı.

Adım 4: Kaynak makinesini için gerekli ayarlar yapıldı (kaynak voltajı, tel sürme hızı, gaz debisi)

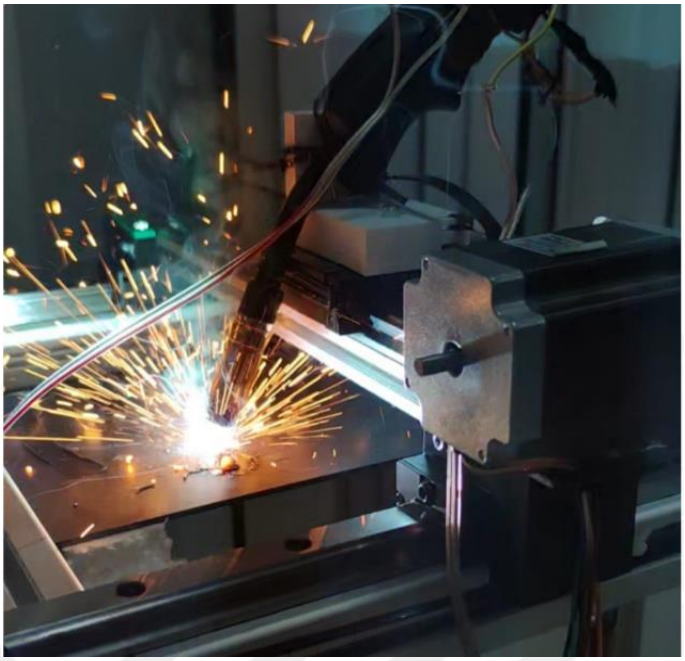
Adım 5: 3d yazıcı ile ilk baskılar kare şeklinde bir çerçeve olarak denendi.



Şekil 4.6 Baskı öncesi arkadan görünüm

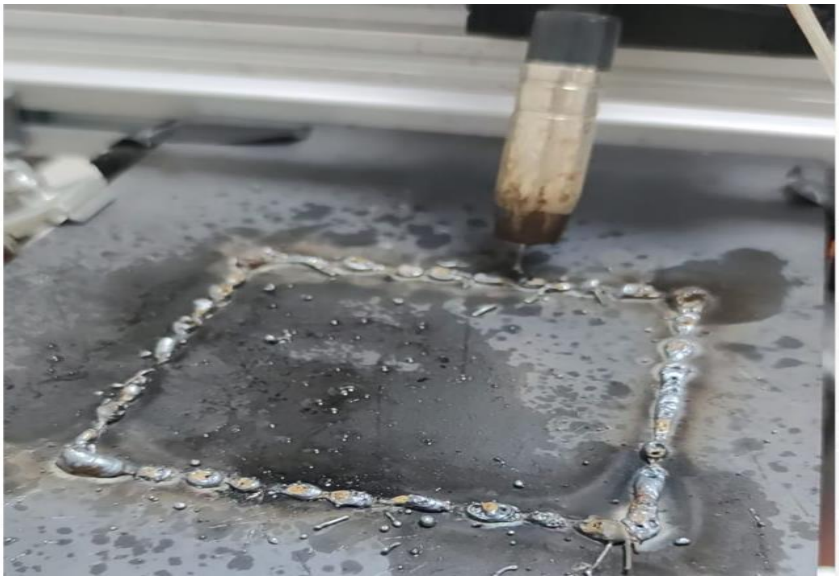


Şekil 4.7 Baskı öncesi önden görünüm



Şekil 4.8 Baskı esnasında görünüm

Adım 6: Baskı sonrası alınan ilk katman baskısı üzerinde tel sürme hızının yetersiz kalması sonucu hatalar oluştu bunları gidermek için tel sürme hızı artırılarak tekrar denendi.



Şekil 4.9 İlk deneme sonrası kaynak makinesi tel sürme hızının yetersiz kalması sonucu oluşan ilk kaynak dikişi.

Adım 7: Kaynak teli sürme hızı artırılarak ikinci deneme yapıldığında kaynak dikişi üzerinde düzelmelerin olduğu gözlemlendi.



Şekil 4.10 İkinci deneme sonucunda elde edilen daha düzenli kaynak dikişi

5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Çalışmamız için fdm tipi katmanlı üretim yapan 3B yazıcıların çalışma prensibi incelendi. Fdm tipi yazıcılarda x, y ve z ekseninde hareket eden bir nozzle ve eriyen plastiğin katman katman yığılarak 3 boyutlu modeli oluşturması prensibinden yola çıkarak metal baskılar alabilen bir 3d yazıcı üretebilmek için çalışmalar yapıldı. Bu çalışmalarımız için metal eritmek amacıyla otomatik tel sürgülü mig, mag kaynak makinesi kullanıldı.

Kullandığımız makinenin 220 v elektrikle çalışması ve taşınılabilir ve ergonomik bir model olan Rem Power WMEm MIG 180 modeli seçildi. Bu kaynak makinesine uygun yaptığımız 3B yazıcı şasesi üzerinde yüksek metal eritirken çıkacak yüksek sıcaklıklara dayanacak bir metal tabla üzerinde kaynak işlemi yapıldı. Kaynak makinesi nozzle ucundan eriyen SG2 kaynak teli metal damlacıkları ile katmanlı üretim çalışmaları yapıldı.

Çalışmamız sonucunda sırasıyla elde ettiğimiz sonuçlar şu şekildedir.

- Metal baskı alınacak tablanın kalınlığı ve materyalin cinsi kaynak kalitesini etkilediği için bunun seçimi önemli bir faktördür. İlk katman kalitesi ve düzgünlüğü yığılmalı üretim çok büyük önem arz etmektedir.
- Kaynak makinesi çalışırken herhangi iki metali birbirine birleştirme veya doldurma amacı güdülmediğinden kaynak için düşük nüfuziyet değerleriyle çalışmak alınacak baskının kalitesini doğrudan etkilemektedir. Kaynak dikişinin inceliği dağılmadan tek bir düzlemde kalması kaliteyi dahada artırmaktadır. Bunu standart 3d yazıcılarda kullanılan 0.4 mm nozzle yerine 0.1 mm nozzle ile alınan baskı kalitesi örneği ile daha iyi anlayabiliriz.
- Kaynak makinesi sürekli çalışmaya başladığı zaman çıkan yüksek sıcaklık 3B yazıcının elektronik devreleri üzerinde olumsuz etkisini azaltmak için kaynak alanı izole olmalı ayrıca iyi bir soğutmaya sahip olmalıdır. Ayrıca soğutma esnasında fan kullanılırsa kaynak makinesi nozzle ucundan çıkan gazı etkilemeyecek şekilde hava yönlendirilmesi sağlanmalıdır. Gazın koruyucu özelliği hava akımları altında önemini kaybetmektedir.

- Üretilen 3d metal baskı 3B yazıcının üretim tablası üzerinde kaynadığı için işlem sonunda mekanik bir etki ile sökülmektedir bu üretilen parçaya ufakta olsa zarar vermektedir. Bu olumsuz etkiyi azaltmak ve söküm işlemini daha rahat yapabilmek için kaynak pastası metal tabla üzerine sürülerek kullanılabilir.
- Baskı işleminden önce yapılan denemelerde kullanılan Rem Power WMEm MIG 180 kaynak makinesinin uzun süreli 1 saat veya daha üzeri aralıksız üretimler için uygun olmadığı görülmüştür. Kaynak torcu aşırı ısınma yapmakta kaynağa devam edilirse torç kısmının plastikleri eriyip zarar görebilir. Bunu engellemek için torç kısmı ayrı bir fan ile soğutulmalı veya üretim devam ederken G kodlar arasına soğumaya izin verecek şekilde dur komutları eklenebilir.
- Kaynak makinesi nozzle ucu step motorlar tarafından hareket ettirildiği için baskı esnasında kaynağın ittirerek veya çekerek yapılması kaynak dikişi kalitesini doğrudan etkilemekte ayrıca nozzle ile tabla arasındaki açıda önemli bir faktördür. Bu ayarlamaları üretim esnasında çıkan kaynak dikişi kalitesine göre değiştirmek mümkündür.
- Yapılan denemelerde metal baskı alınması için üretilen 3 boyutlu modelin bu üretim prensibine uyguluğu çok önemlidir. Tasarımcı model oluştururken metal eritme ile katmanlı üretim metodunu bilerek tasarım yapmalıdır. Örneğin bu yöntemle üretilen parçaların yüzey kalitesi düşük olmaktadır. Bu sebeple üretim sonrası yüzey temizleme işlemine ihtiyaç vardır. Fakat hızlı prototipleme çalışmalarında rahatlıkla kullanılabilir.
- Modeli tasarımı yapıldıktan sonra g kodlar mevcut 3B yazıcılar için kullanılan dilimleyici programlar vasıtasıyla oluşturulmaktadır. Bu sebeple dilimleyici program üzerindeki değişiklerin kaydedildiği bir kullanıcı ayarları kaydedilip dilimleyici programların varsayılan ayarlarına eklenmelidir. Şimdilik bu programların ayarları plastik üretmek üzerine olduğu için nozzle ucun boşta gezme miktarını en aza indirgeyip olabilecek en kısa yollardan modeli üretme algoritmasıyla çalışmaktadır. O yüzden kaynak işleminin ittirerek veya çekerek yapılmasına otomatik olarak müdahale edilememektedir. Projenin bir sonraki adımı için bu yazılımda değişiklik yapılasına ihtiyaç vardır.
- Kaynak nozzle ile baskı tablası arasındaki kaynak açısı makinede hep sabit bir açıyla yapılmıştır. Bu açının üretilecek geometrinin yapısına göre bir servo motor vasıtasıyla açısının değiştirilmesi üretilecek modelin kalitesini artıracaktır.

Çalışmamız sonucu mevcut 3B yazıcılarda nozzle otomatik tel sürme mekanizmalı bir kaynak makinesi ile değiştirilerek metal ürünlerin üretilebileceği görülmüştür. Bu üretime uygun tasarım ve üretim planlaması yapılmasına gerek duyulmaktadır. Üretilen modellerin yüzey kalitesinin artırılmasına ihtiyaç vardır. Bu yüzden katmanlı metal eritme işlemi sonrası bir freze uç ile üretilen model üzerinde yüzey kalitesini artırmaya yönelik bir çalışma daha yapılabilir. Ayrıca bu çalışma ile üretilen metal modellerin iç yapısına müdahale etmenin daha kolay olabileceği görülmüştür. Topoloji optimizasyonu sonucu üretilecek metal parçaların ön üretimi bu yöntemle yapılabilir. Kaynak metali erime hızını artırarak 3B yazıcılardaki yavaş plastik parça üretime kıyasla daha hızlı üretim yapılabileceği ön görülmüştür. Dilimleme programları üzerinde yapılacak (üretimi daha kolay otomatik bir hale getirmek için) değişiklikler, kaynak dikişinin daha ince bir yapıya getirilmesi sağlanarak, değişen nozzle ucu açısı sağlayan servo motor kullanarak, ayrıca ekstra yüzey kalitesini artıran bir freze ucu üretimini yaptığımız makineye ekleyerek yüksek yüzey kalitesine sahip metal baskı alabilen fdm tipi 3d printer üretilebileceği ön görülmüştür.

KAYNAKLAR

Alkahla, I., & Pervaiz, S. (2017). Sustainability assessment of shielded metal arc welding (SMAW) process. *Materials Science and Engineering*, *244*, doi: 10.1088/1757-899x/244/1/012001

Blondeau, R. (2010). *Metallurgy and mechanics of welding: processes and industrial applications*. U.S.A: John Willey & Sons Pub.

Dankar, I., Haddarah, A., el Omar, F., Sepulcre, F., ve Pujola, M. (2018). 3D printing technology: the new era for food customization and elaboration. *Trends in Food Science & Technology*, *75*. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.03.018

Earls, A. and Baya V. (2014). The road ahead for 3D printers. *PwC Technology Forecast, 2*,2-11. Erişilen adres: http://www.pwc.com/us/en/technology-forecast/2014/3d-printing/features/future-3d-printing.html

Erengin, A. (2009). *Ark esaslı kaynak yöntemleriyle yapılan uygulamalarda kutuplama durumu ile ilave malzeme-ergime verimi ilişkisinim incelenmesi* (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi) Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul

Guo, C., Zhang, M., & Bhandari, B. (2019). Model building and slicing in food 3D printing processes, *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. Blackwell Pub. doi.org/10.1111/1541-4337.12443

Haelsig A. , Kusch M. ve Mayer P. (2012). New findings on the e$fficiency of gas shielded arc welding, *Welding In The World, 56 (11),* 98-104. Erişilen adres: https://www.researchgate.net/publication/257288637_New_Findings_On_The_Efficiency_Of_Gas_Shielded_Arc_Welding

Hashmi, S. (2014). *Comprehensive materials processing*. U.S.E. : Elsevier Pub.

Iordachescu, D., & Quintino, L. (2008). Steps toward a new classification of metal transfer in gas metal arc welding, *Journal of Materials Processing Technology*, *202*(1–3), 391–397. doi: 10.1016/J.JMATPROTEC.2007.08.081

Jeffus, L. (2015). *Welding: principles and applications*. A.B.D. : Cengage Learning Pub.

Kahraman, N., & Gülenç, B. (2020). *Modern kaynak teknolojisi*. Ankara: Epa-Mat Basım Yayıncılık

Kesse, M. A., Buah, E., Handroos, H., & Ayetor, G. K. (2020). Development of an artificial intelligence powered tig welding algorithm for the prediction of bead

geometry for tig welding processes using hybrid deep learning. *Metals*, *10*(4). doi.org/10.3390/met10040451

Khan, I. (2007). *Welding science and technology*. India: New Age International Pub.

Kumaravelu, P., Arulvel, S., & Kandasamy, J. (2022). Surface coatings and surface modification Techniques for Additive Manufacturing. *Innovations in Additive Manufacturing* 221–238. U.S.E. : Springer International Publishing.

Livesey, A. (2018). *The repair of vehicle bodies*. U.K. : Routledge Pub.

Megahed, M., Mindt, H. W., N'Dri, N., Duan, H., & Desmaison, O. (2016). Metal additive manufacturing process and residual stress modeling. *Integrating Materials and Manufacturing Innovation, 5*, 61–93. doi: 10.1186/s40192-016-0047-2

Moskvitin, G. v., Polyakov, A. N., & Birger, E. M. (2013). Application of laser welding methods in industrial production. *Welding International*, *27*(7), 572–580. https://doi.org/10.1080/09507116.2012.715953

Mvola, B., & Kah, P. (2017). Effects of shielding gas control: welded joint properties in GMAW process optimization. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, *88*, 2369–2387. doi.org/10.1007/s00170-016-8936-2

Pratikno, H., & Dhanistha, W. L. (2020). Comparison of Welding Process SAW and FCAW on ASTM A36. In *Journal of Engineering and Applied Sciences* (Vol. 15).

Praveen, P., Kang, M. J., & Yarlagadda (2008). Drop transfer mode prediction in pulse GMAW of aluminum using statistical model. *Journal of Materials Processing Technology*, *201*(1–3), 502–506. https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2007.11.226

Şaşmaz, M. (2020). *Otomotiv sektöründe kullanılan yüksek dayanımlı çeliklerin kaynak kabiliyetinin incelenmesi* (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi) Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul

Severini, C., Derossi, A., Ricci, I., Caporizzi, R., & Fiore, A. (2018). Printing a blend of fruit and vegetables. New advances on critical variables and shelf life of 3D edible objects. *Journal of Food Engineering*, *220*. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.08.025

Singh, R. P., Kumar, S., Dubey, S., & Singh, A. (2020). A review on working and applications of oxy-acetylene gas welding. *Materials Today: Proceedings*, *38*, 34–39. Elsevier Pub.. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.05.521

Teker T. (2010). Otomotiv endüstrisinde kullanılan kaporta sacının plazma ark kaynağı, *Selçuk Teknik Dergisi, 9(1),* 67-78. Erişilen adres: https://core.ac.uk/download/pdf/267827304.pdf

Tülbentçi, K. (1990). *MIG - MAG eriyen elektrod ile gazaltı kaynağı*. Ankara: Gedik Holding Yayınları

Tunçel, O. (2020). *Lazer kaynağı ile birleştirilmiş farklı türdeki yüksek/ultra yüksek mukavemetli çeliklerde mekanik ve mikroyapı ilişkilerinin incelenmesi*. (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi) Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa http://hdl.handle.net/11452/11802

Weman, K., & Lindén, G. (2006). *MIG welding guide,* U.K. : Woodhead Pub.

Weman, Klas. (2003). *Welding processes handbook*. U.K. : Woodhead Pub.

Yıldırım, M. (2020). *Otomotiv sektöründe kullanılan yüksek dayanımlı çeliklerde oluşan kaynak kusurlarının önlenmesi.* (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi) Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul