

2209-B Sanayi Odaklı Lisans Bitirme Tezi Destekleme Programı

**DÜŞÜK MALİYETLİ AÇIK KAYNAK 3 BOYUTLU METAL YAZICI
TASARIMI VE ÜRÜNLERİNİN İNCELENMESİ**

PROJE TEMATİK ALANI:MAKİNA MÜH.

**ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ**

PROJE EKİBİ

YÜRÜTÜCÜ: GÜLSÜN GİZEM BACAĞLI (ERÜ MAKİNA MÜH.)

ARAŞTIRMACILAR:

- 1- EMRE ARSLAN (ERÜ ELK. ELEKT. MÜH.)**
- 2- AYNUR KOÇAK (ERÜ ELK. ELEKT. MÜH)**
- 3- EMRE KORKMAZ (ERÜ MAKİNA MÜH.)**
- 4- ÇAĞATAY SEMERCİ (ERÜ MAKİNA MÜH.)**

**AKADEMİK DANIŞMAN: PROF. DR. MEHMET BAKİ KARAMIŞ (ERCIYES ÜNİVERSİTESİ MAKİNE
MÜHENDİSLİĞİ)**

SANAYİ DANIŞMANI: HAMDİ KÜRTÜNCÜ (KÜRTÜNCÜ ELEKTRİK MAKİNE LTD.ŞTİ.)

KAYSERİ-2016

İçindekiler

1. Giriş ve Teorik Çerçeve.....	1
2. Problemin Tanımı.....	1
3. Çalışmanın Amacı.....	1
4. Literatür Taraması.....	2
5. Araştırma Sorusu ve/veya Hipotez	2
6. Dizayn- Yöntem ve Prosedürler.....	3
6.1. Aletler- Araç Gereç- Cihaz	3
6.2. Tasarım	4
6.2.1. Elektronik Tasarım	4
6.2.2. Mekanik Tasarım.....	6
6.3. Örnekleme	7
6.4. Veri Toplama - Veri Analizi.....	7
7. Çalışmanın Önemi	8
8. KAYNAKLAR	9
EK 1 - İŞ ZAMAN ÇİZELGESİ.....	11

0

B

1. Giriş ve Teorik Çerçeve

Teknik olarak; proseslerin hızlı bir şekilde yapılması, sürecin kendini yenileyebilir olması, maliyet değerlerinin düşük olması nedeniyle polimer esaslı malzeme teknolojisi oldukça hızlı bir şekilde gelişmiştir. Ancak, 3 boyutlu metal yazıcılarda açık kaynak kodun olmaması, yüksek maliyet ve yavaş üretimi nedeniyle istenilen düzeyde gelişme sağlanamamıştır. Mevcut durumda ticarileşmiş metal 3 boyutlu yazıcıların çok az bir kısmı hızlı prototipleyebilmekte fakat bu prototiplerin maliyetleri oldukça yüksek olmaktadır. Bu kısıtlar nedeniyle küçük ve orta ölçekli (KOBİ) firmaların, düşük bütçeli girişimcilerin ve üniversite laboratuvarlarının bu teknolojiyi kullanması oldukça zordur. Bu çalışmada <4000 TL maliyete sahip Açık Kaynak 3 Boyutlu Metal Yazıcı geliştirmesi hedeflenmektedir. Metal 3 boyutlu yazıcı açık kaynak kodlu bir kontrolcü ile kontrol edilecek bununla beraber düşük maliyetli Metal Inert Gas (MIG) kaynak makinesi, argon gazı ve kartezyen sistem mantığı ile çalışan bir 3 boyutlu yazıcı ile entegre edilecektir. Temel yapı malzemeleri, elektrik kart tasarımları, kaynak sonucu elde edilen veriler, sitenin tüm tasarımı bu çalışmanın sonucu olarak paylaşılacaktır. 3 boyutlu yazıcının özellikleri ve elde edilen ürün ile ilgili ön teknik analizler yapılacak, dilimleyici ile üretilen son ürün arasındaki olası farklılıklar tartışılacak, bu teknolojinin kitlelere ulaşması için gerekli olan gelecekteki potansiyel çalışmalarla ilgili yol çizilecektir.

Anahtar Kelimeler: 3 boyutlu yazıcı, katkılı üretim, MIG kaynak, açık kaynak elektronik, açık kaynak yazılım, hızlı prototipleme, metal prototip

2. Problemin Tanımı

Üretim teknolojilerinin gelişmesi, girişimciliğin yaygınlaşması, rekabet edebilirliğin zorlaşması nedeniyle sektörler yeni üretim tekniklerine ihtiyaç duymaktadırlar. Bu kapsamda plastik malzeme kullanan 3 boyutlu yazıcılar giderek yaygınlaşmakta ve raf fiyatları gün geçtikçe her ihtiyaç sahibi tüketicinin alabileceği seviyelere düşmektedir. Fakat projenin ortaya çıkmasında motivasyon konusu olan 3 boyutlu metal yazıcılar henüz üretim teknolojisi olarak karmaşık olmak üzere, yatırım maliyeti açısından oldukça yüksektir. Küçük ölçekli firmalar, araştırma geliştirme, tasarım laboratuvarları ve özellikle girişimciler için, yatırım maliyeti başta olmak üzere, barındırdıkları teknoloji, kullanıcı açısından zor olduğundan yaygınlaşması hala istenilen düzeylere ulaşmamıştır.

3. Çalışmanın Amacı

Proje kapsamında metal prototiplere ihtiyaç duyan kullanıcıların ihtiyacını karşılayacak oldukça düşük bütçeli bir ürün tasarlanacak, yukarıda bahsi geçen problemlere yetenekleri dâhilinde çözüm sunacaktır. Bu ürünün, açık kaynak olarak yapım aşaması ve süreçleri Türkçe olarak adım adım internet üzerinden yayımlanacak, başta girişimcilik ekosistemine kazandırılacak ve sonraki süreçlerde ürünün açık kaynak olarak bu internet sitesi üzerinden gerçekleştirilecek tartışmalarla gelişimi için çalışmalara devam edilecektir.

Bu amaç doğrultusunda elektrik ve mekanik tasarımlar yapılacak, yazıcının temel yapısı incelenecek ve bu makineyle üretilen ürünlerin çeşitli özellikleri irdelenecektir.

0

B

4. Literatür Taraması

Katkılı üretim (Additive manufacturing), genel olarak 3 boyutlu yazıcılarla yapılan üretim şekli olarak adlandırılır. 3 boyutlu yazıcıların mevcut teknolojimiz ile beraber çok hızlı bir şekilde büyüdüğü, teknik olgunluğa ulaştığı, hem tasarım hem de küçük ölçekli üretimler için yararlı olduğu kanıtlanmıştır [1-8]. The Economist dergisi, bu tarz teknik gelişmelerin, geleneksel iş modellerini takip eden kitleye özel üretimlerin ve dijital ürünlerin, "3. sanayi devrimi" ne neden olabileceğini iddia etmiştir [9]. Geleneksel üretim modeli ve ekonomik modeller 3 boyutlu yazıcıların, bireysel girişimcilere, geniş kitlelere teknik ve ekonomik açıdan yüksek değerli nesnelerin ulaşmasını engelleyebilir [7,10–18]. RepRaps kontrolcülerini açık sistem arduino ve arduino komponentlerinden oluşmakta [21-22] ve yazıcılarında Polylactic asit (PLA), akrilonitril butadiyen sitren (ABS), yüksek yoğunlukta polietilen (HDPE) vb. malzemeler kullanabilmektedirler [23].

Açık kaynak yazıcılar oldukça geniş bir alanda çalışmaktadır. Örneğin; RepRaps, açık kaynak kontrolcüler ve ücretsiz yazılımlar yardımıyla çok düşük bütçelerle önemli bilimsel projeler yapılabilmektedir [24,25]. Fakat düşük bütçeli 3 boyutlu yazıcılarda üretilen ürün skalası polimer ve seramik malzemelerde sınırlı kalmıştır [26]. Bu kısıtlamalarının yanında metal 3 boyutlu yazıcıların açık kaynak uygulamalarının olmaması piyasada bulunan 3 boyutlu metal yazıcıların pahalı olması, ürettiği üründe yüksek maliyetli olması ve işlem süresinin uzun olması nedeniyle sektörde yaygınlaşması ve gelişmesi olumsuz etkilenmiştir. Buradan da anlaşılacağı üzere yatırım maliyetinin yüksek olması (orta ölçekli bir 3 boyutlu metal yazıcı 50.000 \$ civarı) özellikle üniversiteler, girişimciler ve kobiler için ulaşılması zor bir ekipman olmasına neden olmuştur. 3 boyutlu metal yazıcıların kaynak imalat yöntemi kullanılarak yapılan uygulamalarında kaynak robotları kullanılmıştır [27-28].

Robotun çalışma kabiliyeti, kaynak torcunun yeterli bir şekilde hareket etmesi ile ilgilidir. Kaynak dikişinin homojen olmasını sağlamak için robot, pürüzsüz sürekli harekete sahip olmalıdır. Bununla beraber robotun yetenekleri ve hareketlerini tekrarlayabilmesi yaptığı kaynağın kalitesini belirler. Robot uygulamaları sayesinde dar tolerans limitleri içinde imalat olanaklı hale gelmekte, ayrıca yapılan işin kalitesiyle birlikte üretim hızı da artmakta, dolayısıyla da maliyet düşmektedir. Robot kaynağı kalitesi her zaman için insanların yaptığı kaynaktan çok daha kaliteli ve tutarlı olmaktadır [29].

5. Araştırma Sorusu ve/veya Hipotez

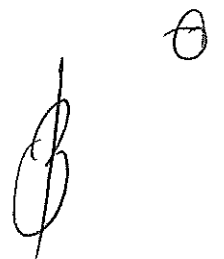
Açık kaynaklı elektronik geliştirme kartları, açık kaynaklı ücretsiz üç boyutlu dilimleyici programlar ve yazılımlar kullanarak MIG kaynak torcunun yığılma işlemi yapmasıyla düşük Bütçeli 3 Boyutlu Metal Yazıcı tasarımı ve üretimi yapılabilir mi?

Proje kapsamında yapılacak 3 boyutlu metal yazıcı, stabil, mekanik ve malzeme çıktısı verebilir mi?

SEM analizleri ile sonuçlar değerlendirilebilir mi?

Kartezyen sistemi süren motorların MIG kaynak telini süren motorun optimal çalışma hızına etkisi nedir? Optimize edilebilir mi?

Uygun kaynak teli, hızı, uygun gaz basıncı, uygun torç açısı ve uygun kartezyen kızak hızları nasıl optimize edilmelidir?



6. Dizayn- Yöntem ve Prosedürler

6.1. Aletler- Araç Gereç- Cihaz

Ebat	Tür	Adet	Fiyat
Şase Malzemeleri			
20x20 boy: 390 mm	Sigma Profil	2 adet	40TL
20x20 boy: 350 mm	Sigma Profil	2 adet	40TL
20x20 boy: 320 mm	Sigma Profil	3 adet	60TL
M8 420 mm	İndüksiyonlu Mil	4 adet	60TL
M8 370 mm	İndüksiyonlu Mil	2 adet	30TL
M5 330 mm	Gijon	2 adet	10TL
M6X40	Alyan Cıvata	6 adet	12TL
M6	Pul	6 adet	3TL
M4X10	Alyan Cıvata	32 adet	32TL
M4X40	Alyan Cıvata	2 adet	2TL
M4	Tırtıklı Somun	32 adet	32TL
M4	Somun	4 adet	4TL
M4	Pul	32 adet	16TL
M3X40	Havşalı Cıvata	16 adet	16TL
M3X25	Havşalı Cıvata	5 adet	5TL
M3X20	Havşalı Cıvata	1 adet	1TL
M3X10	Havşalı Cıvata	3 adet	6TL
M3X35	Alyan Cıvata	2 adet	2TL
M3X25	Alyan Cıvata	8 adet	16TL
M3X12	Alyan Cıvata	6 adet	16TL
M3X10	Alyan Cıvata	8 adet	16TL
M3	Fiberli Somun	80 adet	40TL
M3	Pul	42 adet	21TL
250x250x30 mm	Bakır Tabla	2 adet	210TL
1000x2000x 2mm	Alüminyum Levha	2 adet	250TL
1200 lt/h	Soğutma suyu sirkülasyon pompası	1 adet	150TL
1m	Soğutma suyu hortumu	1 adet	50TL
150X150X100 mm	Ferrit Miknatıslar	10 adet	15TL
	Kasnak GT2 16 diş	6 adet	60TL
	Kayış GT2 2 metre	1 adet	10TL
M5	Esnek Kaplin	2 adet	50TL
	Nema 17 Step Motor	4 adet	660TL
M8	Lineer Rulman SC Modeli	8 adet	40TL
M8	Lineer Rulman LM Modeli	7 adet	35TL
	MK8 Dişli	8 adet	80TL
Elektronik Malzemeler			
	Endstop switch	6 adet	120TL
	Power supply 12V 20A	2 adet	100TL
	Motor Sürücü A4988	20 adet	300TL
	Motor Sürücüsü Kartı Ramps 1,4	2 adet	300TL

	Arduino Mega Geliştirme Kartı	2 adet	350 TL
	Elektronik Aktarma Kabloları	5 metre	30TL
	SD kart 64 GB	2 adet	50TL
Prototip Sarf Malzemeleri			
	SG2 0,8 MIG Kaynak Teli	90 kg	360TL
	Argon Karışım Kaynak Gazı	1 Tüp	100TL
	Prototiplerin FEM analizlerinin yaptırılması		200TL

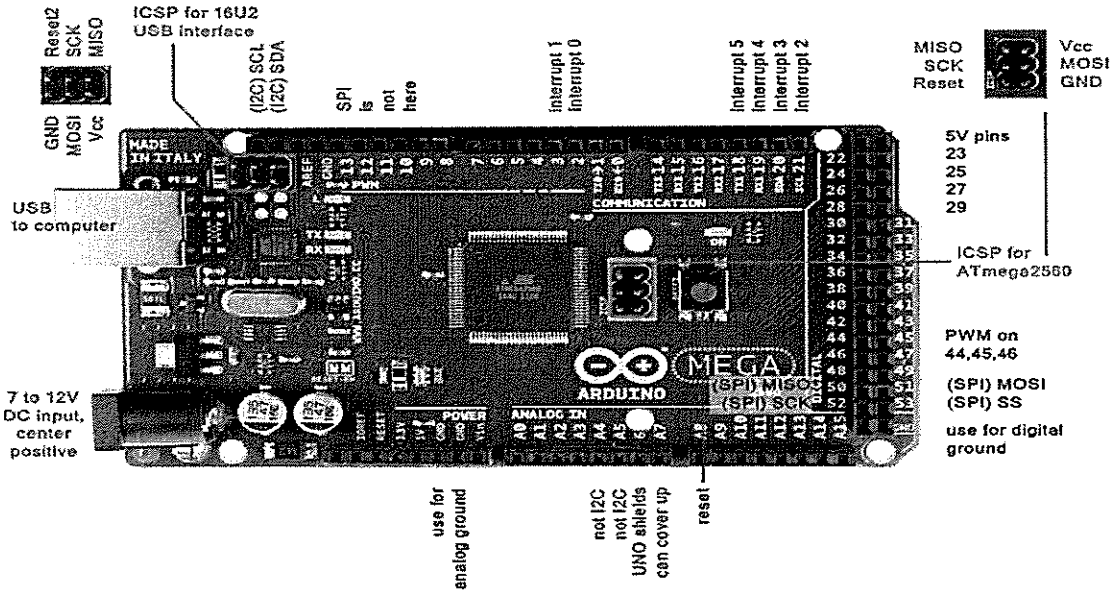
6.2. Tasarım

6.2.1. Elektronik Tasarım

Elektronik tasarım 4 ana başlık altında yapılacaktır.

6.2.1.1 Elektronik Geliştirme Kartı

Açık kaynaklı elektronik geliştirme kartı olan Arduino Mega 2560, 3 boyutlu yazıcının kartezyen raylarını hareket ettiren step motorlarına dilimleyici programdan gelen G kodlarını okuyup işleyecek ve motor sürücüsüne mekanizmasına talimat verecektir. Hem motor kontrolleri hem de G kodlarını yönlendirme işlevi yapacağı için daha fazla giriş çıkış pinine sahip olan bu model kart seçilmiştir. Aynı zamanda bu kart 3 boyutlu yazıcılar için özel olarak üretilmiş Ramps 1,4 motor sürücü kartı ile uyumlu olarak çalışmaktadır.

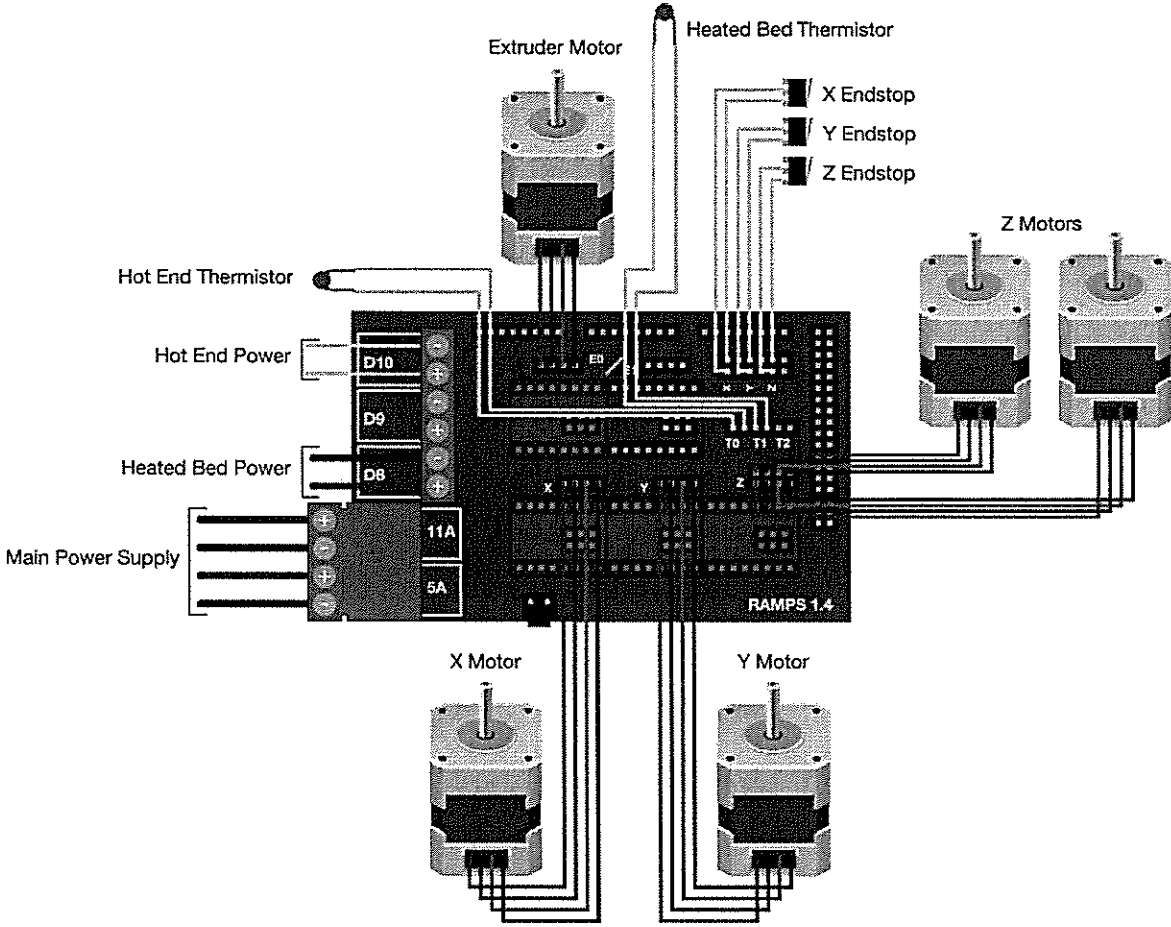


Resim 1. Arduino Mega 2560 elektronik geliştirme kartı

6.2.1.2 Motor Sürücü Kartı

Step motorların kontrolünde kullanılacak olan bu kart Arduino Mega 2560'da işlenen G kodlarına göre motorların adımını hesaplayıp gerekli olan motor tahriğini sağlayacaktır. Aynı zamanda yapılan işlemlerin kontrolü için yer alan LCD ve buton mekanizması bu motor sürücü kartı üzerine pinlerle bağlanacaktır. Tabla ölçülerine göre işlem yapılabilmesi için kullanılacak limit switchlerinin kontrolü bu kart ile yapılacaktır. Bu işlemlere uygun yetenekleri olan ve 3 Boyutlu yazıcı üreticilerinin sıklıkla kullandığı açık kaynaklı motor sürücü kartı olan Ramps 1.4 kullanılacaktır. Resim 2 de görüldüğü gibi bu kartın üzerine yer alan güç girişinden elektrik bağlantısı sağlanacaktır.

[Handwritten signature and initials]



Resim 2. Motor sürücü kartı ve bağlantı şeması (Ramps 1,4)

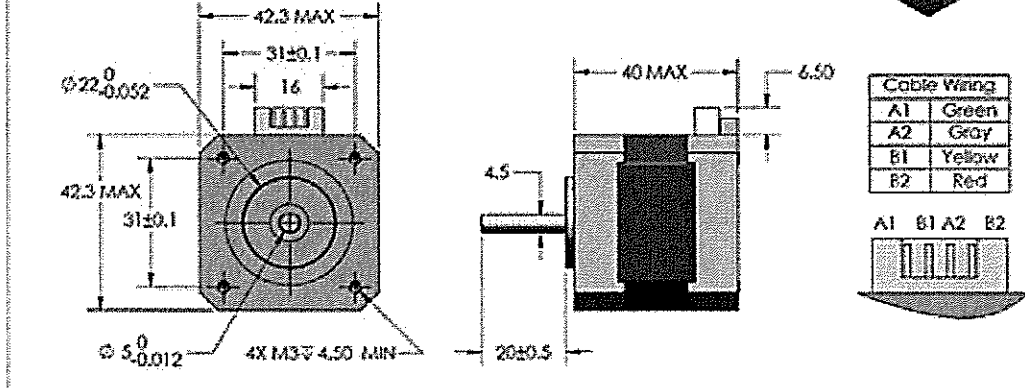
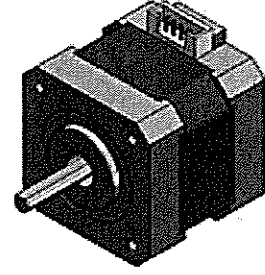
6.2.1.3. Step Motorlar

Tasarlanacak üç boyutlu yazıcının x, y ve z koordinatlarında hareketini sağlamak için hassas seviyede çalışan step motorlara ihtiyaç vardır. Bu kapsamda 4 adet NEMA 17 step motor alınması planlanmaktadır. Bu step motorların ikisi z ekseninde hareketi diğerleri ise x ve y eksenlerindeki hareketi sağlamak için kullanılacaktır.

0

B

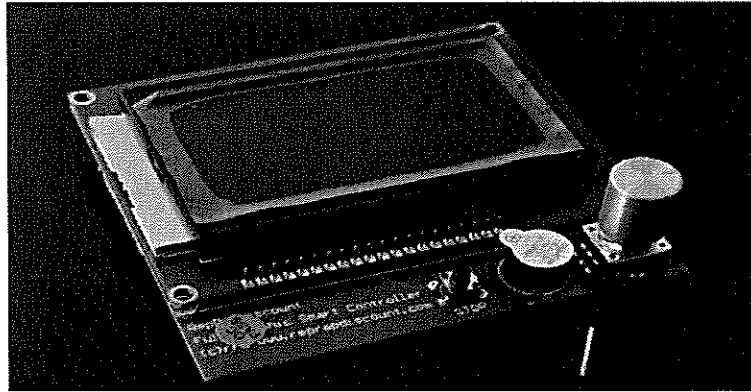
General Specs		Electrical Specs	
Step Angle	1.8°	Rated Voltage	2V
Number of Phase	2	Rated Current	1.2A
Insulation Resistance	100MΩ min (500V DC)	Resistance per Phase	1.7Ω ± 10%
Insulation Class	Class B	Inductance per Phase	4.5mH ± 20%
Rotor Inertia	57g·cm	Holding Torque	400mN·m
Mass	0.25kg	Detent Torque	15mN·m



Resim 3. Step Motorlar (NEMA)

6.2.1.4. LCD ekran

Çalışmada kullanılmak üzere planlanan 16x4 LCD ekranda baskı G kodu dosyası seçimi, x, y ve z koordinatlarının değerleri, baskının süresi ve ilerleme miktarı gözlemlenecektir. Ayrıca ekran devre kartının üzerinde yer alan SD kart girişi ile G kod dosyaları sistemde görüp, potansiyometre anahtarı ile G kod dosyasını seçebilecek ve eksen sıfırlama işlemleri yapılabilecektir.



Resim 4. 16x4 LCD Ekran

6.2.2. Mekanik Tasarım

Tablo 1 de belirtilen malzemelerden şase tasarımı yapılacaktır. Burada dikkat edilmesi gereken en büyük husus oluşturulacak sistemin gönyede ve titreşim sonucu oluşabilecek sorunları minimize edebilir yetenekte olmalıdır. Bu kapsamda kullandığımız profiller ve diğer malzemeler bu hassasiyeti gözeterek işlenecek ve montaj edilecektir.

3 boyutlu yazıcının şasesi montaj edildikten sonra torcun bağlanması için kullanılacak torca tutucu tasarlanacak, mevcut torclarda olan tetik mekanizması ise makine çalıştığında devreye girecek şekilde planlanacaktır. Bunun için torcun kaynak makinesi ile bağlantısını sağlayan sistem, kısa devre yaptırılarak hem akım, hem gazın aynı anda gelmesi sağlanacaktır.



Resim 5. MIG kaynak torcu makine bağlantısı

Aynı zamanda kaynak hortumunun kızak hareketlerinde aşırı titreşim oluşturup bozuk ürün çıkarmaması için alüminyum saçtan hortum yolu yapılacaktır.

Kaynak teli ile şase aldığı tablanın reaksiyona girmemesi ve ark oluşmaması için direnç kaynağında kullanıldığı gibi bakır tabla kullanılacaktır. Kaynak yığılması başladığında, katılaştıkça kaynak damlasının bir sonraki damlada kaymaması için tablanın altından güçlü ferrit mıknatıslar yapıştırılacak ve yazıcıda üretilen ürünün sabit durması sağlanacaktır. Ferrit mıknatısların maksimum çalışma sıcakları 250 C olduğundan tablanın çok ısınmasını engellemek için bakır tabla işlenerek su ile soğutulabilir hale gelecektir.

6.3. Örnekleme

Ürünün tasarımı bittikten sonra ürünlerinin incelenmesi için; ideal yığılmanın gözle görülür olduğu kaynak hızı, gaz basıncı, akım ve torç açıları belirlenecektir.

Bu işlemden sonra 100x50 mm'lik dikdörtgen şekiller metal yazıcıdan çıkartılacaktır. Rastgele örnekleme modeli seçilecek uygun yığılmalar gözlemlendikten sonra alınan örnekler çekme ve basma testlerine tabi tutulacak, mekanik dayanımları incelenecektir.

Ürünlerin ilk kaynak sırası, orta kaynak sırası ve son kaynak sırasından kesitler alınarak, bakalitlenerek SEM mikro yapıları incelenecektir.

6.4. Veri Toplama - Veri Analizi

Proje kapsamında gözle görülen ve uygun yığılma gözlemlenen örnekler incelenecek birbirine en yakın sonuç veren çıktılar üzerinden basma ve çekme gerilmeleri kayıt altına alınacak, SEM görüntülerinden malzemenin iç yapıları incelenecektir. Makineden çıkan sonuçlar sanayi danışmanımız ve akademik danışmanımızla görüşülerek endüstriyel ve bilimsel anlamda değer katılmaya çalışılacaktır.

Çıkan sonuçlar ve tüm süreçler açık kaynak olarak yayımlanacak, tartışmaya açılacaktır.

7. Çalışmanın Önemi

Bu çalışmanın kazanımları aşağıdaki şekilde özetlenebilir;

- Sanayi Uygulamaları İçin Önemi:

- ✓ Hızlı prototiplemenin işletmenin elindeki mevcut makinelerle de yapılabileceği farkındalığı kazandırılacaktır.
- ✓ Proje kapsamında yapılacak yazıcı ile üretilen ürün istenilen mekanik dayanımları verirse, işletmelerin acil parça ihtiyaçlarına kısa sürede düşük maliyetli çözüm üretilebilecektir.(CNC, lazer, freze vb. talaşlı işleme)
- ✓ Çok düşük maliyetlerle prototip ürün çıktığından deneme yanılma yöntemi, uygun tasarımı yapma anlamında fayda sağlayacaktır.
- ✓ Açık kaynak olması nedeniyle her üretici kendi isteğine göre tablayı ve hassasiyeti tasarlayabilecektir.

- Akademik Önemi:

- ✓ Proje kapsamında üretilen makine birbirinden farklı birçok deneye, birçok lisans, yüksek lisans hatta doktora projelerine altyapı oluşturabilecektir.
- ✓ Proje yürütücüsü ve araştırmacı ekibinin ilk TÜBİTAK projesi olacağından, gelecekte gerek akademik gerekse özel sektöre yönelik özgeçmişlerine büyük katkı sağlayacaktır.
- ✓ Proje sayesinde üniversite öğrencileri, danışman akademisyen ve danışman sanayici arasında Üniversite Sanayi İşbirliği oluşabilecektir.

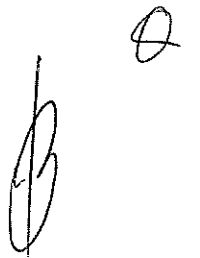
- Proje Ekibi İçin Önemi

- ✓ Proje ekibinin ilk TÜBİTAK projesi olacaktır.
- ✓ Ekip çalışması yapılacak multi disiplinler olarak proje ilerleyecektir.
- ✓ Projenin istenilen şekilde sonuçlanması halinde Erciyes Teknopark SERA kuluçka merkezine başvurulacak kaynak teknolojileri ilgili olarak firmalaşmak için gerekli adımlar atılacaktır.

- Ülke İçin Önemi:

(Yukarıdaki kazanımların yanı sıra)

- ✓ Projenin girişimcilik ekosistemine kazandırılacak açık kaynak bir makine çıktısı olacaktır.
- ✓ Kaynak imalat yöntemine meraklı gençler yetişecektir.
- ✓ 10. Kalkınma Planında belirtilen yenilikçi girişimciliğin gelişmesinde küçük de olsa katkı sağlayacaktır.



8. KAYNAKLAR

- [1] Gebhardt, A., 2003, Rapid Prototyping, Berlin, Almanya: Hanser Verlag.
- [2] Sheng, W., Xi, N., Chen, H., Chen, Y., ve Song, M., Haziran 2003, "Part geometric understveing for tool path planning in additive manufacturing," in Proc. IEEE Int. Symp. Comput. Intell. Robot. Autom., 3.,1515–1520.
- [3] Crane N., Tuckerman J., ve Nielsen G. N., 2011, "Self-assembly in additive manufacturing: Oortunities ve obstacles," Rapid Prototyping J., 17, 211–217.
- [4] Class N., Tropmann A., Ernst A., Zengerle R., ve Koltay P., Haziran 2011, "Rapid prototyping of 3D microstructures by direct printing of liquid metal at temperatures up to 500 řC using the starjet technology," in Proc. 16th Int. Solid-State Sensors, Actuat. Microsyst. Conf., 1452–1455.
- [5] Petrovic V., J. V. Gonzalez H., O. Ferrveo J., Gordillo J. D., J. Puchades R. B., ve Grinan L. P., 2011, "Additive layer manufacturing: Sectors of industrial alication shown though case studies," Int. J. Prod. Res., 49, 1061–1079, no. 4.
- [6] Upcraft S. Ve Fletcher R., Ocak 2012, "The rapid prototyping technologies," Assembly Autom., 318–330, 23.
- [7] Wittbrodt B. T., Glover A. G., Laureato J., Anzalone G. C., Oliger D., Irwin J. L., 2013, "Life-cycle economic analysis of distributed manufacturing with open-source 3-D printers," Mechatronics, 23, 713–726, no. 6,.
- [8] Lipson H. ve Kurman M., Şubat 2013, Fabricated: The New World of 3D Printing, 1st ed. New York, NY, USA: Wiley.
- [9] The Economist, Nisan 2013, "A third industrial reution: Special report: Manufacturing ve innovation,".
- [10] Gershenfeld N., 2005, Fab: The Coming Reution on Your Desktop—From Personal Computers to Personal Fabrication. New York, NY, USA: Basic Books.
- [11] Jones R., Haufe P., ve Sells E., Ocak 2011, "RepRap—The replicating rapid prototyper," Robotica, . 29, . 177–191, no. 1.
- [12] Corney J., 2005, "The next ve last industrial reution?" Assembly Autom., . 25, p. 257, no. 4.
- [13] Malone E. Ve Lipson H., 2005, "Fab@Home: The personal desktop fabricator kit," Rapid Prototyping J., . 245–255, . 13.
- [14] Pearce J., Blair C., Laciak K. J., Verews R., ve Nosrat A., 2010, "3-D printing of open source aropriate technologies for self-directed sustainable development," J. Sustain. Develop., . 3, . 17–29, no. 4.
- [15] Bradshaw S., Bowyer A., ve Haufe P., Nisan 2010, "The intellectual property implications of low-cost 3D printing," SCRIPTed, 7, . 1–27, no. 1.
- [16] Hollve D., O'Donnell G., ve Bennett G., Eylül 2010, "Open design ve the reprop project," in Proc. 27th Int. Manuf. Conf., . 97–106.
- [17] Weinberg M.. (2013, Feb. 25). It Will be Awesome if They Don't Screw it Up [Online]. Available: <http://nlc1.nlc.state.ne.us/epubs/creativecommons/3DPrintingPaperPublicKnowledge.pdf>
- [18] Cano J., 2011, "The Cambrian explosion of popular 3D printing," Int. J. Artif. Intell. Interact. Multimedia, . 1, . 30–32, no. 4.

- [19] Sells E., Bailard S., Smith Z., ve Bowyer A., 2015, "RepRap: The replicating rapid prototyper: Maximizing customizability by breeding the means of production," in Hvebook of Research in Mass Customization ve Personalization: Strategies ve Concepts, . 1, F. T. Piller ve M. M. Tseng, Eds. Singapore: World Scientific, . 568–580.
- [20] R. Arnott, Ağustos 2008, "The RepRap project—Open source meets 3D printing," in Computer ve Information Science Seminar Series. Dunedin, New Zealve: Univ. Otago Library.
- [21] (2013, Oct. 31). Arduino [Online]. Available: <http://www.arduino.cc/>
- [22] Kentzer J., Koch B., Thiim M., Jones R. W., ve Villumsen E., Mayıs 2011, "An open source hardware-based mechatronics project: The replicating rapid 3-D printer," in Proc. IEEE 4th ICOM, . 1–8.
- [23] Baechler C., DeVuono M., ve Pearce J. M., 2013, "Distributed recycling of waste polymer into RepRap feedstock," Rapid Prototyping J., . 19, . 118–125, no. 2.
- [24] Pearce J. M., Eylül 2011, "Building research equipment with free, open-source hardware," Science, . 337, . 1303–1304, no. 6100.
- [25] Pearce J. M., 2014, Open-Source Lab: How to Build Your Own Hardware ve Reduce Research Costs. New York, NY, USA: Elsevier.
- [26] Symes M. D., Kitson P. J., Yan J., Richmond C. J., Cooper G. J. T., Bowman R. W., et al., Nisan 2012, "Integrated 3D-printed reactionware for chemical synthesis ve analysis," Nature Chem., . 4, . 349–354.
- [27] Ribeiro F., 1998, "3D printing with metals," Compute. Control Eng. J., . 9, . 31–38, no. 1.
- [28]] Anzalone G., Zhang, C., Wijnen B., Sveers, P., 9 Aralık 2013, A Low-Cost Open-Source 3-D Printer, IEEE Access
- [29] Yumurtacı S. , Mert T. , 24-25 Ekim 2003 tarihinde Kocaeli'nde düzenlenen "Kaynak Teknolojisi IV. Ulusal Kongresi, Cilt: 44 Sayı: 526

