

**Proje Ana Alanı:** Teknolojik Tasarım

**Proje Tematik Alanı:** Milli Teknoloji Hamlesi

**Proje Adı (Başlığı):** PCB Prototip Üretiminde Yerli ve Milli Ekonomik Makine Tasarımı

## Özet

Bu projede piyasada en ucuzu 9.500 avro civarlarında satılan, ağırlıklı olarak ülkemize Japonya ve Almanya'nın üretilip satmış olduğu PCB prototip üretme makinelerinin yerli imkanlarla, 100-150 avro civarlarında mal edilmesi hedeflenmektedir. Aynı zamanda Türkiye'de elektrik-elektronik teknolojisi ve endüstriyel otomasyon teknolojileri alanı olan tüm teknik okullarda pcb prototip üretim işlemi kimyasal ergitme yöntemi ile yapılmaktadır. Bu yöntem ergitme esnasında ortaya insan sağlığına zararlı gaz çıkarmakta ve ülkemizde binlerce lise öğrencisi bu durumdan etkilenmektedir. Bu proje ile kimyasal ergitme yönteminin tamamen ortadan kaldırılıp sağlık dostu olan; hem ekonomik hem kaliteli pcb prototipi üretebileceğimiz bir makine elde edilmiştir.

Projenin ilk aşaması olarak Almanya menşeli LLPKF ProtoMat E34 adlı pcb prototip makinesinin çalışma prensibi incelenmiş ve çalışma yapısının nasıl olduğuna dair notlar alınmıştır. İlk aşama olarak makinenin katı model tasarımı yapılmış ardından da elektronik kartların şeması ve PCB' si çizilmiştir. Yapılan çizim ve tasarımlar gerçek ortamda elde edilip montajlanarak sistem manuel olarak çalıştırılmıştır. İnternet üzerinden bulunan açık kaynak kodlar işlemciye yüklenerek mekaniğe göre kodlarda oynama yapılmıştır ve mekanik sistem elektronik kartlar ile uyumlu hale getirilmiştir. En son aşama olarak çizdiğimiz PCB'leri G-Code'a dönüştürecek bir ücretsiz bir yazılım bulunmuş ve bu kodların yapmış olunan kartlar tarafından yorumlanması sağlanmıştır.

Yapılmış olan pcb prototip üretme makinesi Alman ve Japon üretimi makinelerin aynı yöntemle üretim yaptığı tüm özelliklere sahiptir. Bu makine dünyada çok yüksek fiyata satılan lazer yöntemi ile pcb prototipi üreten makinelere çevrilebilir yapıdadır. Proje daha da geliştirilip lazerli hale döndürülebilir.

**Anahtar Kelimeler:** PCB Prototip Üretme, Ekonomik PCB Üretimi, PCB Üretimi ve Sağlık, PCB Prototip Üretim Makineleri, Kimyasal Yöntem ile PCB Üretimi

## Amaç

Projenin amacı PCB prototip üretiminde doğa ve canlı sağlığına zararlı bir yöntem olan kimyasal ergitme yöntemini tamamen ortadan kaldırıp, bu yöntem yerine canlı sağlığına hiçbir zararı olmayan, kaliteli PCB prototipi üretebilecek, ekonomik bir makine tasarlanmıştır.

### 1. Giriş

Ülkemizde PCB prototip üretiminin çoğu bakır plaketi tuz ruhu, perhidrol karışımına atarak açıkta kalan bakır yerlerin erimesi suretiyle yapılmaktadır ve bu yöntemin en çok ve en sık kullanıldığı yer teknik okullarımızdır. Kimyasal eritme yönteminde plaketin bakır kısmı erirken ortama canlı sağlığına zararlı bir gaz ortaya çıkmaktadır. Bu yöntem yerine fiziksel kazıma yapan bir makine üretimi yapılacaktır ve sadece kazıma yöntemini kullandığı için canlı sağlığına zararlı bir durum olmayacaktır. Peki bu makineler Dünya da yok mudur? PCB prototip üretim makineleri yapılmış olan taramalar sonucunda Japonya ve Almanya menşeli iki firma tarafından üretildiği bulunmuştur. Alman menşeli LPKF adlı firmadan en ucuz PCB üretim makinesinin fiyat teklifi alınmış ve firma 9.545 avro fiyat teklifi vermiştir. Bu fiyatlar günümüz şartlarına göre çok yüksektir. Bir teknik lisede öğrencilerin bu makineleri sağlıklı ve verimli kullanabilmeleri için en az 6 öğrenci başına bir makine olması gerekmektedir. Bu rakamları göz önüne aldığımızda örnek olarak bir teknik lisesinin elektrik-elektronik teknolojisi alanının aynı anda PCB üretimi gerektiren en az iki sınıf varsayarsak ilgili her

okulda en az dört makine olması gerekmektedir. İdeal olarak kullanımının gerçekleşmesi için bu sayının daha da fazla olması gerekir. Yurt dışından bu makinenin alınması durumunda ülkemizde aslında çok ucuz maliyetlerle üretilebilecek bir makine çok pahalı bir şekilde satın alınmış olacaktır. Ekonomik olarak ülkemize fayda sağlanması için bu makinenin ülkemizde üretilmesi çok önemlidir.

Projenin gerçekleşmesi için bir katı model tasarım programı ile makine çizilmiş ve simülasyonları yapılmıştır. Elektrik-elektronik kartları üretilmiş ve serbest ortamda çalıştırılıp sistemde istenen şekilde çalışıp çalışmayacağı test edilmiştir. Mekanik ve elektronik sistem ayrı ayrı test edildikten sonra bir araya getirilip montajlanarak, çizilen PCB kartların üretimi gerçekleştirilecektir.

Sorular	Ekonomik PCB Prototip Üretimi (Proje)	Kimyasal Ergitme Yöntemi	Yurtdışı Üretimi Yapan Firmadan Alınan PCB Prototip Makinesi
Okullarda ve PCB Prototip Üretimi Yapan Yerlerde Kullanılabilir mi?	Evet	Evet	Evet
Sağlığa Zararlı mı?	Hayır	Evet	Hayır
Ekonomik mi?	Evet	Evet	Hayır
Yeni Bir Teknoloji Üzerine Eklenebilir mi?	Evet	Hayır	Hayır
Yazılımları Ücretli midir ?	Hayır	-	Evet
Bakım Nasıl Yapılır ?	Bireyin Kendisi Yapabilir	-	Üreten Firmanın Yetkilisi Gelmek Zorundadır.
İş Sağlığı ve Güvenliğine Uygun mudur?	Evet	Hayır	Evet

**Tablo 1.** Proje ve Diğer Yöntemlerin Avantaj ve Dezavantaj Karşılaştırma Tablosu

## 2. Yöntem

Sıra No	İş Akış Çizelgesi
1	Sistemin tasarımının nasıl olacağı tartışılmıştır.
2	Sistemin tasarımı Solidworks 2016 adlı katı model programında yapılmıştır.
3	Malzeme listesi hazırlanacak ve listedeki malzemeler sipariş edilecektir.
4	Mekanik hammadde geldikten sonra tezgahlarda işlenecektir.
5	Mekanik montaj yapılacak ve sistemin mekaniğinin tasarım ile aynı paralellikte çalıştığı test edilecektir.
6	Elektronik kart tasarımları yapılacak.
7	Elektronik kartlar üretilcektir.
8	Elektronik kartlar tasarıma göre birbirlerine bağlanacak ve makinenin çalışması kontrol edilecektir.
9	Proteus Ares programı ile çizilen baskı devreler G-Code çevrilecektir.
10	Kart üretimi denemeleri yapılacaktır.

**Tablo 2.** İş Akış Çizelgesi

Malzeme Fiyat Listesi				Toplam Tutar
				917,72 ₺
Sıra No	Genel Malzeme Adı	Adet	Birim Fiyat	Toplam Fiyat
1	DC Motor sürücü 40V 10A	1	35,00 ₺	35,00 ₺
2	LM2596 AYARLANABİLİR VOLTAJ REGÜLATÖRÜ 5V -3A	1	7,30 ₺	7,30 ₺
3	XL6009 STEP UP BOOSTS VOLTAJ YUKSELTİCİ	1	8,10 ₺	8,10 ₺
4	12V 120W SMPS GÜÇ KAYNAĞI	1	32,00 ₺	32,00 ₺
5	ARDUINO NANO	1	21,00 ₺	21,00 ₺
6	ARDUİNO NANO KLEMENS	1	24,87 ₺	24,87 ₺
7	12V 3PINS IŞIKLI ON/OFF ANAHTAR	1	1,50 ₺	1,50 ₺
8	5Lİ DİŞ-ERKEK TAKIM MİKE KONNEKTÖR	5	5,20 ₺	26,00 ₺
9	KABLOSUZ KROKODİL KIRMIZI	1	0,55 ₺	0,55 ₺
10	KABLOSUZ KROKODİL SİYAH	1	0,55 ₺	0,55 ₺
11	HELOJEN KABLO ÇORABI 5MM (METRE)	5	1,71 ₺	8,55 ₺
12	POWER SOKET SİGORTALI ANAHTARLI PANO TİPİ	1	6,62 ₺	6,62 ₺
13	PANEL MONTAJLI USB UZATMA Panel Montajlı Usb Kablosu	1	35,00 ₺	35,00 ₺
14	5V 1 KONTAK RÖLE KONTROL KARTI	1	4,98 ₺	4,98 ₺
15	POT 10K VE POT BAŞLIĞI	1	1,75 ₺	1,75 ₺
16	POWER KABLOSU 1.5 METRE	1	6,45 ₺	6,45 ₺
17	ALTINKAYA DT-345 KUTU	1	166,00 ₺	166,00 ₺
18	Sac Malzeme, Kesim ve Boyama	1	325,00 ₺	325,00 ₺
19	Cam Yazılımı (Ücretsiz)	1	- ₺	- ₺
20	G-Code Dönüştürme Yazılımı (Ücretsiz)	1	- ₺	- ₺
21	Spindle - 150W DC Motor ve Tutucusu	1	175,00 ₺	175,00 ₺

**Tablo 3.** Malzeme Fiyat Listesi

Tablo 3.'teki malzemeler 05.04.2019 tarihinde temin edilmişti

Şirket Bilgileri

Şirket Bilgileri

## FİYAT TEKLİFİ

Alıcı Bilgileri

Alıcı Bilgileri

Sipariş Kodu	Açıklama	Adt.	Birim Fiyat (Euro)	Tutar (Euro)
1 10052741	<b>LPKF ProtoMat E34</b> 229x305x5 mm, 10.000 - 30.000 rpm, devir ayarlı yüksek hızlı spindle, 120W LPKF CircuitPro Lite yazılımı dahil	1	7.540,00	7.540,00
2 10033243	<b>Toz çekme sistemi, LPKF ProtoMat Serisi için</b> Mikrofiltre, otomatik kontrol, vakum desteği	1	1.160,00	1.160,00
3 127696	<b>PM E34 için Aksesuar Seti, 1/8" şaft</b> PM E34 ilk çalışma için gerekli sarf	1	845,00	845,00
			<b>SAYFA TOPLAMI</b>	<b>9.545,00</b>
			<b>KDV (%18)</b>	
			<b>GENEL TOPLAM</b>	

Fiyatlar DDP işyeri teslimi, KDV Hariç, montaj, servise alma ve kısa tanıtım dahildir.

Teslim süresi, siparişin kesinleşmesinden sonra 6-8 haftadır.

Ödeme şekli; siparişte %50 peşin, kalanı fatura tarihinde tahsil edilir

Ödemeler Euro ya da TL olarak banka hesabımıza yapılır

Siparişin onayı için imzalı teyit faksı ve ön ödeme gereklidir

Fatura Tarihindeki T.C.M.B. Döviz satış kuru geçerli olacaktır

Fiyat teklifi 30 gün için, geçerlidir.

**Teklif 1.** LPKF ProtoMat E34 PCB Prototip Üretme Makinesi Fiyat Teklifi

Yapılan proje ve eşdeğeri olan ProtoMat E34 PCB Prototip üretim makinelerinin arasındaki fiyat farkı 9.400 avro civarlarındadır. Yapılan her yerli ve milli PCB prototip üretim makinesi 9.400 avronun ülkemizde yerel kaynaklarda kullanılmasına vesile olacaktır.

### 3. Proje İş-Zaman Çizelgesi

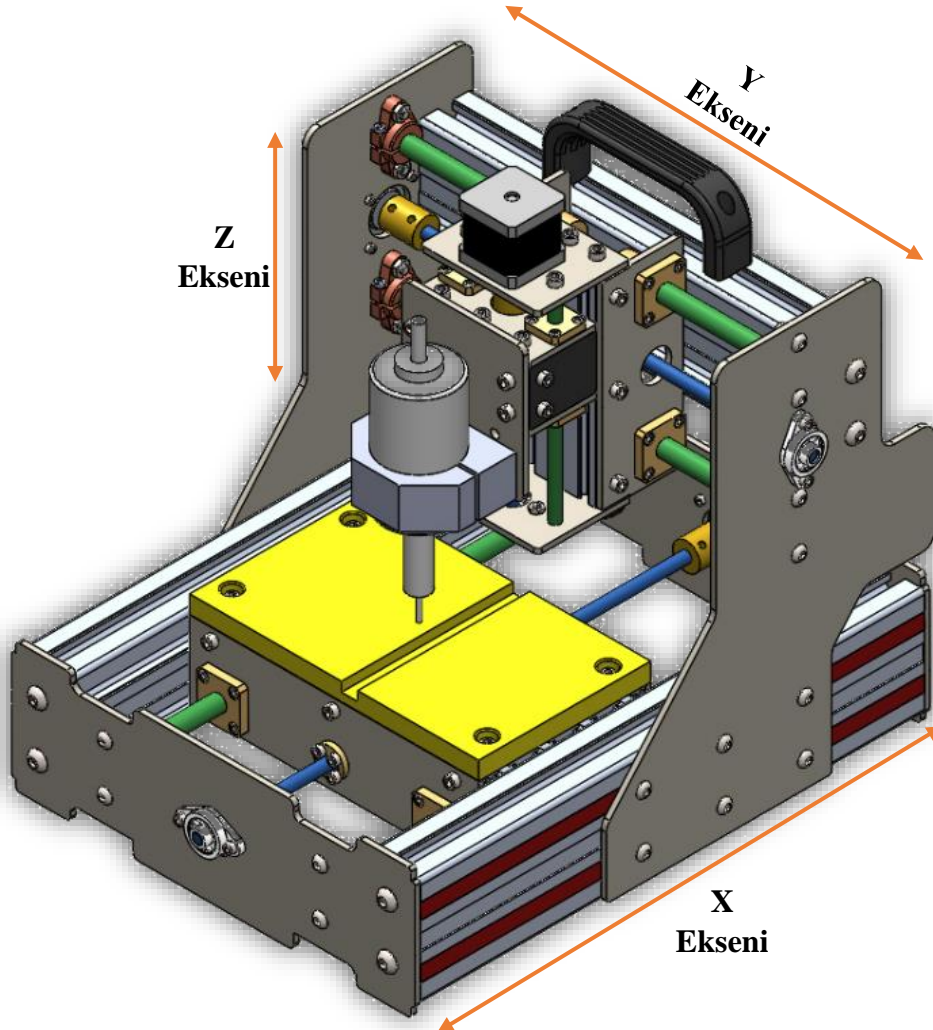
İŞİN TANIMI	AYLAR										
	MART	NİSAN	MAYIS	HAZİRAN	TEMMUZ	AĞUSTOS	EYLÜL	EKİM	KASIM	ARALIK	OCAK
Literatür Taraması	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
Projenin Yapımı			X	X	X	X	X	X	X		
Verilerin Toplanması ve Analizi	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
Proje Raporu Yazımı										X	X

### 4. Bulgular

Bu bölümde sistemin mekanik ve elektrik-elektronik tasarımının parçaları bölüm bölüm ele alınarak kısaca açıklanmıştır.

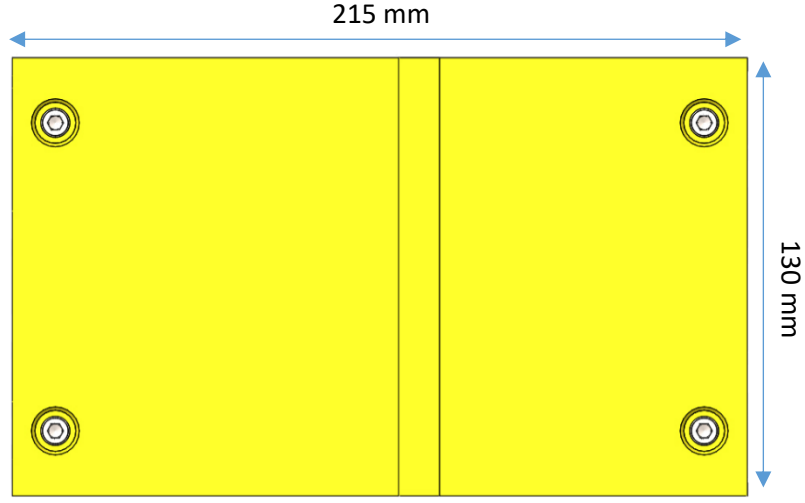
#### 4.1. Mekanik Tasarım

Bu bölümde sistemin mekanik tasarımının detayları kısaca açıklanmıştır.



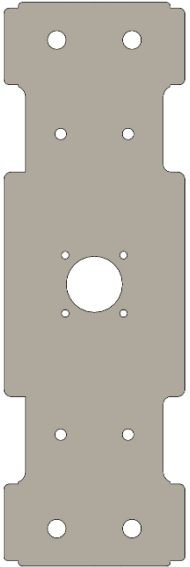
### Şekil 1. Projenin Mekaniğinin Katı Model Tasarım Programında Montajlanmış Hali

Şekil 1.'de projenin mekaniğinin bitmiş hali görülmektedir. Şekil 1.'deki tasarlanan önemli parçaların görevleri aşağıda anlatılmıştır.

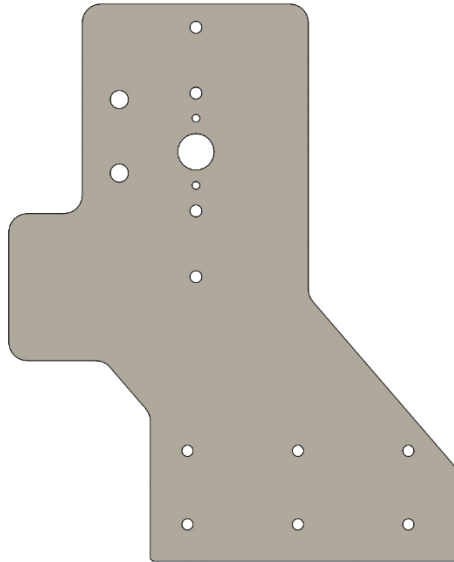


Şekil 2. PCB'nin Bağlanacağı Tablanın Üstten Görünümü

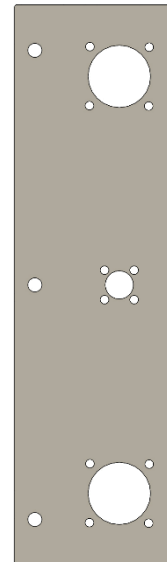
Şekil 2.'de PCB' nin bağlanacağı tablanın boyutları ve üstten görünümü yer almaktadır. Bu tablanın üzerine bir çift taraflı bant ile PCB yapıştırılacak ve kart işlenecektir. Tablaya bağlayabileceğimiz en büyük boyut 215 mm x 130 mm aralığındadır. Bu tabla ile 200 mm x 100 mm boyutlarında bir PCB rahatlıkla işlenebilmektedir. Genellikle prototip basımında kullanılan en büyük boyut 100mm x 100mm olduğu düşünülerek tablo boyutu bu oranda tasarlanmıştır. İhtiyaç olduğu takdirde tablo boyutu 200mm'e kadar aynı tasarım üzerinde genişletilebilir.



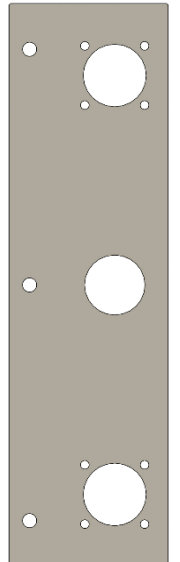
Şekil 3. (a) X Eksenli Vidalı Mil ve Yataklama Mili Tutucu Ön ve Arka Sac Parça



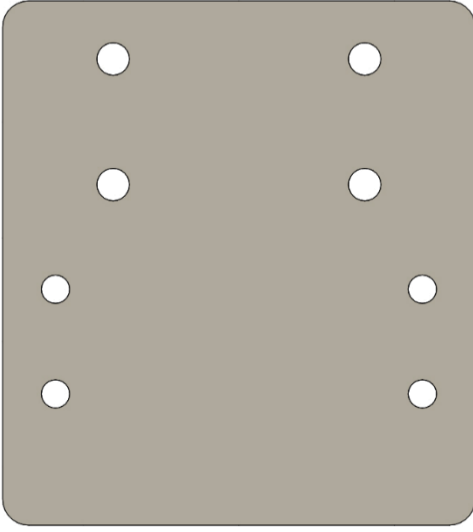
Şekil 3. (b) Y Eksenli Vidalı Mil ve Yataklama Mili Tutucu Sağ ve Sol Sac Parça



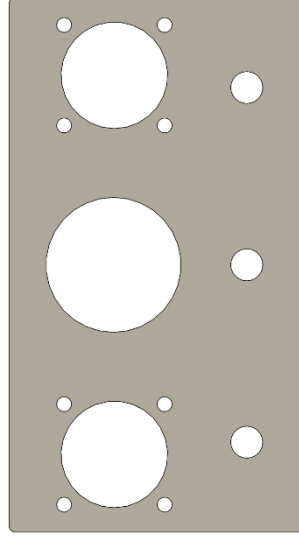
Şekil 3. (c) Tablanın X Ekseninde Vidalı Mil ile Hareketini Sağlayan Sac Parça



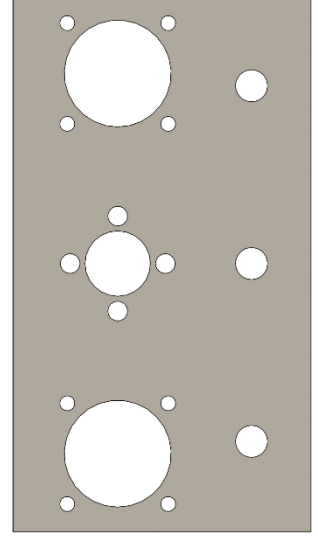
Şekil 3. (d) Tablanın X Ekseninde Yataklama Mil ile Hareketini Sağlayan Sac Parça



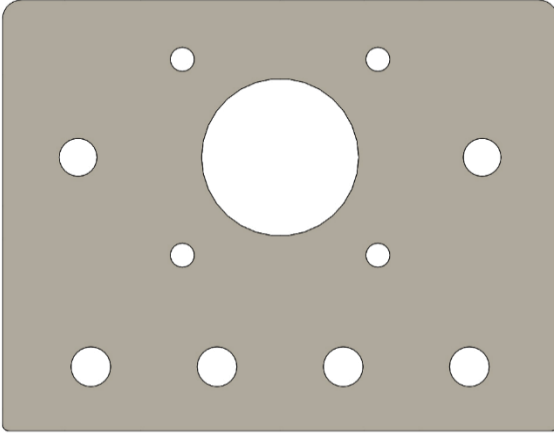
**Şekil 3. (e)** Spindle Tutucu Sac Parça



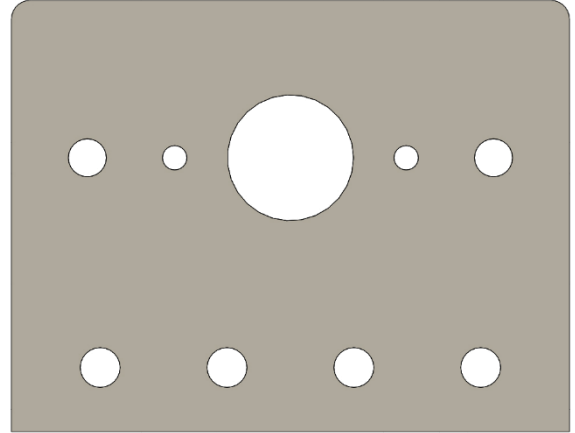
**Şekil 3. (f)** Spindle Z Eksenli Yataklama Mili Tutucu Üst Sac Parça



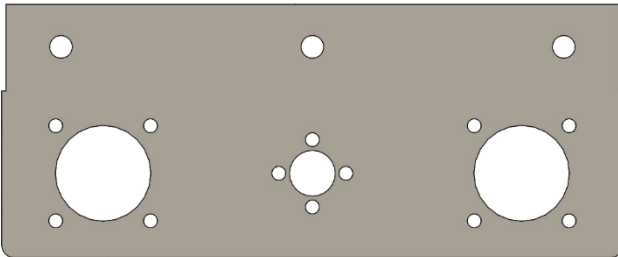
**Şekil 3. (g)** Spindle Z Eksenli Vidalı Mil Tutucu Alt Sac Parça



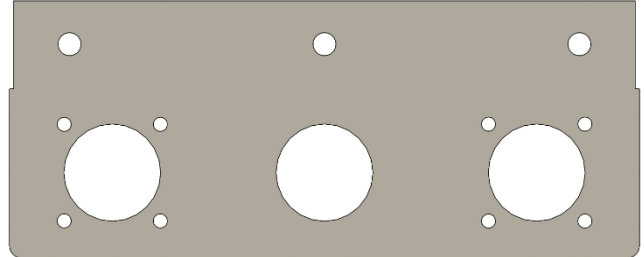
**Şekil 3. (h)** Z Eksenli Motor Tutucu ve Mil Sabitleyici Sac Parçası



**Şekil 3. (i)** Z Eksenli Vidalı Mil ve Yataklama Mili Sabitleyici Sac Parçası

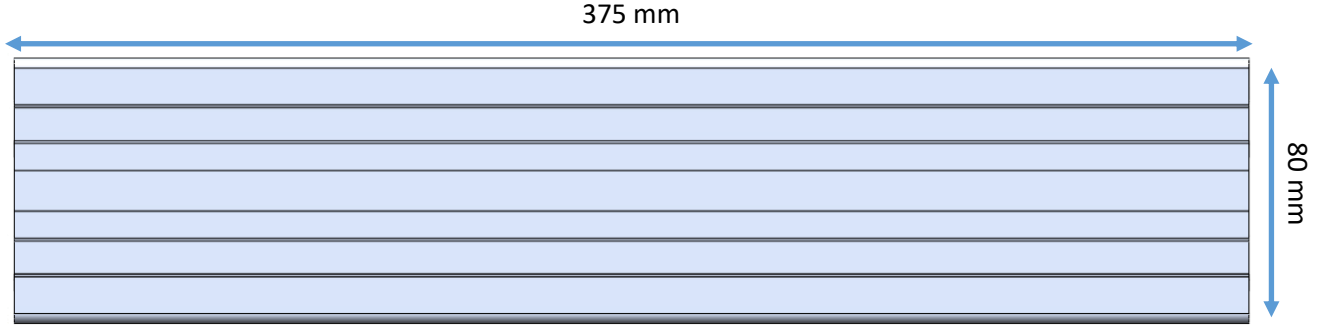


**Şekil 3. (j)** Y Eksenli Vidalı Mil ve Yataklama Mili Tutucu Sol Sac Parça

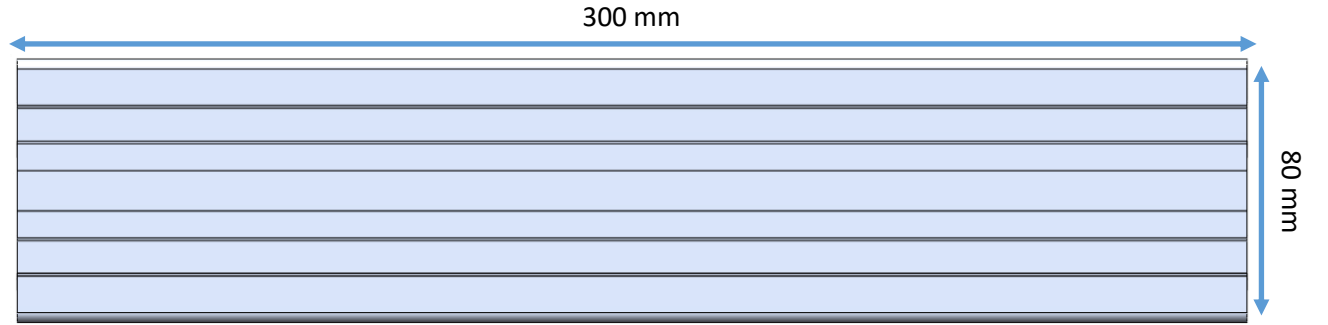


**Şekil 3. (k)** Y Eksenli Yataklama Mili Tutucu Sağ Sac Parça

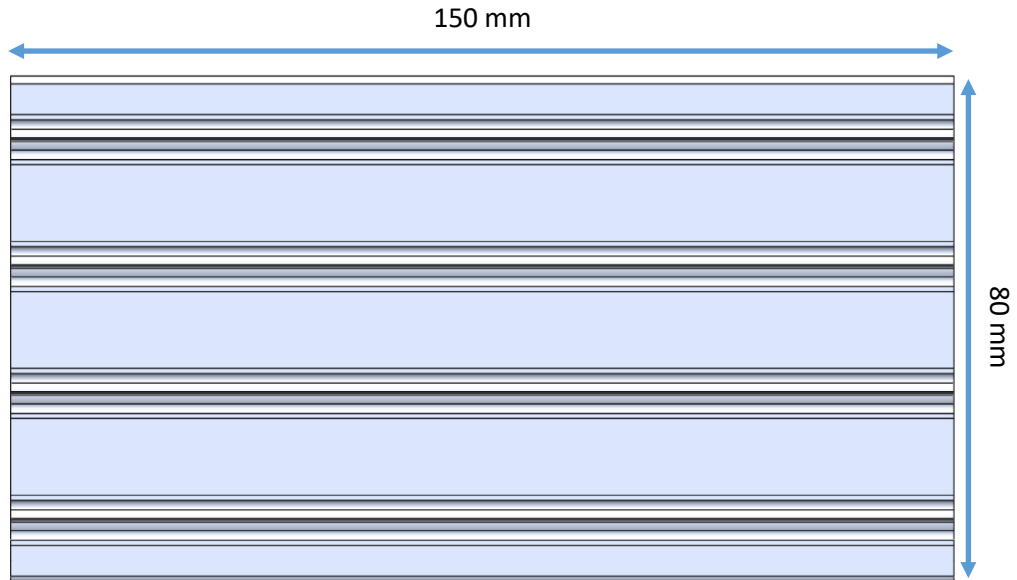
Şekil 3. (a), Şekil 3. (b), Şekil 3. (c), Şekil 3. (d), Şekil 3. (e), Şekil 3. (f), Şekil 3. (g), Şekil 3. (h), Şekil 3. (i), Şekil 3. (j), Şekil 3. (k)'da projede vidalı mülle ilgili eksenin hareket etmesini, yataklama yapılmasını ve sistemin mekaniğini sağlamlaştıran sac parçalar görülmektedir. Sac parçalar aynı zamanda sistemin rijit çalışmasını sağladığından sacların herhangi bir şekilde esnememesi önem taşımaktadır, bu nedenle mekaniğin sağlam olması için sacların kalınlığı 4mm ve malzeme türü dkp olarak seçilmiştir. Deliklerin çok hassas olması için delikler lazer tezgahlarda kestirilmiştir.



**Şekil 4. (a)** X Eksenindeki Sac Parçaları Tutan Sağ ve Sol Sigma Profil

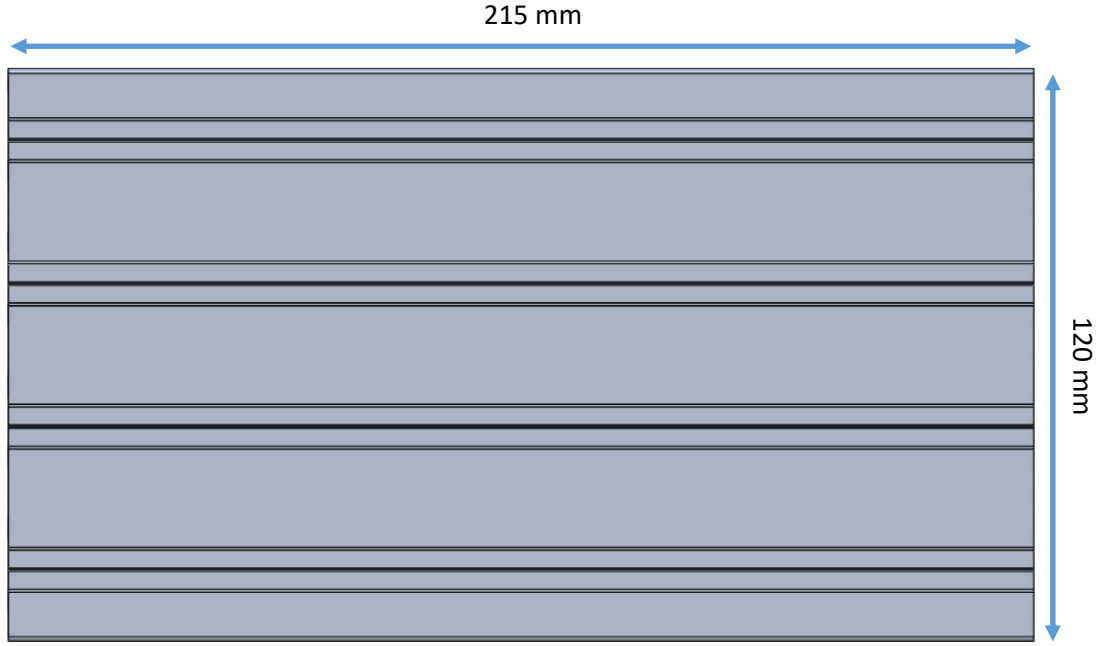


**Şekil 4. (b)** Y Eksenindeki Sac Parçaları Tutan Sigma Profil

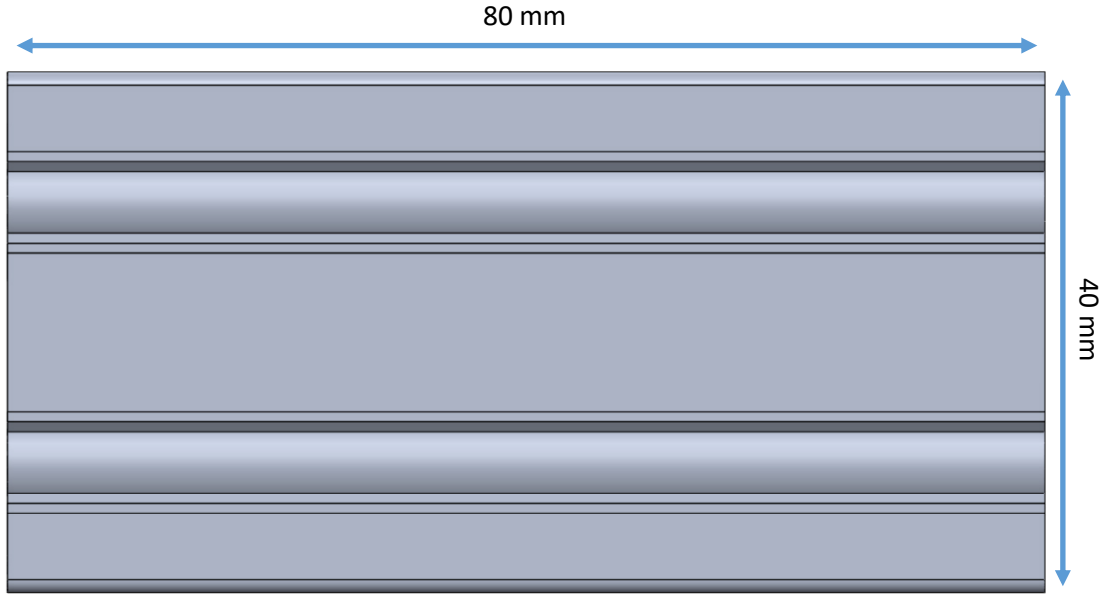


**Şekil 4. (c)** Z Eksenindeki Sac Parçaları Tutan Sigma Profil





**Şekil 4. (d)** PCB Tablasını ve X Ekseni Hareket Saclarını Tutan Sigma Profil



**Şekil 4. (e)** Spindle Tutan Sacın Montajlandığı Sigma Profil

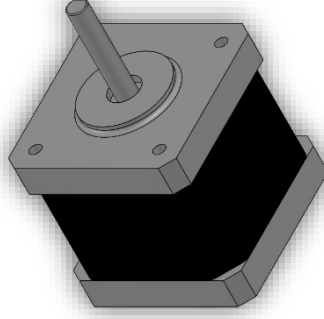
Şekil 4. (a)'da X eksenindeki sac parçaları tutan 40x80x375mm ölçülerindeki sigma profil görülmektedir. Bu sigma profilin boyu uzaltılıp kısaltılarak projenin X eksenindeki boyu istenildiği ölçüde ayarlanabilir.

Şekil 4. (b)'de Y eksenindeki sac parçaları tutan 40x80x300mm ölçülerindeki sigma profil görülmektedir. Bu sigma profilin boyu uzaltılıp kısaltılarak projenin Y eksenindeki boyu istenildiği ölçüde ayarlanabilir.

Şekil 4. (c)'de Z eksenindeki sac parçaları tutan 20x80x150mm ölçülerindeki sigma profil görülmektedir. Profilin üzerindeki kanallar ve alındaki delikler yardımıyla bu sigma profile 4 adet sac bağlanmıştır.

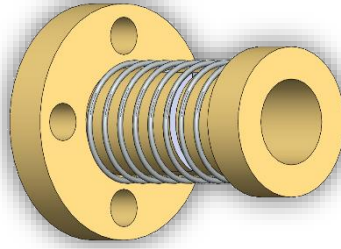
Şekil 4. (d)'de PCB tablasını ve x ekseninin hareketini sağlayan sac parçaları tutan yüzey sigma profili görülmektedir. Bu sigma profillerin hem kanalları hem de alındaki delikler parçaları tutmak için kullanılmıştır.

Şekil 4. (e)'de Spindle tutan sacın montajlandığı sigma profil görülmektedir. Bu sigma profil yardımıyla y ekseninde vidalı milin sağladığı hareket spindle' a aktarılmaktadır.



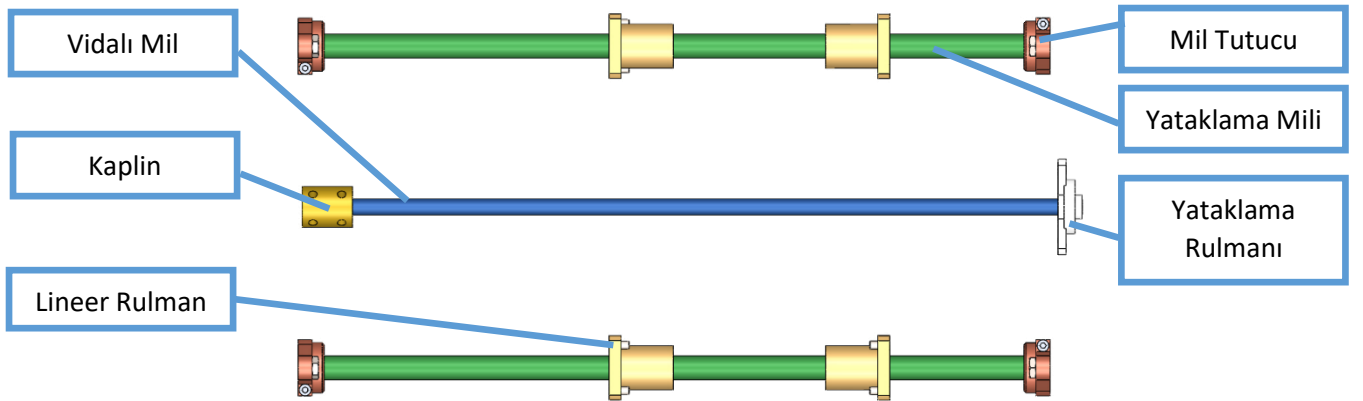
**Şekil 5.** X, Y ve Z Eksenlerinin Hareketini Sağlayan Nema 17 Step Motor Görünümü

Şekil 5.'de X, Y ve Z eksenlerinin hareketini sağlayan nema 17 step motor görülmektedir. Yapılan denemelerde torkun çok yeterli olduğu görülmüştür. Bu motorlar 1.2 A'lık step motor sürücüler tarafından rahatlıkla sürülebilmektedir.



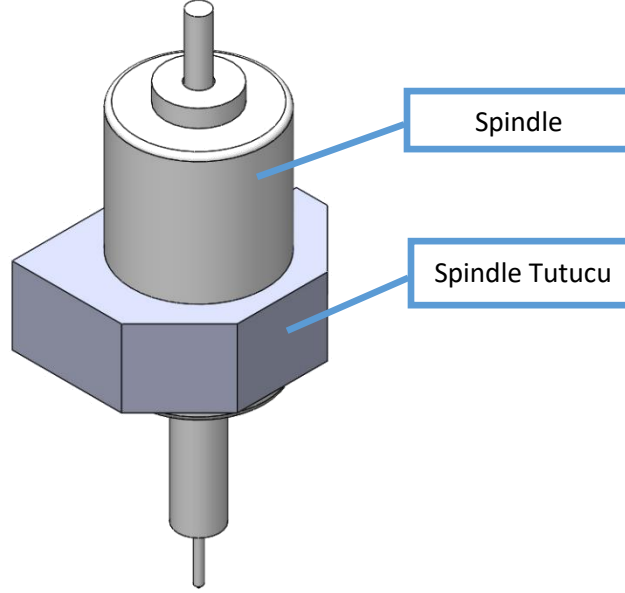
**Şekil 6.** Vidalı Milden Aldığı Hareketi Saclara İleten Yaylı Trapez Somun Görünümü

Şekil 6.'da titreşimi alarak vidalı milden aldığı hareketi saclara ileten yaylı trapez somun adlı parça görülmektedir. Bu parçanın iç kısmında vidalı milin hatvesi ile uyumlu kılavuz dişleri bulunmaktadır. Vidalı mil döndükçe yaylı trapez somun vidalı mil üzerinde ileri-geri hareket eder. Bir mekanizmaya bağlanması için üzerinde dört adet delik vardır. Bu projede eksen saclarına bu delikler üzerinden bağlanmıştır. Mekanik sistemde X, Y ve Z eksenlerini kontrol eden üç adet yaylı trapez vida mevcuttur.



**Şekil 7.** X Eksen Tabla Hareket Sistemi Tasarımı Görünümü

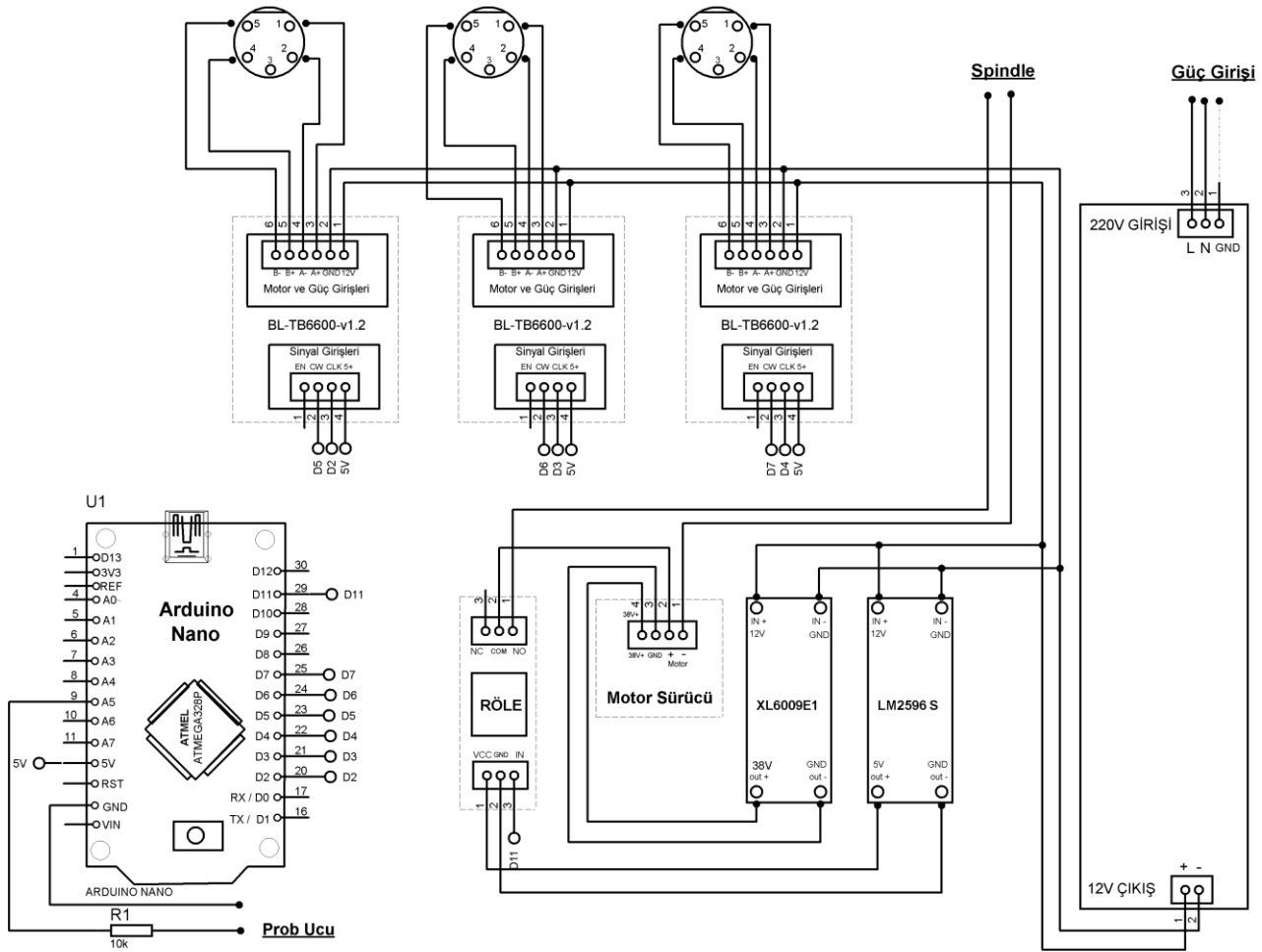
Şekil 7’de X eksenini lineer olarak hareket ettiren sistemin üstten görünümü yer almaktadır. Bu sistemin tasarımı Y ve Z eksenleri içinde aynı yapıdadır. Tüm eksenlerde ortada bir vidalı mil yaylı trapez somun yardımı ile motorun yönüne göre sisteme hareket vermektedir. Sistemin aynı eksen düzleminde stabil ve rijit hareket edebilmesi için lineer rulmanlar yataklama mili üzerinde ilgili eksen hareket ettirmektedir. Şekil 7.’de görülen kaplin ile motor hareketi vidalı mile aktarılabilmektedir. Yataklama rulmanı ile vidalı mil hem yataklı bir şekilde çalışmakta hem de rulman özelliği ile rahat bir şekilde dönebilmektedir. Mil tutucular lineer rulmanları saclara aynı doğrultuda sabitlemektedirler. Şekil 7.’deki sistemde hareket mekanizmaları en ince ayrıntısına kadar düşünülmüş ve mekanik olarak en iyi hassasiyeti elde etmek için her mili yataklayan parçalar kullanılmıştır.



**Şekil 8.** Spindle ve Alüminyum Tutucusu Tasarımı Görünümü

Şekil 8.’de spindle ve alüminyum tutucusu görülmektedir. Spindle tutucu sac ile mekaniğe sabitlenmiştir. Spindle ucu karbürden yaptırılmıştır. Spindle hızı maksimum 15.000 rpm’dir. İdeal olarak kazıma yapabilmesi için tespit ettiğimiz dönme hızı 13.000 rpm’dir.

## 4.2. Elektrik-Elektronik Tasarımı



### Şekil 9. Sistemin Elektrik-Elektronik Tasarımının Şeması

- Güç girişi adlı girişten 220V AC şebeke gerilimi verilmekte, regülatörün çıkışından sabit 12V DC maksimum 20A akım alınmaktadır. Tüm elektronik sistemin enerji kaynağı bu regülatördür.
- Kontrol kartı fiyat olarak ekonomik; yetenek olarak da yeterli görüldüğünden Arduino Nano mikrodenetleyici kartı kullanılmıştır.
- Kontrol kartının D2, D5 pinleri X eksenini, D6, D3 pinleri Y eksenini, D4, D7 pinleri Z eksenini hareket ettiren, step motorları süren palsleri göndermektedir. Eksen motorlarının tüm hareketlerinin kontrolü bu 6 pin ile sağlanmaktadır.
- XL6009E1 voltaj yükseltici kartı girişine gelen 12V DC gerilimi maksimum 38V DC – 3A akıma kadar yükseltebilmektedir. Motorumuzun etiket değerinde 36V yazdığından bu yükselticiye ihtiyaç duyulmuştur. Tek görevi spindle dc enerji sağlamaktır. Voltaj yükseltici kartımız ile gerilim ayarı yapılabildiğinden, motorun hızını bir potansiyometre yardımı ile ayarlanabilmektedir.
- Spindle aktif-pasif yapmak için bir röle kartı kullanılmıştır. Bu röle çektiğinde XL6009E1 voltaj yükseltici kartından gelen voltaj spindle iletilmekte, rölenin enerjisi kesildiğinde ise spindle durdurulmaktadır.
- LM2596-S kartı ile 12V DC gerilim 5V DC gerilime regüle edilmektedir. Rölemizin bobin voltajı 5VDC olduğundan spindle kontrol eden röleyi çektiirmek için bu regülatöre ihtiyaç duyulmuştur.

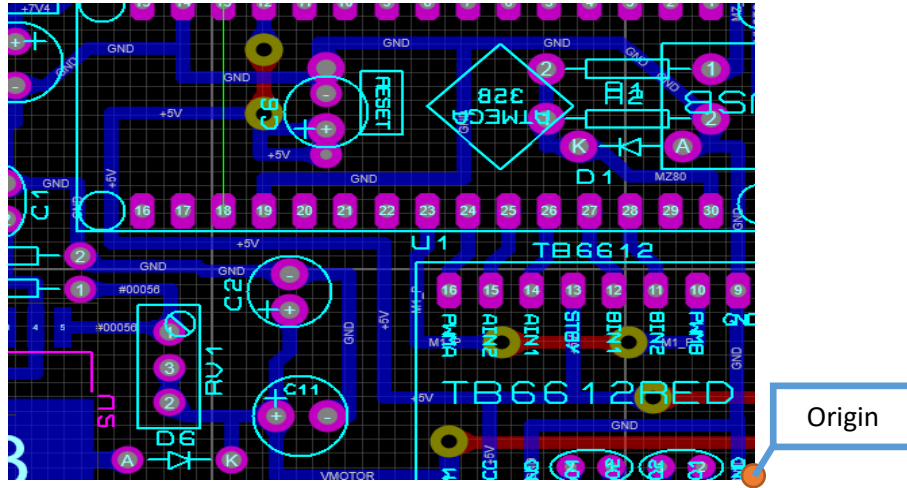
- Arduinonun gnd ve A5 ucundan birer prob dışarı çıkarılmıştır. GND ucu mekaniğin gövdesine bağlanarak tüm gövdenin şase olması sağlanmıştır. A5 ucu ise kartın bakır kısmına bir prob ile değiştirilerek, kazıma yapacak ucun plakete değdiği an tespit edilmektedir. Bu özellik sayesinde PCB kartı tablanın üzerine bağlandığında kart üzerindeki tüm yükseklikleri nokta nokta tespit ederek kusursuz bir kazıma işlemi yapmaktadır.
- Yükseklik belirlenerek kartın tüm koordinatlardaki yüksekliği bilinmektedir, bu özellik LPKF firmasının LPKF ProtoMat E-34 modelinde yer almamaktadır.

#### 4.3. Yazılım

İnternette açık kaynak kod geliştirme yapan birçok yazılım ekibi bulunmaktadır. CNC makineleri için yapılan bir açık kaynak kod internetten alınmış ve ilgili yazılımın fonksiyonlarında mesafe kısımlarının yapılacağı kısım bulunmuş ve gerekli katsayı denemeleri yapıp, eksenlerin girilen mesafede hareket edip etmediği kumpas ile ölçülüp test edilerek, ilgili yazılım mekaniğe uyarlanmıştır.

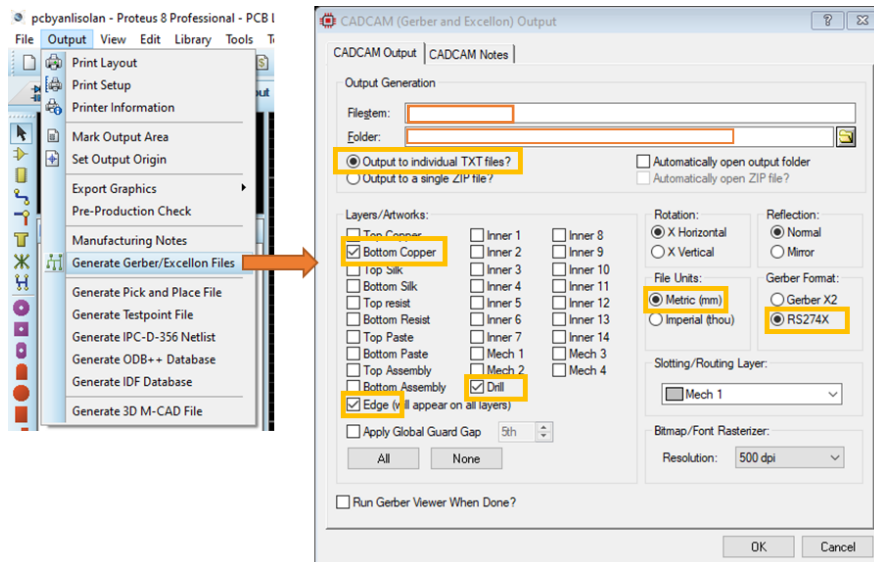
#### 4.4. PCB Prototip Üretme

İlk önce bir elektronik tasarım programı ile tasarım yapıp, ardından bu tasarımın bir PCB çizim yazılımı ile çizimi yapılmaktadır.



Şekil 10. Örnek PCB Çizimi

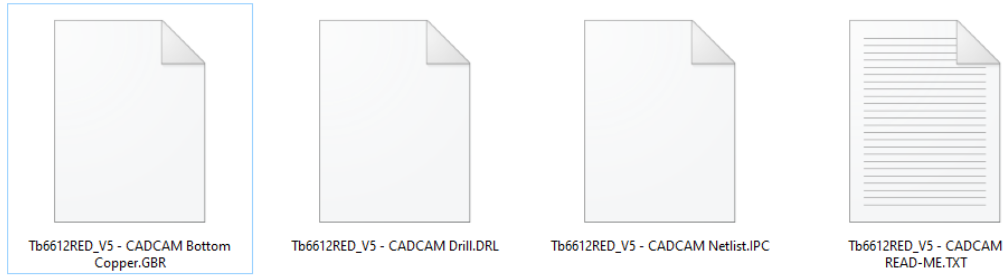
Şekil 10.'da Proteus Ares 8.3 sp0 yazılımı ile çizilmiş bir PCB çizimi görülmektedir. Bu çizim yapıldıktan sonra makine kazıma işlemine hangi noktadan başlayacaksa o nokta orjine alınır. Şekil 10.'da orijin sağ alt köşe olarak seçilmiştir. Yukarıdaki işlem yapıldıktan sonra makinenin bu çizimi okuyabilmesi için, Gerber çıktısının alınması gerekmektedir.



## Şekil 11. CAD-CAM Gerber Ayarları Görünümü

PCB yazılım programından Gerber sekmesine tıklanarak, CAD-CAM Output penceresinden

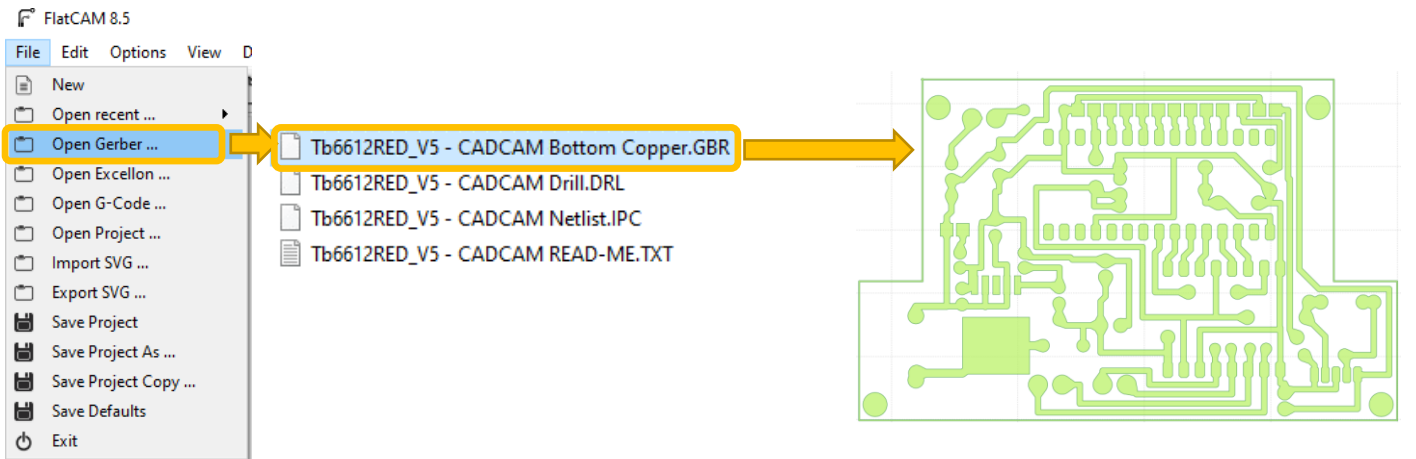
- Output to individual TXT files seçilerek, kodların txt sayfasına yazılması sağlanmalıdır.
- Bottom Copper check box'ı işaretlenerek, alt katmandaki yolların çizilmesi sağlanmaktadır.
- Edge Check Box'ı işaretlenerek, kart üzerindeki işlem bittiğinde edge çizgisi derin bir şekilde kazılarak kartın koparılması sağlanmaktadır.
- Drill Check box'ı işaretlenerek, makine tarafından otomatik olarak delinmesi gereken deliklerin kodları çıkarılmaktadır.
- Metric (mm) kısmı işaretlenerek, kodların mm cinsinden ölçülerinin çıkması sağlanmaktadır, yapılmış olan makine mm cinsinden kodları okumaktadır.
- Gerber Format → RS274X formatı seçilerek, bu formatta kodların alınması sağlanmaktadır.



Şekil 12. Gerber Dosyalarının Görünümü

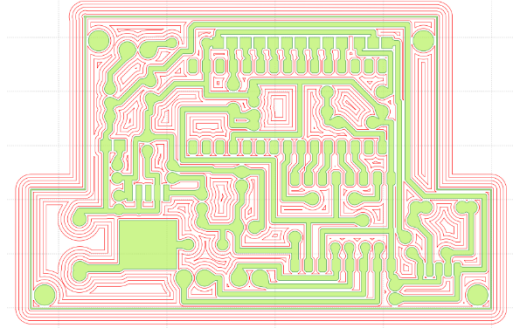
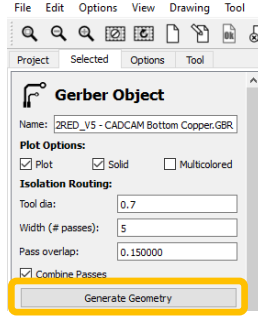
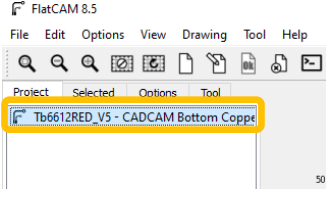
- GBR dosyası, PCB'nin yollarının çiziminin yapılacağı kodları içeren dosyadır.
- DRL dosyası, PCB'nin deliklerinin delineceği kodları içeren dosyadır.
- IPC dosyası, PCB'nin kenar çizgilerini temsil eden kodları içeren dosyadır.

Bu üç dosya kullanılarak, PCB'nin yolları, delikleri ve kenarları otomatik olarak makine tarafından işlenmekte ve çok kaliteli bir PCB elde edilmektedir. Bu aşamadan sonra ücretsiz bir yazılım olan FlatCAM yazılımı ile makinemizin işleyebileceği CAM kodlarının çıkarılması gerekmektedir.



Şekil 13. Gerber Kodunun Programdan Seçimi ve Çizimin FlatCAM Programında Görünümü

Şekil 13.'te FlatCAM 8.5 yazılımı ile Gerber dosyası kaynağından seçilmiş ve ekran görüntüsü PCB programında çizilen şekilde programda açıldığı görülmüştür.

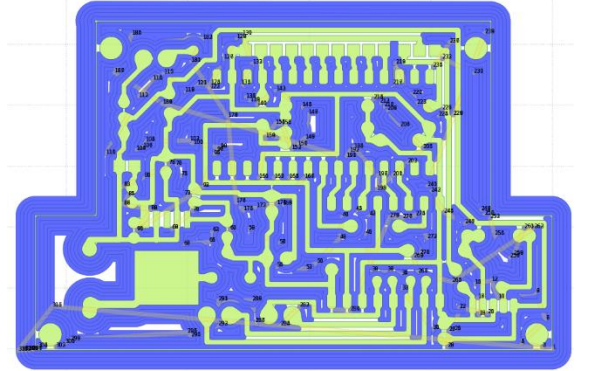
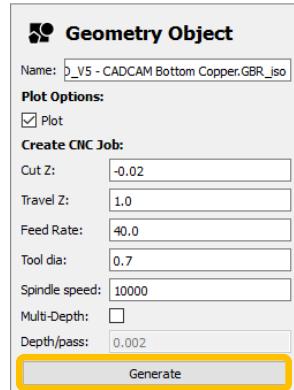
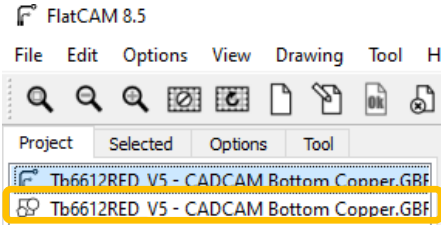


**Şekil 14.** Kazılacak Bölgelerin CAM Programında Gösterilmesi

Tool Dia Text Box'ına kazıma yapılacak ucun uç kalınlığı yazılmalıdır. Kullanılacak ucun kalınlığı 0.7mm olduğundan 0.7 değeri yazılmıştır.

Width (#passes) Text Box'ına bir tamsayı değeri girilmelidir. Bu değer 5 olarak girilmiştir, bunun anlamı 0.7mm'lik uç buradan 5 kez 0.7mm aralıkla geçerek çizilen yol ile ayrılması gereken bakır iletken arasındaki mesafenin  $0.7 \times 5 = 3.5\text{mm}$  olması sağlanmıştır. Bu değer ne kadar fazla girilirse üretim süresi o kadar uzarken, kartta lehim sırasında oluşabilecek kısa devre ihtimali o kadar düşmektedir.

Combine Passes Check Box'ı işaretlenip, Generate Geometry butonuna basıldığında yolların etrafında yapılacak olan kazıma işlemi programdan görülebilmektedir.



**Şekil 15.** Z Ekseni ve İlerleme Hızı Girilmesi İçin İlgili Görseller

Generate Geometry butonuna tıkladıktan sonra Project sekmesinde yeni bir gerber dosyamız oluşmaktadır. Bu dosyamıza tıklayarak, Z ekseni ile ilgili kazıma ayarları girilmektedir.

Create CNC Job başlığındaki Text Box'lara veriler girilerek Z ekseni ile yapılacak kazıma ayarları belirlenmektedir.

Cut Z: text Box'ına ucun ne kadar derinlikte kazıma yapılacağı girilmektedir. Yapılan denemeler sonucunda en iyi oranın -0.02 olduğu görülmüştür.

Travel Z: Text Box'ına her farklı yolu kazıma yapacağı zaman kalkması gereken mesafe girilmektedir. Bu değer fazla girilmesi süreyi uzatmaktadır. Denemelerde 1 değerinin en ideal olduğu görülmüştür.

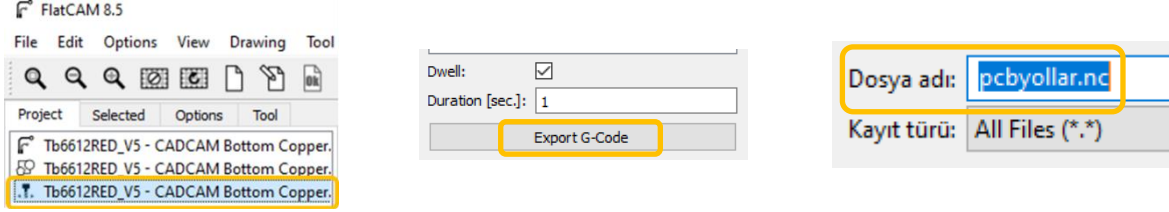
Feed Rate: Textbox'ına kazıma yapacak ucun ilerleme hızı yüzde değer olarak girilmektedir. Yapılan denemelerde %40 ile en iyi sonuçlar alınmıştır.



Tool dia Textbox'ına kazıma yapacak ucun kalınlığı girilmektedir. Ucumuzun kalınlığı 0.7mm olduğundan 0.7 değeri girilmiştir.

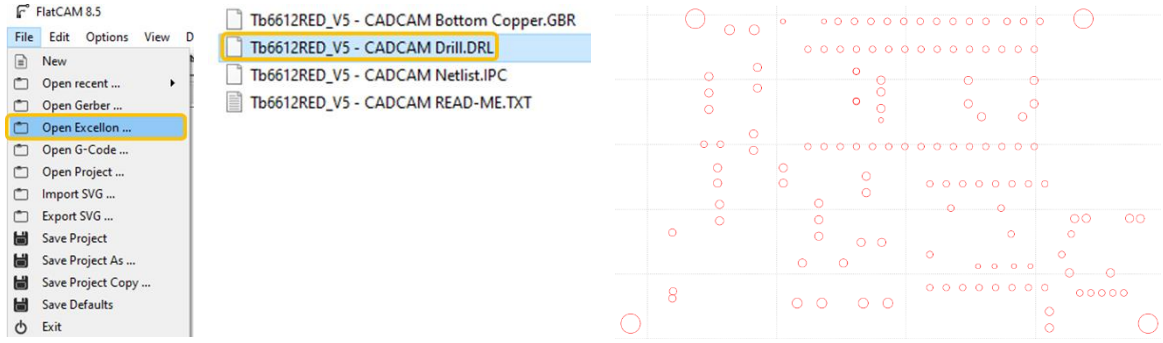
Spindle Speed Textbox'ına kazıma yapacak hızın dönme değeri girilmektedir. En ideal değer aralığı kartın malzeme yapısına göre 9.000 rpm ile 13.000 rpm aralığı olarak belirlenmiştir.

Generate butonuna tıklanarak, Z ekseninin yapacağı tüm işlemler ve ilerleme hızını da içeren dosya kodu üretiliyor.



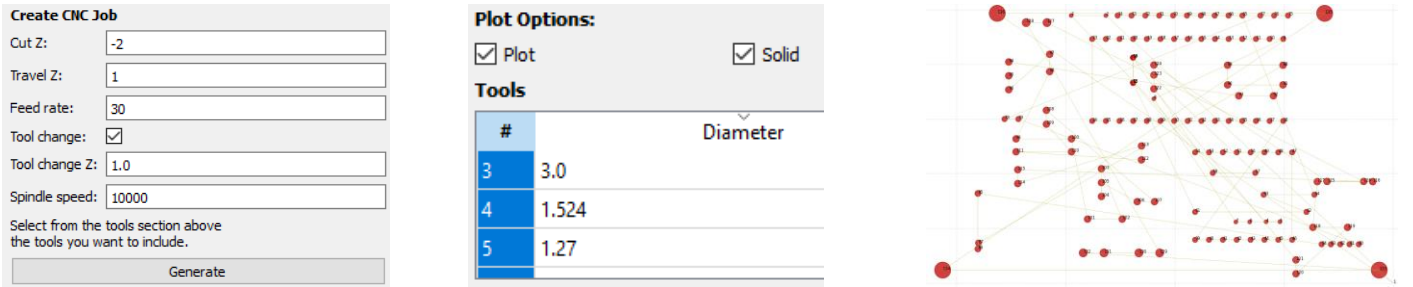
Şekil 16. Kazıma Makinesinin Okuyacağı Kazıma Kodlarının Elde Edilmesi

Şekil 16.'da gösterilen yöntem takip edilerek pcb kazıma makinesi tarafından işlenecek pcb yol kazıma nc kodları dosyası üretilmiştir.



Şekil 17. Delik Delme İşlemi İçin Dosyanın Açılmasının Gösterimi

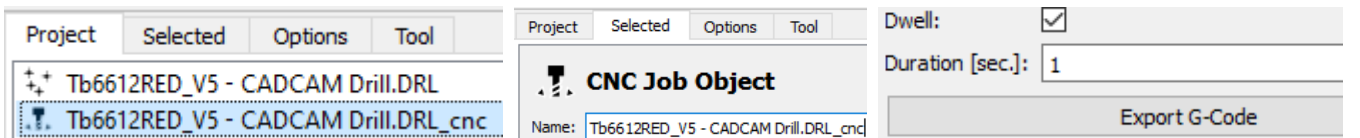
Delik delme dosyası şekil 17.'de belirtilen yöntem ile açılır. (Open Excellon → .DRL dosya seçimi )



Şekil 18. Delik Delme Ayarlarının Yapılması

Create CNC Job sekmelerinde “Cut Z:” ile delme ucunun pcb’nin yüzeyinden itibaren ne kadar aşağıya ineceği mm cinsinden belirlenir. “Travel Z:” ile her delikten sonra ucun kaç mm yukarı kalkacağı belirlenir, “Feed rate:” ile ucun Z ekseninde delme hızı belirlenir. “Tool change :” işaretli ise tüm deliklerin istenilen ölçüde delinmesi sağlanır, bunun için her delik çapı değişimde uç değiştirilmesi gerekmektedir. “Spindle speed :” spindle hızını belirtmektedir. Delik delmek için en ideal hız aralığı 10.000 olarak belirlenmiştir.

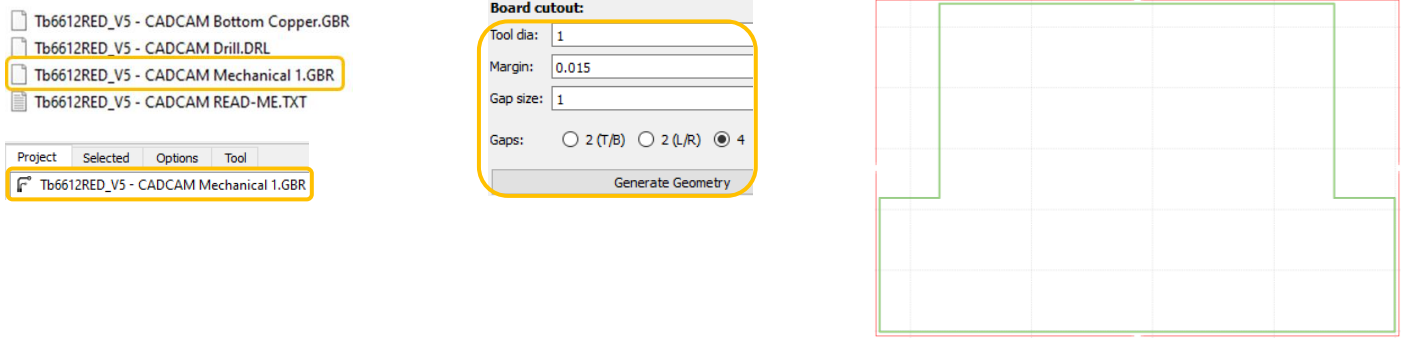
Plot Options : Penceresinde hangi uçları delmek istiyorsanız “#” sütunundan seçmeniz gerekmektedir.



Şekil 19. Delik Delmek İçin G-Code Çıkarılması



Şekil 19.'da deliklerin makineye uygun G-Code çıkarma yöntemi gösterilmiştir. Projemiz “.nc” uzantısı eklenerek kaydedilmesi gerekiyor.



Şekil 20. PCB Çevresini Kesmek İçin Kullanılan Yöntem

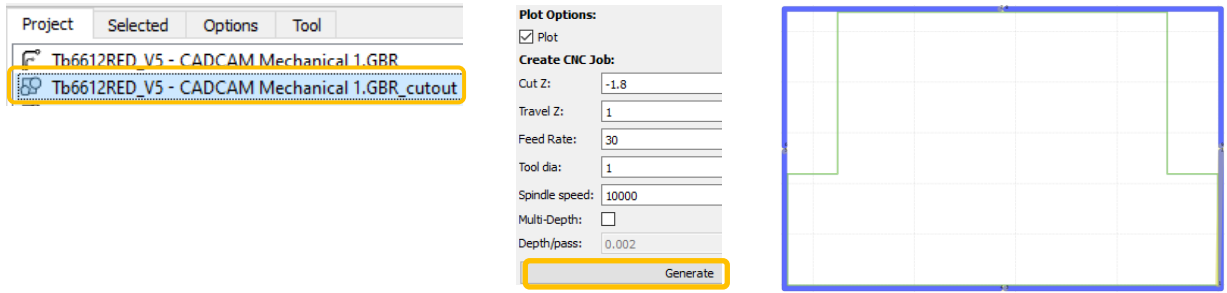
Şekil 20.'de PCB'yi makineden sadece işlenen bölümü almak için kullanılan çevre kazıma yöntemi anlatılmaktadır.

Tool dia: PCB'yi kazıyacak ucun kalınlığını temsil etmektedir. Kullanılan uç 1mm ile 3mm arasında değişmektedir.

Margin: Kazıyıcı ucun çizilen noktadan kaç mm uzakta işe başlaması gerektiği mesafe boyu girilmektedir. Bu değer sıfıra çok yakın bir değer olması gerekmektedir.

Gap size: Plaketin dış tarafı kesildikten sonra rahatça elle kırılıp alınabilmesi için plaketin köşelerinde çeltik bırakılmaktadır. Bu çeltiğin mesafesi bu bölüme girilmektedir. Eğer bu 5'ten büyük bir değer girilirse plaketin kopması çok zor olmaktadır bu nedenle dikkat edilmelidir.

Gaps: Bölümünde çeltik sayısı seçilmektedir. Denemelerde en iyi sonuç 4 seçilerek alınmıştır.



Şekil 21. Çevre Kazıma Uç Ayarlarının Yapılması

Cut Z: Kazıma ucunun yüzeyden derinliği girilmektedir. Kartımızın kalınlığı 1.6 mm civarında ise 0.2 daha derin girmesi sağlanarak kartımızın tamamen kesilmesi sağlanabilir.

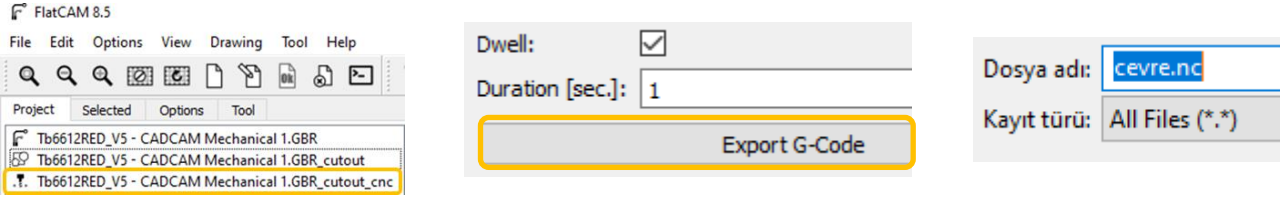
Travel Z: Ucun havada hareket etmesi gereken durumlarda, pcbnin yüzeyinden ne kadar yukarıda hareket etmesi gerektiği mesafe girilecektir. 1mm yeterli bir mesafe olmaktadır.

Feed Rate: Kazıma yaparken ilerleme hızının yüzde kaç olacağı girilmektedir. Kazıma için %30 en ideal hız olarak belirlenmiştir.

Tool dia: Kullanılan kesme ucunun çapı girilmektedir. En ideal kalınlık seviyesi 1mm olarak tespit edilmiştir.

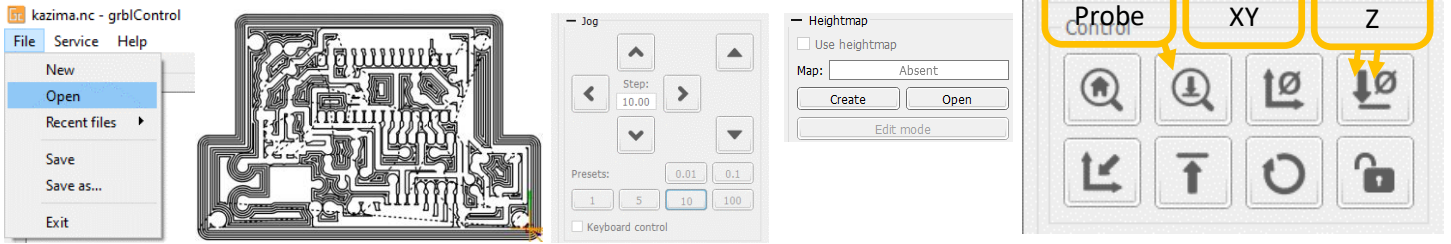
Spindle Speed : Kesme yapılırken milin dönme hızının girildiği text box'dır. 10.000 rpm en ideal değer olarak tespit edilmiştir.

Generate : Girilen değerlere göre çizimde görsele olacak işlem yansıtılır.



Şekil 22. Çevre Kazıma Dosyasının Kaydedilmesi

Tüm G-Code'ları çıkarıldıktan sonra yapılması gereken işlem ücretsiz bir yazılım olan grblControl yazılımı ile makinenin bunları çalıştırmasını sağlamaktır.

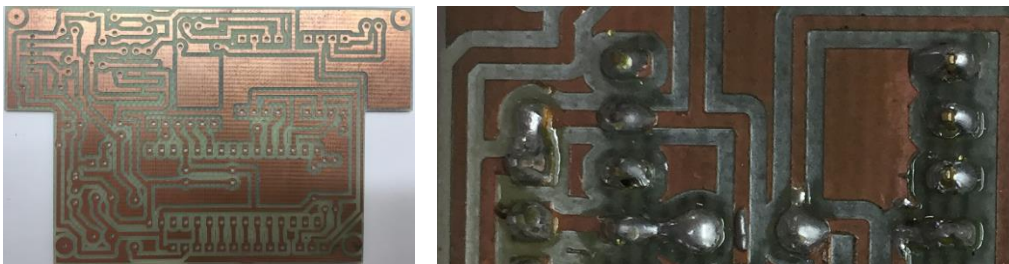


Şekil 23. grblControl Yazılımı ile Kazıma İşleminin Başlatılması

Elde ettiğimiz “.nc” uzantılı üç dosyamızdan ilk önce kazıma işlemi bilgilerini içeren dosyamızı açıyoruz. Daha sonra “Jog” bölümünde yer alan oklar ile kazıyıcımızı manuel olarak kontrol edip, kazıma işleminin başlamasını istediğimiz noktaya çekiyoruz. Ardından “Zero XY” ikonuna basıp, XY koordinatını sıfırlıyoruz. İkinci aşama olarak iş yapacak olan kazıyıcı ucun bakır plaka yüzeyine değerek sıfırlama yapılması gerekmektedir. Bu işlemi proje otomatik olarak gerçekleştirmektedir. Z probe ikonuna basıldığında probe otomatik olarak plakete değdiğini, sıfırlama probu sayesinde anlamakta ve plaketin yüzeyine değdiği an durmaktadır. Bu aşamadan sonra Zero Z ikonuna tıklanarak, Z ekseninde sıfırlama işlemi gerçekleştirilmektedir. Üçüncü aşama olarak yüzeyin haritalaması çıkarılmakta ve bu yöntem ile farklı noktalardaki yükseklik farkı tespit edilerek, kazıma işleminin en iyi düzeyde olması sağlanmaktadır. Bu işlemi “Heightmap” penceresinden “Create” butonuna tıklanarak yapılmaktadır. Açılan pencerede X ve Y taraması için 5 x 5 yazılması tüm kart boyutları için yeterli olmaktadır. 5 x 5 yazılarak 25 noktanın yüksekliği belirlenmektedir. Daha ayrıntılı ve çözünürlüğü yüksek kazıma işlemi yapılması için sayı değeri yükseltilebilir.

## 5. Sonuç ve Tartışma

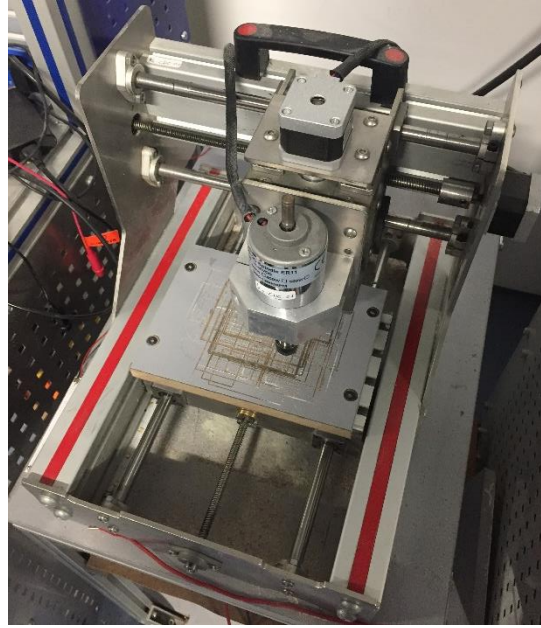
PCB makinesi bittikten sonra onlarca kart üretimi yapıldı ve ergitme yöntemi kullanarak sıklıkla yaşadığımız kısa devre problemlerinin hiçbiri yaşanmamıştır. Prototip PCBlerin kalitesi ergitme yöntemine göre çok iyi durumdadır. Ayrıca ergitme yönteminde ortaya çıkan zararlı gaz gerekli önlemler alınmadığında akciğere zarar vermektedir. Bu makine ile bu zararlı durumda ortadan kalkmıştır.



## Şekil 24. PCB Makinesinde Üretilen PCB Görselleri

Şekil 24.'te yöntem kısmında anlatımı yapılan PCB kart yapılan makine ile üretilmiştir. Sonuç ergitme yöntemine göre mükemmel seviyededir. Yollar çok net ayrıldığından lehim yaparken ortaya çıkan kısa devre problemleri de yaşanmamaktadır.

Projenin toplam maliyeti 27.12.2019 tarihindeki kura göre yaklaşık 920 ₺ 'dir. Yurtdışında satılan muadil modelinin alınmış olan teklife göre 56.600 ₺ civarındadır. Yurtdışından alınacak bir ürün yerine yaklaşık 61 tane makine yapılabilir ve bu projede yapılan makine haritalama yöntemine sahip olduğu için muadili olan Alman patentli makineden daha kaliteli PCB prototipler üretilmiştir.



Şekil 25. Projenin Bitmiş Halinin Fotoğrafi

## 6. Öneriler

Proje daha da geliştirilip, kendi yazılımları yerli ve milli yapılarak yurtiçine ve yurtdışına satışı yapılabilir. Piyasada hem özellikleri hem de maliyeti sebebiyle çok satılacak bir üründür.

PCB prototip üretimi elektronik endüstrisinin vazgeçilmez bir aşamasıdır. Her elektronik ar-ge'nin sonunda bir PCB üretilip gerçek ortamda denenmesi gerekmektedir. Bu nedenle bu makine devlet tarafından desteklenip ülkedeki tüm PCB prototip üretimi yapan ar-ge firmalarına, bu konuda eğitim veren eğitim kurumlarına ucuz fiyatlara mal edilip bu üretimi yapmaları sağlanabilir. Dolayısıyla elektronik ürünler konusunda birçok kobi şirket üremesine bu durum vesile olabilir.

## 7. Kaynaklar

<https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardSerialSingleSided3> 16.05.2019 Tarihinde erişilmiştir.

<https://www.candorind.com/how-to-turn-an-arduino-prototype-into-a-pcb/> 20.01.2019 Tarihinde erişilmiştir.

J.M. Hughes (2016). Arduino a Technical Reference. Retrieved from

<https://books.google.com.tr/books?id=7oMpDAAAQBAJ&pg=PA609&lpg=PA609&dq=arduino+pcb+code&source=bl>

<https://circuitdigest.com/microcontroller-projects/arduino-cnc-machine-project-code> 06.06.2019 Tarihinde erişilmiştir.

20