



# ELEKTRİK-ELEKTRONİK FAKÜLTESİ

## ÇOK DİSİPLİNLİ TASARIM PROJESİ

### SONUÇ RAPORU

<b>Proje Başlığı:</b> Üç Eksenli Robot İle İki Boyutlu Nesnelerin Sınırları Belirli Bir Alana Yerleştirilmesi			
<b>Proje Sonuç Raporu Teslim Tarihi:</b>			
No	Proje Ekibi Ad, Soyad	Bölüm (ELM/EHM/BLM/KOM)	İmza
1	Emre Bülbül	BME	
2	Emre Can Tuluk	ELM	
3	Eren Okumuş	EHM	
4	Barış Bakım	BLM	
5	Hakan Adıyaman	BLM	
6	Ataberk Özdemir	KOM	
7	Fatmanur Ata	KOM	
Danışman	Dr. Öğr. Üyesi Said Mirza TERCAN	ELM	

05/01/2024

## ÖNSÖZ

Günümüzde, endüstriyel süreçlerin verimliliği ve kaynak kullanımının etkinliği giderek artan bir öneme sahip olmaktadır. Bu bağlamda, işletmelerin üretim ve depolama süreçlerinde en optimize edilmiş çözümleri benimsemeleri hem ekonomik hem de çevresel açıdan sürdürülebilir bir başarı elde etmelerine yardımcı olabilir. Bu kapsamda, iki boyutlu bir alana iki boyutlu etiketlerin veya paketlerin en verimli şekilde yerleştirilmesini hedefleyen bu proje, modern endüstriyel ihtiyaçlara uygun çözümler geliştirmeyi amaçlamaktadır. Üç eksenli robotlar, insan hatasını azaltarak güvenilirliği artırma ve üretim süreçlerini hızlandırma potansiyeline sahiptir. Projemizin bu konudaki ana hedefi robot teknolojisinin sahadaki uygulamalarını araştırmak ve genişletmektir.

Bu projenin başarı ölçütleri, belirli bir alandaki etiket yerleştirme verimliliği ve kesim/çizim işlemlerinin hatasız bir şekilde gerçekleştirilmesidir. Aynı zamanda, depolama alanının etkili bir şekilde kullanılması, kaynakların verimli kullanılması ve sürdürülebilir bir yaklaşımın benimsenmesi, projenin ana hedeflerindendir. Ayrıca bu çalışma, endüstriyel süreçlerde yenilik yaklaşımında olan çalışmaları bilgi ile buluşturmayı amaçlamaktadır. Projenin başarılı bir şekilde uygulanması, endüstriyel sektördeki optimizasyon çabalarına katkıda bulunacaktır.

Bu projenin önsöz bölümü, çalışmanın genel bağlamını ve önemini vurgulamak için kaleme alınmıştır. İlerleyen bölümlerde, projemizin metodolojisi, kullanılan teknolojiler, elde edilen sonuçlar ve bu sonuçların endüstriyel süreçlere olan potansiyel etkileri ele alınacaktır.

## ÖZET

### Proje Özeti

Gerçekleştirilen proje, iki boyutlu bir alana iki boyutlu etiketlerin veya paketlerin en verimli şekilde yerleştirilmesinin optimizasyon sürecini içerir. Bu projede nesnelerin belirli bir alandaki kesim veya çizim işlemlerini yapan 3 eksenli bir robot tasarımı yapılmıştır. İlk olarak literatür taraması yapılarak optimizasyon yöntemleri belirlenmiştir. Belirlenen yöntemler, genetik algoritma ve aşağı sol algoritması gibi optimizasyon yöntemleridir. Bu optimizasyon sonuçları kullanılarak 3 eksenli robot tasarlanmıştır. Mekanik tasarım step ve servo motorlar kullanılarak gerçekleştirilir. Arduino Uno geliştirme kartı ve CNC shield entegre devresi, motor kontrolünü sağlamak için kullanılmıştır. GRBL'nin Arduino için yazılmış kütüphaneleri bu kontrol işlemlerini kolaylaştırmıştır. Projede başarı ölçütü, belirli bir alandaki etiketlerin yerleştirme verimliliği ve kesim/çizim işleminin hatasız bir şekilde gerçekleştirilmesidir. Bu projede, depolama alanının en iyi şekilde kullanılması, kaynakların verimli kullanılıp kullanıcıya ekonomik tasarrufların sağlanması, kaynak israfının önlenmesi ile sürdürülebilir bir yaklaşımın kazanılması aynı zamanda taşıma maliyetlerinin azaltılıp karbon ayak izi miktarının düşürülmesine yardımcı olmak hedeflenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Paketleme, Ardunio Uno, CNC, Aşağı Sol, Genetik Algoritması

## 1. GİRİŞ

Projenin ilk aşamasında, önceden belirlenmiş sınırlara sahip olan iki boyutlu bir alanda, iki boyuta sahip etiketlerin veya paketlerin mümkün olduğu kadar az boş alan bırakacak şekilde yerleştirilmesi hedeflenmektedir. İkinci aşamada ise üç eksenli bir robotik tasarım geliştirilecektir. Bu tasarım, sınırlı bir alana yerleştirilen etiketlerin kesme işlemini gerçekleştirecektir. Bu aynı zamanda sınırlandırılmış iki boyutlu alana paketlerin optimum olarak yerleştirilmesi problemi olarak da düşünülebilir.

Bu amaç doğrultusunda literatür taraması yapıp optimizasyon yöntemimiz belirlenip, bu yöntem ile birlikte gerekli yazılım geliştirilip, yerleştirme işlemimiz gerçekleştirilecektir. Amacımız literatürdeki projelerin boşta kalan alanlarının yüzdelik mertebeleri ile değerlendirilmesinden daha iyi bir sonuç elde etmektir. Daha sonra 3 eksenli robotun tasarımı ve elektriksel donanımı gerçekleştirilecektir. Bu robot, belirli bir alandaki etiketlerin kesim veya çizim işlemlerini gerçekleştirebilmek için gerekli hassas hareketleri yapabilecek şekilde tasarlanacaktır. Son olarak, üç eksenli robot, kesim veya çizim işlemlerini gerçekleştirebilmek için gereken gömülü sistem yazılımı ile donatılacaktır.

Geliştirilen bu proje, depolama alanını en iyi şekilde kullanmayı sağlar aynı zamanda ekonomik kaynakların verimli kullanımını teşvik ederek maliyeti azaltma hedefi taşır. Etiketlerin çizilmesi veya kesilmesi işlemlerinde optimizasyon kullanılması kullanıcıya ekonomik tasarruflar sağlar. Optimal yerleştirme, alanın etkili bir şekilde kullanılmasını hedeflediği için kaynak israfını da engeller. Kaynak israfının engellenmesi çevresel açıdan sürdürülebilir bir yaklaşımdır. Azalan taşıma maliyetleri ve harcanan enerjinin de azalması karbon ayak izinin azaltılmasına katkı sağlar. Projedeki kesim ve çizim işlemlerini optimize etmek işçilerin çalışma ortamlarının güvenliğini artırarak işçilerin iş yükünün azaltılmasına katkı sağlar.

Genel anlamda projemiz, üç eksenli bir robot kullanarak belirli bir alandaki iki boyutlu nesneleri en az yer kaplayacak şekilde düzenlemeyi amaçlamaktadır. Bu düzenlemeyi yaparken, güvenliğin, verimliliğin ve kullanılabilirliğin tüm önemli koşulları gözetilir. Hedef, bu süreci etkili ve güvenli şekilde gerçekleştirebilen ürün tasarlamaktır.

Bu proje, ileride daha fazla geliştirme ve iyileştirme potansiyeline sahiptir ve amaçlarımızdan birisi de gelecekte yapılabilecek çalışmalara örnek oluşturup literatüre katkı sağlamaktır.

## 2. GEREÇ, YÖNTEM VE YÖNETİM DÜZENİ

Yöntem kısmında probleme ait çözüm yaklaşımı iki alt bölümde incelenmiştir.

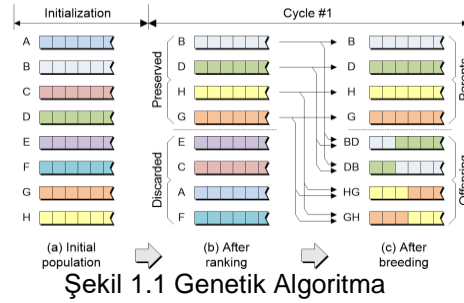
### 1. 2 Boyutlu Nesnelerin Sınırları Belirli Bir Alana Yerleştirilmesi

Stok kesme probleminde genelde iki aşamalı çözüm yöntemi geliştirilmiştir. Birinci aşamada yerleştirilecek olan stok malzemesinin sırası belirlenir. İkinci aşamada ise kullanılacak olan yerleştirme algoritmasına göre bu malzemeler ana stok malzemesine yerleştirilir. Problemin çözümü için birinci aşamada genetik algoritma, ikinci aşamada ise aşağı sol algoritması kullanılacaktır.

#### Genetik Algoritma

Genetik algoritma, John Holland tarafından 1970'lerde Michigan Üniversitesi'nde geliştirilen bir arama yöntemidir. Doğadaki evrim süreçlerinden esinlenen bu algoritma, problem çözme ve modelleme konularında klasik optimizasyon algoritmalarından farklı bir yaklaşım sunar. Genetik algoritmalar, popülasyon tabanlı bir yaklaşım kullanır ve her nesilde çaprazlama ve mutasyon işlemleri uygulayarak yeni nesiller oluştururlar. Bu algoritmada, her kromozom bir çözümü temsil eder ve uyum fonksiyonu, her kromozomun kalitesini değerlendirir. Genetik algoritmaların tasarımında popülasyon büyüklüğü, durma koşulları gibi faktörler kritik öneme sahiptir. Bu algoritma üç temel genetik operatör kullanır: yeniden üretim, çaprazlama ve mutasyon.

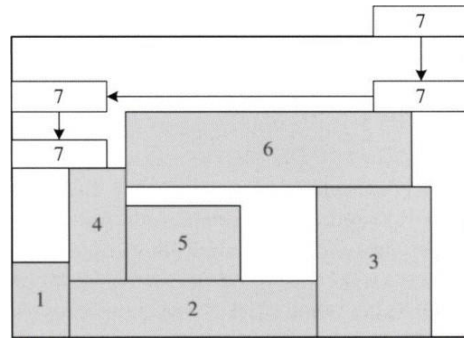
Yeniden üretimde, çözümler kromozomlara dönüştürülür, çaprazlama ebeveynlerden yeni nesil üretirken, mutasyon rastgele değişiklikler ekler. Genetik algoritmanın başarısı, problem türüne uygun kodlama yöntemlerinin seçilmesi ve uyum fonksiyonunun etkili kullanılmasına bağlıdır. Bu algoritma, en iyi çözümü garanti etmez, bu nedenle belirli durma koşulları belirlemek gerekir. Çaprazlama ve mutasyon operatörleri, popülasyon içinde çeşitliliği artırarak daha iyi çözümler elde etmeyi amaçlar.



### Aşağı Sol Algoritması

Aşağı Sol Algoritması (BL Algoritması), Jakobs tarafından geliştirilmiş bir yerleştirme algoritmasıdır. Bu algoritma, stok malzemesini başlangıçta ana malzemenin en alt sol köşesine yerleştirir ve daha sonra kesilecek parçaları sırayla yerleştirir. İşleyiş adımları aşağıdaki gibidir: İlk olarak, büyük dikdörtgenin boyutları (L ve W) ve küçük dikdörtgenlerin boyutları ( $w_i$ ,  $l_i$  ve  $k_i$  adeti) belirlenir. Ardından küçük dikdörtgenler rasgele veya belirli bir sıralamaya göre sıralanır. Bir sayaç (i) başlatılır. Stok malzemesi, öncelik sırasına göre ilk küçük dikdörtgenin sol alt boş köşesine yerleştirilir ve bu konumda yerleştirilip yerleştirilemeyeceği kontrol edilir. Eğer yerleştirilebiliyorsa, dikdörtgen bu alana yerleştirilir ve sayaç (i) artırılır. Eğer sayaç (i), kutu sayısına eşit veya küçükse, işlem tekrarlanır. Aksi takdirde işlem sona erer.

BL algoritması ile hesaplanan yerleşim planları, n adet parça için en fazla  $2n.n!$  kadar olabilir. Örneğin,  $n=15$  için en fazla  $2^{15} * 15! = 1,307,674,368,000$  yerleşim planı olabilir. Bu, problem karmaşıklığını ve arama uzayının büyüklüğünü vurgular. BL algoritmasının hesapsal karmaşıklığı  $O(n^2)$  olarak ifade edilir.



Problemin çözümü için dikdörtgenlerin yerleştirilme sıralamaları genetik algoritma ile rastgele belirlenmiştir. Bu belirlenen sıralara göre belirli sayıda listelere alınırlar. Bu listelerdeki dikdörtgenlerin yerleştirilmesi için Bottom Left algoritması kullanılır. Kâğıdın her bir santimetrelilik karesel alanı için 21x29 olacak şekilde bir matris oluşturulur. Matrisin tüm gözleri 0 ile doldurulur. 0, boş alanı temsil etmektedir. Daha sonra Bottom Left ile elde edilen sonuca göre yerleştirilen dikdörtgenler başta belirlenen index numaralarına göre yerleştirilir. Örneğin 1. dikdörtgen 4x3 lük bir alan kaplıyorsa matriste yerleştirildiği alan 1 sayıları ile doldurulur. Bu matristeki en büyük kesintisiz boş alanın tüm boş olan alana oranı verimlilik değerini verir. Bu işlem her liste için tekrarlanır. İstenilen verimlilik değeri elde edilemediyse en yüksek verimlilik değerine sahip neslin en başarılı iki örneği alınır ve bu dikdörtgenlerin sıra numaraları arasında çaprazlama ve mutasyon işlemleri gerçekleştirilir. Bu işlemler sonucu oluşan yeni neslin örneklerine benzer yeni örnekler oluşturulur ve işlemler istenilen eşik değere ulaşana kadar tekrarlanır.

### 2.3 Eksenli Robot'a optimum çıktının çizdirilmesi

Tasarlanan yazılımsal işlemler sonucunda alınan çıktının matris şeklinde olması planlanmaktadır. Örnek matris şekil 2.1'de gösterilmiştir

1	1	1	2	2	0	3	3	3
1	1	1	2	2	0	3	3	3
1	1	1	2	2	0	3	3	3
7	6	6	6	6	0	3	3	3
7	6	6	6	6	0	3	3	3
7	6	6	6	6	5	3	3	3
7	8	8	8	0	5	4	4	0
7	8	8	8	0	5	4	4	0
0	0	0	0	0	5	0	0	0

Şekil 2.1 Örnek matris çıktısı

İlk aşamada kalem sayfanın sol üst köşesine getirilir. Yazılım tasarımının çıktısı olan matrisin en sol üst köşesinden başlayarak 1 indisine ait dikdörtgen aranmaya başlar. Bu işlem devam ettiği sürece kalem çizme işlemi gerçekleştirilmeden matrisin 1 olmayan her bir değeri için sayfa üzerinde ilerler. 1 rakamını bulduktan sonra ise matrisin 1 yazan elemanları boyunca çizgi çizer ve sınırlarını belirler. Bu işlem tüm dikdörtgenler için tekrarlanır

1	1	1	2	2	9	3	3	3
1	1	1	2	2	9	3	3	3
1	1	1	2	2	9	3	3	3
7	6	6	6	6	9	3	3	3
7	6	6	6	6	0	3	3	3
7	6	6	6	6	5	3	3	3
7	8	8	8	0	5	4	4	0
7	8	8	8	0	5	4	4	0
0	0	0	0	0	5	0	0	0

Şekil 2.2 Çizim yapılmış matris çıktısı

Sonuç olarak renkli dikdörtgenler ile belirtilen Şekil 2.2'deki matris çıktısına tüm numaralar için çizim yapılır. 0'lara ise çizim yapılmaz. Böylece kâğıt üzerindeki sınırlı alana dikdörtgenler çizilmiş olur. Bu aşamadan sonraki aşama mekanik sisteme sonuç çıktısını çizdirmektir.

Proje gereksinimleri kapsamında 20cm x 20cm alana aldığımız çıktı doğrultusunda çizim yapması istenen bir robotik donanım tasarlanması istenmektedir. Robotik donanımlar, birçok parçadan oluşan elektro-mekanik bir sistemdir. Böyle bir sistemde hareket, mekanik yapıyla tahrik ve kontrolü sağlayan elektrikli parçalarla sağlanır.

Proje kapsamında robotik işlemlerle bir çizim yapılması gerekmektedir. Bu çizim bünyesinde mekaniksel bir tasarım, tasarlanan aksamın içine hareketli motorlar ve son olarak motorları istendiği şekilde hareket ettirmek için mikrodenetleyici ve motor sürücü kartları genel gereksinimler olarak belirlenip bu gereksinimler doğrultusunda malzemeler temin edilmiştir.

Temin edilen malzemeler çizim için uygun bir biçimde birleştirilip montajı yapılmıştır. Yapılan montaj sonucu ortaya çıkan çizim robotu Şekil 2.3'te görülmektedir.



Şekil 2.3 Çizim Robotu

Bu mekanik tasarımdaki motorların X ve Y eksenleri doğrultusundaki hareketleri step motorlarla sağlanmıştır. Step motorlar, hassas hareket kontrolüne ve konum tutma yeteneğine sahip olduklarından projedeki düzlemsel hareketleri en iyi karşılayacak motorlar olduğu kararlaştırılmıştır.



Şekil 2.4 Step Motor

Mekanik tasarımın Z eksenindeki hareketi ise servo motorlar ile sağlanmıştır. Bu ekseninde yapılacak hareketin kalem sadece yukarı ve aşağı hareket ettirmesi gerekmektedir. Dolayısıyla servo motor bizim isteklerimize en iyi cevap verecek motor olarak kararlaştırılmıştır.



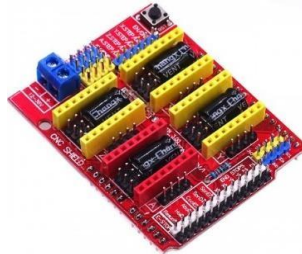
Şekil 2.5 Servo Motor

Montajı tamamlanan mekanik aksam Arduino Uno geliştirme kartı kullanılarak düzlem üzerindeki çizim işlemini gerçekleştirmektedir. Arduino Uno, İtalyan mühendisler tarafından geliştirilen açık kaynaklı bir elektronik geliştirme kartıdır. Üzerinde ATmega328 mikrodenetleyicisi bulunur ve 14 dijital giriş/çıkış pinine, 6 analog giriş pinine, 32KB Flash belleğe ve 16 MHz hızında işlem yapabilme yeteneğine sahiptir.



Şekil 2.6 Arduinio Uno

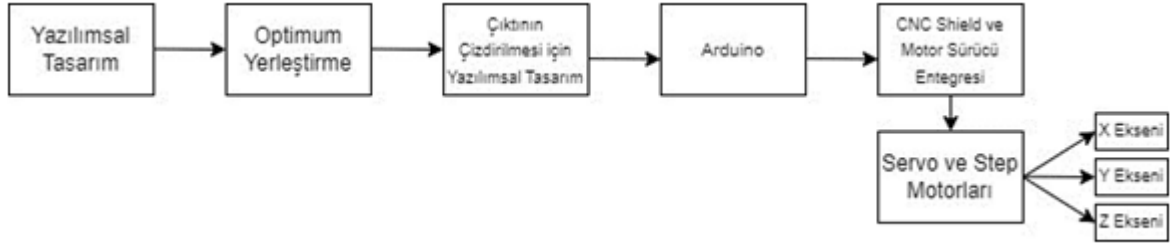
Arduino uno mikrodenetleyicisi ile birlikte mekanik tasarımdaki motorları kontrol edebilmesi için Şekil 2.7'de gösterilen ve arduino uno ile uyumlu çalışan bir CNC shield entegresi kullanılmıştır.



Şekil 2.7 CNC Shield

CNC Shield entegre devresi toplamda 4 adet step motor sürme kabiliyetine sahiptir. Ayrıca Z eksenindeki hareket için kullanacağımız servo motor yine bu kart ile kartın üzerine takılan motor sürücü entegresi ile kontrol edilebilmektedir. Kartın açık kaynaklı CNC kontrol yazılımı GRBL ile uyumludur. GRBL, step motorları ve iş millerini kontrol eden arduino panelleri için bir ürün yazılımıdır. GRBL giriş olarak gcode kullanır ve arduino pinleri üzerinden sinyaller verir.

Kurulan sistemi genel hatlarıyla anlatan blok diyagram Şekil 2.8’de gösterilmiştir.



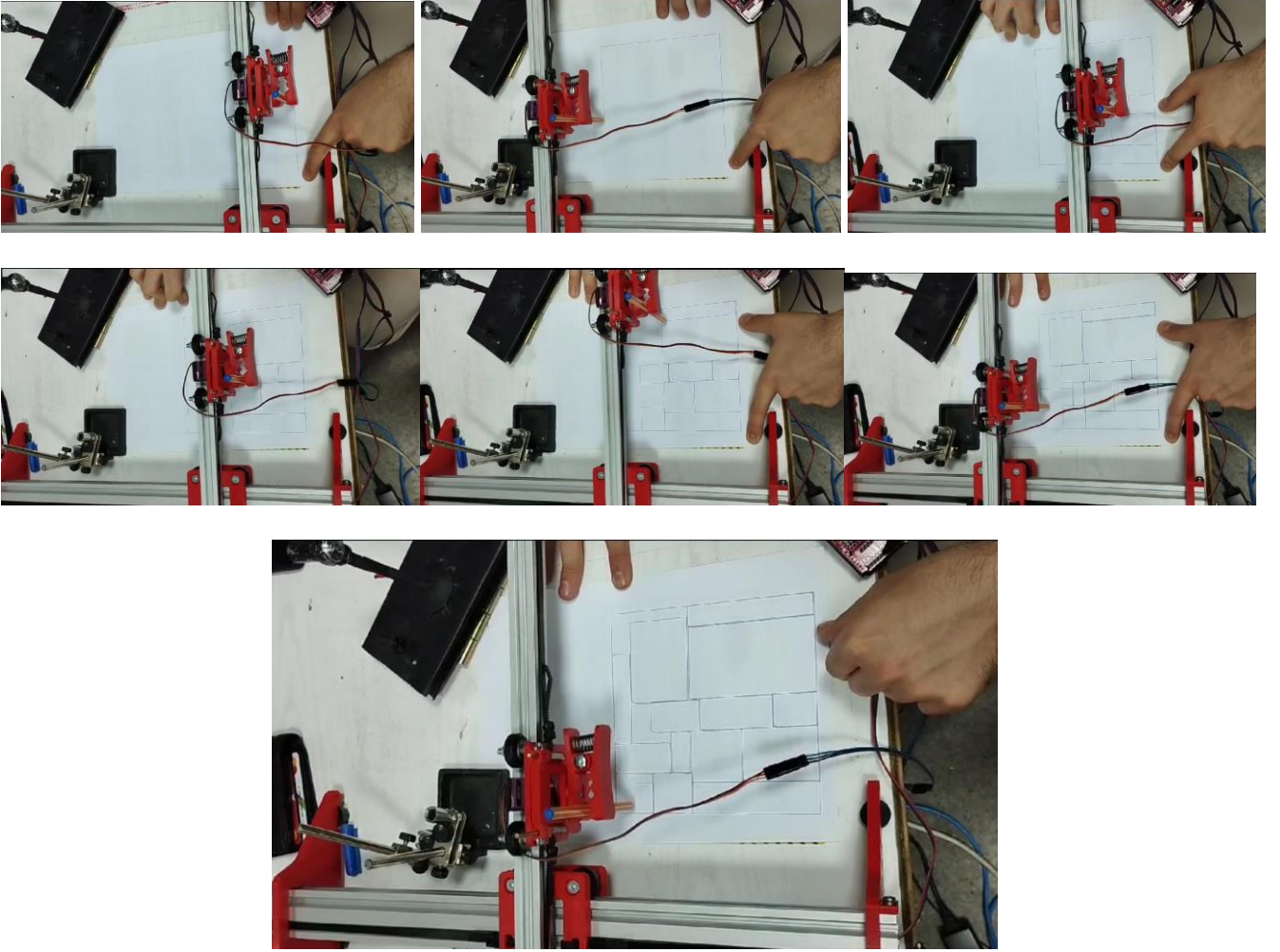
Şekil 2.8 Sistemin Blok Diyagramı











Bu çizdirme C1\_1 veriseti için ve bir A4 kağıda yapılmıştır.

Proje, optimizasyon kullanarak depolama alanının en iyi şekilde kullanılmasını sağlamakla kalmayıp, ekonomik kaynakların verimli kullanımını teşvik ederek maliyetleri azaltma hedefini de taşımaktadır. Etiketlerin çizilmesi veya kesilmesi işlemlerinde kullanılan optimizasyon, kullanıcıya ekonomik tasarruflar sağlamaktadır. Optimal yerleştirme, alanın etkili bir şekilde kullanılmasını hedefleyerek kaynak israfını önlemekte ve çevresel sürdürülebilirliği desteklemektedir.