

3D PRINTER İLE HIZLI PROTOTİPLEME

Dr. Öğr. Üyesi Sinan Başaran

Bilecik-2019

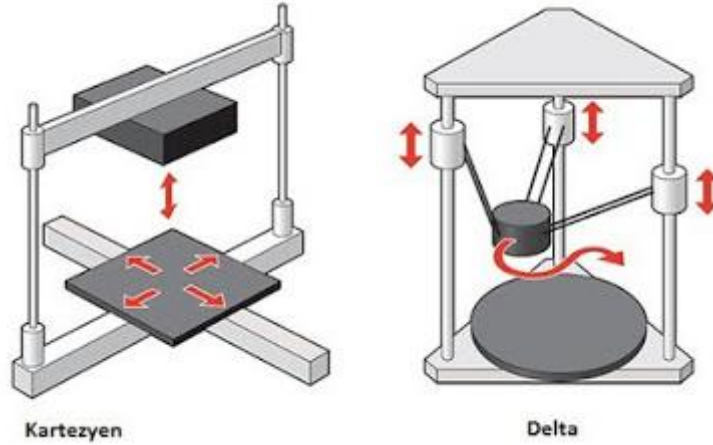
1. Motivasyon

Hızlı prototipleme, bilgisayarda hazırlanan üç boyutlu CAD çizimlerinden direkt olarak elle tutulur fiziksel modeller elde etmemizi sağlayan imalat teknolojisidir. Hızlı prototipleme cihazları vasıtasıyla bilgisayarda çizimi yapılmış her türlü ürünün birebir modelini saatler içerisinde elde etme imkânı doğmuştur. Hızlı prototipleme cihazları kendi içerisinde farklılıklar göstermekle beraber çalışma prensipleri aynıdır. Bu yöntemde fiziksel modeller tabandan başlayarak katman katman yüzeylerin üst üste eklenmesiyle oluşturulur.

3D printer işlemine aynı zamanda eklemeli üretim (additive manufacturing) de denir. Bu terim, bu teknolojinin nesnelere oluşturmak için nasıl çalıştığını tam olarak açıklar. Kullanılan hammadde, bir nesne oluşturmak için 10 ila 200 mikron arasında değişen ince tabakaların art arda eklenmesini ifade eder. Aslında, tüm 3D baskı teknolojileri, karmaşık şekiller oluşturmak için katman bazında bir nesne katmanını oluşturdukları için benzerdir.

1.1. 3D Printer

Kartezyen 3D printerler Kartezyen koordinat sistemini kullanırlar yukarı aşağı, sağa sola, öne arkaya olarak (X-Y-Z düzlemlerinde) hareket ederler. Bu sistem bir nesneyi a noktasından b noktasına götürmek için en kolay yoldur. Çünkü her düzlemde düz bir çizgi izlenir. Bu tip yazıcılarda ekstruder ve tabla hareket eder. Özellikle tablanın ileri geri hareket ettiği sistemlerde ürün kalitesinde düşme gözlenebilir. Tablanın Z ekseninde hareketli olması (aşağı doğru hareket etmesi) daha kaliteli sonuçlar verir.



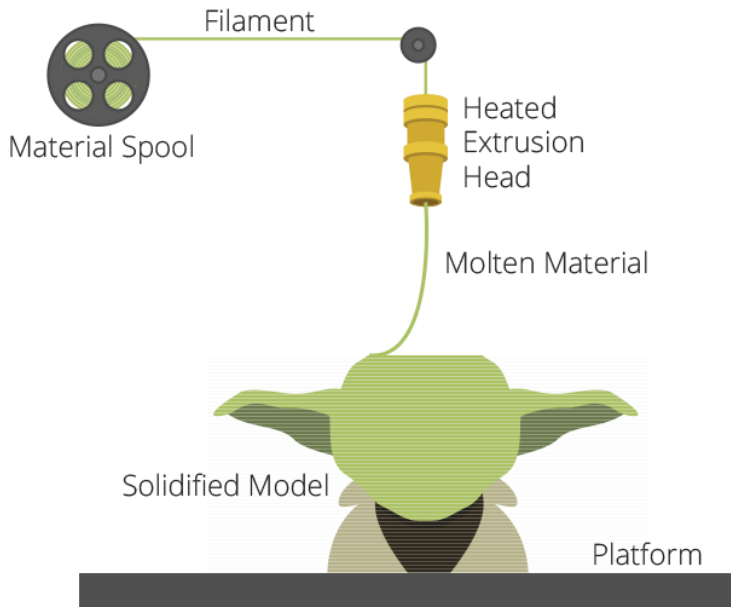
Delta tip 3d yazıcılar delta robot konseptine göre çalışırlar. Delta robotların endüstride birçok kullanım alanı vardır. Bu robotlar özellikle küçük ve hafif objeler ile yapılan çalışmalarda kullanılırlar. 3 kolu bulunan bu tipler bir başlıkta birleşirler ki 3 boyutlu yazıcılarda bu başlık yazıcının ekstruderi oluyor. Her bir kol, hareketli bir taşıyıcıya bağlı olarak yukarı ve aşağı yönde hareket ediyor. Motorlar genellikle tablanın altında bulunuyorlar ve kolların hareket etmesini sağlıyorlar. 3 kol da birlikte hareket ederek objenin üretilmesini sağlıyor. Tablanın dolayısıyla objenin hiçbir şekilde hareket etmemesi ürün kalitesinin oldukça iyi olmasını sağlıyor.

1.2. Nasıl Çalışır?

3D yazıcılar, katmanlı imalat (Additive Manufacturing) diye nitelendirilen bir üretim yöntemi ile çalışırlar. Baskı için birçok hammadde kullanılsa da genellikle filament diye nitelendirilen termo plastik materyaller kullanılır.

3D yazıcıların çalışabilmeleri için 3 boyutlu modele, tasarıma ihtiyacı vardır. Bilgisayar ortamında AutoCAD, Solidworks, 3dsMax gibi bir CAD (Bilgisayar Destekli Tasarım) programı ile tasarlanmış çizimler veya 3 boyutlu tarayıcı ile taranmış olan nesnelere '.stl' uzantısında dışa aktarılırlar. 3D yazıcı '.stl' uzantısındaki dosyayı algılar ve baskı işlemini gerçekleştirir.

Baskı işlemine başlamadan önce yazıcının ucunda 'nozzle' diye adlandırılan kafa bölgesinin belirli bir sıcaklığa gelmesi gerekmektedir. Çünkü 3D baskı işlemi eriyen filamentin katman katman ve üst üste serilmesiyle gerçekleşir. Filamentin düzgün bir şekilde yayılabilmesi için de kafa noktasından çıkartırken yüksek sıcaklıkta erimesi gerekir. Kafa noktasından eriyerek çıkan filament yüzeyde yayılır yayılmaz donar ve katı formuna geçer. Tüm katmanlar tamamlandıktan sonra model tamamen katı formda hazır hale gelir.



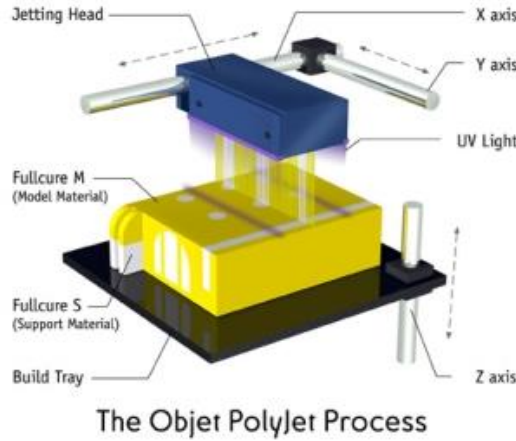
Şekil 1. 3D printer çalışma prensibi

2. Hızlı prototipleme teknolojileri - literatür

2.1. Polyjet

Bu teknolojinin çalışma prensibi inkjet printerlere benzer. Katmanlar fotopolimer reçine malzemenin püskürtüldükten sonra UV ışınla kürlenmesiyle oluşturulur. CAD datası katmanlarına ayrıştırılarak, 3D printer başlığının hareket edeceği yol belirlenir. İhtiyaç varsa üretim esnasında kullanılacak destek yapıları da bu aşamada oluşturulur. İnşa malzemesi olan fotopolimer reçine, püskürtülerek UV ışınla kürlenir ve ilk katman oluşturulur. Kimyasal olarak UV ışınla çabuk kürlenebilen polyjet malzemeleri sayesinde diğer katmanlar da üzerine eklenerek model yapı oluşturulur. Üretim sonucunda oluşacak destek malzemeleri suyla temizlenir ve modelimiz hazırlanmış olur. (Destek malzemesi ve fotopolimer reçine ayrı kimyasal özelliklere sahip olduğundan ayrı kafalardan püskürtülür. Destek malzemesi suda eriyebilme

özelliğine sahiptir.) Polyjet sistemlerinde kullanılan hammadde bu yönteme özgü fotopolimer reçinelerdir. Termal ve mekanik özellikleri birbirinden oldukça farklı olan bir dizi malzeme seçeneğine sahiptir. Bu teknoloji 1990'lı yılların sonunda Objet Geometries firması tarafından geliştirilmiştir.

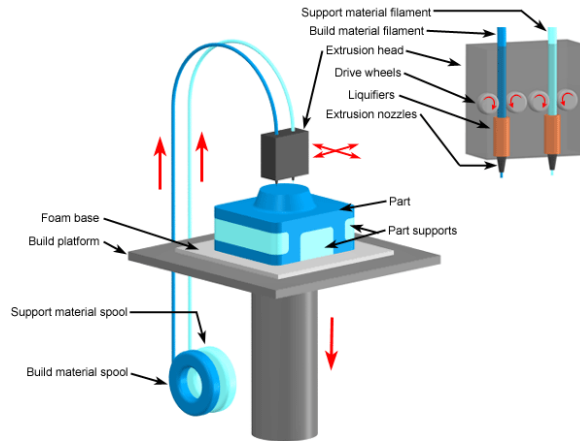


Şekil 2. Polyjet teknolojisi

2.2. Fused deposition modeling (FDM)

FDM (Fused Deposition Modeling) teknolojisi; profesyonel bir 3D yazıcıda filament halinde olan gerçek mühendislik malzemesinin nozzle'da (başlıkta ya da kafada) yarı eriyik hale gelerek, üretim tablasına katman katman dökülmesiyle 3D modeli (prototipi ya da parçayı) inşa eden bir 3D yazıcı teknolojisidir.

Bu teknolojiye, CAD datası katmanlarına ayrıştırılarak, 3D printer başlığının hareket edeceği yol belirlenir. İhtiyaç varsa üretim esnasında kullanılacak destek yapıları da bu aşamada oluşturulur. Filament adı verilen tel halindeki katı malzeme makara ve motor yardımıyla ısıtıcı başlığa yönlendirilir. Başlığa ulaşan katı haldeki malzeme ısıtarak yarı akışkan bir duruma gelir. Yarı akışkan haldeki malzeme başlıktan akıtılarak yazılım tarafından önceden belirlenmiş spesifik bir yol üzerinde ilerler. Yarı akışkan haldeki malzeme başlıktan çıktığı anda soğuyarak katılaşır ve model geometrisini oluşturan katmanlardan biri bu sayede tamamlanır. Katılaşarak tamamlanan bu katman, başlığın veya üretim tablasının bir birim (katman kalınlığı kadar) hareketi sonucu, örülecek yeni katman için temel oluşturur. Bu süreç modeli oluşturan bütün katmanlar oluşana kadar devam eder. Üretimi tamamlanan modeldeki destek yapıları kırılarak veya (3D yazıcı destekliyorsa) suda eritilerek fiziksel modelden temizlenir ve parça kullanıma hazır hale gelir.

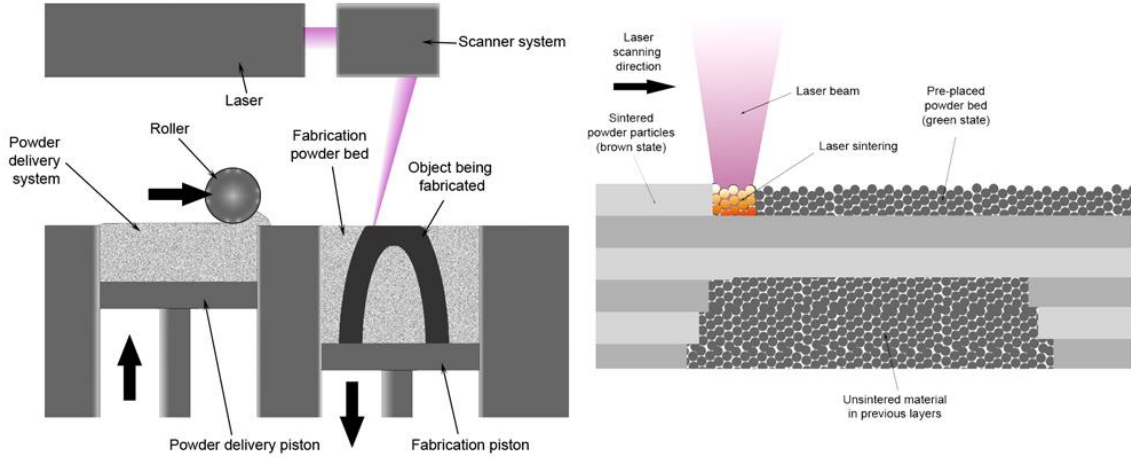


Şekil 3. FDM teknolojisi

2.3. Selective laser sintering (SLS)

SLS teknolojisinde toz halinde bulunan plastik malzeme bilgisayar destekli üretim (CAM) yazılımı ile hareket eden lazer ışınıyla taranır. Taranan bölgelerdeki malzeme sinterlenerek birbirine kaynaşır ve parçanın ilk katmanı oluşur. İkinci toz katmanı ilkinin üzerine sıvanır ve sinterleme işlemi sırasıyla devam ederek parçanın üretilmesi sağlanır. Katmanlar tamamlandıktan sonra parça toz havuzundan çıkarılır. Bu teknolojiye destek yapısı kullanılmaz.

İnşa malzemesi olarak çoğunlukla poliamid kullanılır. Ancak son yıllardaki gelişmeler sonucu seramik ve metal tozları kullanılabilir. Ancak son yıllardaki gelişmeler sonucu seramik ve metal tozları kullanılabilir.

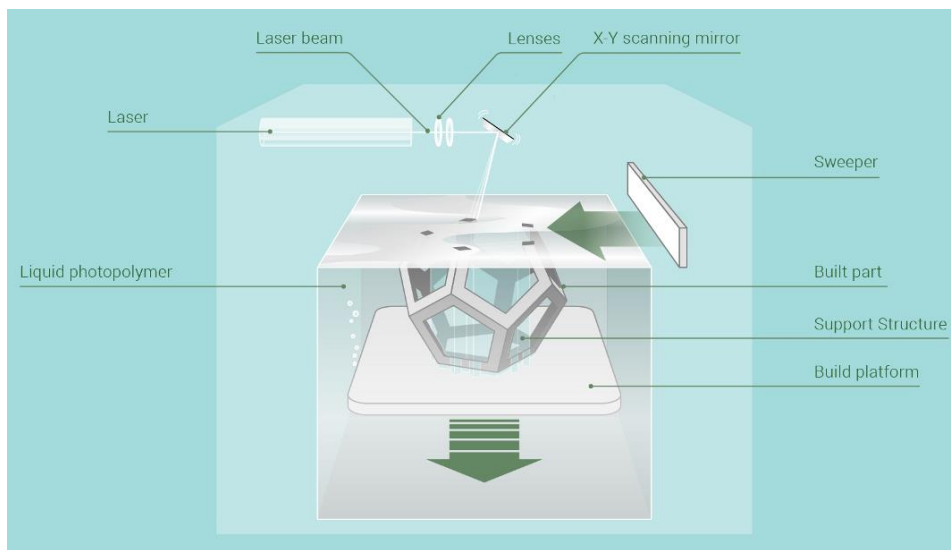


Şekil 4. SLS teknolojisi

2.4. Stereolithography (SLA)

Stereolithography tekniği oda sıcaklığına sıvı halde bulunan fotopolimer reçine tabakasının noktasal bir morötesi (ultraviyole) lazer ışını vasıtasıyla belirli bölgelerinin kürleştirilmesi prensibine dayanır. Bilgisayar destekli üretim (CAM) yazılımı ile hareket eden lazer ışını reçine tabakası üzerinde parça geometrisini tarayarak ilk katmanı oluşturur. İkinci reçine katmanı ilkinin üzerine sıvanır ve kürleştirme işlemi sırasıyla devam ederek parçanın üretilmesi sağlanır. Katmanlar tamamlandıktan sonra parça reçine havuzundan çıkarılır. Parça oluşurken destek görevi gören yapı parçadan mekanik olarak ayrıştırılır.

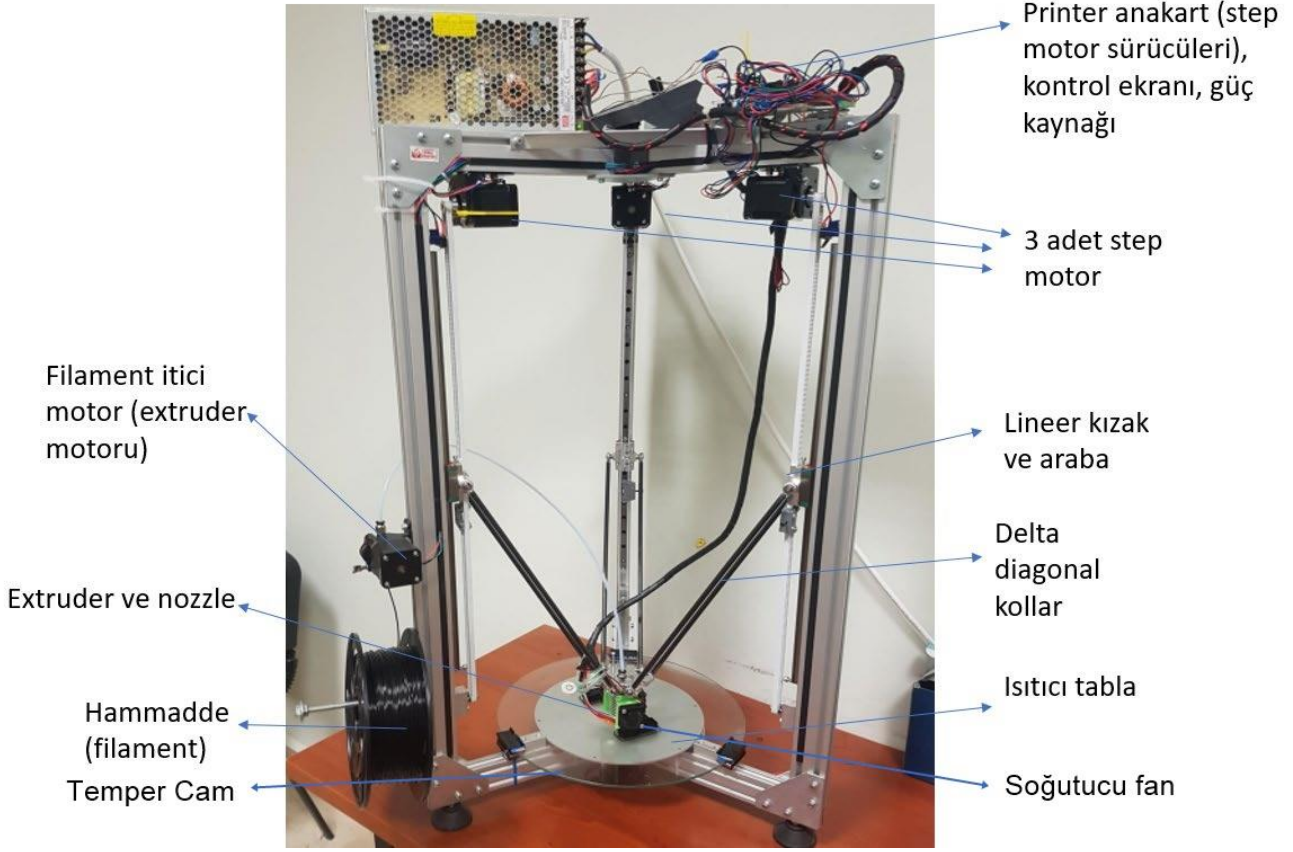
Stereolithography teknolojisinde hammadde olarak bu yönteme özgü fotopolimer reçineler kullanılır. Termal ve mekanik özellikleri birbirinden oldukça farklı olan bir dizi malzeme seçeneğine sahiptir. Bazı malzemeler ilave kürleştirme gerektirebilir ve bunlar ultraviyole banyosunda ikincil bir işleme tabi tutulmaktadır.



Şekil 5. SLA teknolojisi

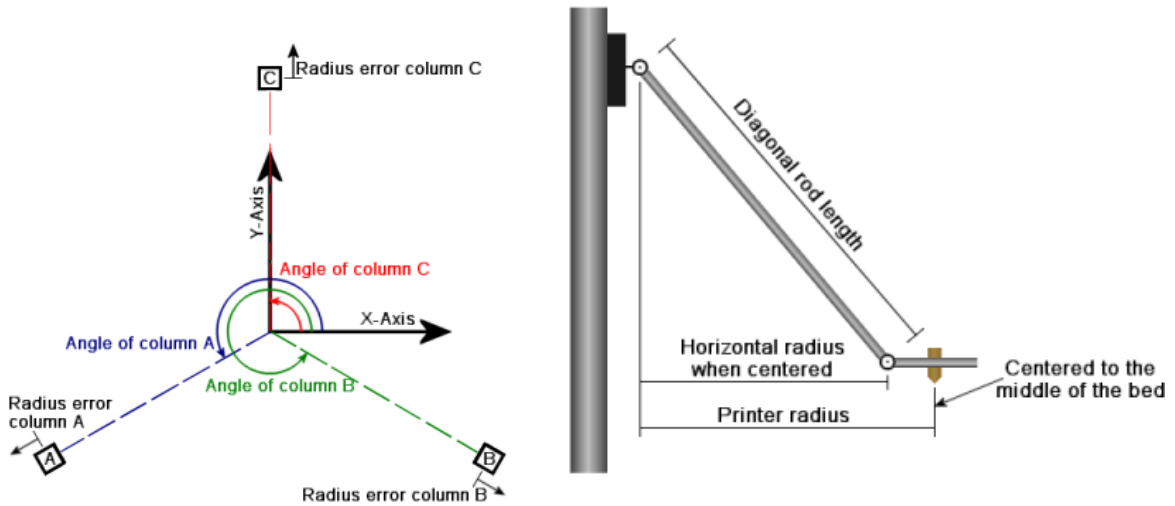
3. 3D printer ile hızlı prototipleme – (UYGULAMA1)

Laboratuvar uygulaması kapsamında FDM teknoloji ile çalışan delta geometriye sahip bir yazıcı ile baskı alma uygulaması gerçekleştirilecektir. Şekilde uygulama esnasında kullanılacak delta geometriye sahip bir üç boyutlu yazıcı gösterilmektedir. Ayrıca aynı şekilde üç boyutlu yazıcının temel elemanları gösterilmiştir.



Şekil 6. Delta 3D printer

Bu üç boyutlu yazıcı kinematiki sebebi ile delta ismini almıştır. 3 adet step motor sayesinde hareket diyagonal kollar yardımı ile yapılmaktadır. Dolayısı ile sistemin tasarımında bu kolların uzunluğu ve bu kolların yarı çapı toplam işlenebilir alanı belirlemektedir. Şekil 7'de delta geometrisi için gerekli önemli ölçüler verilmiştir.



Şekil 7. Delta 3D printer geometrisi

3.1. Delta 3D printer ile baskı alma

Üç boyutlu yazıcılar temel olarak g code mantığı ile çalışan makinelerdir. Dolayısı ile üretilmesi istenilen parçanın g code'larının çıkartılması gerekmektedir ve bu kodlar yazıcının anakartına gönderilerek parça basım işlemleri başlamaktadır. Bu işi yapan programlara ise dilimleyici programlar (slicer programları) denir. Piyasada yaygın olarak kullanılan Cura ve Slic3r adlı ücretsiz ve Simply3d isimli ücretli lisansa sahip dilimleyici programları mevcuttur. Bu programlar farklı ara yüzlere sahip olsa da temelde yaptıkları iş üretilmesi istenilen parçanın katmanlarına yarılarak, doluluk oranı, katman kalınlığı, baskı hızı ve baskı sıcaklığı gibi parametrelerin seçilip g codu'un üretilmesidir.

3.2. Baskı işlem adımları:

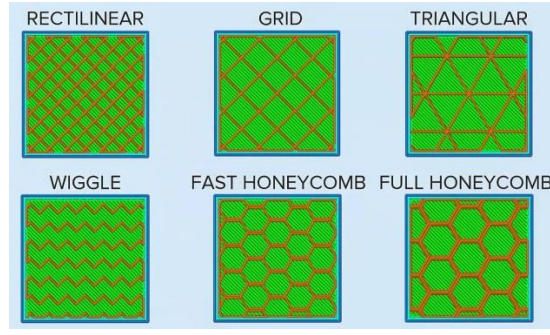
Diğer dilimleyici programlarda benzer ara yüzlere sahiptir. Laboratuvar uygulaması kapsamında slic3r programında 3D yazıcı ile baskı alma uygulaması yapılacaktır.

Öncelikle üretilmesi istenilen parça herhangi bir CAD programında tasarlandıktan sonra STL dosya formunda kaydedilmelidir. Bu .stl dosyası slic3r programında açılarak aşağıdaki gibi görülebilir.

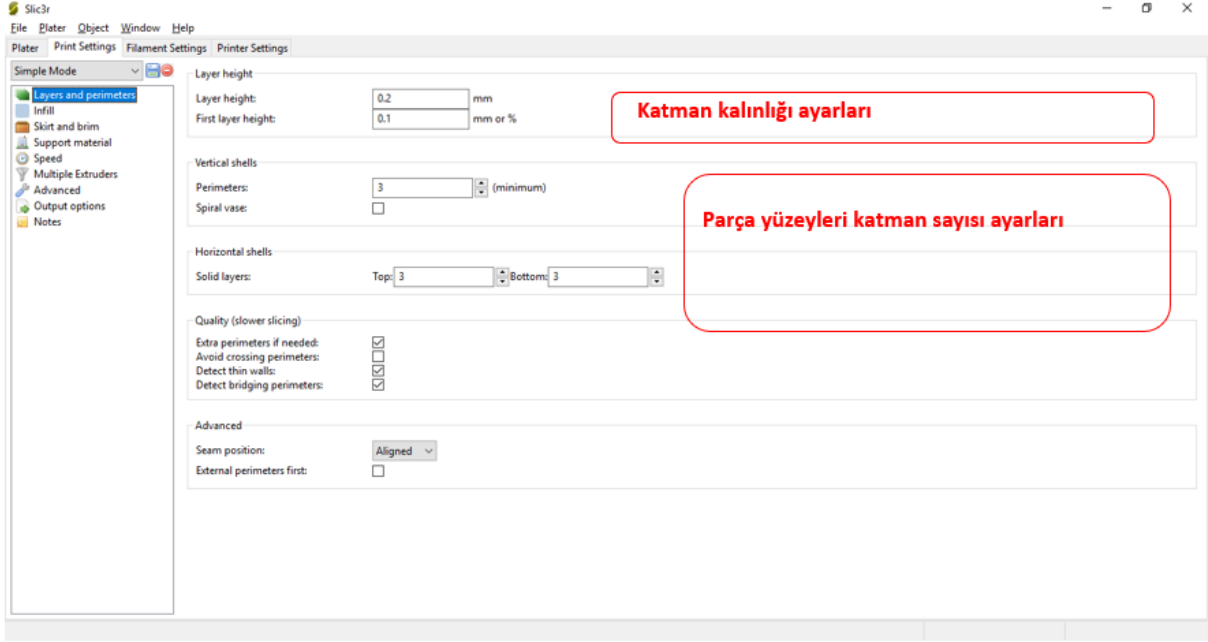


Şekil 8. Slic3r programı arayüzü-1

Yapılacak ilk ayar basılacak olan parçanın katman kalınlığını ayarlayarak; parçanın alt, yan ve üst yüzeylerinin sahip olacağı katman sayısını belirlemektir. FDM teknolojisine sahip baskı yönteminde parçanın tüm geometrisi her zaman %100 doluluk oranı ile basılmaz parçanın dış yüzeyi belli bir kalınlıkta kabuk olarak üretilir ve parçanın iç yüzeyi gözle görülmeyen yerler belirli bir boşluk oranı ile belirli formlarda doldurulur. Bu dolgu formları çeşitleri aşağıda gösterilen desenlerdedir.

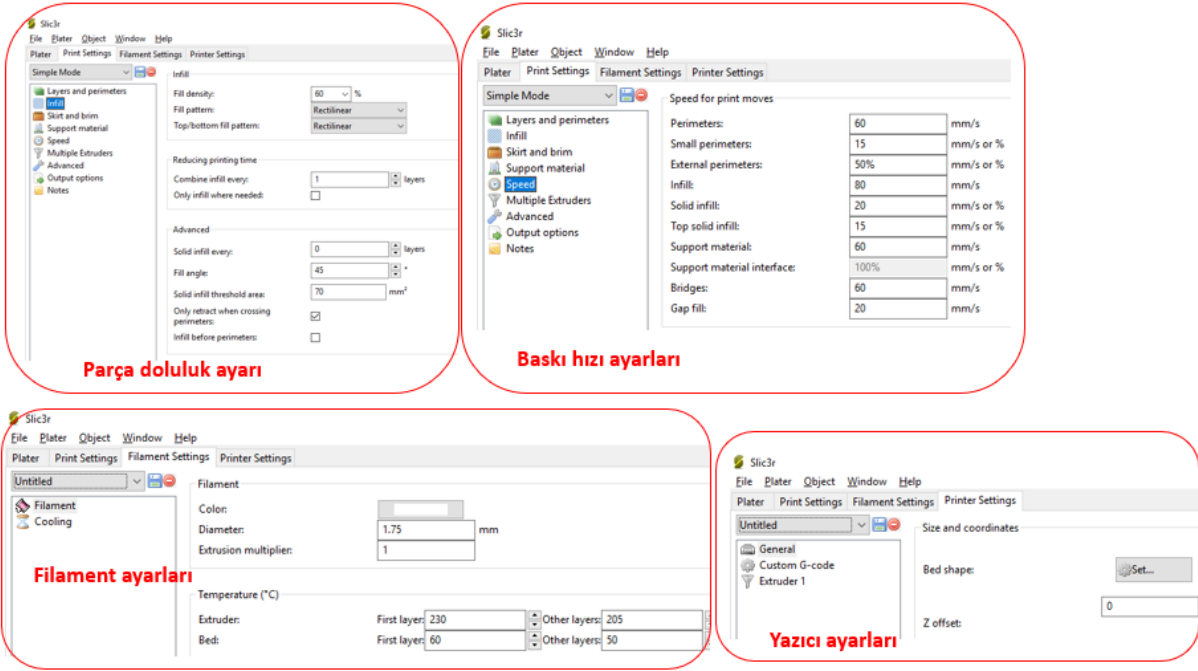


Şekil 9. Farklı dolgu (infill) tipleri



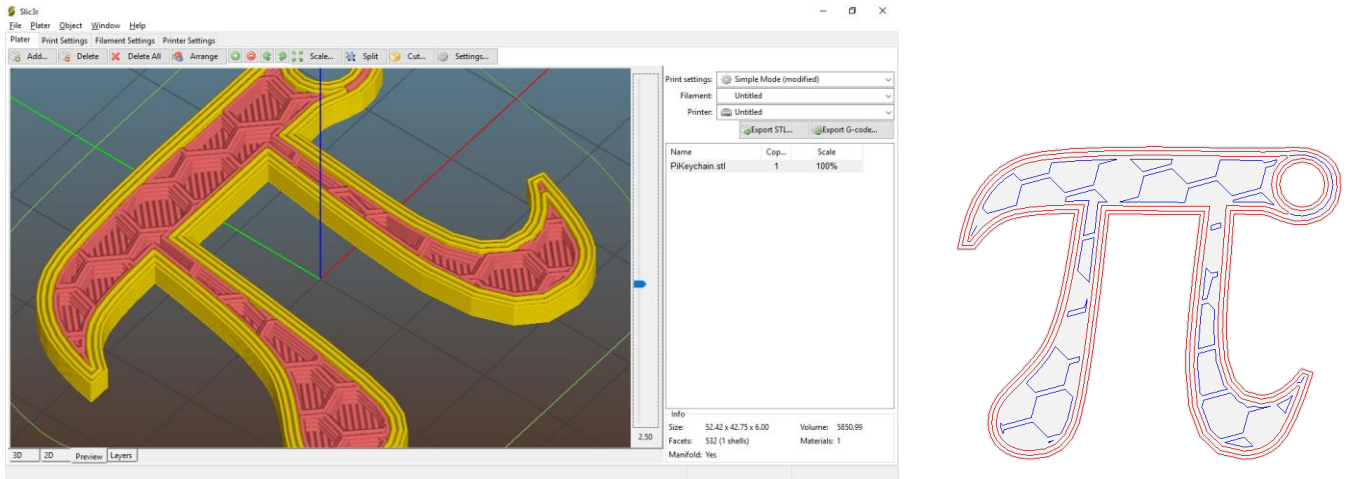
Şekil 10. Slic3r programı arayüzü-2

Katman kalınlığı ve doluluk ayarlarından sonra yapılacak diğer temel ayarlar ise hız ayarıdır. Burada hız ayarı parçanın dış yüzeyi basımında, iç doluluk malzemesi basımında ve parçanın basılmadığı yerlerde yazıcı kafanın hızı şeklinde farklı hız ayarları yapılarak tamamlanır. Son olarak kullanılacak hammaddeye ve yazıcının geometrisine göre son ayarlar yapılarak parça baskıya hazır hale getirilir. Bu ayarlar filament malzemesinin baskı sırasında kaç dereceye ısıtılması gerektiği ve eğer parça üzerinde soğutma yapılacaksa hangi seviyelerde yapılması gerektiği tarzı ayarlardır. Aslında ön hazırlık kapsamında yapılan bu ayarlar kullanılan hammaddeye göre ve baskısı alınacak parçanın geometrisine göre özel şekillenmesi gereken ayarlardır.



Şekil 11. Slic3r programı arayüzü-3

Gerekli ayarlar yapıldıktan sonra kullanılan dilimleyici programa göre program size bir ön izleme sunacaktır. Şekil 12 de baskısı alınacak parçanın 2.5 mm yüksekliğindeki kesiti verilmektedir. Ayrıca aynı şekilde bu yükseklikteki baskı katmanında yazıcı kafasının izleyeceği yollar gösterilmiştir. Bu aşamadan sonra export g code diyerek parçanın basılması için gerekli yollar ve kullanıcı tarafından girilen ayarlar g code dosyasına aktarılmış olur. Bu aktarılan dosya üç boyutlu yazıcıya aktarılarak baskı işlemi gerçekleşmiş olur. Bu dosyanın yazıcıya aktarılması bilgisayar üzerinden usb kablo yardımı ile olacağı gibi g code dosyasının sd karta kopyalanarak yazıcıya aktarılması şeklinde de olabilir.



Şekil 12. Slic3r programı arayüzü-4 (baskı ön izleme)

Temelde üç boyutlu yazıcı x-y-z eksenlerinde hareket edebilen bir cihazdır. Bu cihazlarda hareket eksenlerinde bulunan step motorlar sayesinde gerçekleştirilir. Şimdi step motorları daha yakından tanıyarak nasıl çalışırlar inceleyelim.

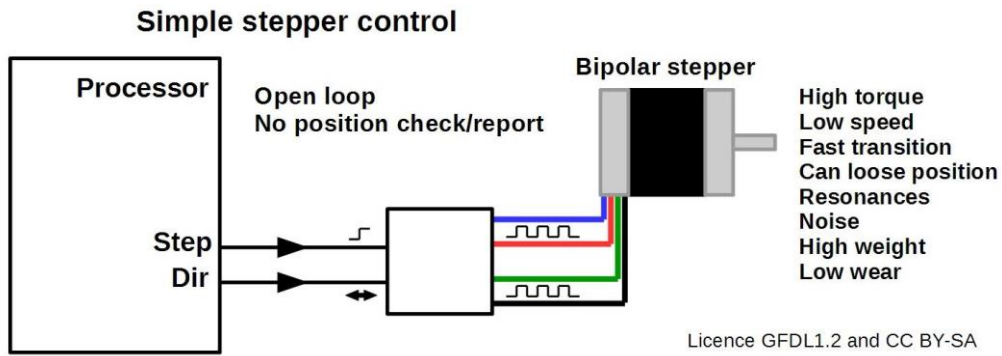
4. Step Motor kontrolü

Step motorlar eksen uygulamalarında konum kontrolü için kullanılan yaygın bir motor çeşitidir. Kontrol tasarımları yapısı gereği ikiye ayrılır. Çıkışın yada kontrol edilen büyüklüğün kumanda edilmesi bakımından kontrol sistemleri açık çevrim ve kapalı çevrim olarak isimlendirilir..

Açık çevrim kontrol (open-loop control): Giriş işareti çıkıştan bağımsız olan bir kontrol sistemidir. Sistemde çıkış ölçülmez, çıkışın referans işaretini yakalayabildiğini garantileyecek, çıkışa göre girişi düzelterek işaret yoktur.

Kapalı çevrim kontrol (closed-loop control): Sistemde giriş ölçülen çıkış işaretiyle güncellenir. Çıkış ve referans işareti sürekli karşılaştırılır. Bu sistemlere geri beslemeli kontrol sistemi adı verilir.

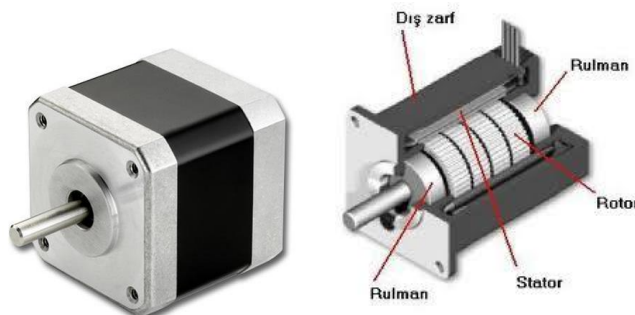
Açık çevrim (Open-loop) kontrol sistemleri, aktüatörün proses üzerindeki eylemlerinin çok tekrarlanabilir ve güvenilir olduğu uygulamalarda uygundur. Örnek olarak step motorlar genelde açık çevrim uygulamalarda kullanılırlar. Bu bilgiler kapsamında üç boyutlu yazıcılarda eksen hareketlerinde birçok makinede kullanılan step motorların açık çevrim kontrol mantığı ile çalıştığını söyleyebiliriz.



Şekil 13. Step motor açık çevrim kontrol

4.1. Step (Adım) motorlar

Bir adım motor (stepper motor) belirli derecelerde sabit adımlarda dönen özel tip bir DC motordur. Adım boyutları 0.9° den 90° e kadar olan aralıkta değişmektedir. **Yapı olarak rotor sabit mıknatıstır ve stator elektromıknatıslardan yapılmıştır.** Rotor enerji verilen alan mıknatısı ile aynı hizaya gelmek için hareket (adımlar) eder. Eğer alan mıknatıslarına bir daire etrafında birbirini takip edecek şekilde enerji verilirse rotor tam bir daireyi tamamlayacak şekilde hareket eder.



Şekil 14. Step motor

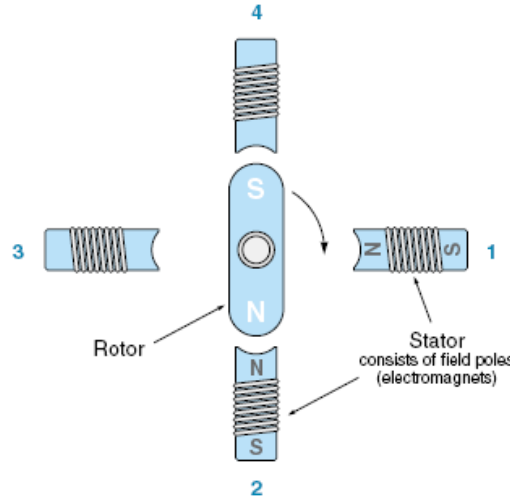
Step motorları özellikle kontrol uygulamaları için faydalıdır çünkü kontrolör pozisyon sensörüne ihtiyaç olmaksızın motor şaftının kesin pozisyonunu bilebilir. Bu bilinen bir referans pozisyonundan alınan adım sayısı sayılarak yapılabilir. **Adım boyutu rotor ve stator kutuplarının sayısı ile belirlenir** ve kümülatif (giderek artan) bir hata yoktur. Gerçekte **bir çok adım motoru açık çevrim (open loop) çalışır** yani kontrolör motora belirlenen bir adım sayısını gönderir ve motorun doğru yere gideceğini kabul eder.

Üç tip adım motoru vardır:

- sabit mıknatıs(PM),
- değişken manyetik dirençli (VR)
- hibrid

Sabit mıknatıs(PM) adım motorlar

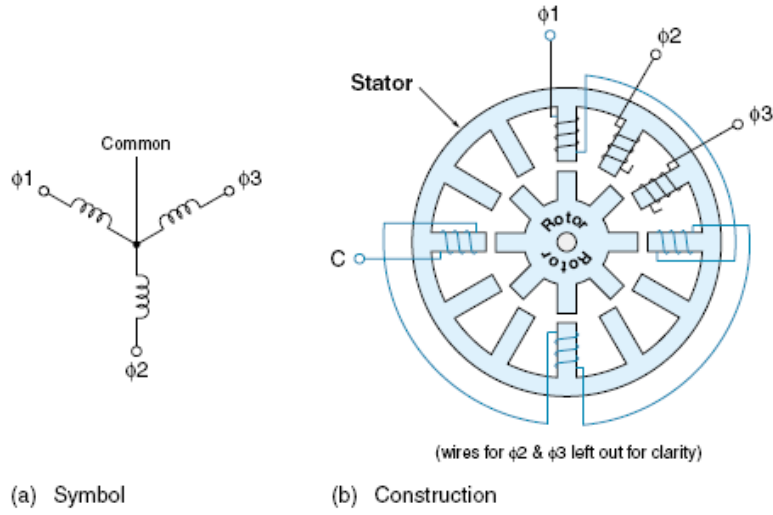
Sabit mıknatıs adım motorları rotor için sabit mıknatıs kullanır. Motor çalışması şöyledir: rotorun şekilde gösterildiği gibi güney kutbu yukarıdadır. Alan sargısı 1 e enerji verildiğinde rotorun güney kutbu 1 sargısına çekilir ve o yöne doğru hareket eder. Daha sonra 1 alan sargısına verilen enerji kesilir ve 2 sargısına enerji verilir. Rotor kendini 2 sargısı ile aynı hizaya çekilmiş bulur. Bu nedenle, rotor her biri birbirini takip eden alan sargısı sürülmesinde 90° lik adımda döner. Motor bu işlem tersine yapılırsa aksi yönde döner. PM rotor en yakın kutba çekileceğinden dolayı PM adım motorlarında istenen bir özellik alan kutuplarına güç uygulanmasa bile rotorun aynı hizaya girme eğilimidir. Motor rotoru elle döndürdüğünde bu manyetik çekme hissedilebilir. Bu torka artık tork veya tutma torku denir.



Şekil 15. Sabit mıknatıs Step motor

Değişken Manyetik Dirençli (Variable Reluctance(VR)) Adım Motorlar

VR adım motorlarda rotor için mıknatıs kullanılmaz bunun yerine dişli demir tekerlek kullanılır. Rotoru mıknatıs olarak yapmanın avantajı istenilen şekilde imal edilebilmesidir. Demir olması her bir rotor dişi stator içinde en yakın enerji verilen kutba çekilebilmesidir. Fakat bu çekme PM motorda olduğu kadar güçlü değildir. Bu durum VR motorlara PM motorlardan daha az tork verir.

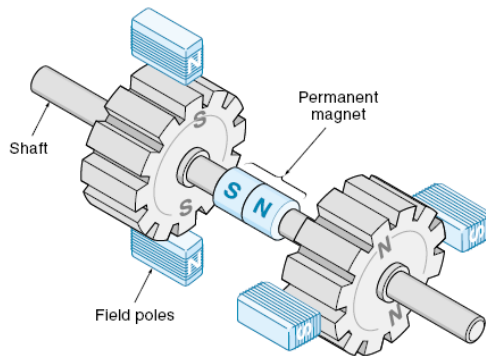


Şekil 16. VR Step motor

Hibrid Adım Motorları

Hibrid adım motorları PM ve VR adım motorlarının özelliklerini birleştirir ve günümüzde en yaygın olan adım motorlardır. Rotor çok küçük adım açıları (1.8°) elde etmek için dişli yapılır ve güç kapalı iken bile tetikleme torku sağlayan sabit mıknatısa sahiptir. Çok kutuplu manyetik rotor yapmanın zorluğundan dolayı PM motorların adım boyutları sınırlıdır. Demir bir rotora farklı sayıda manyetik özellik vermenin bir sınırı vardır. VR adım motorları mıknatısları demir dişlerle yer değiştirdiğinden daha küçük adım açısını mümkün kılmaktadır fakat PM motorun güçlü ve tetikleme torklarından feragat edilmektedir. Hibrid motorlar çok dişli rotorları mıknatıslandırabilir ve bu yüzden hem PM hem de VR motorlarının istenen özelliklerine sahiptir.

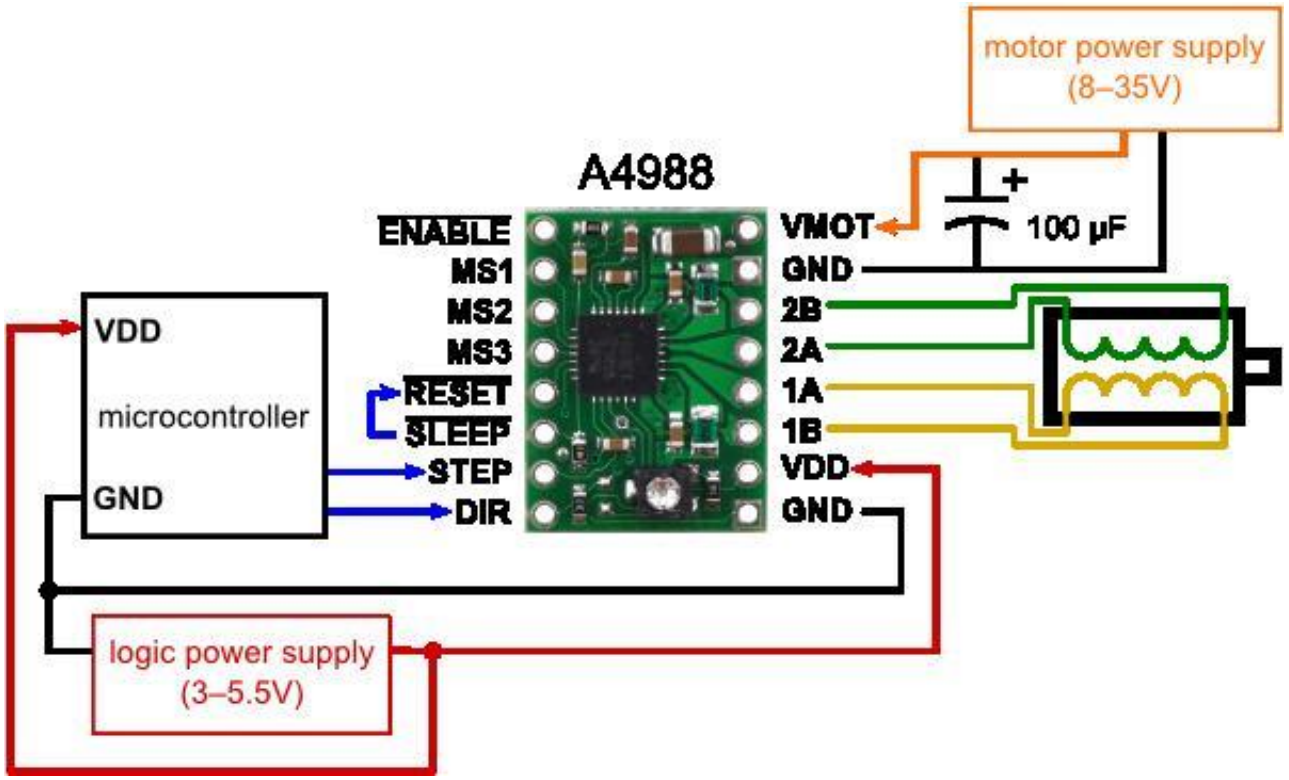
Şekil basit bir PM motordan çok daha karmaşık olan hibrid motorun iç yapısını göstermektedir. Rotor iki tane dişli biçiminde tekerlerden ibarettir. Tekerleğin biri tamamıyla kuzey diğeri tamamıyla güney kutuplu mıknatıslanmadan ibarettir. Her bir adımda iki zıt dişli kuzey tekerleği iki güney kutuplar tarafından çekilir ve iki zıt dişli güney tekerleği de kuzey kutupları tarafından çekilir. İçteki sargı devresi PM veya VR motorlarından daha karmaşıktır.



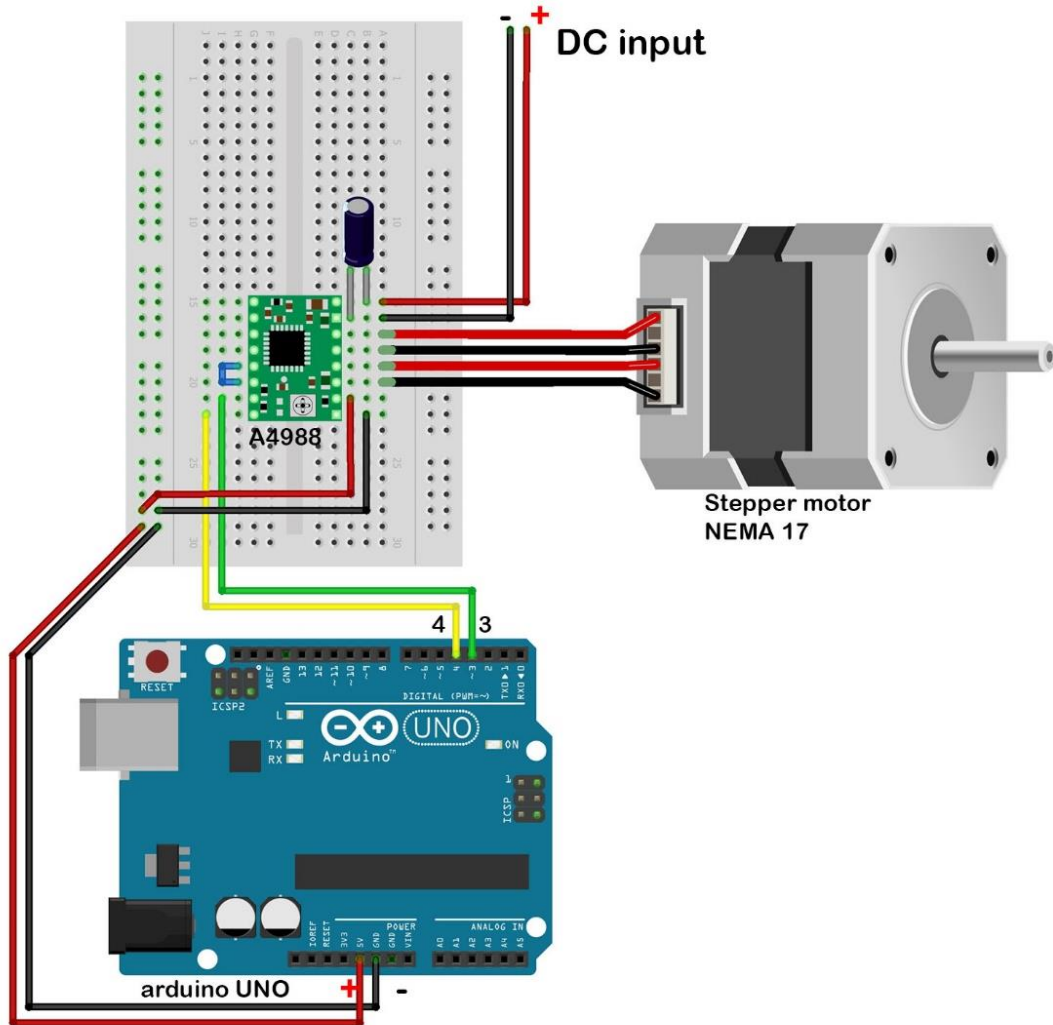
Şekil 17. Hibrid Step motor

UYGULAMA-2

Bu uygulamada piyasada yaygın bir şekilde kullanılan hibrid step motorun kontrolü yapılacaktır. Step motorların için bilinen en yaygın sürücü devreleri A4988 kodlu devredir. A4988 step motor sürücüsü 8-35 Volt arasında motor besleme ve 3 -5.5 çalışma gerilimine sahip max 2A akım çekebilen kolay kullanılabilen zamandan kazandıran yetenekli bir sürücüdür.



Şekil 18. A4988 Step motor sürücüsü



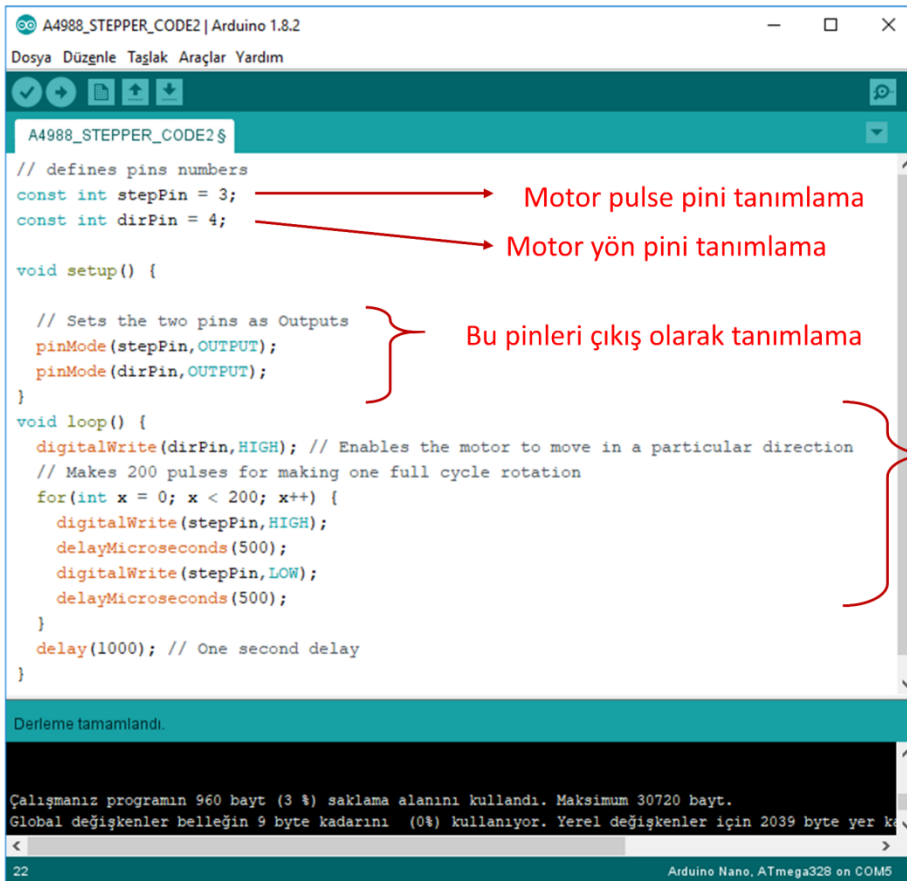
Şekil 19. Step motor bağlantı şeması

Şekil 19'de gösterilen bağlantıları breadboard üzerinde jumper kabloları yardımı ile gerçekleştiriniz. 1B , 1A , 2B ,2A pinleri step motorumuzun uçlarıdır. Bu pinlere step motoru bağlayınız. Deneyde kullandığımız step motorun kırmızı kablosu 1B, mavi kablosu 1A, sarı kablosu 2A ve beyaz kablosu 2B dir. Ayrıca voltaj dalgalanmalarına karşı kapasitör elemanı giriş voltajı önüne takınız. Burada mikroişlemci olarak arduino nano kartı kullanılacaktır. Arduino nano kartın 3 ve 4 nolu dijital pinleri ile 5V ve GND pinlerini kullanınız. Gerekli bağlantıları doğru yaptığınızı şekil 18 ve şekil 19 yardımı ile teyit ediniz.

Gerekli bağlantıları doğru yaptığınızı kanaat getirdikten sonra usb kablosu ile Arduino kartı bilgisayara bağlayınız.

Bildisayarda tükü olan Arduino IDE programını açarak aşağıdaki kodu yazınız. Bu kodun nasıl çalıştığını inceleyip anlamaya çalışınız.

Yükleme işlemi tamamlandıktan sonra 12 volt'luk güç kaynağını fişe takınız. Motorun saat yönünde 1 tur döndüğünü gözlemleyiniz.



```
A4988_STEPPER_CODE2 | Arduino 1.8.2
Dosya Düzenle Tağlak Araçlar Yardım
A4988_STEPPER_CODE2$
// defines pins numbers
const int stepPin = 3;
const int dirPin = 4;

void setup() {
    // Sets the two pins as Outputs
    pinMode(stepPin,OUTPUT);
    pinMode(dirPin,OUTPUT);
}
void loop() {
    digitalWrite(dirPin,HIGH); // Enables the motor to move in a particular direction
    // Makes 200 pulses for making one full cycle rotation
    for(int x = 0; x < 200; x++) {
        digitalWrite(stepPin,HIGH);
        delayMicroseconds(500);
        digitalWrite(stepPin,LOW);
        delayMicroseconds(500);
    }
    delay(1000); // One second delay
}

Derleme tamamlandı.
Çalışmanız programın 960 bayt (3 %) saklama alanını kullandı. Maksimum 30720 bayt.
Global değişkenler belleğin 9 byte kadarını (0%) kullanıyor. Yerel değişkenler için 2039 byte yer k
```

Motor pulse pini tanımlama

Motor yön pini tanımlama

Bu pinleri çıkış olarak tanımlama

O'da 200'e döngü oluşturup Aralarda 500ms zaman boşluğu bırakıp motoru 1 tur çevirmek için.

Raporda istenilenler:

- Kontrol sistemleri yapısı gereği açık çevrim kontrol ve kapalı çevrim kontrol olarak ikiye ayrılır. Bu kavramları açıklayınız.
- Üç boyutlu yazıcılarda kullanılan hammaddeler nelerdir araştırınız.
- Üç boyutlu yazıcılarda kapalı çevrim konum kontrolü nasıl yapılabilir. Araştırınız. (*ipucu: Step motorlarda kapalı çevrim kontrol nasıl yapılır sorusuna cevap veriniz.*)
- Step motorun 1 tur saat yönünde ve hemen ardından da 2 tur saat yönünün tersi yönünde dönmesini sağlayacak kodu yukarıdaki kodu referans alarak yazınız.

Raporu bilgisayar ortamında yazabilirsiniz. Raporları belirtilen tarihe kadar dersin asistanına teslim ediniz.