

# 3D YAZICI TEKNOLOJİLERİ DERS NOTLARI

## BÖLÜM 1: 3D YAZICILARA GİRİŞ VE ÇALIŞMA MANTIĞI

### 1.1. Eklemeli İmalat (3D Yazıcı) Nedir ve Geleneksel Üretimden Farkı Nedir?

Üretim endüstrisini ve 3D yazıcıların çalışma mantığını bilgisayar bilimleri perspektifinden tam olarak kavrayabilmek için, malzemenin nasıl şekillendirildiğine dair iki ana akımı (paradigmaları) derinlemesine incelemek gerekir: Eksiltmeli İmalat ve Eklemeli İmalat.

#### A. Eksiltmeli İmalat (Subtractive Manufacturing):

Eksiltmeli imalat, elinizdeki ham madde bloğundan (kütük), ihtiyacınız olmayan kısımları "kazıyarak, yontarak veya keserek" ayıklama işlemidir.

Bu yöntemi bir heykeltıraşa benzetebiliriz. Elinde dev bir mermer blok vardır; o, mermerin içindeki heykeli "serbest bırakmak" için fazlalık olan her şeyi çekiç ve murçla kırıp atar.

#### 1. Mekanik Süreç: Talaşlı İmalat

Bu yöntemde en temel kavram **talaş**tır. Kesici uç (matkap, freze ucu, torna kalem), malzemeye dalar ve ondan küçük parçalar koparır. Bu kopan atık parçalara talaş denir.

- **Takım Yolu (G-Code):** Bilgisayar (CNC), kesici uca hangi rotada gideceğini söyler. Uç, bu rotayı izlerken malzemeyi tıraşlar.
- **Hız ve Soğutma:** Metal gibi sert malzemeler işlenirken sürtünmeden dolayı çok yüksek ısı açığa çıkar. Bu yüzden işlem sırasında genellikle özel soğutma sıvıları fişkırtılır.

#### 2. Geometrik Sınırlar: "Nereye Kadar Girebiliriz?"

Eksiltmeli imalatta her istediğimiz şekli tek seferde yapamayız. Bunun iki temel sebebi vardır:

- **İç Köşe Sorunu (Radyus):** Bir matkap ucu yuvarlaktır. Dolayısıyla kare bir boşluk oymaya çalıştığınızda, köşeler her zaman matkabin yuvarlaklığı kadar kavisli kalır. Tam 90 derece keskin bir iç köşe elde etmek fiziksel olarak imkansızdır.
- **Ulaşılamayan Alanlar (Under-cuts):** Kesici uç yukarıdan geliyorsa, parçanın alt tarafındaki veya içinde kalan "mağara" gibi boşlukları oyamaz. Çünkü matkabin gövdesi parçaya çarpar.

#### 3. Fire Oranı ve Verimlilik

Eksiltmeli imalatın en büyük "günahı" israftır.

- **Ham Madde Kaybı:** Örneğin 10 kg'lık bir alüminyum bloktan 2 kg'lık bir uçak parçası üretiyorsanız, 8 kg alüminyum talaş haline gelmiş demektir.
- **Geri Dönüşüm Maliyeti:** Bu talaşlar çöpe gitmese bile, onları tekrar eritip kütük haline getirmek için büyük bir enerji ve zaman harcanır.

# 3D YAZICI TEKNOLOJİLERİ DERS NOTLARI

## Eksiltmeli İmalatın (CNC vb.) Güçlü ve Zayıf Yönleri

Özellik	Açıklama
Malzeme Çeşitliliği	Çelik, titanyum, ahşap, sert plastikler... Hemen her şeyi işleyebilir.
Yüzey Kalitesi	Çok pürüzsüz ve parlak yüzeyler elde edilir. 3D yazıcılardaki gibi katman izi olmaz.
Hassasiyet	Mikron düzeyinde (mimetrenin binde biri) hassasiyetle çalışabilir.
Hız	Seri üretimde çok hızlıdır; ancak karmaşık şekiller için hazırlık süreci uzundur.

Eksiltmeli imalat, "**Fazlalıkları at, özü bul**" mantığıdır. Çok dayanıklı ve hassas parçalar (motor blokları, uçak kanat bağlantıları, dişliler) üretmek için hala dünyadaki en güvenilir yöntemdir; ancak malzeme israfı ve karmaşık iç geometriler konusunda 3D yazıcıların (eklemeli imalat) gerisinde kalır.

**B. Eklemeli İmalat (Additive Manufacturing - 3D Yazıcılar):** 3D yazıcı teknolojisi, "üretim" kavramını oyma işleminden inşa etme işlemine çevirmiştir. Üretim süreci fiziksel bir kütükle değil, tamamen dijital bir uzayda başlar. Makine, kesip yontmak yerine, dijital dosyadan aldığı koordinat matrislerine sadık kalarak malzemeyi sadece kütlenin olması gereken ve koordinatlarına bırakır.

Bir yazılım döngüsü mantığıyla düşünürsek; süreç, 3 boyutlu sürekli (continuous) bir modelin, 2 boyutlu ayrık (discrete) dizilere dönüştürülmesidir. Yazıcı, iç içe geçmiş bir for döngüsü yapısında çalışır:

- İlgili katmanın (ekseni) yükseklik verisi alınır.
  - O katmandaki dolu olması gereken ve noktalarına malzeme yazdırılır.
  - Katman tamamlandığında değişkeni, "katman kalınlığı" (layer height) değeri kadar artırılır ve döngü modelin en üst noktasına kadar devam eder.
- Avantajı (Sıfır Fire ve Voksel Mantığı):** Sadece dijital modelin işaret ettiği yerlere kütle bırakıldığı için fire oranı neredeyse sıfırdır. Kesici bir aletin giremediği iç içe geçmiş kapalı dişliler, hareketli mafsallar veya karmaşık prototipler, montaja gerek kalmadan tek seferde üretilebilir.

# 3D YAZICI TEKNOLOJİLERİ DERS NOTLARI

## Karşılaştırmalı Özet Tablosu:

Karşılaştırma Kriteri	Eksiltmeli İmalat (CNC/Torna)	Eklemeli İmalat (3D Yazıcı)
Temel Mantığı	İşlem Kütükten parça koparma, yontma	Sıfırdan katman katman ekleme
Malzeme (Atık)	Firesi Çok Yüksek (Talaş çıkar)	Çok Düşük (Sadece destek yapıları)
Geometrik Özgürlük	Sınırlı (Takım geometrisine bağlı)	Neredeyse Sınırsız (İç boşluklar yapılabilir)
Prototipleme Hızı	Yavaş (Takım ve bağlama ayarı gerektirir)	Çok Hızlı (Dosyayı atıp anında üretime geçilir)

E-Tablolar'a aktar

## 1.2. Eklemeli İmalatın Dezavantajları ve Fiziksel Kısıtlılıkları

3D yazıcılar devasa avantajlar sunsa da, geleneksel seri üretim yöntemlerinin (örneğin plastik enjeksiyon kalıplarının) tamamen yerini alamamasının teknik sebepleri vardır. Bir üretim planlaması yaparken makinenin sınırlarını bilmek, tasarımı doğru yönlendirmek için şarttır:

**A. Üretim Hızı ve Ölçeklenebilirlik Sorunu:** 3D yazıcılar tekil bir prototip üretmek için geleneksel yöntemlerden çok daha hızlıdır. Ancak iş seri üretime geldiğinde durum değişir. Bir plastik enjeksiyon makinesi, hazırlanmış bir kalıptan saniyeler içinde yüzlerce ürün çıkarabilirken; aynı ürünün 3D yazıcıda katman katman üretilmesi saatler sürer. Bu nedenle 3D yazıcılar 10.000 adetlik kitlesel üretimler için zaman ve maliyet açısından verimsizdir.

**B. Mekanik Anizotropi (Yönel Zayıflık):** Bu, eklemeli imalatın en kritik fiziksel dezavantajıdır. Geleneksel yöntemle kalıba dökülen bir plastik "izotropik" bir yapı sergiler; yani her yönden gelen kuvvete karşı aynı fiziksel direnci gösterir. Ancak 3D yazıcılar parçayı katmanları üst üste yığarak inşa ettiği için yapı "anizotropik" olur. Parça, ve eksenlerinde (yatayda) son derece sağlamken, katmanların birbirine yapıştığı **ekseninde (dikey ekseninde) daima daha zayıftır.**

**C. Boyutsal Sınırlar (Üretim Hacmi):** 3D yazıcılarda maksimum üretim boyutu, makinenin baskı tablasının fiziksel boyutlarıyla doğrudan sınırlıdır. Standart cihazlarda bu alan genelde 20x20x20 cm veya 30x30x40 cm civarındadır. Daha büyük bir gövde basmak

# 3D YAZICI TEKNOLOJİLERİ DERS NOTLARI

istendiğinde, dijital modelin yazılımda parçalara bölünmesi, ayrı ayrı basılması ve sonradan birleştirilmesi gerekir. Bu da yapısal bütünlüğün zayıflamasına neden olur.

**D. Son İşlem (Post-Processing) Gereksinimi:** 3D yazıcıdan çıkan bir parça her zaman hemen kullanılmaya hazır değildir. Özellikle 45 dereceden daha yatay olan çıkıntıların havada asılı kalmaması için makine o bölgelere "Destek (Support)" yapıları örer. Baskı bittikten sonra bu desteklerin manuel olarak temizlenmesi ve kalan izlerin zımparalanması gerekir.

**E. Yüzey Pürüzlülüğü (Stair-Stepping Effect):** Teknoloji katmanlı olduğu için (ne kadar ince ayar yapılırsa yapılsın) ürünün üzerinde "merdiven basamağı" şeklinde mikro katman izleri kalır. Bu durum, aerodinamik veya optik hassasiyet gerektiren parçalar için ekstra yüzey parlatma işlemi doğurur.

## 1.3. Yaygın Kullanılan 3D Yazıcı Teknolojileri (FDM ve SLA)

Endüstriyel alanda onlarca farklı 3D baskı teknolojisi (toz sinterleme, metal lazer ergitme vb.) bulunmasına rağmen, günümüzde eğitim kurumlarında, Ar-Ge laboratuvarlarında ve hızlı prototipleme süreçlerinde temelde iki ana makine tipi yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu iki teknolojinin üretim felsefesi, kullandıkları hammaddeler ve endüstriyel uygulama alanları birbirinden tamamen farklıdır:

### A. FDM (Fused Deposition Modeling - Eriyik Yığılma Modellemesi)

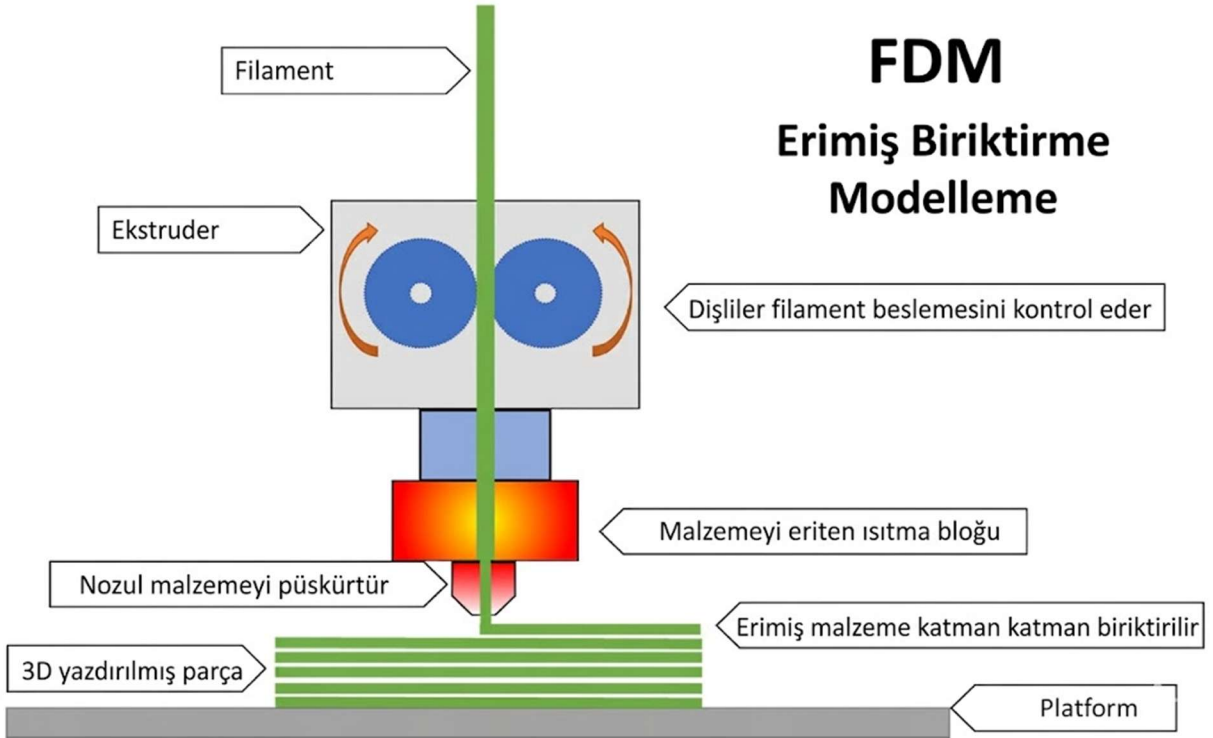
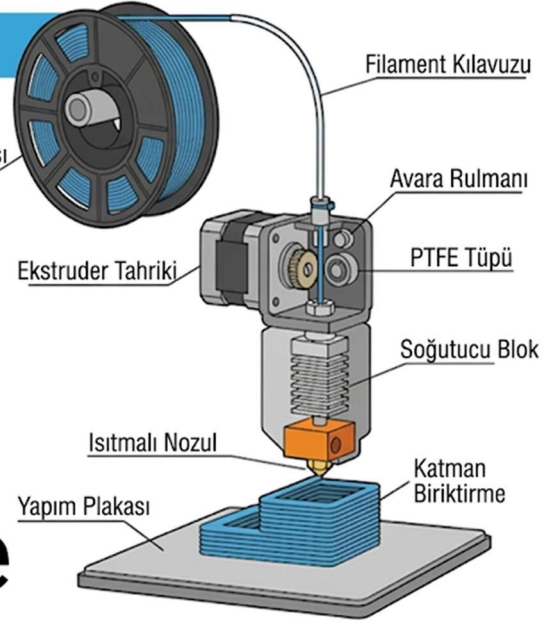
Günümüzde masaüstü sistemlerde en yaygın ve maliyet açısından en erişilebilir olan 3D baskı teknolojisidir. Çalışma prensibi, malzemenin ısıtılarak eritilmesi ve yönlendirilmesine dayanır.

- **Kullanılan Malzeme:** "Filament" adı verilen, makaraya sarılmış standart çaplardaki termoplastik şeritlerdir (Genellikle PLA, ABS veya PETG türü plastikler kullanılır).
- **Çalışma Prensibi:** Ekstrüder (itici motor) mekanizması, filament makaradan çeker ve 200°C civarındaki sıcak uca (nozül) doğru iter. Filament burada eriyerek akışkan hale gelir ve dijital modelin koordinatlarına göre tablanın üzerine katman katman serilir. Serilen plastik saniyeler içinde oda sıcaklığında soğuyarak katılaşır.
- **Kullanım Alanları:** Robotik sistemlerin gövdeleri, elektronik kart muhafazaları, fonksiyonel test aparatları ve mekanik dayanım gerektiren işlevsel parçalar.
- **Avantajı:** Sarf malzemeleri (filamentler) uygun fiyatlıdır, cihazların mekanik bakımı ve kalibrasyonu oldukça pratiktir.

# 3D YAZICI TEKNOLOJİLERİ DERS NOTLARI

NEDİR?

# F Erimiş D Biriktirme M Modelleme

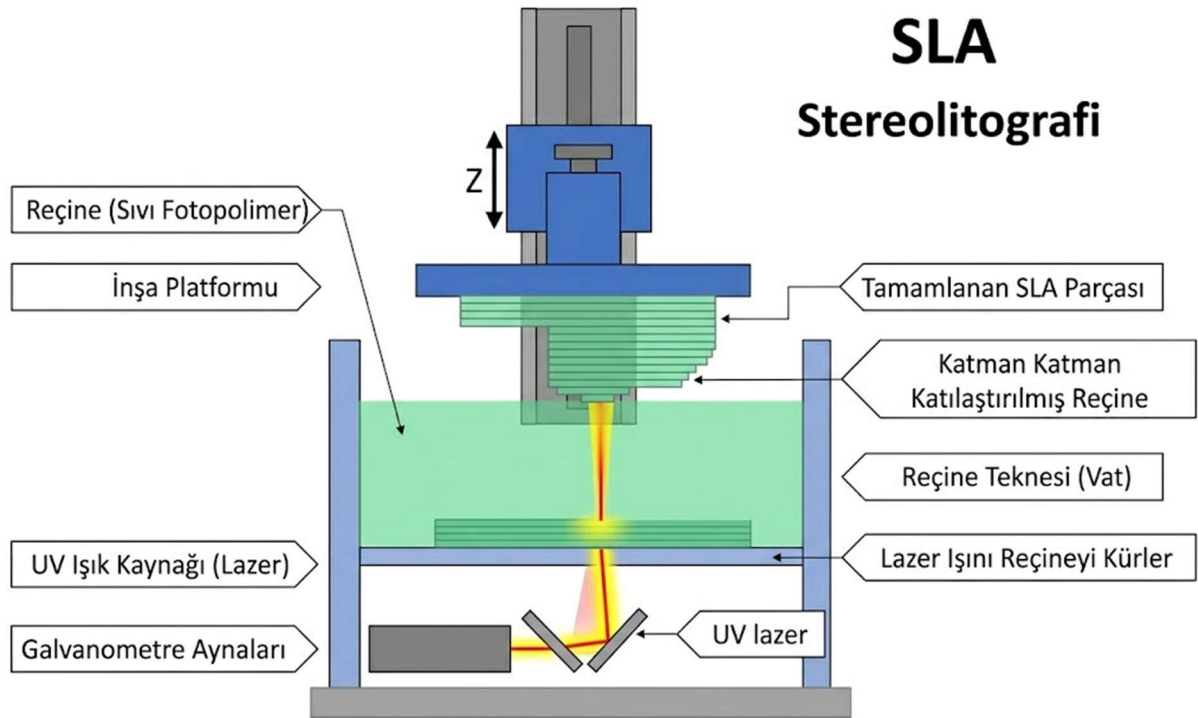


# 3D YAZICI TEKNOLOJİLERİ DERS NOTLARI

## B. SLA / LCD (Stereolitografi - Reçineli Yazıcılar)

Reçineli yazıcılar, FDM sistemlerinin aksine katı bir termoplastik malzeme eritmezler. Üretim süreci ısıya değil, tamamen ışığa (fotokürleme) ve kimyasal bir reaksiyona dayanır.

- **Kullanılan Malzeme:** "Fotopolimer Reçine" adı verilen, belirli bir dalga boyundaki UV (Morötesi) ışığa maruz kaldığında sıvı halden katı hale geçen fotokimyasal bir maddedir.
- **Çalışma Prensibi:** Cihazın alt ünitesinde bir UV ışık kaynağı (lazer veya LCD ekran) bulunur. Üstten sıvı reçine havuzunun içine doğru inen metal bir üretim tablası mevcuttur. Alt kısımdaki ekran, bilgisayardan gelen o katmana ait kesit görüntüsünü (maskesini) sıvıya yansıtır. Işığa maruz kalan sıvı reçine anında katılaşarak tablaya yapışır. Tabla, belirlenen katman kalınlığı kadar (örneğin 0.05 mm) yukarı kalkar ve döngü bir sonraki katman için tekrarlanır.
- **Kullanım Alanları:** Mikron düzeyinde hassasiyet gerektiren mühendislik parçaları, medikal sektörü (diş hekimliği protezleri) ve yüksek detaylı model üretimi.
- **Avantajı ve Dezavantajı:** FDM yazıcıların ulaşamayacağı seviyede pürüzsüz ve yüksek çözünürlüklü bir yüzey kalitesi sunar. Ancak reçine kimyasal işlemler gerektirir; baskı sonrası üretilen parçaların izopropil alkol ile yıkanması ve özel UV fırınlarında tam kürlenmesi (kurutulması) zorunludur.



# 3D YAZICI TEKNOLOJİLERİ DERS NOTLARI

## BÖLÜM 1.4: Cihazın Temel Donanım Parçaları

Bir FDM 3D yazıcıyı bir robot kol ile hassas bir fırın ve bir boya sıkma mekanizmasının birleşimi gibi düşünebiliriz. Bu bileşenlerin uyumu, baskı kalitesini belirler.

### 1.4.1: Step Motorlar (Kas Sistemi)

Step motorlar, standart DC motorlar gibi sürekli dönmezler. Bunun yerine, aldıkları elektriksel sinyalleri "adımlar" (steps) halinde çok hassas açısal hareketlere dönüştürürler. Bu, yazıcının milimetrik koordinatlara yerleşmesini sağlar.

#### Önemli Özellikler:

- Hassasiyet:** Step motorların her bir tam dönüşü genellikle 200 adıma bölünür (1.8 derece/adım). Bu, yazıcının X, Y ve Z eksenlerinde mikron seviyesinde doğruluk sağlar.
- Microstepping:** Bu hassasiyet, "microstepping" (mikro-adımlama) teknolojisi ile daha da artırılır. Bu sayede, motorlar bir adımın 16'da 1'i (1/16) veya 32'de 1'i (1/32) gibi oranlarda bile hareket edebilirler. Bu, daha pürüzsüz yüzeyler ve daha sessiz baskı sağlar.
- Hata Faktörü:** Eğer bir step motor adımı kaçırırsa (bu durum, motorun aşırı ısınması veya baskı kafasının bir şeye çarpması gibi nedenlerle olabilir), bu durum "katman kayması" (layer shift) olarak baskıda karşımıza çıkar.

### 1.4.2: Isıtıcı Tabla (Bed - İnşa Zemini)

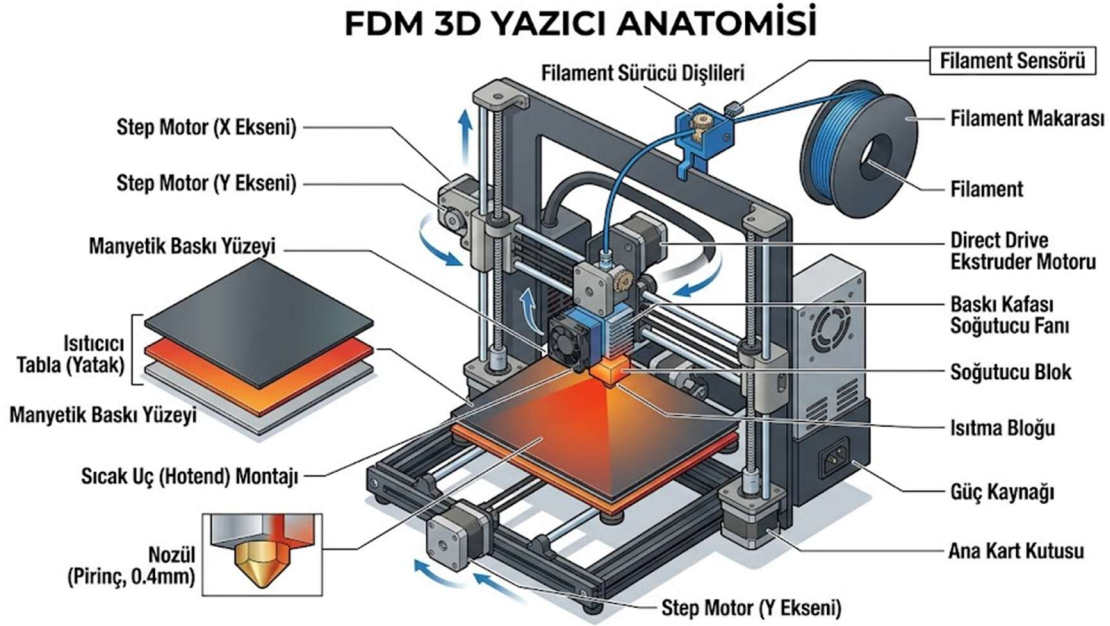
Parçanın üzerine inşa edildiği yüzeydir. Sadece bir zemin değil, termal bir kontrol sistemidir.

#### Önemli Özellikler:

- Adhesion (Tutunma):** İlk katmanın başarılı bir şekilde tablaya yapışması, başarılı bir baskının %80'ini oluşturur. Isıtılmış bir tabla, plastiği büzölmeye başladığı an (camlaşma sıcaklığına yakın bir sıcaklıkta) yumuşak tutarak kalkmayı (warping) önler.
- Sıcaklık Yönetimi:** PLA filament için genellikle 60°C, ABS için 100-110°C, PETG için 70-80°C sıcaklıklar kullanılır. Bu, malzemenin termal özelliklerine göre değişir.
- Yüzey Tipleri:** Cam, PEI kaplı manyetik saclar veya build-tak yüzeyler kullanılır. Bazı yüzeyler (örneğin PEI) sıcakken yapışır, soğuyunca parçayı serbest bırakır.

# 3D YAZICI TEKNOLOJİLERİ DERS NOTLARI

Donanım anatomisinin genel görünümü için aşağıdaki görseli inceleyiniz:



Şekil 1. FDM 3D Yazıcı Anatomisi

## 1.4.3: Sıcak Uç (Hotend) ve Nozül (Nozzle) (Sindirim Sistemi)

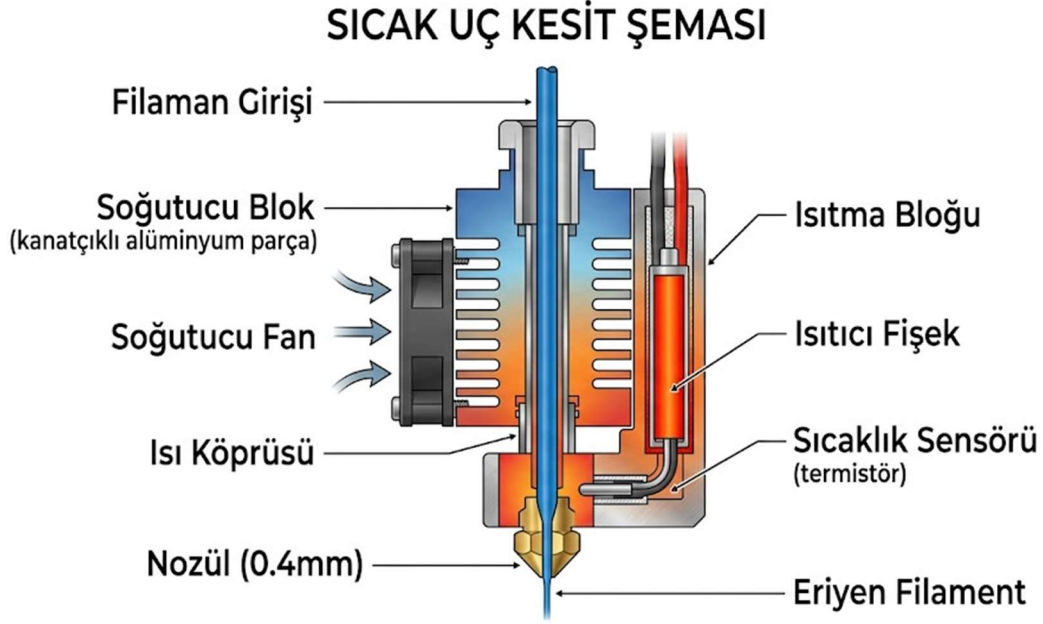
Filamentin katı halden erimiş hale geçtiği kritik bölgedir. Isı yönetimi burada hayattır.

### Sıcak Uç Yapısı (Detaylı):

- **Heatbreak (Isı Köprüsü):** Bu, hotend'in en kritik parçasıdır. Filamentin 'cold end'den (soğuk uç) erime noktasına gelmeden 'hot end'e (sıcak uç) geçerken erimesini önler. Bu bölge son derece incedir ve termal transferi minimuma indirir. Eğer bu bölge tıkanır, filament geri çekilemez.
- **Heatsink (Soğutucu Blok) ve Fan:** Heatbreak'in üzerindeki bu bileşen, cold end'in serin kalmasını sağlar. Eğer bu bölge ısınır (thermal creep), filament cold end'de eriyip tıkanmaya neden olur. Bu, en sık karşılaşılan hatalardan biridir.
- **Heating Block (Isıtma Bloğu):** Isıtıcı fişeğin (heater cartridge) ve sıcaklık sensörünün (thermistor) bulunduğu bölgedir. Bu blok, nozülü ısıtır.
- **Nozül:** Erimiş plastiğin şekillendiği pirinç veya çelik uçtur. Standart çap 0.4 mm'dir. 0.2 mm'lik bir nozül ile daha yüksek detaylı (ama daha yavaş) baskı, 0.8 mm'lik bir nozül ile daha hızlı (ama daha düşük detaylı) baskı alınabilir.

# 3D YAZICI TEKNOLOJİLERİ DERS NOTLARI

Bu bileşenlerin iç yapısını daha iyi anlamak için hotend kesitini inceleyiniz:



Şekil 2. Sıcak Uç Kesit Şeması

## 1.4.4: Filament İtici Mekanizmalar (Ekstrüder Türleri) (Taşıma Sistemi)

Yazıcının plastik şeridi (filament) makaradan alıp, eriyeceği yere (Nozzle) doğru iten parçasına **Ekstrüder** denir. Bunu, bir tüp dış macununu arkadan sıkan bir mekanizmaya benzetebilirsiniz. Bu mekanizmanın nerede durduğu, yazıcının hızını ve hangi malzemeleri basabileceğini belirler.

### Bowden Ekstrüder (Uzaktan Besleme)

Bu sistemde motor, yazıcının hareketli kafasında değil, yazıcının gövdesine sabitlenmiş durumdadır. Filament, **PTFE (Teflon)** adı verilen kaygan bir boru aracılığıyla sıcak uca gönderilir.

- **Çalışma Mantığı:** Motor uzakta bir "itici" görevi görür. Tıpkı bir bisiklet fren kablosu gibi, teli (filamenti) borunun içinden iterek uca ulaştırır.
- **Avantajları:**
  - **Hız ve Hassasiyet:** Baskı kafası çok hafiftir (çünkü üzerinde ağır bir motor yoktur). Hafif olduğu için çok hızlı hareket edebilir ve ani duruşlarda sarsıntı yapmaz.

## 3D YAZICI TEKNOLOJİLERİ DERS NOTLARI

- **Daha Az Titreşim:** Kafa hafif olduğu için "Ghosting" dediğimiz baskı üzerindeki dalgalanmalar daha az görülür.

- **Dezavantajları:**

- **Esnek Filament Sorunu:** TPU gibi lastik kıvamındaki malzemeler, borunun içinde bükülür veya sıkışır. Bir ipi pipetin içinden itmeye çalıştığını düşün; ip yumuşaksa katlanır ve gitmez.
- **Geri Çekme (Retraction) Zorluğu:** Filamentin boru içinde küçük bir boşluğu vardır. Bu boşluk yüzünden baskı sırasında "ip çekme" (stringing) sorunları daha sık yaşanabilir.

### Direct Drive (Doğrudan Besleme)

Bu sistemde motor, filament eriten sıcak ucun (Hotend) tam üzerindedir. Motor ve kafa tek bir blok halindedir.

- **Çalışma Mantığı:** Motor filament tutar ve sadece birkaç milimetre aşağısındaki erime odasına doğrudan iter. Arada uzun bir yol yoktur.
- **Avantajları:**
  - **Malzeme Çeşitliliği:** Esnek (TPU), sert veya özel karışumlu tüm filamentleri sorunsuz basar. Yol kısa olduğu için filamentin bükülme şansı yoktur.
  - **Mükemmel Kontrol:** Filament üzerindeki kontrol çok hassastır. Motor "dur" dediği anda akış kesilir, "geri çek" dediği anda filament anında tepki verir.
- **Dezavantajları:**
  - **Ağırlık:** Baskı kafası bir motor taşıdığı için oldukça ağırdır.
  - **Hız Sınırı:** Bu ağırlık, kafa hızlı hareket ederken "eylemsizlik" yaratır. Çok hızlı hareketlerde yazıcı titreyebilir veya baskı kalitesi düşebilir.

### Karşılaştırma Tablosu

Özellik	Bowden	Direct Drive
Hız	Çok Yüksek	Orta / Düşük
Esnek Filament (TPU)	Zor / İmkansız	Çok Başarılı
Kafa Ağırlığı	Çok Hafif	Ağır
Bakım	Boru temizliği gerektirir	Genelde daha dayanıklıdır
Hassasiyet	Orta (Boru esnemesi nedeniyle)	Çok Yüksek

# 3D YAZICI TEKNOLOJİLERİ DERS NOTLARI

Aşağıdaki görselde bu iki sistemin karşılaştırmasını inceleyiniz:

## Bowden vs. Direct Drive

### Ekstrüder Sistemleri Karşılaştırma

#### BOWDEN EKSTRÜDER

Motor Gövdede

**Avantajlar**

- ✓ Daha Hafif Bask Kafası
- ✓ Daha Hızlı Hareket
- ✓ Daha Az Titreşim

**Dezavantajlar**

- ✗ Daha Zor Filament Geri Çekme
- ✗ Esnek Filamentte Zorlayıcı
- ✗ Uzun Tüp Takılması

#### DIRECT DRIVE EKSTRÜDER

Motor Baskı Kafasında

**Avantajlar**

- ✓ Daha İyi Filament Kontrolü
- ✓ Esnek Filament Uyumu
- ✓ Daha Az Geri Tepme

**Dezavantajlar**

- ✗ Daha Ağır Baskı Kafası
- ✗ Daha Yavaş Hareket
- ✗ Artan Titreşim

### KARŞILAŞTIRMA:

Hız	Filament Uyumluluğu	Hassasiyet
 Hızlı	 Zorlayıcı	 Yüksek
	 Uyumlu	
		

Şekil 3. Bowden vs. Direct Drive Ekstrüder Sistemleri Karşılaştırma

# 3D YAZICI TEKNOLOJİLERİ DERS NOTLARI

## Kaynakça:

- Gibson, I., Rosen, D. W., & Stucker, B. (2015). *Additive Manufacturing Technologies: 3D Printing, Rapid Prototyping, and Direct Digital Manufacturing*. Springer.
- Chua, C. K., & Leong, K. F. (2014). *3D Printing and Additive Manufacturing: Principles and Applications*. World Scientific Publishing.
- Thompson, M. K., Moroni, G., Vaneker, T., Fadel, G., Campbell, R. I., Gibson, I., ... & Martina, F. (2016). Design for Additive Manufacturing: Trends, opportunities, considerations, and constraints. *CIRP Annals*, 65(2), 737-760.
- Ahn, S. H., Montero, M., Odell, D., Roundy, S., & Wright, P. K. (2002). Anisotropic material properties of fused deposition modeling ABS. *Rapid Prototyping Journal*, 8(4), 248-257.