



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

3B Yazıcılarda Kullanılan Farklı Tip Ekstrüderlerin ANSYS Programı ile Termal Analizlerinin Gerçekleştirilmesi

 Hasan DEMİR^{a,*},  Atıl Emre COŞGUN^a

^a Yazılım Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Aksaray Üniversitesi, Aksaray, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: hasandemir@aksaray.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.905593

ÖZ

Bu çalışmanın amacı, 3B yazıcılarda ticari olarak kullanılan J-Head ekstrüder ve Volcano ekstrüderlerin ANSYS sonlu elemanlar yazılımı ile modellerin kararlı hal termal analizlerini gerçekleştirmek, modellerin eksiklikleri ve birbirlerine göre üstünlüklerini belirlemektir. Modellerin tasarımsal farklılıkları ve geometrik özellikleri farklı termal davranışlar göstermesine neden olmaktadır. Başlangıç koşulları ve sınır şartları her iki model için aynı olması sağlanmış, böylelikle diğer değişkenlerin sabit olmasına bağlı olarak tasarımların termal analizleri ön plana çıkarılmıştır. Termal analiz ile modellerin tasarımlarının baskı malzemesinin füzyonu üzerindeki etkileri incelenmiştir. Analiz sonuçları, modellerin avantaj ve dezavantajlarını ortaya koymuş ve gelecekte yapılabilecek yeni tasarımlar için bilgi kaynağı oluşturmuştur.

Anahtar Kelimeler: Eklemeli imalat, Kararlı hal termal analiz, 3B yazıcı, Ekstrüder, ANSYS.

Performing Thermal Analysis of Different Types of Extruders Used in 3D Printers with ANSYS Program

ABSTRACT

The aim of this study is to perform steady-state thermal analysis of the models of J-Head extruders and Volcano extruders used commercially in 3D printers with ANSYS finite element software and to determine the shortcomings of the models and their advantages over each other. The design differences and geometric features of the models cause them to exhibit different thermal behaviours. The initial conditions and boundary conditions were ensured to be the same for both models, thus the thermal analysis of the designs highlighted depending on the other variables being constant. The effects of the designs of the models on the fusion of the printing material were examined by thermal analysis. The results of the analysis revealed the advantages and disadvantages of the models and created a source of information for new designs that can be made in the future.

Keywords: Additive manufacturing, Steady state thermal analysis, 3D printer, Extruder, ANSYS.

I. GİRİŞ

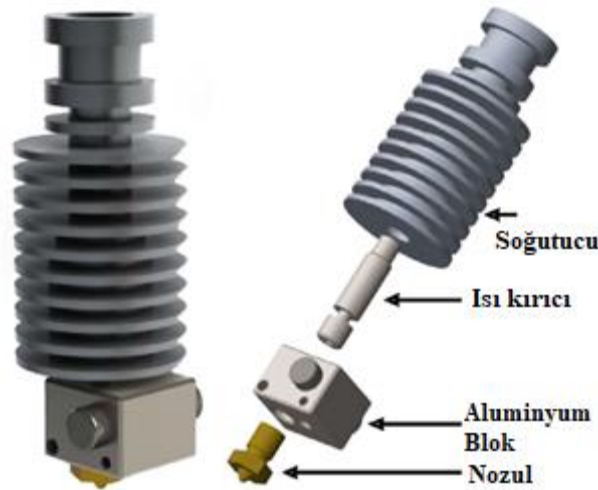
Katmanlı üretim metotlarından biri olan 3B baskı, bilgisayar destekli tasarımları 3 boyutlu nesnelere dönüştüren katmanlı üretim teknolojisidir. Geleneksel üretim yöntemleri 3B baskı metodu ile basitleşmiştir. 3B baskının bir önemli avantajı da malzeme tasarrufu sağlaması ve dolayısıyla maliyetleri düşürmesidir. Karmaşık parçaların üretimini için geleneksel üretim yöntemlerine göre daha uygun bir üretim yöntemidir. Standard Tessellation Language (STL) dosya formatında üç boyutlu tasarlanan nesnelere 3B yazıcılara gönderilerek üretimi sağlanmaktadır. Kolay kullanımının olması 3B yazıcıların bireysel kullanıcılar aracılığıyla evlere bile girmesine neden olmuştur [1], [2].

Eriyik yığılma yöntemi 3B yazdırma teknolojisinin başlıca gruplarından biridir ve 3B yazıcılar bu prensibe göre çalışmaktadır. 3B yazıcılar filament adı verilen baskı malzemesi olarak esnek polimerlerden dayanımlı metallere kadar farklı malzemeler kullanabilmektedir [3]–[6].

Üretilen nesnenin mekanik yapısı ve kalitesi, parçanın tasarımı, 3B yazıcının baskı hızı ve ekstrüder sıcaklığı gibi parametrelere bağlıdır [7]–[9]. Literatürde çoğu araştırma malzemenin erime modeli ve eriyen malzemenin akış modeli üzerine odaklanmıştır [10]–[12]. Az sayıdaki araştırmacıda füzyon için gerekli olan baskı sıcaklığı üzerinde çalışmalar yapmıştır [13], [14].

3B yazıcılar termal etkilerin yoğun olduğu cihazlardır. Filament olarak kullanılan malzemeler (ABS, PLA gibi) ekstrüder sıcaklığı ile füzyona uğrayarak nozuldan akar. Ayrıca akan malzemenin taban yüzeye daha iyi tutunabilmesi için tabla olarak adlandırılan tabanlıkta ısıtılmaktadır. Malzemenin füzyona uğradığı nokta ekstrüderdir. Katmanların birbiri ile birleşmesi ve füzyonun olması direk olarak ekstrüder sıcaklığına bağlıdır [15]. Bu nedenle ekstrüder sıcaklığının belirlenen değerde sabit kalması ve dalgalanmaması füzyonun tam gerçekleşmesine ve hatasız, kaliteli bir baskının oluşmasına neden olacaktır.

Ekstrüder, nozul, alüminyum ısı bloğu, ısı kesici (termal köprü), alüminyum soğutucu parçalarından oluşmaktadır. Şekil 1’de ekstrüder modeli gösterilmiştir [16]. Ekstrüderi ısıtan ısıtıcı eleman alüminyum ısı bloğuna yerleştirilir. Bütün ekstrüderdeki sıcaklık bu bloktan yayılır. Bloğa gelen filament füzyona uğrayarak nozuldan akar. Ancak sıcaklığın ısı kesici üzerinden yukarı doğru geçiş yapması filamentin soğutucu içinde eriyerek tıkanıklık oluşturmaya neden olur. Bu durumun önüne geçmek için farklı ekstrüder modelleri geliştirilmiştir. Bu modellerde farklı şekillerde ve farklı malzemelerden yapılmış parçalar kullanılmıştır. Isı enerjisini soğutucu üzerinden daha hızlı uzaklaştırmak için fan kullanılmıştır.



Şekil 1. Ekstrüder [16].

Bu çalışmanın amacı, 3B yazıcılarda kullanılan J-Head ekstrüder ve Volcano ekstrüderin ANSYS sonlu elemanlar yazılımı ile kararlı hal termal analizini gerçekleştirmektir. Her iki ekstrüder modelinde de parçalar aynı malzemelerden seçilmiş ve aynı sınır koşullarında analiz edilmiştir. Bu ekstrüder modelleri ticari olarak 3B yazıcılarda yaygın bir şekilde kullanılması nedeniyle seçilmiştir. Modeller üzerindeki sıcaklık dağılımları gösterilmiştir. Modellerin sıcaklık dağılımları karşılaştırılmış ve füzyon bölgesindeki sıcaklıkları bulunmuştur. Bu makalede yapılan çalışma ile yeni ekstrüder tasarımlarında kullanılmak üzere kritik bilgiler belirlenerek teknolojik ilerleme sağlanmıştır.

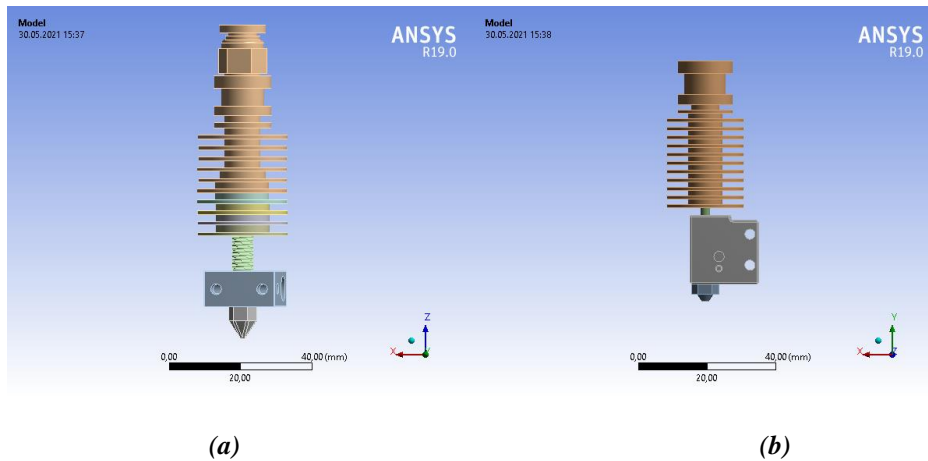
II. SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ İLE ANALİZ

Ekstrüder sıcak ve soğuk bölge olmak üzere ikiye ayrılır. Nozul ve ısıtıcı bloğun olduğu bölge sıcak bölge, alüminyum soğutucu ise soğuk bölgede yer alır. Isı kesici sıcak ve soğuk bölgeyi birbirinden ayırmaktadır. Ekstrüderin çalışması iki termal davranışın gerçekleşmesi ile olur. Bunlar; ısıtıcı eleman tarafından alüminyum bloğun ısıtılması ve soğutucuya bağlı bir fan ile zorlanmış hava taşınımı ile soğuk bölgenin soğutulmasıdır. Ek olarak parçalar arası ısı iletimi olduğu da unutulmamalıdır. Sonlu elemanlar analizi ile belirtilen bu termal davranışlar ön benzetim ile gözlemlenmiştir. Analiz değişkeni, ısıtıcı blokta oluşan ve bütün ekstrüdere yayılan sıcaklıktır.

A. GEOMETRİ

Ekstrüder geometrisi katı model olarak oluşturulmuştur ve dört parçadan oluşmaktadır. Şekil 2’de her iki modelde gösterilmiştir. Zorlanmış ısı taşınımı için fan kanatlı soğutucu üzerine takılmaktadır. Ekstrüderi oluşturan dört parça aşağıda açıklanmıştır:

- Nozul, malzemenin füzyona uğradıktan sonra aktığı bölümdür. Malzemenin aktığı deliğin çapına göre ve nozulun yapıldığı malzemenin çeşidine göre farklı tipleri vardır. Pirinç, sertleştirilmiş çelik, bakır gibi malzemelerden yapılabilmektedir. Özellikle bu çalışmada, nozul malzemesi olarak yaygın bir şekilde kullanılan ve maksimum çalışma sıcaklığı 300° C olan pirinç seçilmiştir.
- Isıtıcı alüminyum blok, üzerine yerleştirilen ısıtıcı eleman ile ekstrüdere sıcaklığın sağlandığı yerdir. Alüminyum malzemeden yapılmasının en önemli nedeni ısı iletim katsayısının ideal olmasıdır.
- Isı kesici yapıldığı malzemenin özelliğinden yararlanarak büyük bir görevi yerine getirmektedir. Sıcak ve soğuk bölgeyi ayırarak ısı geçişinin en aza indirmektedir. Bu nedenle ısı iletkenlik katsayısı düşük olan paslanmaz çelikten yapılmıştır.
- Alüminyum soğutucunun görevi, ısı kesiciden yukarı çıkan ekstrüder sıcaklığının düşürülerek malzemenin soğutucu boğazında ısınarak erimesinin önüne geçmektir. Bu nedenle üzerine fan takılarak zorlanmış ısı taşınımı oluşturulur.



Şekil 2. (a) J-Head ekstrüder, (b) Volcano ekstrüder.

J-Head ve Volcano ekstrüderin temeldeki en büyük farkları tasarımlarıdır. Tablo 1’de iki ekstrüdere ait bazı önemli tasarımsal farklılıklar verilmiştir. J-Head ekstrüderde soğutucu alüminyumun yüzey alanı Volcano ekstrüderden fazladır. Ek olarak, ısıtıcı alüminyum bloğun yüzey alanı ise Volcano ekstrüderde daha fazladır. Önemli olan bir diğer fark ise alüminyum ısıtıcı bloğun yönelimidir. Volcano ekstrüderde ısıtıcı blok dik bir şekilde konumlanırken, J-Head ekstrüderde yatay olarak konumlanmıştır (Şekil 2). Bu durum Volcano ekstrüderde filamentin ısıtıcı blok içerisinden geçmesi gereken mesafeyi artırmaktadır. Ekstrüderde önemli bir görevi yerine getiren ısı kesici ise her iki ekstrüderde farklı tasarıma sahiptir. Isı kesicinin tasarımsal farklılığı sıcak ve soğuk bölgenin birbirinden ayrılma performansını belirleyecektir.

Tablo 1. J-Head ve Volcano ekstrüdere ait bazı tasarımsal farklılıklar.

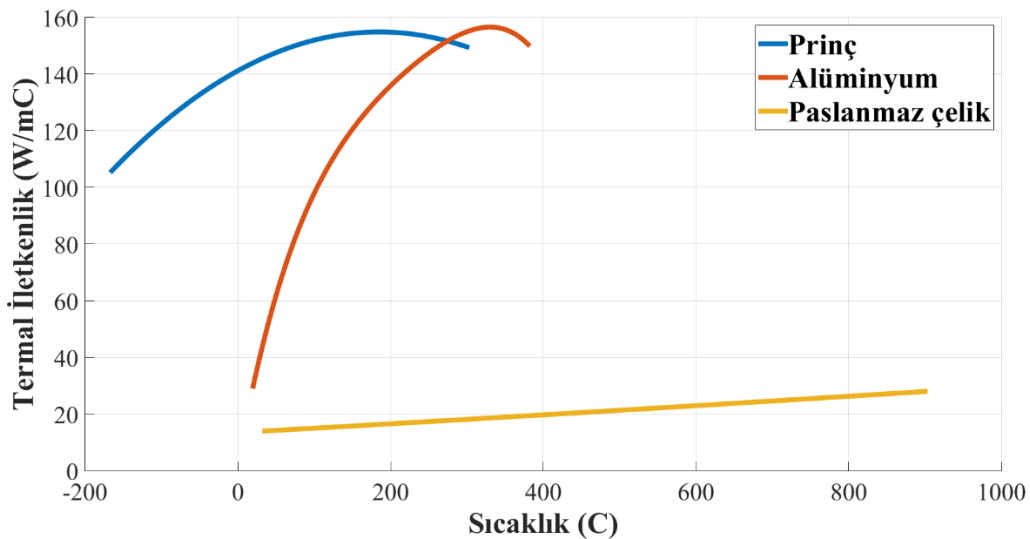
	Soğutucu alüminyum yüzey alanı (mm^2)	Isıtıcı alüminyum blok yüzey alanı (mm^2)	Isıtıcı alüminyum blok yüksekliği (mm)
J-Head	13144,95	230	10
Volcano	10469,18	235	20

Parçalar tanımlandıktan sonra, analizde her bir parçanın malzemesi Tablo 2’de gösterildiği gibi seçilmiştir [17]. Şekil 3’de analizde kullanılan malzemelerin termal iletkenliklerinin sıcaklığa bağlı grafiği verilmiştir.

Tablo 2. Malzemeler ve özellikleri.

Parça Adı	Malzeme	Termal iletkenlik ($W/m.K$)	Yoğunluk (kg/m^3)
Nozul	Pirinç	150	8470
Isı bloğu ve soğutucu	Alüminyum	235	2730
Isı kesici	Paslanmaz Çelik	15,1	7960

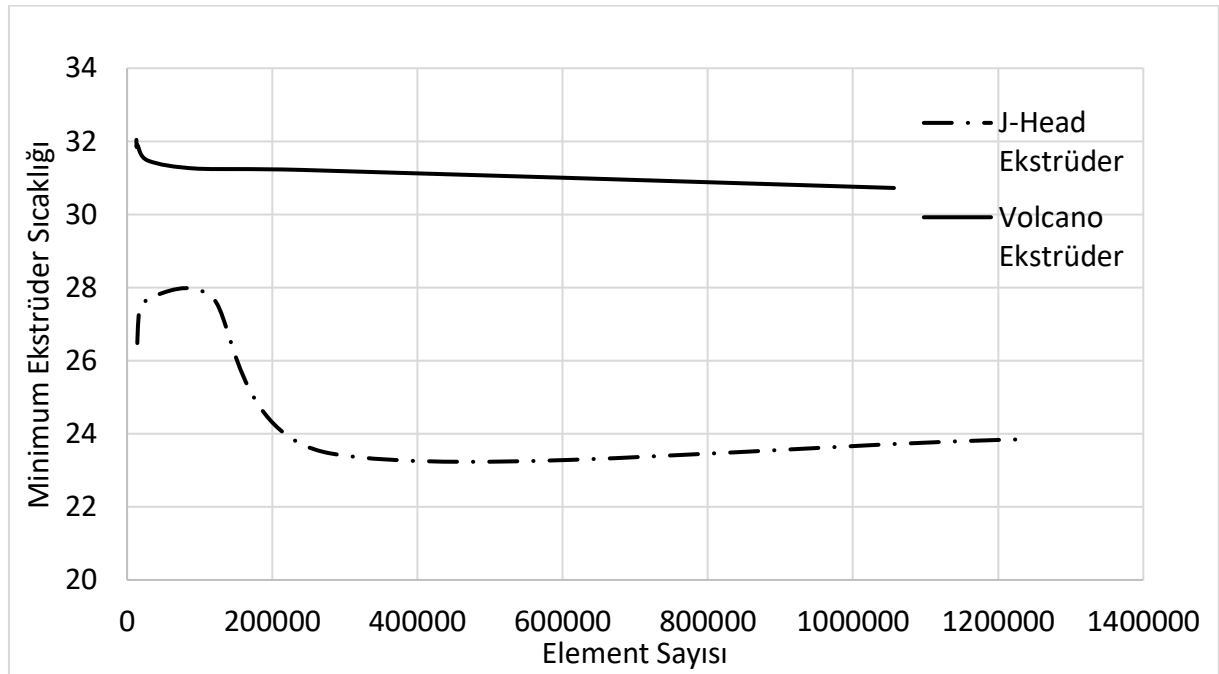
Şekil 3’deki grafik incelendiğinde alüminyumun ve pirincin termal iletkenliklerinin yüksek olduğu görülmektedir. Paslanmaz çeliğin ise termal iletkenliğinin düşük olduğu görülmektedir ve neden ısı kesici malzemesi olarak kullanıldığı anlaşılmaktadır.



Şekil 3. Malzemelerin termal iletkenlikleri.

A. 1. Mesh Optimizasyonu

Sayısal çözüm için mesh modeli element boyutu ve element tipi girilerek gerçekleştirilmiştir. Element tipi olarak tetrahedrons belirlenmiş ve element boyutuna bağlı olarak mesh optimizasyonu yapılmıştır. İki ekstrüder modeli için element boyutu 10 mm ile 0,625 mm arasında değiştirilerek minimum ekstrüder sıcaklığı bulunmuştur. Şekil 4’de mesh yakınsama grafiği verilmiştir. J-Head ekstrüder için element boyutu 0,6 mm’den küçük değerler için minimum ekstrüder sıcaklığındaki değişimin çok azaldığı bulunmuştur. Bu nedenle element boyutu 0,4 mm olarak belirlenmiştir. Volcano ekstrüderde element boyutu 1,5 mm’den küçük olduğunda minimum ekstrüder sıcaklığındaki değişimin azaldığı tespit edilmiş ve element boyutu 1,25 mm olarak belirlenmiştir. Belirlenen element boyutları yakınsanmış değerleri göstermektedir. Tablo 3’de ekstrüder modelleri için oluşturulan mesh yapılarının element sayısı ve element boyutu verilmiştir.



Şekil 4. Mesh yakınsama grafiği.

Tablo 3. Mesh element sayıları.

	J-Head Ekstrüder	Volcano Ekstrüder
Element sayısı	280314	28712
Element boyutu	0,40 mm	1,25 mm

B. TERMAL PROBLEMİN TANIMLANMASI

Ekstrüder üzerinde iki farklı ısı geçişi vardır. İlki malzemelerin temas ettiği yüzeyleri arasındaki ısı iletimidir. Malzemenin temas yüzeyi, sıcaklık farkı ve ısı iletkenliğine bağlı olarak hesaplanan Fourier ısı iletimi kanunu Eş. 1’de verilmiştir.

$$\dot{Q} = -kA \frac{\Delta T}{\Delta x} (W) \quad (1)$$

Burada \dot{Q} iletilen ısı miktarını, k ısı iletim katsayısını, A ısı geçişine dik temas eden yüzey alanını, ΔT sıcaklık farkını ve Δx kalınlığı ifade etmektedir.

İkinci ısı geçişi ise taşınım ile ısı transferidir. Taşınım bir katı yüzey ile ona bitişik akışkan arasındaki ısı transfer türüdür. Akışkan hareketli ise zorlanmış taşınım, durağan bir akışkan söz konusu ise doğal taşınım olmak üzere taşınım ikiye ayrılır. Isı taşınımını ifade eden matematiksel model Eş. 2’de verilmiştir.

$$\dot{Q} = hA(T_y - T_a)(W) \quad (2)$$

Eş. 2’de, h ısı taşınım katsayısı, A akışkanın temas ettiği yüzey alanı, T_y yüzey sıcaklığı ve T_a akışkan sıcaklığıdır.

Bu çalışmada yapılan analizde, modeller üzerinde parçalar arası ısı iletkenlik ve hem zorlanmış hem de doğal ısı taşınımı bulunmaktadır. Soğutucu üzerinde bulunan fan zorlanmış ısı taşınımı oluşturmaktadır ve ısı taşınım katsayısı $45 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ ’dir. Diğer parçalar ise doğal ısı taşınımına maruz kalırlar ve ısı taşınım katsayısı $5 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ ’dir.

C. SINIR KOŞULLARI VE BAŞLANGIÇ DEĞERLERİ

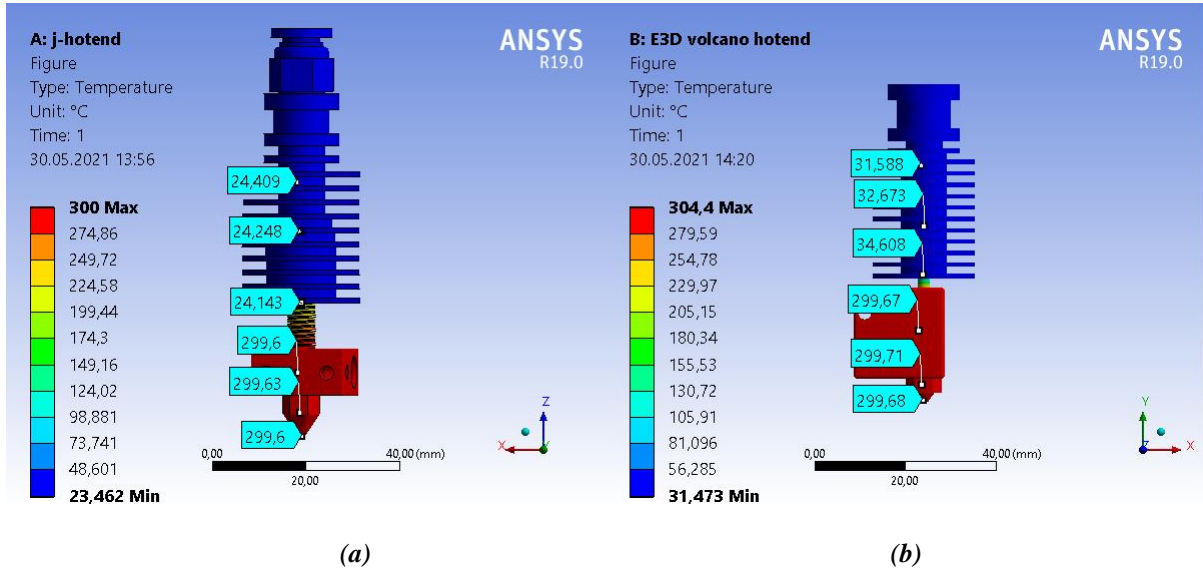
Tanımlanan modellerin kararlı hal termal analizlerinin çözüme ulaşması aşağıda verilen başlangıç ve sınır koşullarına bağlıdır:

- Ekstrüder çalışmaya başlamadan önce oda sıcaklığında bulunduğu için bütün parçaların başlangıç sıcaklığı 22°C derecedir.
- Soğutucu hariç diğer bütün parçaların yüzeyinin durağan (akış olmayan) hava ile temas ettiği dikkate alınmıştır ve doğal taşınım ile ısı transferi tanımlanmıştır.
- Soğutucu yüzeyleri (kanat yüzeyleri dahil) fanın etkisi nedeniyle zorlanmış taşınım ile ısı transferine maruz bırakılmıştır.
- Alüminyum ısı bloğunda yuvası bulunan ısıtıcı elemanın ısı kaynağı olduğu düşünülerek bu yuvanın yüzeylerine maksimum çalışma sıcaklığı olan 300°C sıcaklık tanımlanmıştır.
- Soğuk ve sıcak bölgeyi ayırması nedeniyle mesh modeline göre ısı kesici J-Head ekstrüderde 26791 tetrahedrons elemana, Volcano ekstrüder ise 4540 tetrahedrons elemana ayrılmıştır.

C. SİMÜLASYON VE SONUÇLAR

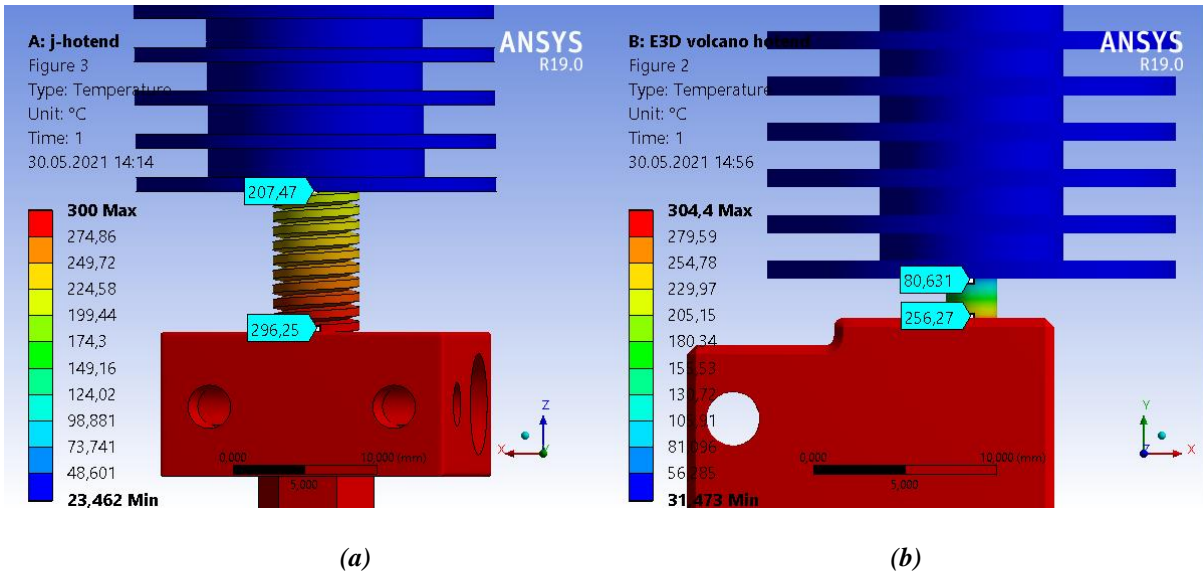
Analizler sonlu elemanlar yöntemi ile çalışan ANSYS programı ile gerçekleştirilmiştir. Malzemelerin termal ve fiziksel özellikleri programa tanımlanmış ve parçalara malzeme ataması gerçekleştirilmiştir. Parçalar arasında temas ile ısı iletimi olması nedeniyle temas noktaları tanımlandıktan sonra sınır şartları tanımlanmıştır. Ekstrüder modellerinin mesh ağ yapısı gerçekleştirilmiş ve modeller analizi başlatmak için hazır duruma gelmiştir.

Analizler sonucunda elde edilen ekstrüder modellerinin sıcaklık dağılımları Şekil 5’de verilmiştir. Her iki modelde de nozul sıcaklıklarının birbirine yakın olduğu görülmektedir. Füzyon işleminin tam bir şekilde olması gerektiğinden her iki ekstrüderde çalışma sıcaklığına yakın olması nedeniyle iyi çalışma performansı vermektedir. Sıcaklığın ısı kesici tarafından bloke edilmesi ve yukarı çıkamaması istendiğinden soğutucu üzerindeki sıcaklık dağılımı incelenmeli ve ısı kesicinin performansı değerlendirilmelidir. J-Head ekstrüder soğutucusunun sıcaklık dağılımının diğer ekstrüderden daha az olduğu bulunmuştur. Bu durum J-Head ekstrüderin ısı kesicisinin performansının yüksek olduğunu göstermektedir. Bunun nedenleri arasında tasarımdan da anlaşılacağı üzere J-Head ekstrüderde ısı bloğu ile soğutucunun arasındaki mesafenin fazla olması, soğutucunun yüzey alanının Volcano ekstrüderden fazla olması, ısı kesicinin kalınlığının fazla olması ve ısı kesicinin hava ile temas eden yüzeyinin fazla olması nedeniyle ısı taşınımına daha fazla maruz kalması bulunmaktadır.



Şekil 5.(a) J-Head ekstrüder, (b) Volcano ekstrüder sıcaklık dağılımı.

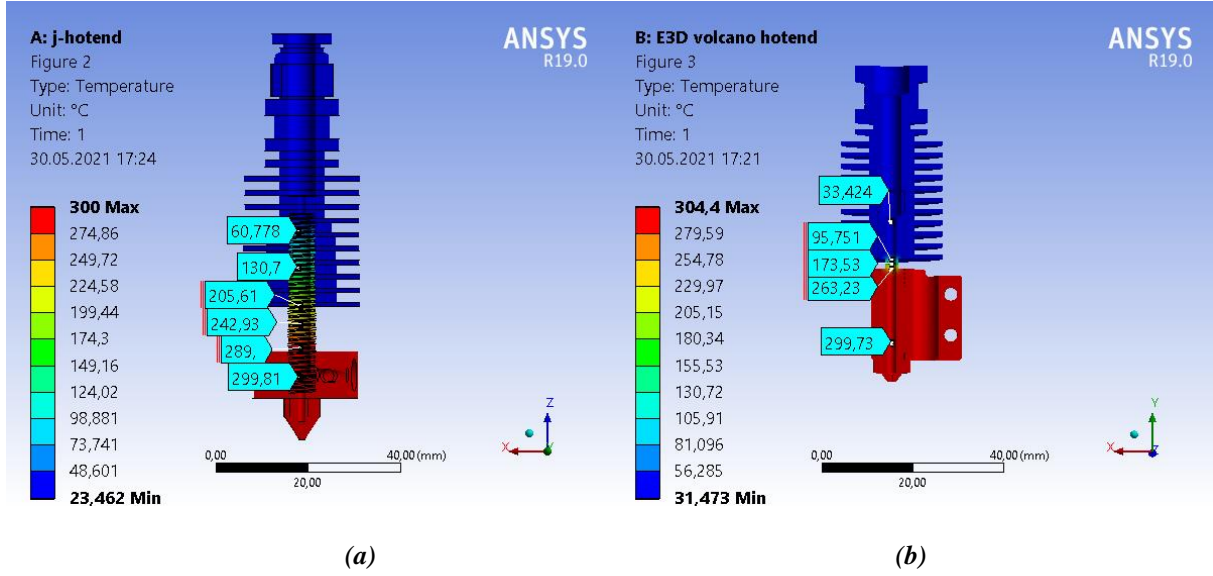
Sıcak ve soğuk bölgenin birbirinden ayrıldığı yer olan ısı kesici üzerindeki sıcaklık dağılımı Şekil 6'de verilmiştir. Isı kesici görevi nedeniyle önemli bir parça olduğundan sıcaklık dağılımı incelenmiştir. J-Head ekstrüder de ısı bloğunun dikey uzunluğu daha az olduğu için ısı kesicinin blok ile birleştiği noktada sıcaklık 296,25° C gibi yüksek bir değer çıkmıştır. Bu değer Volcano ekstrüder de 256,27° C'dir. Bu farkın oluşmasının nedeni alüminyum ısı blokları üzerindeki doğal taşınım ile ısı transferidir. Isı kesiciye giren ve çıkan sıcaklıklara bakıldığında J-Head ekstrüder %29,96 azalırken, Volcano ekstrüder de azalış oranı %68,53'dür. Volcano ekstrüderde ısı kesici giriş sıcaklığı daha düşüktür ve sıcaklık düşüşü daha azdır. J-Head ekstrüderde ısı kesicinin cidar kalınlığının fazla olması ısının iç tarafta muhafaza edilmesine ve daha fazla soğutucuya geçişine neden olmaktadır.



Şekil 6. (a) J-Head ekstrüder ısı kesici, (b) Volcano ekstrüder ısı kesici sıcaklık dağılımı.

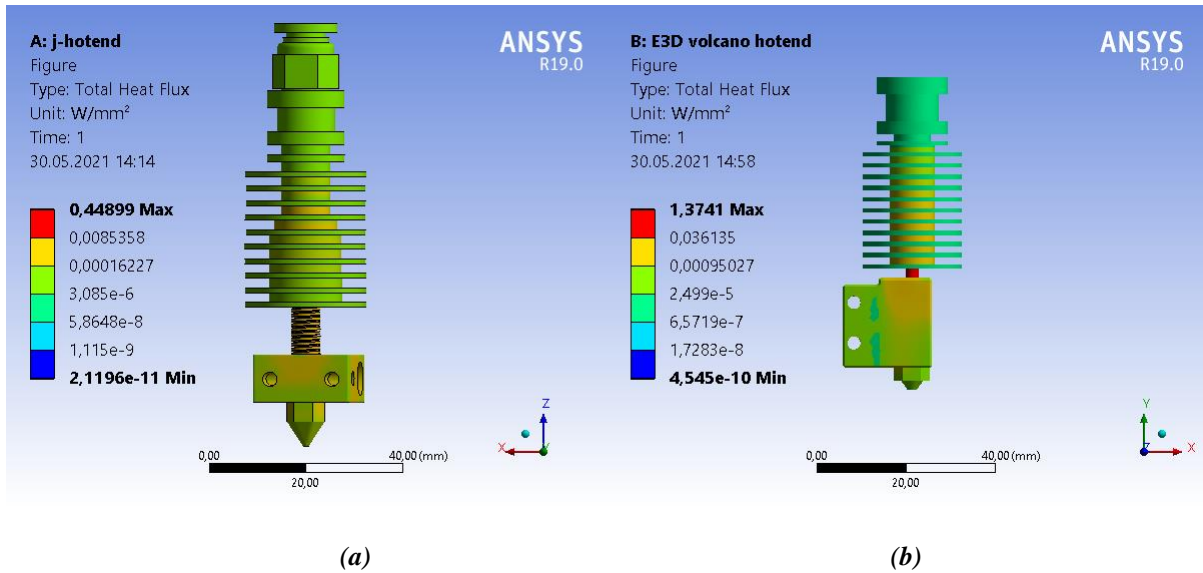
Şekil 7'de ekstrüder modellerinin kesit görüntülerinin sıcaklık dağılımı verilmiştir ve filamentin ekstrüder içinde yol alırken maruz kalacağı sıcaklıklar görülmektedir. Referans [11] gerçekleştirilen çalışmada baskı hızı gibi çevresel parametrelerin baskı sıcaklığında dalgalanmalara neden olduğu belirtilmiştir. Bu dalgalanmalar hataları artırmakta ve baskı kalitesini olumsuz etkilemektedir. Ayrıca aynı çalışmada baskı hızının artmasının filamentin ısıtıcı blokta kalma ve füzyona uğrama süresini

kısalttığı tespit edilmiştir. Volcano ekstrüderde ısıtıcı bloğun dik bir şekilde yerleştirilmesi filamentin blokta kalma süresini ve füzyona maruz kalma süresini uzatmıştır. Kesit görünümde ısı kesicinin sıcaklık dağılımının J-Head ekstrüderde homojen olduğu görülmektedir. Filamentin J-Head ekstrüderde kalma süresi kısa olmasına rağmen homojen sıcaklık dağılımı malzemenin soğutucu içinde sıcaklığa maruz kaldığını göstermektedir. Bu durum sıcak ve soğuk bölgenin J-Head ekstrüderin içinde tam olarak ayrılmadığını göstermektedir ve malzemenin eriyerek tıkanıklığa neden olması durumuna da neden olmaktadır.



Şekil 7. (a) J-Head ekstrüder kesit görünümü, (b) Volcano ekstrüder kesit görünümü sıcaklık dağılımı.

Enerji verimliliği açısından her iki modeli değerlendirmek için Şekil 8’de toplam ısı transferi verilmiştir. J-Head ekstrüder $0,010507 \text{ W/mm}^2$, Volcano ekstrüder ise $0,02083 \text{ W/mm}^2$ ortalama ısı geçişi olmaktadır. Volcano ekstrüder diğer modele göre daha fazla ısı kaybına neden olmaktadır. Günümüzde cihazların uluslararası standartlarda enerji sınıflandırmasına tabi tutulduğu ve 3B yazıcılarında yüksek sıcaklıklarda çalışması nedeniyle yüksek enerji ihtiyacı göz önüne alındığında Volcano ekstrüderin enerji verimliliği açısından kötü olduğu belirlenmiştir.



Şekil 8. (a) J-Head ekstrüder, (b) Volcano ekstrüder toplam ısı transferi.

IV. SONUÇ

Bu çalışmada, sonlu elemanlar analiz yöntemi ile ticari olarak kullanılan iki ekstrüder modelinin termal performans değerlendirilmesi yapılmıştır. Modellerin termal davranışları ve çalışma ortamının sınır koşulları kararlı hal termal analizi ile değerlendirilerek analizler yapılmıştır. Yapılan analizden elde edilen sonuçlar şunlardır:

- Malzeme akışının önemi dikkate alındığında nozul sıcaklığının her iki ekstrüderde iyi olduğu görülmüştür.
- Soğuk ve sıcak bölgenin ısı kesici tarafından Volcano ekstrüderde daha iyi ayrıldığı bulunmuştur.
- Isı kesici performansı değerlendirildiğinde, Volcano ekstrüderde sıcaklığın %68,53 oranla azaldığı hesaplanmıştır. Bu değer ısı kesicinin yüksek performansta çalıştığını göstermektedir.
- Isı kesicinin boyunun uzun olması malzemenin ısı kesicide ısıya maruz kalarak erimesine ve tıkanıklığa neden olabilmektedir. Bu nedenle J-Head ekstrüderin tıkanma ihtimali daha yüksektir.
- Ekstrüderlerin kesit görünülerinin sıcaklık dağılımları incelendiğinde, ısı kesicinin sıcaklığının J-Head ekstrüderde ısıtıcı bloktan soğutucunun içine doğru arttığı görülmektedir. Bu durum sıcak ve soğuk bölgenin ekstrüderin içinde iyi ayrılmadığını göstermektedir.
- Filamentin ısıtıcı blok içinde kalma süresi Volcano ekstrüderde daha fazladır. Bu durum baskı parametrelerinin ve çevresel faktörlerin değişimine bağlı olarak yaşanan sıcaklık dalgalanmalarının baskı kalitesini bozmasının önüne geçmektedir.
- J-Head ekstrüderin enerji verimliliği daha fazladır. 3B yazıcılar termal etkilerin yoğun olduğu cihazlar olması nedeniyle enerjinin büyük bir kısmı ısı enerjisine çevrilmektedir. Isı enerjisinin de ortama transferi ile kayıp olduğu düşünüldüğünde J-Head ekstrüder tasarımının enerji verimliliğinin önemi anlaşılmaktadır.

Bu çalışmanın sonucunda her iki ekstrüder modelinin avantaj ve dezavantajları değerlendirilmiştir. Analiz sonucunda elde edilen bilgiler dezavantajları yok etmek için ve yeni ekstrüder modelleri tasarlanırken bilgi oluşturması açısından önem arz etmektedir.

V. KAYNAKLAR

- [1] J. Butt, D. A. Onimowo, M. Gohrabian, T. Sharma, and H. Shirvani, "A desktop 3D printer with dual extruders to produce customised electronic circuitry," *Front. Mech. Eng.*, vol. 13, no. 4, pp. 528–534, 2018.
- [2] H. Ji, X. Zhang, X. Huang, L. Zheng, X. Ye, and Y. Li, "Effect of extrusion on viscoelastic slurry 3D print quality: numerical analysis and experiment validation," *SN Appl. Sci.*, vol. 1, no. 9, pp. 1-11, 2019.
- [3] J. D. Prince, "3D printing: an industrial revolution," *J. Electron. Resour. Med. Libr.*, vol. 11, no. 1, pp. 39–45, 2014.
- [4] D. Altunkaynak, B. Duman, and K. Çetinkaya, "5 eksen 3B yazıcı tasarımı ve uygulaması," *Int. J. 3D Print. Technol. Digit. Ind.*, c. 4, s. 2, ss. 124–138, 2020.
- [5] K. Szykiedans and W. Credo, "Mechanical properties of FDM and SLA low-cost 3D prints," *Procedia Eng.*, vol. 136, pp. 257–262, 2016.
- [6] X. L. Ma, "Research on application of SLA technology in the 3D printing technology," *Appl. Mech. Mater.*, vol. 401–403, pp. 938–941, 2013.

- [7] J. M. Chacón, M. A. Caminero, E. García-Plaza, and P. J. Núñez, “Additive manufacturing of PLA structures using fused deposition modelling: Effect of process parameters on mechanical properties and their optimal selection,” *Mater. Des.*, vol. 124, pp. 143–157, 2017.
- [8] Y. Song, Y. Li, W. Song, K. Yee, K. Y. Lee, and V. L. Tagarielli, “Measurements of the mechanical response of unidirectional 3D-printed PLA,” *Mater. Des.*, vol. 123, pp. 154–164, 2017.
- [9] J. R. C. Dizon, A. H. Espera, Q. Chen, and R. C. Advincula, “Mechanical characterization of 3D-printed polymers,” *Addit. Manuf.*, vol. 20, pp. 44–67, 2018.
- [10] C. McIlroy and P. D. Olmsted, “Disentanglement effects on welding behaviour of polymer melts during the fused-filament-fabrication method for additive manufacturing,” *Polymer (Guildf.)*, vol. 123, pp. 376–391, 2017.
- [11] F. Peng, B. D. Vogt, and M. Cakmak, “Complex flow and temperature history during melt extrusion in material extrusion additive manufacturing,” *Addit. Manuf.*, vol. 22, no. May, pp. 197–206, 2018.
- [12] R. Comminal, M. P. Serdeczny, D. B. Pedersen, and J. Spangenberg, “Numerical modeling of the strand deposition flow in extrusion-based additive manufacturing,” *Addit. Manuf.*, vol. 20, pp. 68–76, 2018.
- [13] A. C. Abbott, G. P. Tandon, R. L. Bradford, H. Koerner, and J. W. Baur, “Process-structure-property effects on ABS bond strength in fused filament fabrication,” *Addit. Manuf.*, vol. 19, pp. 29–38, 2018.
- [14] R. Singh, G. Singh, J. Singh, and R. Kumar, “Investigations for tensile, compressive and morphological properties of 3D printed functional prototypes of PLA-PEKK-HAp-CS,” *J. Thermoplast. Compos. Mater.*, vol. 34, no. 10, pp. 1408-1427, 2019.
- [15] C. Bellehumeur, L. Li, Q. Sun, and P. Gu, “Modeling of bond formation between polymer filaments in the fused deposition modeling process,” *J. Manuf. Process.*, vol. 6, no. 2, pp. 170–178, 2004.
- [16] M. Pollák, J. Kaščák, M. Telišková, and J. Tkáč, “Design of the 3D printhead with extruder for the implementation of 3D printing from plastic and recycling by industrial robot,” *TEM J.*, vol. 8, no. 3, pp. 709–713, 2019.
- [17] Material Property Data. (May, 2021). *Online Materials Information Dataset* [Online]. Available: <http://www.matweb.com/index.aspx>