



FDM YÖNTEMİ İLE ÜRETİLEN PLA NUMUNELERİN ÇEKME ÖZELLİKLERİNE İŞLEM PARAMETRELERİNİN ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Selim BACAK^{1*}, Hatice VAROL ÖZKAVAK¹, Muzaffer TATLI²

¹ Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, TBMYO, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, Isparta, Türkiye

² Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, TBMYO, Bilgisayar Teknolojileri Bölümü, Isparta, Türkiye

| Anahtar Kelimeler | Öz |
|--|--|
| <i>Eriyik Yığıma Modelleme (FDM), Eklemeli İmalat, Mekanik Özellikler, İşlem Parametreleri, Anova Analizi.</i> | Çalışmada eriyik yığıma modelleme (FDM) yöntemi ile 3B yazıcı kullanarak üretilen PLA numunelerin mekanik özelliklerden olan çekme dayanımına işlem parametrelerinin etkisi belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla çalışmada işlem parametreleri olarak 2 farklı doluluk oranı (%20 ve %100), 3 farklı baskı hızı (100,150 ve 200 mm/s), 3 farklı nozul sıcaklığı (180, 205 ve 220°C) ve 3 farklı desen çeşidi (Cubic, Grid, Triangle) seçilmiştir. Çalışmada, %20 doluluk oranına göre %100 doluluk oranında daha yüksek çekme gerilmesi elde edilmiştir. %20 doluluk oranındaki numuneler kendi aralarında kıyaslandığında elde edilen en yüksek çekme gerilmesi değeri 220°C nozul sıcaklığında, 100 mm/s baskı hızında yapılan Grid desen çeşidinde 43.12 MPa olarak ölçülmüştür. %100 doluluk oranında ise en iyi sonuç 220°C de, 100 mm/s baskı hızında üretilen numunede 59.21 MPa çıkmıştır. Çalışmada %20 doluluk oranındaki numuneler için istatistik analiz yapılmıştır. Varyans analiz (ANOVA) yöntemi sonucu güven düzeyi %94,4 elde edilmiştir. |

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF PROCESSING PARAMETERS ON TENSILE PROPERTIES OF PLA SAMPLES PRODUCED BY FDM METHOD

| Keywords | Abstract |
|---|---|
| <i>Fused Deposition Model (FDM), Additive Manufacturing, Mechanical Properties, Process Parameters, Anova Analysis.</i> | In the study, it was aimed to determine the effect of process parameters on the tensile strength of PLA samples produced by using 3D printer with the Fused Deposition Modeling (FDM) method. For this purpose, 2 different fill rates (20% and 100%), 3 different printing speeds (100, 150 and 200 mm/s), 3 different nozzle temperatures (180 °C, 205 °C and 220 °C) and 3 different pattern types (Cubic, Grid, Triangle) are selected. In the study, a higher tensile stress was obtained at a rate of 100%, compared to 20%. When the samples with 20% filling ratio are compared among themselves, the highest tensile stress value obtained was measured as 43.12 MPa in the Grid pattern type made at a nozzle temperature of 220 °C and at printing speed of 100 mm/s. The best result at 100% filling rate was 59.21MPa in the sample produced at 220°C, printing speed of 100 mm/s. In the study, statistical at analysis was done for samples with 20% fill rate. As a result of the variance analysis (ANOVA) method, the confidence level was achieved as 94.4%. |

Alıntı / Cite

Bacak, S., Varol Özkavak, H., Tatlı, M., (2021). FDM Yöntemi ile Üretilen PLA Numunelerin Çekme Özelliklerine İşlem Parametrelerinin Etkisinin İncelenmesi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 9(1), 209-216.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

S. Bacak, 0000-0002-9640-2893
H. V. Özkavak, 0000-0002-0314-0119
M. Tatlı, 0000-0001-9075-3791

Makale Süreci / Article Process

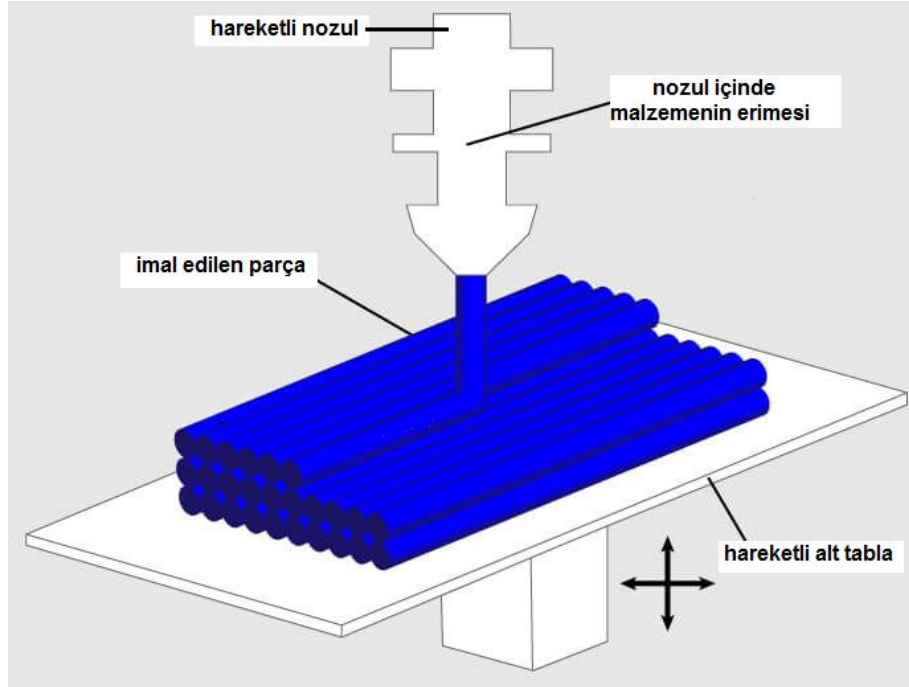
| | |
|---|------------|
| Başvuru Tarihi / Submission Date | 10.06.2020 |
| Revizyon Tarihi / Revision Date | 09.10.2020 |
| Kabul Tarihi / Accepted Date | 03.02.2021 |
| Yayın Tarihi / Published Date | 30.03.2021 |

1. Giriş (Introduction)

Günümüz teknolojisinde üretim süresi ve bunun sonucu olarak piyasaya sunma süresinin azaltılması rekabet açısından önem arz etmektedir. Bu durum üretim hızı yüksek olan değişik prototipleme teknolojilerinin ortaya

* İlgili yazar / Corresponding author: selimbacak@isparta.edu.tr, +90-246-214-6919

çıkmasına neden olmuştur (Kürşad vd., 2019). Bu amaçla ortaya çıkan teknolojilerden birisi de eklemeli imalat teknolojisidir. Eklemeli imalat tabaka tabaka tek kesit şeklinde üretim yapan ve 3B yazıcı olarak da bilinen bir yöntemdir (ASTM International,2010). Bu yöntemde üretim süreci üretilecek parçanın 3 boyutlu katı modelinin STL formatına dönüştürülmesi ile başlar. STL formatına dönüşüm sağlandıktan sonra modeli mümkün olan en küçük katmanlara ayrılır ve ayrılan katmanlar 3B yazıcıya gönderilerek parça üretimi sağlanır (Upcraft vd., 2003). Bu işlem için metal polimer veya seramik malzemeler lazer veya elektron ışını ile eritilerek (seçici lazer sinterleme (SLS) /Eritme (SLM)) veya uygun bir sıvı bağlayıcı (3B baskı) istenilen desende katılaştırılarak oluşturulmaktadır (Kruth vd.,2003; Li vd.,2009). Bir diğer yöntem de doğrudan erimiş birikim modellemesi olarak da tanımlanan eritilmiş plastik lifler (FDM) teknolojisidir (Düdek , 2013; Comb vd., 2005). FDM teknolojisi tel şeklinde mum veya plastik malzeme içerisinde malzemeyi erime noktasının üzerindeki bir sıcaklığa çıkarabilecek özelliğe sahip özel bir nozul kullanarak ekstürüze edilir. Ekstürüze edilen malzeme nozuldan akarak sertleşir, alttaki katmana yapışır ve bu işlem belirlenen katman sayısı kadar devam ederek parça imalatı sağlanmış olur. FDM sisteminin şematik görünüşü Şekil 1’de verilmektedir.



Şekil 1. FDM teknolojisinin şematik gösterilişi (Schematic representation of FDM technology) (<https://3dedi.com/blog/3d-baski-nedir.html>)

FDM teknolojisi ile üretilen parçaların kalitesine etki eden parametreler doluluk oranı, katman kalınlığı, extruder sıcaklığı, baskı hızı olarak tanımlanmaktadır. Bu parametrelerden olan ve parça mukavemetini önemli ölçüde etkileyen doluluk oranının artmasıyla hacim sabit kalmak kaydı ile malzeme yoğunluğu artmaktadır. Malzeme yoğunluğundaki artışın nedeni parça içindeki federlerin sayısının artırılmasından kaynaklanmaktadır. Malzeme yoğunluğundaki artış malzeme mukavemetindeki artışa neden olmaktadır (Evlen vd., 2020).

FDM yöntemi ile yapılan çalışmalar incelendiğinde farklı baskı hızı, nozul sıcaklığı ve doluluk oranları parametrelerinin mekanik özellikler üzerine etkisi ele alındığı belirlenmiştir. Bu çalışmada diğer çalışmalardan farklı olarak 2 farklı doluluk oranında (%20 ve %100), 3 farklı baskı hızı (100,150 ve 200 mm/s), 3 farklı nozul sıcaklığı (180°C, 205°C ve 220°C) işlem parametrelerinin yanında 3 farklı desen çeşidi ile üretilen numunelerin mekanik özellikleri belirlenmeye çalışılmıştır. Ayrıca çalışmada %20 doluluk oranı deney sonuçlarının istatistiksel analizi yapılarak deneylerin güven düzeyi belirlenmiştir. Böylelikle doluluk oranı, baskı hızı, nozul sıcaklığı gibi işlem parametrelerinin yanında desenin mekanik özelliklere etkisi de incelenmesi açısından literatüre katkı sağlanması planlanmaktadır.

2. Kaynak Araştırması (Literature Survey)

Çalışmada eriyik yığıma modelleme (FDM) yöntemi ile 3B yazıcı kullanarak üretilen PLA numunelerin mekanik özelliklerden olan çekme dayanımına işlem parametrelerinin etkisi belirlenmesi amaçlanmıştır. Doluluk oranının mekanik özelliklere etkisini incelemek amacıyla literatürde birçok çalışma mevcuttur. Çelebi ve arkadaşları yaptıkları çalışmada PLA polimer malzemeden 3 farklı doluluk oranında (%5, %50 ve %100) üretilmiş, numunelerin mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Yazarlar çalışma sonunda çekme dayanımlarında %50'ye varan farklılıklar oluştuğu ve oluşan bu farklılıkların nedeninin yazdırma işlemi sırasında meydana gelen mikro

çatlaklar olduğu sonucuna ulaşmışlardır (Çelebi vd., 2017). Özdemir ve arkadaşları PET ve PLA malzemeleri kullanarak %10, 20, 30 ve %50 doluluk oranında numuneler hazırlamış ve bu numunelerin tek eksenli çekme deneyler, sertlik ve yüzey pürüzlülük değerlerini incelemişlerdir. Çalışma sonunda PET ve PLA malzemelerin sertlik değeri malzemenin doluluk oranı arttıkça arttığı sonucuna ulaşmışlardır (Özdemir vd., 2016). FDM yöntemi ile üretilen, parçaların kalitesine etki eden diğer parametreler katman kalınlığı, tarama açısı, tarama genişliği, hava boşluğu, dolgu yoğunluğu, baskı yönü ve besleme hızı olarak yapılan çalışmalarla belirlenmiştir (Çavdar vd., 2006; Tuner vd., 2014). Çantlı ve arkadaşları ABS polimeri kullanarak %100 doluluk oranında farklı yazdırma hızı (30-70 mm/s) ve farklı işlem sıcaklıklarında (230°C, 240°C ve 250°C) numuneler üretmişlerdir. Üretilen numunelerin Shore-D sertlik değerlerini ve çekme dayanımlarını belirlemişlerdir. Çalışma sonunda baskı hızı artırıldığında parça geometrilerinde hatalar meydana geldiği ve ideal yazdırma hızının 50mm/s olduğu sonucuna ulaşmışlardır (Çantlı vd., 2017). Anitha ve arkadaşları yaptıkları çalışmada FDM işlem parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerine etkisini Taguchi yöntemi kullanarak incelemişlerdir. Çalışmada değiştirilen işlem parametreleri katman kalınlığı, baskı hızı ve yol genişliğidir. Çalışma sonunda yüzey pürüzlülüğüne en etkili parametrenin katman kalınlığı olduğuna ulaşmışlardır (Anitha vd., 2001).

3. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

3.1. Malzeme ve Ekipman (Material and Equipment)

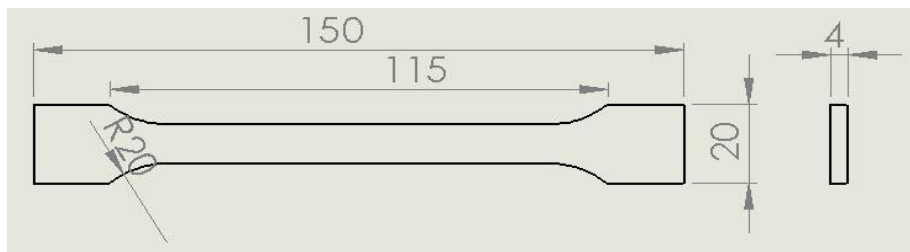
Çalışmada FDM esaslı 3B yazıcı ile farklı işlem parametreleri kullanarak numuneler üretilecek ve üretilen numunelerin çekme dayanımına seçilen işlem parametrelerinin etkisi belirlenecektir. Numune üretiminde malzeme olarak Polilaktik Asit (PLA+) seçilmiştir. PLA filamentler, daha az toksik içermesinden dolayı daha düşük sıcaklıklarda çalışılabilen ve yenilenebilir kaynaklardan daha çok faydalanılmaktadır (Günay vd., 2020). PLA malzemeden yapılmış filament mısır tanesinden çıkarılmış ve saflaştırılmış; yüksek sertlik, iyi parlaklık ve şeffaflık özelliklerine sahip 1.75 mm çapına sahip bir malzemedir. Çalışmada kullanılan PLA + malzeme ESUN firmasından temin edilmiş olup firma tarafından firmanın PLA malzemeler listesinden seçilmiştir. Tablo 1'de kullanılan PLA+ malzemesinin bazı fiziksel ve mekanik özellikleri verilmektedir.

Tablo 1. PLA+ filamentin özellikleri (Properties of PLA+ Filaments)

| Baskı sıcaklığı (°C) | Yoğunluk (g/cm ³) | Bozulma sıcaklığı (°C, 45 MPa) | Çekme Dayanımı (MPa) | Kopma uzaması (%) | Eğme dayanımı (MPa) | Darbe dayanımı (kJ/m ²) |
|----------------------|-------------------------------|--------------------------------|----------------------|-------------------|---------------------|-------------------------------------|
| 205-225 | 1.24 | 52 | 60 | 29 | 87 | 7 |

PLA+ esaslı çekme numuneleri kapalı sistem hareketli basım tablasına sahip bir 3B yazıcıda üretilmiştir. Çalışmada 0.4 mm nozul çapına sahip, FDM teknolojisine uygun ve x,y eksen hassasiyeti 1.25 mikron olan 3B yazıcı kullanılmıştır.

Çalışmada, çekme testi numuneleri ASTM D638-IV standardına uygun olarak hazırlanmış olup Şekil 2'de verilmektedir. İlgili numune katı modelleri CAD yazılımında çizimi gerçekleştirilmiş, 3B yazıcı için uygun formata dönüştürülmüş ve G kodları üretilerek üretime hazır hale getirilmiştir.



Şekil 2. Deneysel çalışmada kullanılan numune şekli (Shape of the sample used in the experimental study)

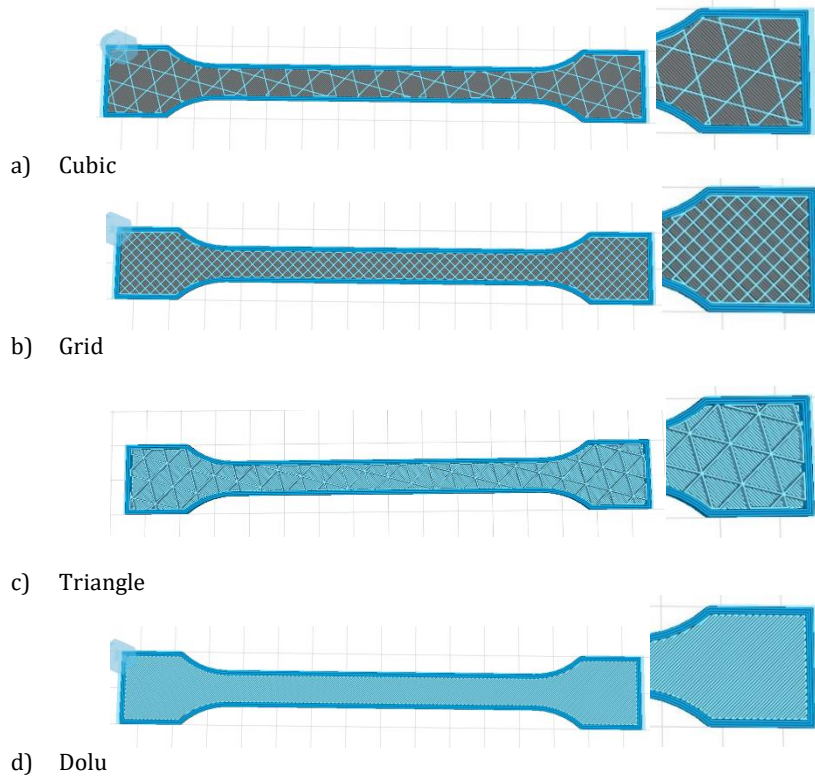
3.2. Deney Tasarımı ve Optimizasyon (Experimental Design and Optimization)

Çalışmada FDM yöntemi ile PLA+ filament malzemeden üretilen numunelerin mekanik özelliklerine işlem parametrelerinin etkisini belirlemek amaçlanmıştır. Bu amaçla çalışmada kullanılan işlem parametreleri Tablo 2'de verilmektedir. Numune üretimi sırasında tabla sıcaklığı 50 °C olarak sabit tutulmuştur. Üretim esnasındaki oda sıcaklığı 25 °C ölçülmüştür. Tablo 2 de işlem parametreleri gösterilmektedir.

Tablo 2. İşlem Parametreleri (Process Parameters)

| İşlem parametreleri | Değer |
|-------------------------|-----------------------|
| Tarama açısı (°) | 0 |
| Katman kalınlığı (mm) | 0.2 |
| Doluluk oranı (%) | 20, 100 |
| Baskı hızı (mm/s) | 100, 150, 200 |
| Nozul sıcaklığı (°C) | 180, 205, 220 |
| Tabla sıcaklığı (°C) | 50 |
| Ortam sıcaklığı (°C) | 25 |
| Alt kabuk katman sayısı | 4 |
| Üst kabuk katman sayısı | 4 |
| Dış duvar sayısı | 3 |
| Destek durumu | Yok |
| Geri çekme hızı (mm/s) | 20 |
| Fan hızı (%) | 100 |
| Desen çeşidi | Cubic, Grid, Triangle |

Çalışmada diğer çalışmalardan farklı olarak desen yapısının çekme dayanımına etkisi incelenmiştir. Çalışmada kullanılan desenler Şekil 2'de verilmektedir.

**Şekil 2.** Deneysel çalışmalarda kullanılan numune desenleri (Sample Patterns used in experimental studies)

Numunelerin 3B yazıcı tablası üzerindeki yerleşimleri tüm üretim aşamaları için aynı seçilmiştir. Çekme testleri Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Teknoloji Fakültesi bünyesinde bulunan 20 kN kapasiteli MARES marka test cihazı kullanılarak yapılmıştır. Çekme testleri 4 mm/s çekme hızında gerçekleştirilmiştir.

Çalışmada ayrıca seçilen işlem parametrelerinin çekme dayanımına bağlı olarak istatistiksel analizi yapılmıştır. Bu amaçla %94,4 güven düzeyinde varyans analizi (ANOVA) uygulanmış ve çekme dayanımı üzerine doluluk oranı, baskı hızı, sıcaklık ve desen çeşidinin etki seviyeleri belirlenmiştir.

4. Deneysel Sonuçlar(Experimental Results)

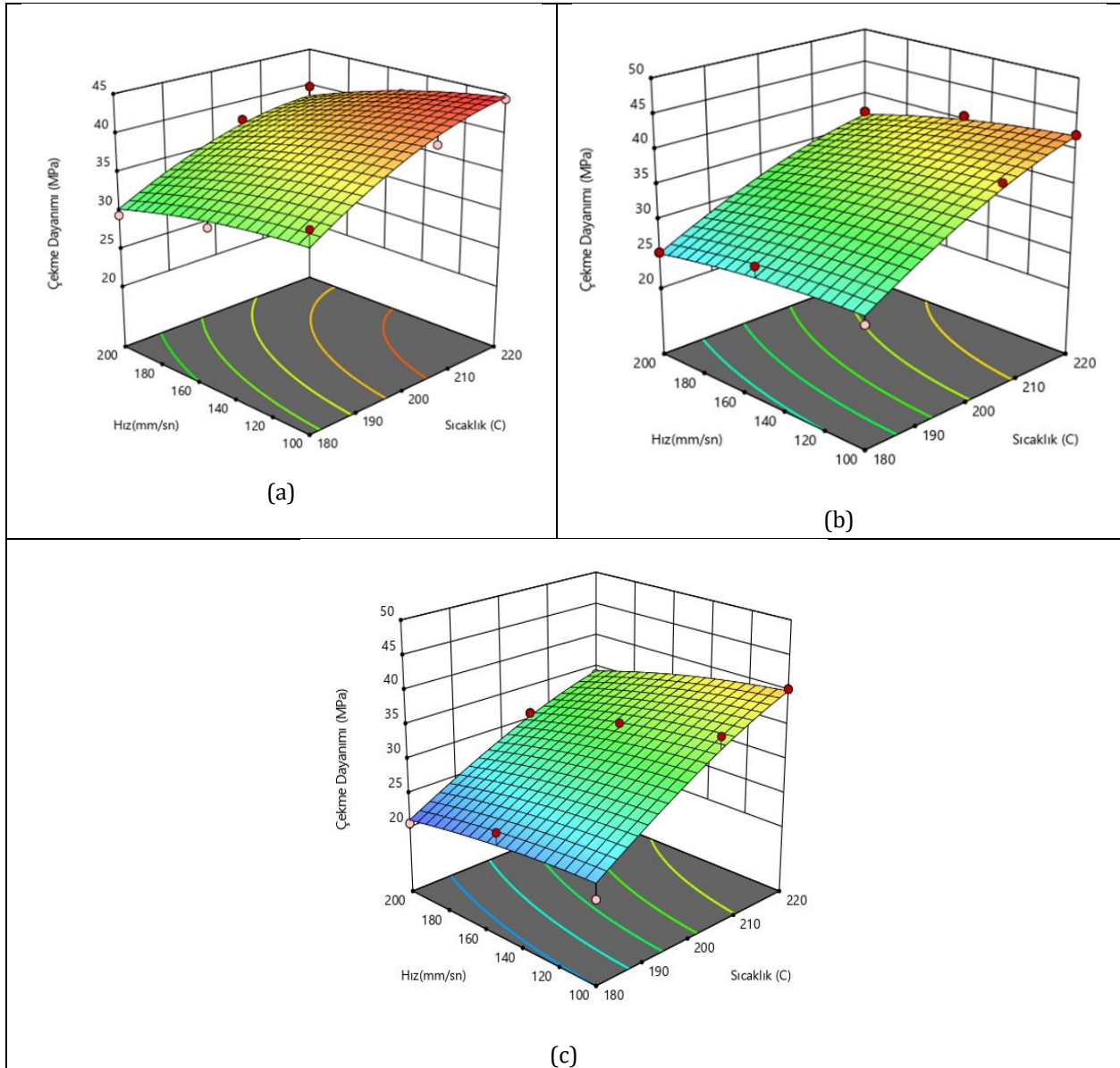
Bu çalışmada 2 farklı doluluk oranında (%20 ve %100), 3 farklı baskı hızı (100,150 ve 200 mm/s), 3 farklı nozul sıcaklığı (180, 205 ve 220°C) işlem parametrelerinin yanında 3 farklı desen çeşidi (Cubic, Grid, Triangle) ile üretilen numunelerin mekanik özellikleri belirlenmeye çalışılmıştır. Bu amaçla üretilen 36 adet numuneye çekme deneyi uygulanmıştır. Çekme deney sonuçları incelendiğinde çekme dayanımlarına etki eden parametreler doluluk oranı, desen yapısı, sıcaklık ve hız olarak belirlenmiştir.

Çalışmada kullanılan desen çeşitlerinin mekanik özelliklere etkisi incelendiğinde en yüksek dayanım Grid deseninde elde edilmiştir.

Yapılan çekme deney sonuçları incelendiğinde sıcaklığın çekme dayanımı üzerinde etkili bir parametre olduğu gözlemlenmiştir. Bu çalışma için en yüksek çekme dayanımı 220°C de elde edilmiştir. Tüm işlem parametreleri için nozul sıcaklığının kıyaslaması yapıldığında 220°C de en yüksek dayanım değerleri elde edilmiştir. Sıcaklık artışı viskoziteyi düşürmektedir. Düşen viskozite değeri ekstrüde edilen malzeme kesitindeki dairesel şeklin oval hale dönüşmesine neden olmaktadır. Oval şekle dönüşen malzeme katmanları arasındaki temas alanının artmasına neden olarak yapışmanın da artmasını sağlamaktadır. Katmanlar arası yapışmanın artması çekme dayanımı üzerinde olumlu etki oluşturduğu bilinmekte olup çekme dayanımındaki artışın nedeni olarak ifade edilebilir (Sood vd. 2012).

Numunelerin imalatında kullanılan farklı hız değerlerinin çekme gerilmesine etkisi diğer parametrelerden daha düşük olmuştur. Sonuçlar incelendiğinde en iyi çekme dayanım değerleri 100 mm/s hızında üretilen deney numunelerinde ortaya çıkmıştır. Buna sebep düşük hızda üretilen baskı numunelerinde baskı sürelerinin artması daha kaliteli bir numune elde edilmesi olarak açıklanabilir.

Şekil 3'te %20 doluluk oranında üç farklı desen çeşidinin sıcaklık ve hız değişkenlerine göre etkileşimleri görülmektedir. %20 doluluk oranında elde edilen en yüksek çekme gerilmesi değeri 220 °C de, 100 mm/s baskı hızında yapılan Grid desen çeşidinde 43.12 MPa olarak ölçülmüştür. En düşük gerilme değeri ise 180 °C de, 200 mm/s üretim hızında yapılan Triangle desen çeşidinde 20,48 MPa olarak elde edilmiştir. Sıcaklık ve hız değişimlerinin çekme gerilmesine etkileri incelendiğinde sıcaklık değişiminin daha etkin bir rol oynadığı görülmektedir. Benzer sonuçlar yapılan ANOVA analizi sonucunda ortaya çıkan yüzdeler etkileşim paylarında da görülmektedir.



Şekil 3. (a) Grid desen, (b) Cubic desen, (c) Triangle desen çeşitlerinin sıcaklık ve hız değerlerine göre çekme gerilmelerinin değişimi ((a) Grid pattern, (b) Cubic pattern, (c) Triangle pattern variation of tensile stresses according to temperature and speed values)

Çalışmada ayrıca %100 doluluk oranı için de desen, hız ve sıcaklık işlem parametrelerinin, çekme dayanımına etkisi de incelenmiştir. Yapılan incelemeler sonucunda %100 doluluk oranı en yüksek gerilme değeri 220 °C de ve 100 mm/s hızında 59.21 MPa çıkmıştır. En düşük gerilme değeri ise 180 °C de 200 mm/sn hızında 48.71 MPa olarak ölçülmüştür. Bu durum önceki çalışmalara benzer olup beklenen bir sonuç olmuştur (Günay vd.,2020).

Çalışmada farklı işlem parametrelerinde üretilen ve çekme deneyi sonrası elde edilen deneysel verilerin aynı zamanda istatistiksel analizi yapılmıştır. İstatistiksel analiz için %20 doluluk oranı ile üretilmiş numunelerden elde edilen sonuçlar kullanılmıştır. Çalışmada istatistiksel analiz için Varyans analizi (ANOVA) kullanılmıştır. Tablo 3'te yapılan analiz sonuçları verilmektedir. Analizin güven düzeyi %94,4 elde edilmiştir. Yapılan analiz ile sıcaklık, hız ve desen çeşitlerinin çekme gerilmesi üzerindeki etki seviyeleri de belirlenmiştir. Ayrıca analizin sinyal/gürültü oranı da (S/N) analizin güvenilir değerinde bir değer olarak 23.07 çıkmıştır. S/N oranı, kayıp fonksiyonunun dönüştürülmüş şeklidir aynı zamanda süreç değişkenliğinin ve analizin güvenilirliğinin de bir ölçütüdür (Günay vd.,2020). Bu nedenle elde edilen bu düzey, istatistiksel analiz açısından anlamlı bir sonuç olarak değerlendirilebilir.

Tablo 3. Çekme dayanımı için yapılan ANOVA analizi sonuçları (ANOVA analysis results for tensile strength)

| Kaynak | Karelerin Toplamı | Serbestlik Derecesi | Kareler Ortalaması | F Değeri | P Değeri | R ² Değeri | S/N Oranı | % Dağılım |
|----------------|-------------------|---------------------|--------------------|----------|----------|-----------------------|-----------|-----------|
| Model | 8.34 | 11 | 0.758 | 40,92 | < 0.0001 | 0,944 | 23,077 | |
| A-Sıcaklık | 5.54 | 1 | 5.54 | 298,85 | < 0.0001 | | | 64,26 |
| B-Hız | 0.6831 | 1 | 0.6831 | 36.87 | < 0.0001 | | | 7.92 |
| C-Desen | 1.7 | 2 | 0.8481 | 45.78 | < 0.0001 | | | 19.72 |
| AB | 0.0119 | 1 | 0.0119 | 0.6434 | 0.435 | | | |
| AC | 0.2649 | 2 | 0.1325 | 7.15 | 0.0066 | | | 3.07 |
| BC | 0.0028 | 2 | 0.0014 | 0.0756 | 0.9275 | | | |
| A ² | 0.1186 | 1 | 0.1186 | 6.4 | 0.0231 | | | 1.37 |
| B ² | 0.024 | 1 | 0.024 | 1.3 | 0.2726 | | | |
| Hata | 0.2779 | 15 | 0.0185 | | | | | 3.22 |
| Toplam | 8.62 | 26 | | | | | | |

Tablo 3 incelendiğinde kareler toplamı, serbestlik derecesi, kareler ortalaması, F değeri ve her bir parametrenin önem seviyesini gösteren P değerleri açıkça görülmektedir. Parametrelerin önem seviyesi, ANOVA tablosundaki P değeri dikkate alınarak belirlenmektedir. Ayrıca, R² ve S/N değerleri ile beraber her bir değişkenin çekme gerilimi üzerindeki yüzde etki oranları hesaplanmış olup tabloda verilmiştir.

Parametrelerin yüzde etki oranları incelendiğinde, en fazla öneme sahip değişken %64.26 ile sıcaklık olarak belirlenmiştir. İstatistiksel olarak önem sıralamasında, desen çeşidi %19.72 ve baskı hızı %7,92 şeklinde hesaplanmıştır. Ayrıca sıcaklık*desen bileşkesi de analiz sonucunda etki eden anlamlı bir parametre olarak belirlenmiştir.

Yapılan analiz sonucu en verimli desenin Grid olduğu belirlenmiştir. Analizde bu desen için elde edilen denklem eşitlik 1'de verilmektedir.

$$6 = -13.58840 + 0.175264 * \text{sıcaklık} + 0.009772 * \text{hız} - 0.000031 * \text{sıcaklık} * \text{hız} - 0.000379 * \text{sıcaklık}^2 - 0.000025 * \text{hız}^2 \quad (1)$$

5. Sonuç ve Tartışma (Result and Discussion)

Çalışmada farklı işlem parametreleri kullanarak FDM yöntemi ile üretilmiş PLA+ malzemeden üretilmiş numunelerin çekme dayanımına işlem parametrelerinin etkisi belirlenmeye çalışılmıştır. Çalışmadan elde edilen sonuçlar şu şekilde özetlenebilir:

- Bu çalışma için 220 °C, 205 °C, 180 °C olmak üzere üç farklı sıcaklık seçilmiş olup en yüksek çekme dayanımı 220 °C de elde edilmiştir.
- Çalışmada 3 farklı desen çeşidi kullanılmış olup en yüksek dayanım Grid deseninde elde edilmiştir.
- Deneylerde kullanılan üç farklı hız değerlerinin (100, 150, 200 mm/s) çekme gerilmesi bakımında etkisi diğer parametrelerden daha düşük olup en yüksek dayanım değeri 100 mm/s hızında üretilen deney numunelerinde ortaya çıkmıştır.
- Tüm parametrelerin etkisi birlikte incelendiğinde %20 doluluk oranında elde edilen en yüksek çekme gerilmesi değeri 220 °C de, 100 mm/s üretim hızında üretilen Grid desen çeşidinde 43.12 MPa olarak ölçülmüştür.
- Deneysel sonuçlarının istatistiksel analizi ANOVA yöntemi kullanılarak yapılmış ve güven düzeyi %94,4 elde edilmiştir. Ayrıca analizin sinyal/gürültü oranı da (S/N) analizin güvenilir değerinin üzerinde bir değer olarak 23.07 çıkmıştır.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the authors.

Kaynaklar (References)

- Anitha, R., Arunachalam, S., Radhakrishnan, P.,2001. Critical parameters influencing the quality of prototypes in fused deposition modelling. *J Mater Process Technol* 118(1-3):385-388.
- ASTM International, 2010. Standard Terminology for additive manufacturing technologies. West Conshohocken.
- Comb, JW., Friedeman, WR., Leavit, PJ., Skubic, RL., Batchelde, JS.,2005. High-precision modeling filament. United States patent US6866807B2, Sept 2.
- Çanlı, E., Aydın, M., Yıldırım, F., Günay M., Kaya, B., 2017. Investigation of the FDM process performance at different printing parameters, 2. 3B Baskı Teknolojileri Uluslar arası Sempozyumu, İstanbul.
- Çavdar, F., Filiz H. Doğan, C.,2006. Bir Hızlı Prototipleme Makinesi Tasarımı. Timak-Tasarım İmalat Analiz Kongresi, Balıkesir.
- Çelebi, A., Demirdal, S., Akbulut, M., 2017.3 Boyutlu Yazıcı İle Üretilen Polylaktik asit (PLA) Numunelerde Doluluk Oranlarının Mekanik Özelliklere Etkisi. 2. 3b Baskı Teknolojileri Uluslararası Sempozyumu, İstanbul.
- Dudek, P.,2013. FDM 3B printing technology in manufacturing composite elements. *Arch Metall Mater*;58(4):1415-8.
- Evlen, H., Erel, G., Yılmaz, E. Açık ve kapalı sistemlerde doluluk oranının parça mukavemetine etkisinin incelenmesi. *Politeknik Dergisi*, In press.
- Günay, M., Gündüz, S., Yılmaz, H., Yaşar, N., Kaçar, R., 2020. PLA Esaslı Numunelerde Çekme Dayanımı için 3D Baskı İşlem Parametrelerinin Optimizasyonu. *Politeknik Dergisi* 23(1): 73-79.
- Kruth, JP., Wang, X., Laou, i T., Froyen, L.,2003. Lasers and materials in selective laser sintering. *Assembly Autom* ;23(4):357-71.
- Kürşad, H., Sezer, H.K., O., Eren., 2019. FDM 3B printing of MWCNT re-inforced ABS nano-composite parts with enhanced mechanical and electrical properties. *Journal of Manufacturing Processes* 37, 339-347.
- Li, X., Wang, CT., Zhang, WG., Li, YC.,2009. Fabrication and characterization of porous Ti6Al4V parts for biomedical applications using electron beam melting process. *Mater Lett* ;63(3):403-5.
- Özdemir, M. A., Evlen, H., Çalışkan, A., 2016. Doluluk oranının PLA ve PET Malzemelerin Mekanik Özellikleri , üzerine Etkisi. 3B Baskı Teknolojileri Uluslararası Sempozyumu, İstanbul.
- Sood, AK., Ohdar, R., Mahapatra, S.,2009. Improving dimensional accuracy of fused deposition modelling processed part using grey Taguchi method. *Mater Des* 30(10):4243-4252.
- Tuner, B. N., Strong, R., Gold, S.A., 2014. A review of melt extrusion additive manufacturing processes: I. process design and modeling. *Rapid Prototyping Journal*, 3: 192-204.
- Upcraft, S., Fletcher, R., 2003. The rapid prototyping technologies. *Assembly Autom*, 23(4),318-30.
- <https://plastics.ulprospector.com/generics/1/c/t/acrylonitr-ile-butadiene-styrene-abs-properties-processing>.
- <https://3Bedi.com/blog/3B-baski-nedir.html>