

ÜÇ BOYUTLU YAZICI TASARIMI, İMALATI VE DOLGU GEOMETRİSİNİN MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİSİ

3D PRINTER DESIGN, MANUFACTURING AND EFFECT OF INFILL PATTERNS ON
MECHANICAL PROPERTIES

Onur TATLI

Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Otomotiv Mühendisliği Bölümü

Hande GÜLER ÖZGÜL

Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Otomotiv Mühendisliği Bölümü

doi: 10.46291/ICONTECHvol4iss1pp13-24

ÖZET

Teknolojik gelişmeler ile birlikte yeni geliştirilmiş üretim yöntemlerinin de keşfedilmesi beklenen bir durumdur. Üç boyutlu (3D) yazıcı gibi katmanlı üretim teknolojileri de bu yöntemlerden biri olup, geleneksel yöntemlerle üretilemeyen karmaşık geometriye sahip parçaların doğrudan üretimini sağlamaktadır. Katmanlı üretim teknolojileri arasındaki en popüler ve ucuz yöntem olan FDM (Eriyik Yığıma Tekniği – Fused Deposition Modeling) yöntemi ile özellikle düşük üretim hacmine sahip parçaların imalatına ilgi çekmektedir.

Bu çalışmada 200x200x210 mm yazdırma hacmine sahip FDM teknolojisi kullanan 3 boyutlu yazıcı tasarımı ve imalatı yapılmıştır. İmalatı yapılan 3 boyutlu yazıcı ile 2 farklı iç dolgu geometrisine sahip PLA (polilaktik asit) test numuneleri üretilmiştir. Bu numunelere çekme, üç nokta eğilme ve darbe testi yapılarak iç dolgu geometrisinin mekanik özelliklere etkisi incelenmiştir. Üretilen dolgu geometrileri; ızgara ve giroid şeklindedir. Deney sonuçlarına göre; maksimum çekme kuvvetine sahip geometri “ızgara” iken, maksimum eğilme kuvvetine sahip geometri ise “giroid” olarak tespit edilmiştir. Farklı geometrilerin Charpy darbe mukavemeti üzerine önemli ölçüde bir etkisi olmadığı sonucuna varılmıştır.

Anahtar Sözcükler: Üç boyutlu yazıcı, Eklemeli imalat, PLA, Mekanik özellikler

ABSTRACT

Along with the technological developments, it is an expected situation to discover new developed production methods. Additive manufacturing technologies, such as three-dimensional (3D) printers are one of these methods, allowing direct production of parts with complex geometries that cannot be produced by conventional methods. The most popular and inexpensive method among additive manufacturing technologies is FDM (Fused Deposition Modeling) method. This method is particularly interesting for the manufacture of parts with low production volumes.

In this study, a 3D-FDM printer with a print volume of 200x200x210 mm has been designed and manufactured. PLA (polylactic acid) test samples having 2 different infill geometries were produced with the 3D printer. Tensile, three-point bending and Charpy impact tests were applied to these samples to investigate the effect of inner filling geometry on mechanical properties. The inner filling geometries are in the form of grid and gyroid. According to the results, while the geometry with the tensile force is "grid", while the geometry with the maximum bending force is "gyroid". It was concluded that different inner filling geometries do not have a significant impact on Charpy impact strength.

Keywords: 3D printer, Additive manufacturing, PLA, Mechanical properties.

GİRİŞ

Üç boyutlu yazıcı (3DP) teknolojisi günümüzde teknolojinin getirdiği önemli üretim yöntemlerinden biridir ve her geçen gün kullanım alanı artmaktadır. Özellikle ürün tasarımı aşamasında, ürünlerin ilk örneklerinin/prototiplerinin 3DP'lar ile düşük maliyetli üretilmesi tasarımcılara avantaj sağlamaktadır.

Eklemeli imalat teknolojileri içerisinde özellikle Eriyik Yığıma Modelleme (Fused Deposition Modelling, FDM) teknolojisi çok hızlı gelişmektedir. FDM teknolojisinin ucuz olmasının yanı sıra yazılım ve donanımının açık kaynak kodlu olması gelişimini hızlandırmış ve ulaşılabilirliğini arttırmıştır. Bu sayede kullanıcılar kendi kendini üretebilen, ucuz yazıcılar yapabilmektedir. 3 boyutlu yazıcılar farklı sektörlerde farklı amaçlarla kullanılmakla birlikte özellikle tıp, uzay, otomotiv, havacılık ve kuyumculuk gibi pek çok sektörde kullanılmaktadır. Eklemeli imalat uygulamalarında otomotiv, medikal ve plastik sektörleri öne çıkmaktadır. Ayrıca, bu teknolojiye ağırlıklı olarak plastikler ve metaller kullanılmaktadır.

Oldukça popüler olan bu üretim yöntemi hakkında literatür araştırması yapıldığında pek çok güncel çalışmaya rastlanmaktadır. Fernandez-Vicente ve ark. (2016) yapmış oldukları çalışmada 3 farklı iç dolgu ve iç dolgu yüzdesi için çekme gerilmelerini karşılaştırmıştır. İç dolgu yoğunluğunda yapılan değişikliğin mukavemet üzerinde %20 ile % 50 arasında değişikliğe neden olduğunu bildirmişlerdir. Chacón ve ark. (2017) yaptıkları çalışmada PLA malzeme için parçaların üretim sırasında yazdırma alanındaki konumlarına, yazdırma hızına ve katman kalınlığının mekanik özelliklere etkisini çekme ve 3 nokta eğilme testleri ile incelemiştir. Katman kalınlığı azaldıkça parçalarda daha yüksek çekme gerilmesine fakat daha düşük eğilme gerilmesine ulaştıkları sonucuna varılmıştır. Durgun ve Ertan (2014) ise çekme ve 3 nokta eğilme test numunelerini yazdırma alanında farklı açılarda konumlandırarak üretim gerçekleştirmişler ve konumun mekanik özelliklere ve yüzey pürüzlülüğüne etkisini incelemiştir. Karbon fiber ve ABS malzeme kullanarak elde üretilen kompozit malzeme ile ilgili çalışma Sezer ve ark. (2019) tarafından gerçekleştirilmiş ve özellikle yazdırma kafası sıcaklığının parçanın mekanik özellikleri üzerinde etkili olduğunu bildirmişlerdir.

Literatürde ayrıca otomotiv ve makine teknolojilerinin yanı sıra farklı çalışmalar da göze çarpmaktadır. Çelebi ve ark. (2017), hasarlı bir kafatasını PLA malzemeden üç boyutlu yazıcı ile üretip, hasarlı bölge üzerine biyouyumlu malzeme olan Ti-6Al-4V ile protez üretimi gerçekleştirmişlerdir ve medikal alanda kullanılan üç boyutlu yazıcıların güvenle kullanılarak hastaya uygulanacak olan operasyon süresini azaltacağı sonucuna ulaşmışlardır. Aydın ve ark. (2014), üç boyutlu yazıcı kullanarak ayak bileği ortezi üretimi yapıp bu yöntem ile kişiye özgün üretimlerin daha düşük maliyet ve daha yüksek kaliteyle gerçekleşeceğini ifade etmişlerdir. Yıldırım ve ark. (2019) nın mobilya sektörü ile ilgili yaptığı çalışmada; ABS ve PLA malzemeleri kullanılarak 8 mm çapında kavela üretilmiş ve mobilya köşe birleştirilmelerinde kullanmışlardır. Sonuç olarak, PLA malzemenin daha iyi sonuç verdiği ve üç boyutlu üretim teknolojisinin mobilya sektöründe de alternatif olarak kullanılacağı belirtilmiştir. Aydın ve ark. (2019), üç boyutlu yazıcıların gıda sektöründe kullanılıp kullanılmayacağını araştırmışlardır. Bu amaçla, gıda üretimi için itici ve döner mekanizmaya sahip uygun bir ekstrüder tasarımı ve üretimi yapıp böylelikle 3 boyutlu yazıcıların gıda teknolojisinde de kullanılacağını göstermişlerdir.

Bu çalışmada, ülkemizde 3boyutlu yazıcı alanındaki bilgi birikimine ve yerli teknolojilerin geliştirilmesine katkı sağlamak için bu çalışmada, baskı boyutları 200x200x210mm olan FDM teknolojisi kullanan 3D yazıcı tasarlanarak imal edilmiştir. Bu 3D yazıcıdan, PLA filament kullanılarak çekme, 3 nokta eğilme ve darbe numuneleri 2 farklı iç dolgu geometrisi ile üretilmiştir.

MATERYAL VE YÖNTEM

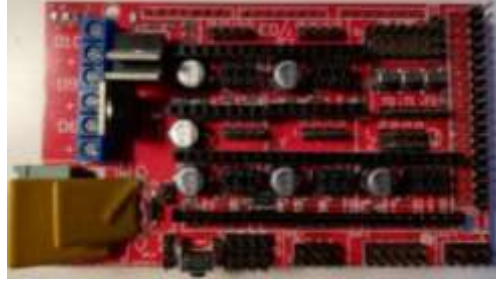
FDM teknolojisi kullanan yazıcılar; filamentin bir ekstruder yardımı ile yazdırma kafasına yönlendirilmesi ve yazdırma kafasının eksenler üzerinde hareketi ile katman katman parçanın üretilmesini sağlar ve filament olarak termoplastik malzemeler kullanır. Bu çalışmada filament olarak PLA malzemesi kullanılmıştır ve ayrıca çalışmada tasarlanıp üretimi gerçekleştirilen yazıcı; Kartezyen tipi çalışan FDM yazıcıdır.

Kartezyen tipi bir yazıcıda; elektronik kontrol kartları, step motorlar ve sürücüleri, sınır anahtarları(limit switch),ısıtıcı tabla, lcd ekran, termosensörler ve dilimleme programı gibi temel bileşenler ile mil, kayış, rulman gibi birçok alt bileşen bulunmaktadır. Tasarlanan yazıcının yazdırma boyutları 200x200x210 mm'dir. Çalışmanın bütün aşamalarında tasarım programı olarak 'SolidWorks 2018' ve dilimleme programı olarak 'Ultimaker Cura' kullanılmıştır.

ÜRETİLEN YAZICIYA AİT TEMEL BİLEŞENLER

Ramps 1.4 Kontrol Kartı

Elektronik kontrol kartı, üzerinde bulunan soketler sayesinde step motor sürücüleri, step motorlar, limit switchler (sınır anahtarları), lcd ekran, termosensörler gibi 3 boyutlu yazıcıda kullanılan elektronik parçaların bağlantılarının yapılmasına olanak vermektedir. Çalışmada kullanılan örnek bir kontrol kartı Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Ramps 1.4 kontrol kartı

Arka yüzeyinde bulunan pinler sayesinde arduino mega 2560 kontrol kartının pinlerine takılarak arduinioya yüklenen programdan ilgili elektronik parçalara veri akışı sağlamaktadır.

ARDUNİO MEGA ELEKTRONİK KARTI

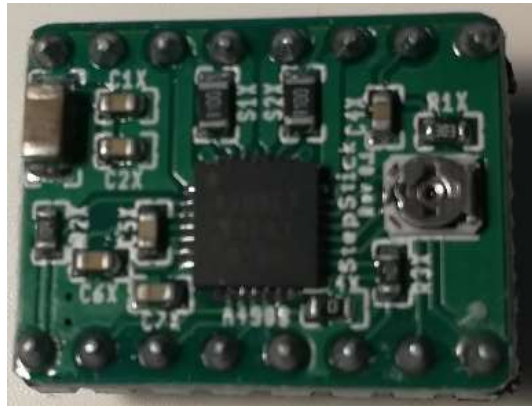
Ardunio mega 2560 atmega2560 tabanlı bir elektronik kontrol kartıdır. Üzerinde 54 adet pin bulunmaktadır. Ayrıca USB bağlantısına, adaptör girişine, reset butonuna ve 16 MHz kristal osilatöre sahiptir. Ardunio mega 2560 kontrol kartı Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 2. Ardunio mega 2560 kontrol kartı

A4988 STEP MOTOR SÜRÜCÜ

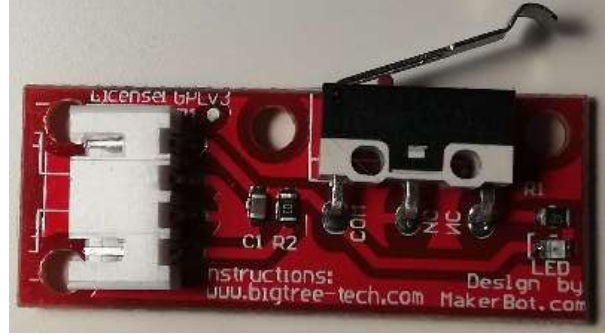
Üç boyutlu yazıcıda step motorların istenilen miktarda hareket etmesi bu sürücü kartları ile sağlanmaktadır. A4988 step motor sürücü kartı ile 8 ile 35 volt arasında çalışan step motorları kontrol etmek mümkündür. A4988 step motor sürücüsü Şekil 3’de gösterilmektedir.



Şekil 3.A4988 step motor sürücü

SINIR ANAHTARLARI

Bu fiziksel anahtarlarda 5V üzerinde anahtara basıldığında devre tamamlanır ve yazılımda devre tamamlandığında hangi işlemin yapılması belirtildiyse o gerçekleşir. Üç boyutlu yazıcılarda eksenlerin başlangıç noktalarını belirlemek amacıyla kullanılır. Şekil 4'te sınır anahtarı gösterilmiştir.



Şekil 4. Limit switch (sınır anahtarı)

ISITICI TABLA

Bazı filament türlerinde soğumayla birlikte plastik malzemede çekme meydana gelmektedir. Yazdırma işlemi sırasında daha önce yazdırılmış olan ilk katmanlarda gerçekleşen soğuma nedeni ile parça üzerinde deformasyonlar oluşacaktır. Bu durumu engellemek için yazdırma alanının ısıtılması ya da ortam sıcaklığının belirli bir değerde tutulması gerekmektedir. Üç boyutlu yazıcı da kullanılan ısıtıcı tabla Şekil 5'de gösterilmiştir. Isıtıcı tabla; 200mm x 200mm kullanılabilir yazdırma alanına sahiptir ve 150°C sıcaklığa ulaşabilmektedir.



Şekil 5. Isıtıcı tabla (www.reprap.me heatbed, 2020)

STEP MOTORLAR

Kartezyen yazıcılarda yazdırma kafası genellikle x ve z eksenlerinde hareket etmekte ve parçanın baskısının alındığı yazdırma alanı y ekseninde hareket etmektedir. Her eksen için ayrı step motor bulunmaktadır. Şekil 6'da gösterilmiştir.



Şekil 6. NEMA 17 step motor([NEMA 17](#) stepper motor, 2020)

LCD EKCRAN

Akıllı LCD olarak da adlandırılan bu ekran Ramps 1.4 kontrol kartının üzerine dönüştürücü adaptörü ile takılmaktadır. Bu ekranı kullanabilmek için arduino mega 2560 kontrol kartına yüklenen yazılımda uygun değişikliklerin yapılması gerekmektedir. Ekran üzerinde bulunan potansiyometre ile menüler arasında seçim yapılabilmektedir ve yapılan işlemlerin onaylanması durumunda sesli uyarı yapabilmektedir. Şekil 7’de akıllı LCD ve bağlantı adaptörü gösterilmektedir.



Şekil 7. Akıllı LCD ve bağlantı adaptörü

TERMOSENSÖRLER

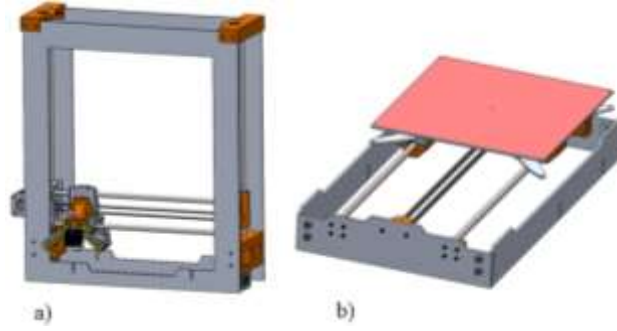
Yazdırma kafasında bulunan ısıtıcı bloğun içine ısıtıcı tablanın ortasına yerleştirilen termosensörler ile anlık olarak ısı değeri kontrol edilebilmektedir. Bu termosensörler ile ısıtıcı tabla ve yazdırma kafası istenilen sıcaklıklara ulaştığında kullanılan yazılım sayesinde kontrol kartı üzerinden ısıtıcılara giden güç kesilerek yazıcının sabit sıcaklıkta çalışması sağlanmaktadır. Şekil 8’de termosensör gösterilmiştir.



Şekil 8. 100K NTC termosensör

X, Y VE Z EKSENLERİ TASARIMI VE ÜRETİMİ

Y ekseninde hareket iletiminde kayış, kasnak ve lineer rulmanlar kullanılmıştır. X, Y ve Z ekseninde gövde malzemesi olarak 3 mm alüminyum sac kullanılmıştır. X ekseninde hareket iletimi Y ekseninde kullanılan kayışlar, kasnaklar ve lineer rulmanlar ile sağlanmıştır. Z ekseninde hareket iletimi için trapez vidalı mil ve lineer rulmanlar kullanılmıştır. Şekil 9’da 3 boyutlu yazıcının X-Z ve Y ekseninin 3d modeli gösterilmiştir.



Şekil 9. a) X-Z eksen b) Y eksen 3d modeli

YAZDIRMA KAFASI VE TAŞIYICISI TASARIMI

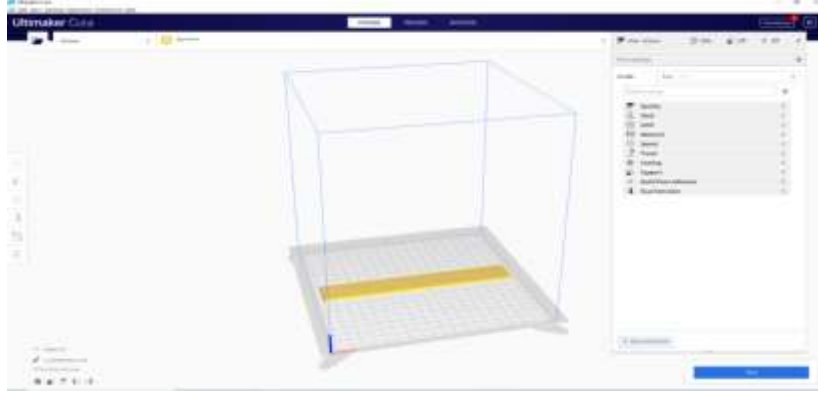
Çalışmada yazdırma kafası olarak, Şekil 10’da gösterilen E3D markasının V6 modeli kullanılmıştır. Filamenti yazdırma kafasına sürmek için kullanılacak olan ekstruder satın alınmıştır. Ekstruder X-Z eksen üzerinde bulunmaktadır ve yazdırma kafasına teflon hortum ile bağlanmaktadır.



Şekil 10.E3D-V6 yazdırma kafası kiti

ÜÇ BOYUTLU NESNE DİLİMLE PROGRAMI

3 boyutlu yazıcılarda parça yazdırabilmek parça modelinin ve yazdırma parametrelerinin G koduna dönüştürülmesi gerekmektedir. Bu işlemin gerçekleştirilmesi öncelikle parça modelinin, kullanılacak olan dilimleme programına uygun formata (STL, OBJ, 3MF vs.) dönüştürülmesi gerekmektedir. Dilimle programı içerisinde katman yüksekliği, yazdırma sıcaklığı, yazdırma hızı, iç dolgu geometrisi, duvar kalınlığı gibi çeşitli parametreler belirlendikten sonra G-koduna dönüştürülür. Bu tez çalışması kapsamında kullanılan Cura dilimle programının kullanıcı ara yüzü Şekil 11’de görülmektedir.



Şekil 11. Ultimaker cura kullanıcı arayüzü

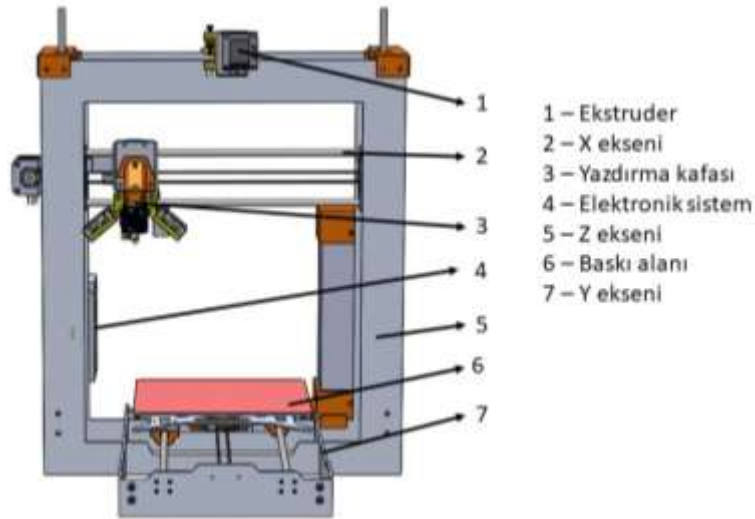
YAZILIM

Yazıcıda açık kaynak kodlu Marlin 1.1.9 yazılımı kullanılmıştır. Yazıcı tasarımına uygun olarak yapılması gereken ayarlar yazılım üzerinden yapılp, Arduino Mega 2560 kontrol kartına yüklenmiştir.

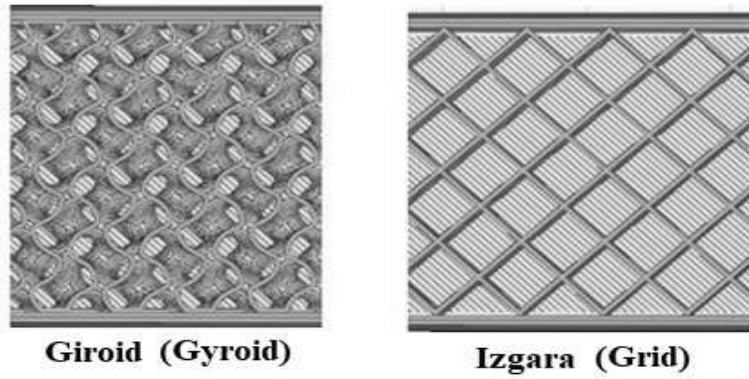
TASARLANAN VE ÜRETİLEN 3 BOYUTLU YAZICI VE NUMUNE ÜRETİMİ

Bu çalışmadaki numuneler Giroid ve Izgara şeklinde, 2 farklı iç dolgu geometrisi kullanılarak Şekil 12’de şematik resmi gösterilen, tasarımı ve üretimi gerçekleştirilen 3 boyutlu yazıcı ile üretilmiştir. Şekil 13’de çalışmada kullanılan iç dolgu geometrileri verilmiştir.

Çizelge 1’de numunelerin yazdırma parametreleri belirtilmiştir. Kullanılan bütün numuneler aynı parametreler ve yazdırma alanında aynı konumda olacak şekilde teker teker üretilmiştir. Bütün numunelerin kalınlığı 4 mm’dir.



Şekil 12. 3 boyutlu yazıcı şematik gösterimi ve temel bileşenleri



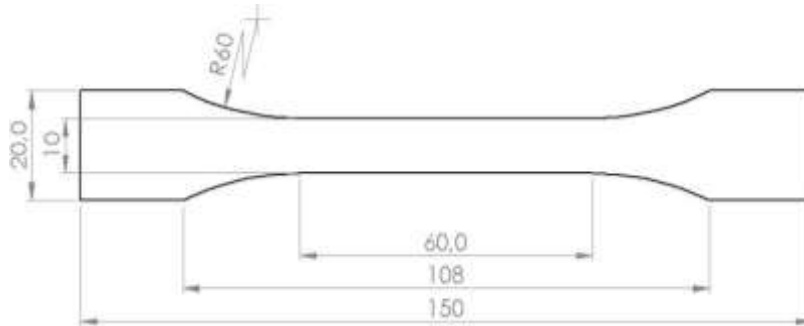
Şekil 13. İç dolgu geometrileri

Çizelge 1. Yazdırma parametreleri

İç dolgu oranı	20%
Katman yüksekliği	0.2 mm
Duvar kalınlığı	1.2 mm
Alt ve üst yüzey kalınlığı	0.6 mm
Yazdırma hızı	50 mm/s
İlk katman yazdırma sıcaklığı	200 °C
Yazdırma alanı sıcaklığı	40 °C

ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Bu çalışmada; çekme, üç nokta eğilme ve çentik darbe olacak şekilde üç grup deney gerçekleştirilmiştir. Çalışmada kullanılan çekme testi numuneleri ISO527-2 tip 1B'ye göre hazırlanmıştır. Şekil 14'de kullanılan numune ölçüleri gösterilmektedir. Test 5 mm/dk hızla Shimadzu AG-Xplus test cihazında gerçekleştirilmiştir.



Şekil 14. Çekme test numunesi ölçüleri

Diğer bir deney yöntemi olan 3 nokta eğilme testi numuneleri ASTM D790'a göre hazırlanmıştır. Şekil 15'de kullanılan numune ölçüleri gösterilmektedir. Test 2 mm/dk hızla Shimadzu AG-X test cihazında gerçekleştirilmiştir.



Şekil 15. Üç nokta eğilme test numunesi ölçüleri

Çalışma kapsamında kullanılan Charpy çentik darbe testi numune ölçüleri Şekil 16'da gösterilmiştir (Stoklasek ve ark. 2018).

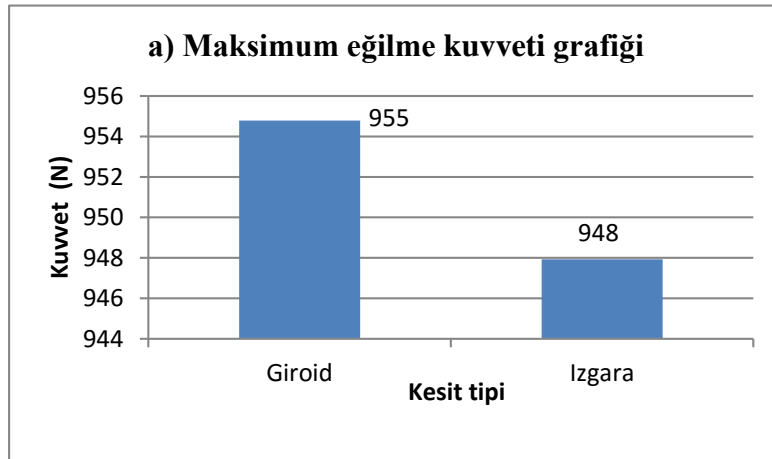
Testler, literatürde Vidakis ve ark. (2019) tarafından yapılmış olan çalışmadan yola çıkılarak çentikli ve çentiksiz olmak üzere 2 farklı şekilde gerçekleştirilmiştir. Ancak çentiksiz numunelerden verimli sonuç alınmadığı için deneylere çentikli numuneler ile devam edilmiştir.

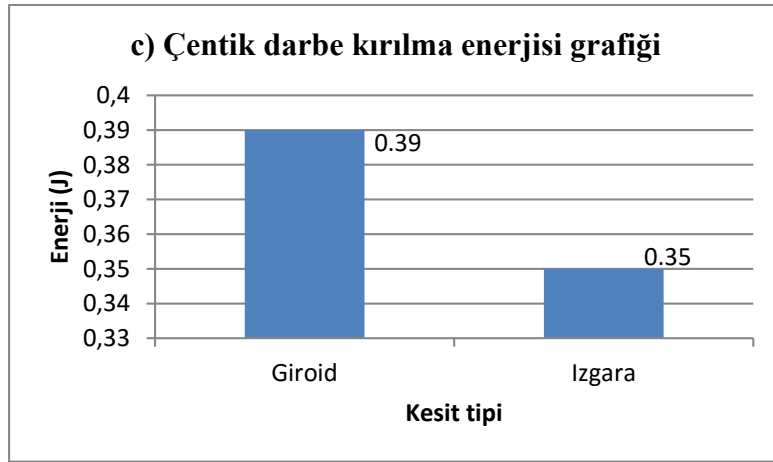
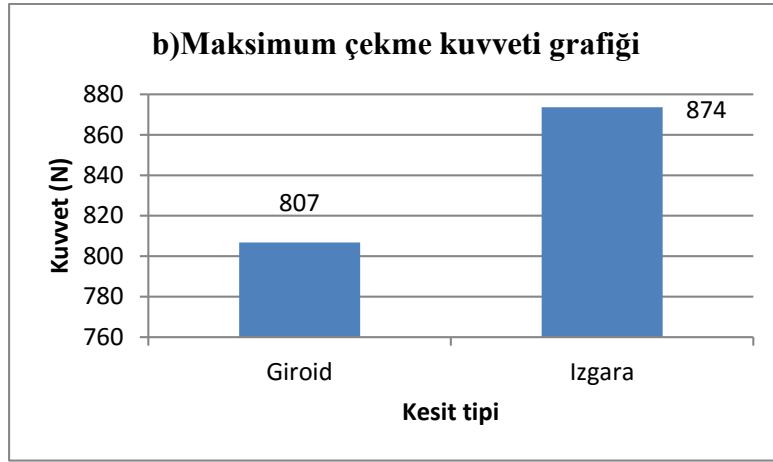


Şekil 16. Charpy çentik darbe deneyi numune ölçüleri

Deneyler sonucunda elde edilen veriler grafik olarak Şekil 17'de görülmektedir. Sonuçlar genel olarak değerlendirildiğinde; malzemelerin maksimum eğilme kuvvetlerinin, maksimum çekme kuvvetlerine nazaran daha yüksek olduğu sonucuna varılmıştır. Eğilme kuvvetlerinde maksimum değer; Giroid kesit ile 955 N olarak ve çekme kuvvetlerinde maksimum değer ise; 874 N ile Izgara kesitte elde edilmiştir.

Diğer taraftan, eğilme deney verilerine göre kesit şeklinin değişimi, eğilme kuvvetini önemli ölçüde arttırmamıştır. Giroid kesit ile elde edilen değer, ızgara kesite göre % 0.74 artış göstermiştir. Ancak; çekme deney verilerine göre kesit şeklindeki değişim daha etkili sonuç vermiş ve Izgara kesit ile elde edilen değer, giroid kesite göre % 8.3 artış göstermiştir. Çentik darbe enerjisi sonuçlarına göre kırılma enerjisi %11.4 lük artış ile Giroid kesit ile elde edilmiş olmasına rağmen deney sonuçlarından etkin sonuçlar elde edilememiştir.





Şekil 17. a) Üç nokta eğilme deneyi b) Çekme deneyi c) Charpy çentik darbe deneyi sonuçları

SONUÇ

Bu çalışmada, 3 boyutlu yazıcıda üretilen farklı iç dolgu geometrilerindeki numunelerin mekanik özellikleri incelenmiştir. Bu amaçla farklı iki çeşit geometri belirlenip yazıcıda üretilmiş ve bu numunelere çekme, 3 nokta eğilme ve çentik darbe testleri uygulanmıştır.

Tüm sonuçlar genel olarak değerlendirildiğinde; çalışmada seçilen dolgu geometrilerindeki farklılık, çekme kuvveti değerlerini açık bir şekilde etkilerken, eğilme kuvveti ve çentik darbe enerjisi değerlerinde önemli bir etkide bulunmamıştır. Bu nedenle, eğer yalnızca çekme kuvveti içeren yükler etkisinde bir tasarım oluşturuldu ise, farklı kesit geometrileri farklı gerilme sonuçları veririrken, yalnızca eğilme kuvveti içeren yüklerde ise benzer sonuçlar vereceği kanısına varılmıştır.

KAYNAKLAR

Aydın, H. Y., Kılıç, A., Tekin, A. R. 2019. Geleneksel Türk Gıdalarının 3b Yazıcı İle Yazdırılması, International Journal Of 3d Printing Technologies And Digital Industry, 3(1): 1-10.

Aydın, L., Küçük, S., 2014. Üç Boyutlu Yazıcıyla Ayak Bileği Ortezinin Tasarımı ve Geliştirilmesi. Tıp Tekno'14. 25-27 Eylül, KAPADOKYA

Chacón, J. M., Caminero, M. A., García-Plaza, E., Núñez, P. J. 2017. Additive manufacturing of PLA structures using fused deposition modelling: Effect of process parameters on mechanical properties and their optimal selection, *Materials and Design*, 124: 143–157.

Çelebi, A., Tosun H., Önçağ A. Ç. 2017. Hasarlı Bir Kafatasının Üç Boyutlu Yazıcı İle İmalatı ve İmplant Tasarımı, *International Journal Of 3d Printing Technologies And Digital Industry*, 1(1): 27-35.

Durgun, I., Ertan, R. 2014. Experimental investigation of FDM process for improvement of mechanical properties and production cost, *Rapid Prototyping Journal*, 20(3): 228–235.

Fernandez-Vicente, M., Calle, W., Ferrandiz, S., Conejero, A. 2016. Effect of Infill Parameters on Tensile Mechanical Behavior in Desktop 3D Printing, *3D Printing and Additive Manufacturing*, 3(3): 183–192.

NEMA 17 stepper motor. https://reprap.org/wiki/NEMA_17_Stepper_motor. Erişim: Mayıs, 2020.

PCB heatbed. https://reprap.org/wiki/PCB_Heatbed. Erişim: Mayıs, 2020.

Sezer, H. K., Eren, O., Börklü, H. R., Özdemir, V. 2019. Additive manufacturing of carbon fiber reinforced plastic composites by fused deposition modelling: Effect of fiber content and process parameters on mechanical properties, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 34(2): 663–674.

Stoklasek, P., Navratil, M., Bednarik, M., Hudec, I., Petrzelka, D. 2018. Flexural behaviour of ABS 3D printed parts on professional printer Stratasys Fortus 900mc. *MATEC Web of Conferences*, 210: 1–5

Vidakis, N., Petousis, M., Vairis, A., Savvakis, K., Maniadi, A. 2019. A parametric determination of bending and Charpy's impact strength of ABS and ABS-plus fused deposition modeling specimens, *Progress in Additive Manufacturing*, 4(3): 323–330.

Yıldırım, M. N., Doruk, Ş., Karaman, A. 2019. 3D Yazıcıda Üretilmiş Kavela Bağlantı Elemanının L Tipi Mobilya Köşe Birleştirmelerinde Kullanımı, *3rd International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies*.