

Üç Boyutlu İmalat Yöntemi ile Farklı Doluluk Oranlarında ve Doluluk Modellerinde Malzeme Üretimi ve Mekanik Davranışlarının İncelenmesi

Tufan Altıparmak^{1*} ve Emre Kurt²

¹Tırsan Treyler San., Sakarya/Türkiye. ORCID: 0000-0003-3292-004X, E-Mail: tufan.altiparmak@tirsan.com

²Tırsan Treyler San., Sakarya/Türkiye. ORCID: 0000-0001-6017-1694, E-Mail: emre.kurt@kaessbohrer.com

(Geliş Tarihi: 30 Ağustos 2023, Kabul Tarihi: 28 Eylül 2023)

ATIF/REFERENCE: Altıparmak, T., ve Kurt, E. (2023). Üç Boyutlu İmalat Yöntemi ile Farklı Doluluk Oranlarında Malzeme Üretimi ve Mekanik Davranışlarının İncelenmesi. *International Journal of Advanced Natural Sciences and Engineering Researches*, 7(8), 7-18.

Özet – Katmanlı imalat yöntemi, son yıllardaki gelişmeler ile birlikte otomotiv, havacılık ve çeşitli sektörlerde kullanılmaktadır. Bu yöntem, özellikle karmaşık geometriye sahip polimer malzemelerde, hızlı prototipleme ve düşük hammadde kaybı sebebi ile yoğun olarak tercih edilmektedir. Polimer malzemelerin üretimlerinin geleneksel yöntemlere göre kalıp ihtiyacı olmaksızın hızlı, karmaşık yapıda, az maliyetli, tekrarlanabilir ve teknik personel yetkinliğinden bağımsız olarak üç boyutlu imalat cihazları ve yöntemleri ile yapılabilir olması en büyük tercih sebebidir. Üç boyutlu yazıcılarla üretilen karmaşık parçaların mekanik özelliklerinin üretim yöntemine, çeşidine ve işleme yönüne göre değiştiği bilinmektedir. Seçilen filament ile birlikte yazım işlemi yapılırken imal edilen parçanın çeşitli doluluk oranlarının üretilmesi mümkündür. Parçanın tasarımı istenen mukavemet değerlerini sağlayarak, daha az hammadde ile üretilmesi, daha az maliyet ve zaman kazancı ile sonuçlanacaktır. Dolayısıyla çeşitli doluluk ve model değerlerinde üretilen bu iş parçalarının mekanik özelliklerinin bilinmesi elzem bir konudur. Bu çalışma içerisinde birinci aşamada %30, %40, %50, %70 ve %90 doluluk oranına sahip bazı test parçaları üretilmiş ve imalat yönü ile imalat yönünün normalinde çentikler açılarak darbe çentik numuneleri hazırlanmıştır. İkinci aşamada dikdörtgen, kare, altıgen, daire desenlerinde ki parçalar %50 doluluk oranı sabit tutularak bazı test parçaları üretilmiş ve imalat yönü ile imalat yönünün normalinde çentikler açılarak darbe çentik numuneleri hazırlanmıştır. Her bir numune için çentik darbe testi gerçekleştirilmiştir. Test sonrası numuneler tarafından absorbe edilen kırılma enerjisi değerleri ve çentik darbe mukavemeti değerleri karşılaştırılmıştır. Bu çalışma üretilen iş parçaları için tasarımsal sınırların belirlenmesine katkı sağlayacaktır.

Anahtar Kelimeler – Katmanlı İmalat, 3B Yazıcı, Çentik-Darbe Testi, Mekanik Davranış

I. GİRİŞ

Plastik malzemelerin endüstride kullanımı her geçen gün artmaktadır. Özellikle yüksek mukavemet gereksinimi olmayan parçalarda, hızlı üretim imkanı ve hammadde kaybının çok düşük olması sebebi ile otomotiv, havacılık ve diğer sektörlerde tercih edilen alternatif bir malzeme

türüdür. Bu malzemelerin üretiminde eklemeli imalat yöntemini temel alan üç boyutlu yazıcılar görev alabilmektedir. Bu alandaki ilk çalışma Peacock'un 1902 yılında aldığı at nallarının üretimini kapsayan patettir (Barz vd., 2016). Daha sonra popülerliğini kaybetmiş olmasına rağmen son dönemde bu teknolojiye olan ilgi her geçen gün

artmaktadır. Katmanlı imalat teknolojisinin endüstriyel olarak kullanılmaya başlanmasını sağlayan teknik Hulls'un 1983 yılında ışık kullanılarak reçinenin sertleştirilmesi ile başlamıştır. Böylece CAD/CAM dosyaları referans alınarak katı parçalar üretilebilir hale gelmiştir (Wagner ve Kreyer, 2021). Sonraki aşamada Deckard ve Beamsn, polimer ve metal tozlarının CO2 lazeri ile sinterlenmesini temel prensibi ile çalışan bir yöntem geliştirmişlerdir. Bu yöntemde termo plastiklerinde eklenmesiyle metot ticari olarak kullanılabilir hale gelmiştir. Yöntemin ticari olarak kullanılması ölçüsel tolerans ve tekrarlanabilirlik konularında hassasiyet gereksimi ortaya çıkarmaktadır. Katmanlı imalat teknolojileri tam olarak bu ihtiyacı sağlamaktadır. Doksanlı yıllarda Helisys, yüksek sıcaklık ile koşullandırılmış bir merdane ile katmaların üst üste eklenmesi temelli bir yöntem geliştirmiştir (Salazar vd., 2022). Sonrasında MIT 1992 yılında seramik tozları için bağlacılar yardımıyla birleşme sağlayan bir metot geliştirmiştir. 1993 yılına geldiğimizde ise mürekkep püskürtme yöntemi ile renkli baskıları mümkün hale gelmiştir. 1996 yılında ise ink jet teknoloji ortaya çıkmış ve katmanlı imalat yöntemine kodlama özelliği gelmiştir. Sonrasında, Actua 2100 isimli yazıcı ile mum tipi malzemelerin üretimleri mümkün gelmiştir. Bu gelişmeleri Anthony Atala'nın bu teknolojiyi biyomühendislik alanına uyarlaması üzerine yaptığı çalışmalar takip etmektedir. İlk olarak 1999 yılında üretilen bir idrar torbası ilk deneyim olarak kayıtlara geçmiştir. Üretilen bu yapay organ hastaya başarılı bir şekilde nakil edilmiştir ve uzun yıllar bu yapay organ sayesinde yaşamıştır. Lazer temelli sistemlerin, katmanlı imalat teknolojisine eklenmesi ise 2000 li yıllarda başlamıştır. Quadra isimli üç boyutlu yazıcının geliştirilmesi ile ilk örnekler üretilmiştir. Quadra fotopolimer formda püskürtülen malzemelerin ultraviyole ışın ile katılaşması mantığı ile çalışmaktadır (Tatlı, 2020). Bu teknoloji özellikle biyomühendislik alanının da önemli çıktılar üretmiştir. Bazı yapay organların üretilmesinde sayısal olarak artışlar olmuştur. Özellikle Wake Forest Üniversite'sinde gerçekleştirilen çalışmaların katkısı yüksektir (Mussi vd., 2019). 2004 yılında ise SST isimli bir yazıcının geliştirilmesi ile karmaşık şekilli geometrilerin üretimi mümkün hale gelmiştir. Bu çalışmaları, Specturum Z510 takip etmektedir. Bu cihazın üretimi ile renkli ve yüksek çözünürlüklü parçalar

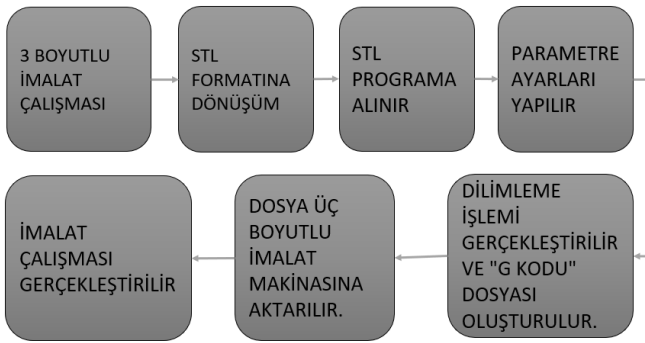
üretilmeye başlamıştır (Kong vd., 2016). Z450 yazıcısının 2007 yılında geliştirilmesi ile birlikte ürün başına düşen maliyet azalmış, dolayısı ile daha düşük maliyetle satış imkanı oluşmuştur. Böylece piyasa da daha aktif olarak katmanlı imalat ürünleri görülmeye başlamıştır. Bu cihaz ile ayrıca, mürekkep, yapıştırıcı ve malzeme takibi mümkün olmuştur. 2010 yılında üretilen Urbee isimli otomobilin tüm dış aksamaları ise üç boyutlu yazıcılar kullanılarak üretilmiştir (Attaran, 2017). Bu başarılı çalışma referans alınmış ve SULSA isimli uçak, dış yapısı, iç kontrol yüzeyleri ve kanat bu teknoloji ile üretilmiştir (Banfield vd., 2016).

Literatürde ki bu çalışmalar genel olarak kullanılabilirlik ve imalat üzerine odaklanmıştır. Bu çalışmalar günümüzde halen devam etmekle birlikte üretilen bu parçaların muamelesi üzerine yapılan çalışma sayısı oldukça azdır. Özellikle boşluklu ve farklı doluluk desenlerinde üretilen malzemelerin mukavemet değişimleri üzerine gerçekleştirilen çalışmaları sayısı azdır. Bu çalışma kapsamında farklı boşluk yüzdeleri ve doluluk desenleri ile üretilen parçaların çentik-darbe sonuçları üzerine etkisi incelenmiştir.

II. ÜÇ BOYUTLU İMALAT YÖNTEMİ AŞAMALARI

Günümüzde geleneksel teknolojik gelişmeler sonucunda, gelişen üç boyutlu imalat teknolojilerinin imalat yöntemleri, hammaddeleri, hızları ve kalite detayları farklılık gösterse de gerçekleştirilecek imalat çalışmaları adına izlenmesi gereken genel süreçler sabittir (Özkaya, 2020) Üç boyutlu imalat yöntemi ile üretilmek istenen malzemelerin kullanılacak olduğu sektörün ve kullanılacak çalışmanın ihtiyaçlarına uygun olarak bilgisayar ortamında üç boyutlu tasarımının yapılmış olması gerekmektedir. Bilgisayar ortamında yapılacak olan tasarım için Creo, Maya, Autodesk Inventor, Modo, Openscad, Rhinoceros, ZBrush, Cinema4D, Wolfram Mathematica, Autodesk 3DS Max, Blender, Mudbox, LightWave Sketchup, FreeCad, Tinkercad programları kullanılabilir. Üç boyutlu tasarım çalışması tamamlanmış olan bir malzemenin katmanlı imalat yöntemi kapsamında imal edilebilmesi için malzeme datasının katmanlı imalat yöntemi

makinalarının tanıyabileceği STL formatına dönüştürülmesi gerekmektedir. STL formatına çevrilmiş olan data üç boyutlu imalat makinasının kontrol programına aktarılır ve imalat için gerekli olan çözünürlük, doluluk, imalat hızı, yüzey kalitesi, hammadde, tabla yerleşimi gibi parametre ayarları yapılır. Parametre ayarları seçimi tamamlandıktan sonra dilimleme işlemi yapılır ve imalatı gerçekleştirilecek olan malzemenin imalat katmanlarını ve parametreleri içeren G kodu dosyası oluşturulur. Oluşturulan bu dosya taşınabilir bellek ile veya doğrudan bilgisayar makine bağlantısı ile üç boyutlu imalat makinasına aktarılır. Bu dosya ile birlikte imalat çalışmalarına başlanılır. Yazım işlemi tamamlandıktan sonra yazım tablasından makinaya ait özel aparatlar ile alınan malzeme üzerinde temizleme işlemi gerçekleştirilerek imalat çalışması tamamlanmış olur. Üç boyutlu imalat yöntemi aşamaları Şekil 1'de özetlenmiştir.



Şekil 1. Üç boyutlu imalat yöntemi aşamaları

III. ÜÇ BOYUTLU İMALAT YÖNTEMLERİ

Üç boyutlu imalat yöntemi Polimerizasyon , sinterleme ve ergitme, katman laminasyonu, toz bağlayıcı üretim ve Ekstrüzyon-ergitilmiş katman modelleme olmak üzere dört ana başlıkta toplanmaktadır. Bahsedilen tüm yöntemler Şekil 2'de gösterilmiştir.

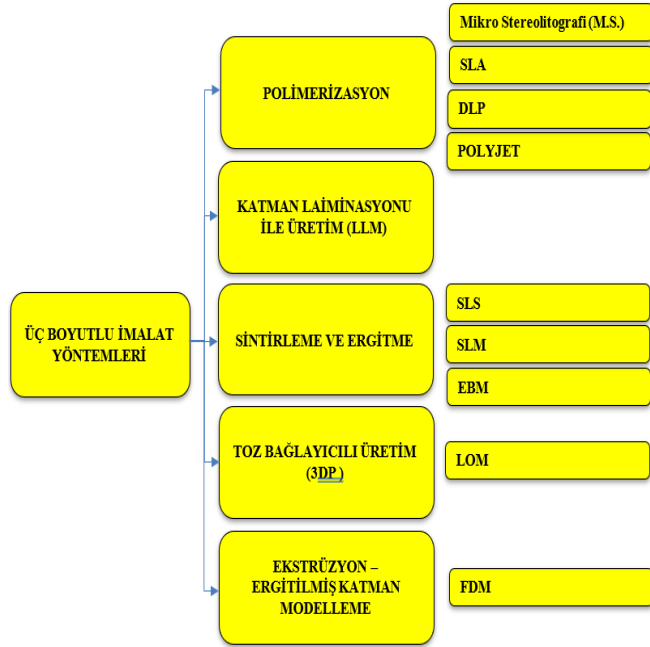
Polimerizasyon yöntemi hammadde olarak kullanılan fotopolimer reçinelerin soğutulması ve sertleştirilmesi ile imalatın gerçekleştirildiği yöntemdir. İmalatın gerçekleştirilmesi için güç kaynağı olarak UV ışını kullanılmaktadır. Polimerizasyon imalat yöntemi Lazer

Stereolitografi (Stereolithography - SLA), Polimer Jet Yöntemi (Polyjet & Multijet - PJ), Dijital Işık Yöntemi (Digital Light Processing - DLP), Mikro Stereolitografi (Micro Stereolithography) olmak üzere kendi içinde dört alt imalat yöntemi şeklinde gerçekleştirilmektedir. Dört imalat yöntemini birbirinden ayıran temel özellikler ise tabla hareketlerinin yönleri ve birbirlerine karşı olan boyutsal farklılıklardır. SLA yönteminde tablanın aşağı yönde hareket etmesi ile imalat gerçekleştirilir iken DLP yönteminde tabla yukarı yönde hareket ettirilir. Polyjet ve Mikro Stereolitografi yöntemlerinde reçine SLA ve SLP yönteminden farklı olarak nozullardan hammaddenin geçirilmesi ve soğutulması yöntemi ile imalat gerçekleştirilir. Polyjet ve Mikro Stereolitografi yöntemlerinin birbirlerinden farkı ise boyutsal farklılıklardır.

Sinterleme ve ergitme yönteminde hammadde olarak metal tozu kullanılır. Lazer ışın kaynağı ile metal tozları katmanlar halinde birbirine kaynatılır ve nihai ürün elde edilir. Sinterleme ve ergitme yöntemi kendi içinde Lazerle Sinterleme (Selective Laser Sintering - SLS) , Lazer ile Ergitme (Selective Laser Melting - SLM), Elektron Demeti ile Ergitme (Electron Beam Melting - EBM) olmak üzere kendi içinde üç alt imalat yöntemi şeklinde gerçekleştirilmektedir. Üç imalat yöntemini birbirinden ayıran temel özellikler ise metal tozunun kaynatılması, metalin eritilmesi ve metal eritilme işlemin kullanılan güç kaynakları farklılıklarından kaynaklanmaktadır. Lazerle Sinterleme (Selective Laser Sintering-SLS) yönteminde lazer ışını güç kaynağı ile metal tozu kaynatılarak üç boyutlu imalat yöntemi gerçekleştirilir. Lazer ile Ergitme (Selective Laser Melting-SLM) imalat yönteminde metal lazer ile, Elektron Demeti ile Ergitme (Electron Beam Melting-EBM) yönteminde ise metal elektron ışınları sayesinde ergitilerek imalat çalışmaları gerçekleştirilir.

Ekstrüzyon-ergitilmiş katman modelleme (FDM) yönteminde hammadde olarak termoplastik malzemeler kullanılmaktadır. Filament adı verilen

ve bir nozul içerisinden geçirildiğinde eritilerek her bir katman yazımının yapıldığı yöntemdir. İstenilen her türlü özelliğe karşılık gelen hammadde ulaşımı açısından en çok kullanılan üç boyutlu imalat yöntemidir. ABS, PLA, PETG, Antibakteriye Filament, Tahta – Ağaç kabuğu ve bambu filament, bronz, pirinç, bakır filament, Esnek PLA filament, karbon fiber filament, Hips filament ve PVA filament kullanım alanlarına göre tercih edilen belli başlı kullanılan filament gruplarıdır (Saleh Alghamdi 2021). Her yöntem için kullanılan güç kaynağı ve hammadde listesi TABLO 1’de gösterilmiştir. Üç Boyutlu İmalat Yöntemlerinin Karşılaştırılması TABLO 2’de gösterilmiştir.



Şekil 2. Üç Boyutlu İmalat Yöntemleri

Tablo 1. Üç Boyutlu İmalat Yöntemleri

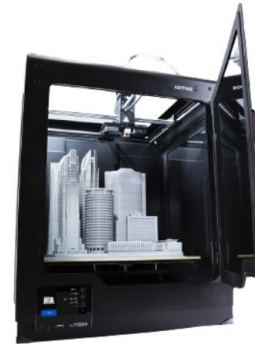
	Güç Kaynağı	Malzeme
LOM	Termal enerji	Polimer metal kağıt
SLS	Lazer ışını	Polimer metal seramik
EBM	Elektron ışını	Metal seramik
SLM	Lazer ışını	Polimer metal seramik
SLA	UV ışını	Polimer termopolimer
DLP	UV ışını	Polimer termopolimer
Polyjet	UV ışını	Polimer termopolimer

Tablo 2. Üç Boyutlu İmalat Yöntemlerinin Karşılaştırılması

Özellik Derece	Yöntem 1	Yöntem 2	Yöntem 3	Yöntem 4	Yöntem 5	Yöntem 6	Yöntem 7	Yöntem 8
Çözünürlük	Zayıf	SLS	EBM	SLM	3DP			
	Orta	LOM	FDM					
	Yüksek	SLA	DLP	POLYJET	M.S.			
Mukavemet	Zayıf	POLYJET	3DP					
	Orta	LOM	SLA	DLP	M.S.			
	Yüksek	SLS	EBM	SLM	FDM			
Pürüzlülük	Zayıf	SLS	SLM	3DP				
	Orta	LOM	FDM					
	Yüksek	EBM	SLA	DLP	POLYJET	M.S.		
Detay	Zayıf	LOM						
	Orta	3DP						
	Yüksek	SLS	EBM	SLM	SLA	DLP	M.S.	POLYJET
Doğruluk	Zayıf	LOM	FDM	3DP				
	Orta							
	Yüksek	SLS	EBM	SLM	SLA	DLP	M.S.	POLYJET

IV. BULGULAR

Bu çalışmadan imal edilen malzemelerin doluluk oranlarının ve farklı doluluk modellerinin darbe çentik testi altında gösterecek oldukları mekanik özelliklerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışmanın gerçekleştirilebilmesi adına malzeme imalatı FDM teknolojisi kullanılarak imalat yapmayı sağlayan Zortrax M300 Plus cihazı kullanılmıştır. FDM teknolojisine sahip bu cihazda filament sarmal rulodan çözünerek nozul ucunda filamentin erimesini ve tabla üzerine katman olarak termoplastik malzemenin yazım işleminin yapmasını sağlamaktadır. Her dilimleme katmanında tabla bir kademe aşağıya iner ve yazım işleminin devamlılığı sağlanır. Zortrax M300 Plus cihazı Şekil 3’de gösterilmiştir.



Şekil 3. Zortrax M300 Plus Üç Boyutlu Yazdırma Cihazı

3D prototipleme çalışmalarında kaliteli imalat seviyesi olarak oldukça yüksek verim sağlayan Z-HİPS filamentinin kullanılmıştır. Filamentin özellikleri TABLO 3'te verilmiştir. Filament resmi Şekil 4'te gösterilmiştir

Tablo 3. Z-HİPS Filamentinin Özellikleri

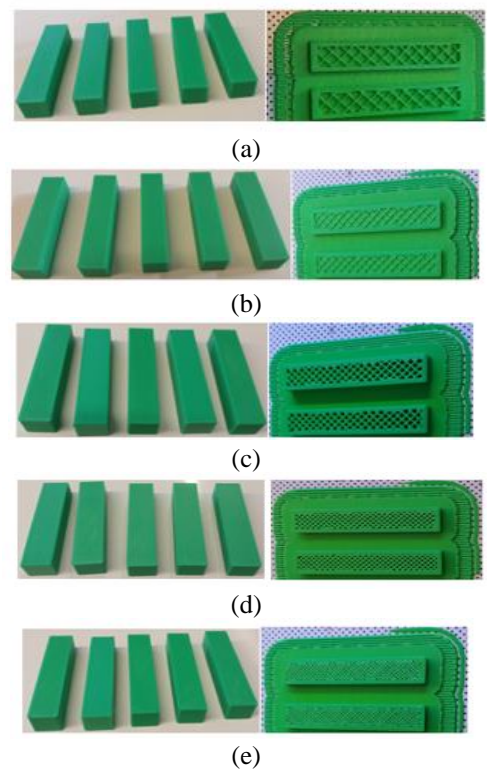
Özellikler	Değerler	Standart
Kopma (Çekme) Muhavemet Değeri	16,90 Mpa	ISO 527:1998
Akma Mukavemet Değeri	1302 Mpa	ISO 527:1998
Uzama Yüzdesi (Kopma Noktasına Kadar)	1,87	ISO 527:1998
Uzama Yüzdesi (Kopmadan önce ki)	7,75	ISO 527:1998
Burulma Gerilme Değeri	29,30 Mpa	ISO 178:2011
Eğilme Modül Değeri	1,18 Gpa	ISO 178:2011
Darbe Direnci	4,82 kJ/m ²	ISO 180:2004
Yoğunluğu	1,136 g/cm ³	ISO 1183-3:2003
Yüzey Sertliği	73,2	ISO 1183-3:2003



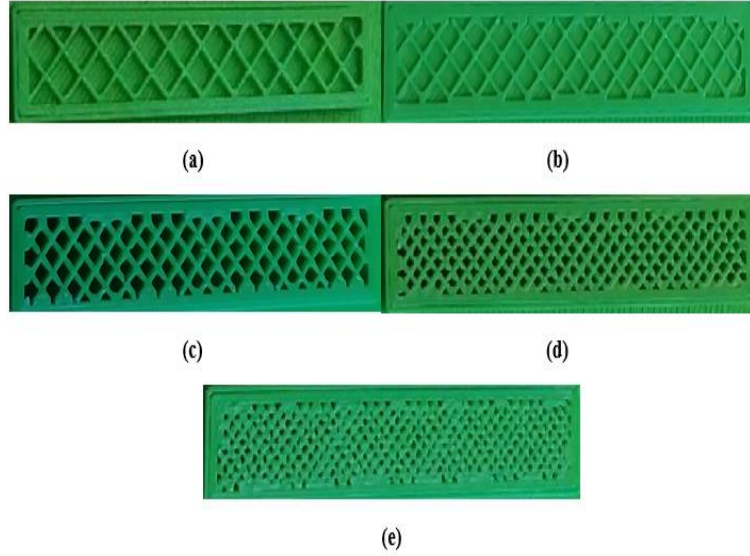
Şekil 4. Zortrax M300 Plus Üç Boyutlu Yazdırma Cihazı

V. DOLULUK ÇALIŞMASI İÇİN NUMUNE İMALATI

Üç boyutlu imalat cihazı olarak Zortrax M300 Plus cihazının ve filament olarak Z-Hips filamentinin kullanıldığı deneysel çalışmalar için 0,4 mm nozul meme ucu ve 0,19 mikron çözünürlük seçenekleri ile numune imalat çalışması çentik darbe test çalışmaları adına gerçekleştirilmiştir (Altıparmak, T. , Kurt, E. & Özdemir, S. N. 2023). Çentik darbe numunesi olarak imal edilen malzemeler için %30, %40, %50, %70 ve %90 olmak üzere beş ayrı doluluk oranında numune imalatları gerçekleştirilmiştir. İmal edilen çentik darbe test numuneleri Şekil 5'de ve Şekil 6'de gösterilmiştir.



Şekil 5. Farklı Doluluk Oranlarında Çentik Darbe Numune İmalatı ve Boşluk İncelemesi ; (a) %30 , (b) %40 , (c) %50 , (d) %70 , (e) %90

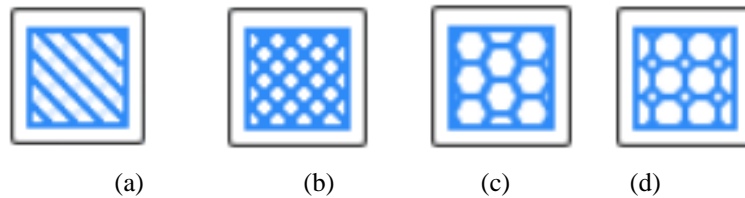


Şekil 6. Farklı Doluluk Oranlarında Çentik Darbe Numuneleri Boşluk İncelemesi ; (a) %30 , (b) %40 , (c) %50 , (d) %70 , (e) %90

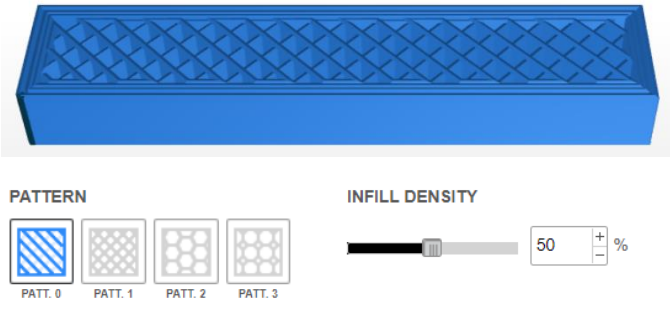
VI. FARKLI DOLULUK DESENLERİ İÇİN NUMUNE İMALATI

3 boyutlu imalat gerçekleştirecek olan makinada 0,4 mm nozul meme ucu mevcuttur. İmalat programı yapılırken alt özelliklerden olan çözünürlük değeri 0,19 mikron olarak belirlenmiştir. Doluluk oranı %50 doluluk oranı olarak seçilmiştir. Bu cihaz, malzeme ve program detay özellikleri ile birlikte çekme test numuneleri ile çentik darbe test numuneleri imalat çalışması gerçekleştirilmiştir. Darbe çentik testi ve çekme testi numuneleri olarak imal edilecek malzemeler için 4 farklı dolum modeli olan Model 1 (Dikdörtgen Desen), Model 2 (Kare Desen) ,

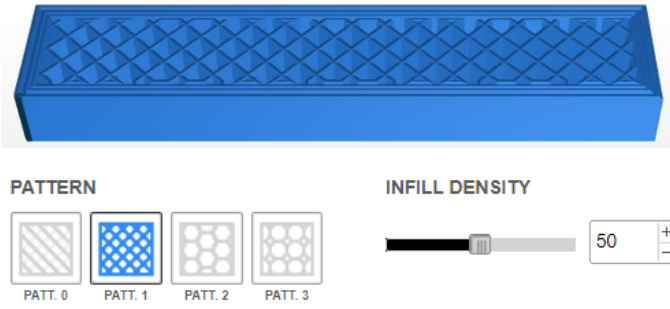
Model 3 (Altıgen Desen) , Model 4 (Petek Desen) modelleri seçilmiştir. Modellerin resimleri Şekil 7’de gösterilmiştir. Çentik darbe testi numuneleri için Model 1 (Dikdörtgen Desen) Şekil 8’de, Model 2 (Kare Desen) Şekil 9’de, Model 3 (Altıgen Desen) Şekil 10’de, Model 4 (Petek Desen) Şekil 11’te gösterilmiştir. Dört farklı modelde çekme test numunelerinin boşluk karşılaştırması Şekil 16’da, Çentik darbe test numunelerinin boşluk karşılaştırması Şekil 12’de gösterilmiştir



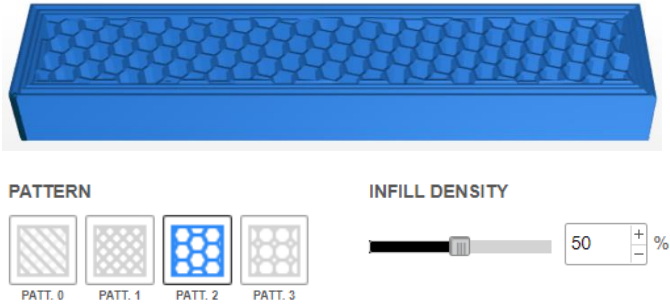
Şekil 7. Dolum Modelleri _ (a) Model 1 (Dikdörtgen Desen) , (b) Model 2 (Kare Desen) , (c) Model 3 (Altıgen Desen) , (d) Model 4 (Petek Desen)



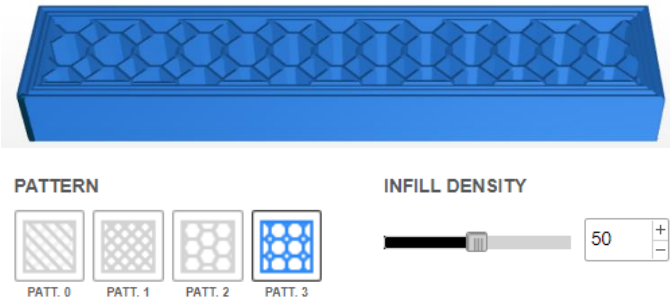
Şekil 8. Çekme Testi İçin Model 1 (Dikdörtgen Desen) Numunesi



Şekil 9. Çekme Testi İçin Model 2 (Kare Desen) Numunesi



Şekil 10. Çekme Testi İçin Model 3 (Altıgen Desen) Numunesi



Şekil 11. Çekme Testi İçin Model 4 (Petek Desen) Numunesi



(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 12. Dört farklı Modelde çentik darbe test numunelerinin boşluk karşılaştırması _ (a) Model 1 (Dikdörtgen Desen) ; (b) Model 2 (Kare Desen) ; (c) Model 3 (Altıgen Desen), (d) Model 4 (Petek Desen)

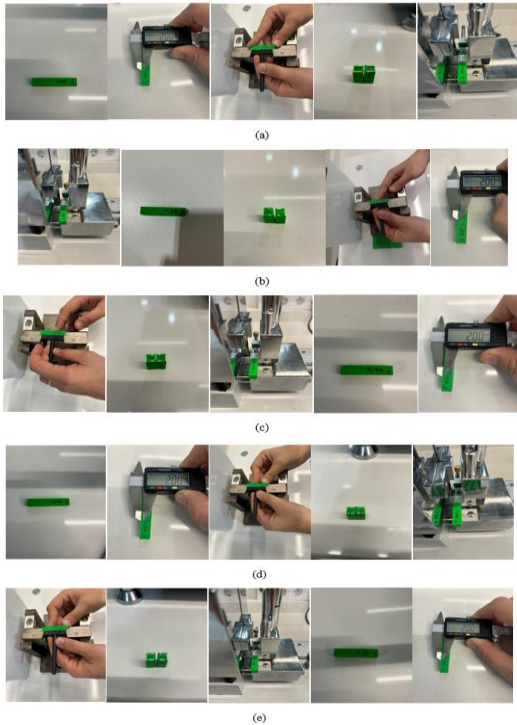
VII.

FARKLI DOLULUKLARDA VE FARKLI DOLULUK DESENLERİNDE ÇENTİK DARBE TESTLERİ

F

Üç boyutlu imalat teknolojisi kullanılarak yapılacak parçalarda darbeye maruz kaldıklarında kırıldıkları görülmüştür. Kullanım yerine göre doluluk oran seçiminin ve doluluk modelinin kırılmaya maruz kalmaması adına seçimleri önem arz etmektedir. %30 , %40, %50, %70, %90 oranlarında doluluk seviyelerine sahip darbe çentik numuneleri ve %50 doluluk oranı sabit tutulan dikdörtgen, kare, altıgen, daire desenlerinde ki farklı doluluk modellerine sahip parçalar ile test çalışması gerçekleştirilmiştir. Test çalışmaları 3 boyutlu yazıcı cihazının yazım yönünde ve yazım yönünün normalinde olacak şekilde 2 farklı şekilde gerçekleştirilmiştir. %30 doluluk ile numuneler

Şekil 13 (a) resminde gösterilmiştir. %40 doluluk ile numuneler Şekil13 (b) resminde gösterilmiştir. %50 doluluk ile numuneler Şekil 13 (c) resminde gösterilmiştir. %70 doluluk ile numuneler Şekil 13 (d) resminde gösterilmiştir. Model 1 (Dikdörtgen Desen) parçaları Şekil14 (a)'de gösterilmiştir. Model 2 (Kare Desen) parçaları Şekil14 (b) 'de gösterilmiştir. Model 3 (Altıgen Desen) Şekil14 (c)'de gösterilmiştir. Model 4 (Petek Desen) parçaları Şekil14 (d)'de gösterilmiştir. %90 doluluk ile numuneler Şekil 13 (e) resminde gösterilmiştir. Her bir numune için HST markalı ve QK-20 koduna sahip çentik hazırlama cihazı ile parça hazırlama kapsamında çentik açımı yapılmış olup test çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Çentik açma cihazı Şekil 15'da, açılan çentik ölçüleri Şekil 16'de gösterilmiştir. Darbe çentik test çalışmaları AOB markalı 7,5 , 15, 25, 50 Joule aralığına sahip , Impact hızı 3,8 mm/sn olan TEJC-50D kodlu Charpy Dijital Test Cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Test cihazının resmi Şekil 17 de gösterilmiştir.



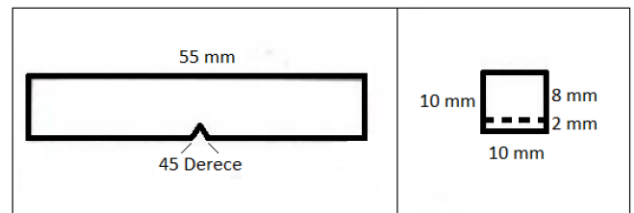
Şekil 13. Doluluk Oranı Test Parçaları İçin Yazım Yönünde ve Normalinde Numune Resimleri _ %30 Doluluk Darbe Çentik Testi (a), %40 Doluluk Darbe Çentik Testi (b), %50 Darbe Çentik Çekme Testi (c), %70 Doluluk Darbe Çentik Testi (d), %90 Doluluk Darbe Çentik Testi (e)



Şekil 14. Doluluk Modeli Test Parçaları İçin Yazım Yönünde ve Normalinde Numune Resimleri Darbe Çentik Numune Resimleri _ Model 1 (Dikdörtgen Desen) Yazım Yönünde Çentik Testi (a), Model 2 (Kare Desen) Yazım Yönünde Çentik Testi (b), Model 3 (Altıgen Desen) Yazım Yönünde Çentik Testi (c), Model 4 (Petek Desen) Yazım Yönünde Çentik Testi (d) _ Model 1 (Dikdörtgen Desen) Yazım Yönünün Normalinde Çentik Testi (e), Model 2 (Kare Desen) Yazım Yönünün Normalinde Çentik Testi (f), Model 3 (Altıgen Desen) Yazım Yönünün Normalinde Çentik Testi (g), Model 4 (Petek Desen) Yazım Yönünün Normalinde Çentik Testi (h)



Şekil 15. HST _ QK-20 Çentik Açma Cihazı



Şekil 16. Çentik Ölçüleri



Şekil 17. TEJC-50D kodlu AOB Markalı Charpy Dijital Test Cihazı

Sonuç olarak, farklı doluluk oranlarında üretilen darbe çentik test numuneleri imalat yönünde ve imalat yönüne normalinde olacak şekilde teste tabi tutulmuştur. İmalat yönünde ve imalat yönünün normalinde açılan çentik ile Absorbe edilen kırılma enerjisi değeri (J) grafiği Şekil 18’da, İmalat yönünde ve imalat yönünün normalinde açılan çentik ile çentik darbe mukavemeti (j/M) değeri Şekil 19’da verilmiştir. Farklı doluluk modellerinde üretilen darbe çentik test numuneleri de imalat yönünde ve imalat yönünün normalinde olacak şekilde teste tabi tutulmuştur. İmalat yönünde ve imalat yönünün normalinde açılan çentik ile Absorbe edilen kırılma enerjisi değeri (J) grafiği Şekil 20’de verilmiştir. İmalat yönünde ve imalat yönünün normalinde açılan çentik ile çentik darbe mukavemeti (j/M) değeri Şekil 21’da verilmiştir.

VII. SONUÇLAR

Bu çalışma içerisinde katmanlı imalat teknolojisi ile çeşitli farklı boşluk oranları ile üretilen çentik darbe numunelerinin kırılma enerjilerini vermektedir. Numunenin belirli bir boşluk oranlarında ve doluluk desenlerinde üretilebilmesi, daha az hammadde ihtiyacı ve düşük ağırlık gibi avantajlar sunmaktadır. Bu nedenle kullanılacağı yerdeki ihtiyaca uygun olarak boşluklu ve uygun desenli üretimi önemlidir. Çalışmada %30, %40, %50, %70 ve %90 dolulukta çentik darbe numuneleri ile %50 doluluk oranı sabit tutularak farklı doluluk modellerinde çentik darbe numuneleri üretilmiş ve sonuçları karşılaştırılmıştır.

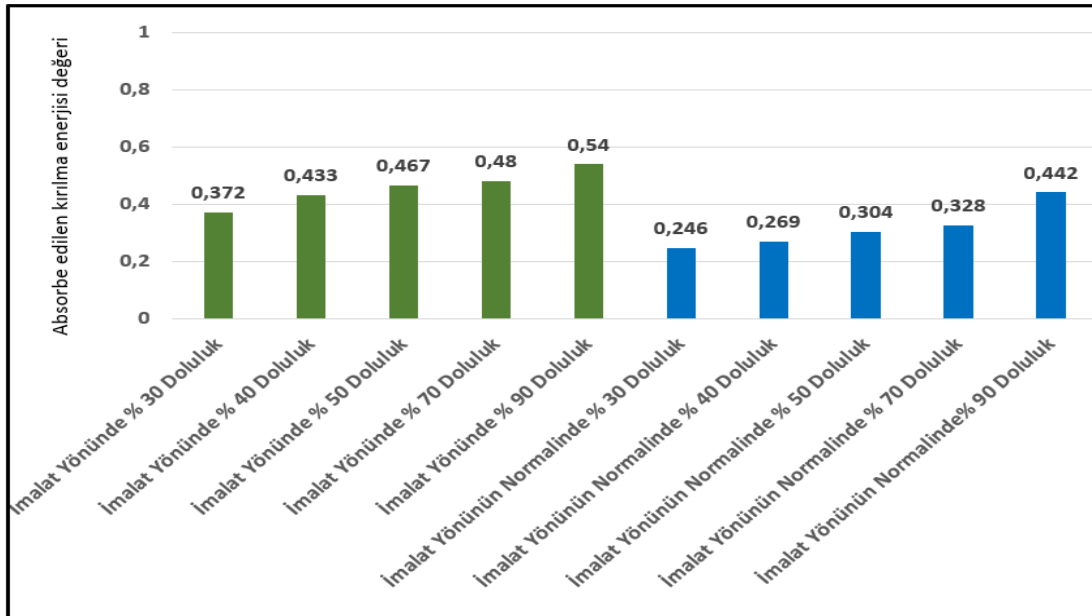
Elde edilen kırılma enerjileri imalat yönünün normalinde açılan çentik ile hazırlanan doluluk oranları karşılaştırması test numunelerine göre sırasıyla, 0.246 J, 0.269 J, 0.304 J, 0.328 J ve 0.442 J olarak absorbe edebileceği enerji miktarının arttığı gözlemlenmektedir (Şekil 18). Elde edilen kırılma enerjileri imalat yönünde açılan çentik ile hazırlanan doluluk oranları karşılaştırması test numunelerine göre sırasıyla, 0.372 J, 0.433 J, 0.467 J, 0.480 J ve 0.540 J olarak hesaplanmıştır (Şekil 18). Doluluk oranı arttıkça numunenin absorbe edebileceği enerji miktarının arttığı gözlemlenmektedir. Benzer etki imalat yönünün normalinde açılan çentik ile hazırlanan doluluk oranları karşılaştırması test numunelerine göre darbe çentik mukavemeti değerlerinde de 24,6 J/M, 26,9 J/M, 30,4 J/M, 32,8 J/M, 44,2 J/M olarak görülmektedir (Şekil 19). İmalat yönünde ise sırası ile 37,2 J/M, 43,3 J/M, 46,7 J/M, 48 J/M, 54 J/M olarak görülmüştür (Şekil 19).

Elde edilen kırılma enerjileri imalat yönünün normalinde açılan çentik ile hazırlanan %50 doluluk oranı sabit tutulmuş doluluk modelleri için test numunelerine göre Model 1 (Dikdörtgen) için 0,246 J, Model 2 (Kare) için 0,254 J, Model 3 (Altıgen) için 0,384 J, Model 4 (Petek) için 0,289 J olarak absorbe edebileceği enerji miktarları hesaplanmıştır (Şekil 20). Elde edilen kırılma enerjileri imalat yönünde açılan çentik ile hazırlanan %50 doluluk oranı sabit tutulmuş doluluk modelleri için test numunelerine göre Model 1 (Dikdörtgen) için 0,396 J, Model 2 (Kare) için 0,475 J, Model 3 (Altıgen) için 0,384 J,

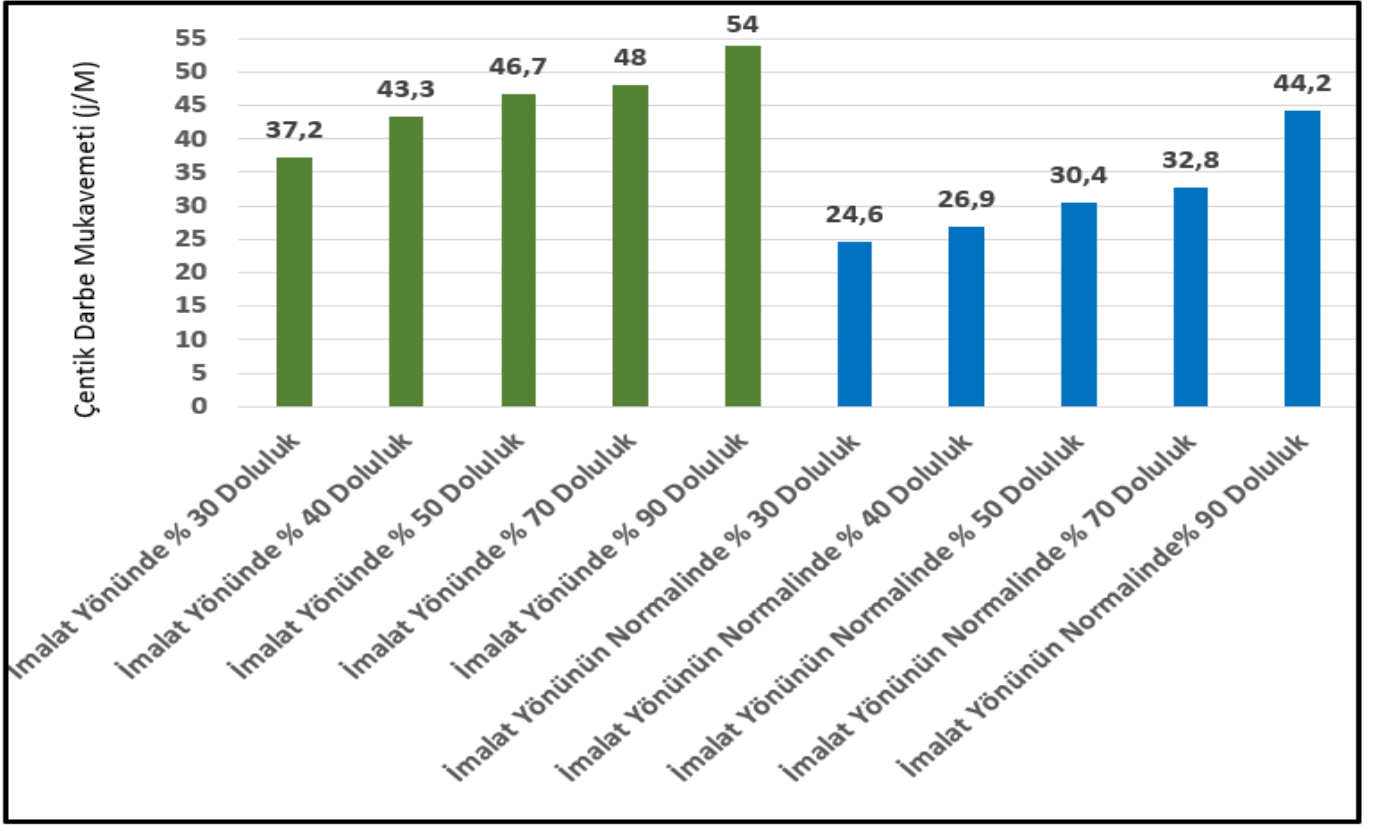
Model 4 (Petek) için 0,376 J olarak absorbe edebileceği enerji miktarları hesaplanmıştır (Şekil 20). Benzer etki imalat yönünün normalinde açılan çentik ile hazırlanan %50 doluluk oranı sabit tutulmuş doluluk modelleri için karşılaştırma test numunelerine göre darbe çentik mukavemeti değerlerinde de Model 1 (Dikdörtgen) için 24,6 J/M, Model 2 (Kare) için 25,4 J/M, Model 3 (Altıgen) için 38,4 J/M, Model 4 (Petek) için 28,9 J/M olarak görülmektedir (Şekil 21). İmalat yönünde ise Model 1 (Dikdörtgen) için 39,6 J/M, Model 2 (Kare) için 47,5 J/M, Model 3 (Altıgen) için 38,4 J/M, Model 4 (Petek) için 37,6 J/M olarak görülmektedir (Şekil 21).

İmalat yönünde doluluk oranlarını karşılaştırdığımızda absorbe edilen en yüksek kırılma enerjisi %90 doluluk değerinde 0.54 J olarak hesaplanmıştır. Ancak doluluk oranı ile birlikte absorbe edilen kırılma enerjisi değerleri arasında en büyük uyum %50 doluluk oranındadır. Bu değerde, ağırlıkta yüzde 44 azalma olurken absorbe edilen enerji değeri 0.467 J 'dür ve sadece % 13,5 azalma olmuştur. İmalat yönünün normalini değerlendirdiğimizde ise % 90 dolulukta absorbe edilen kırılma enerjisi 0.442 J iken % 50 dolulukta 0.304 J'dür. Yaklaşık olarak %31

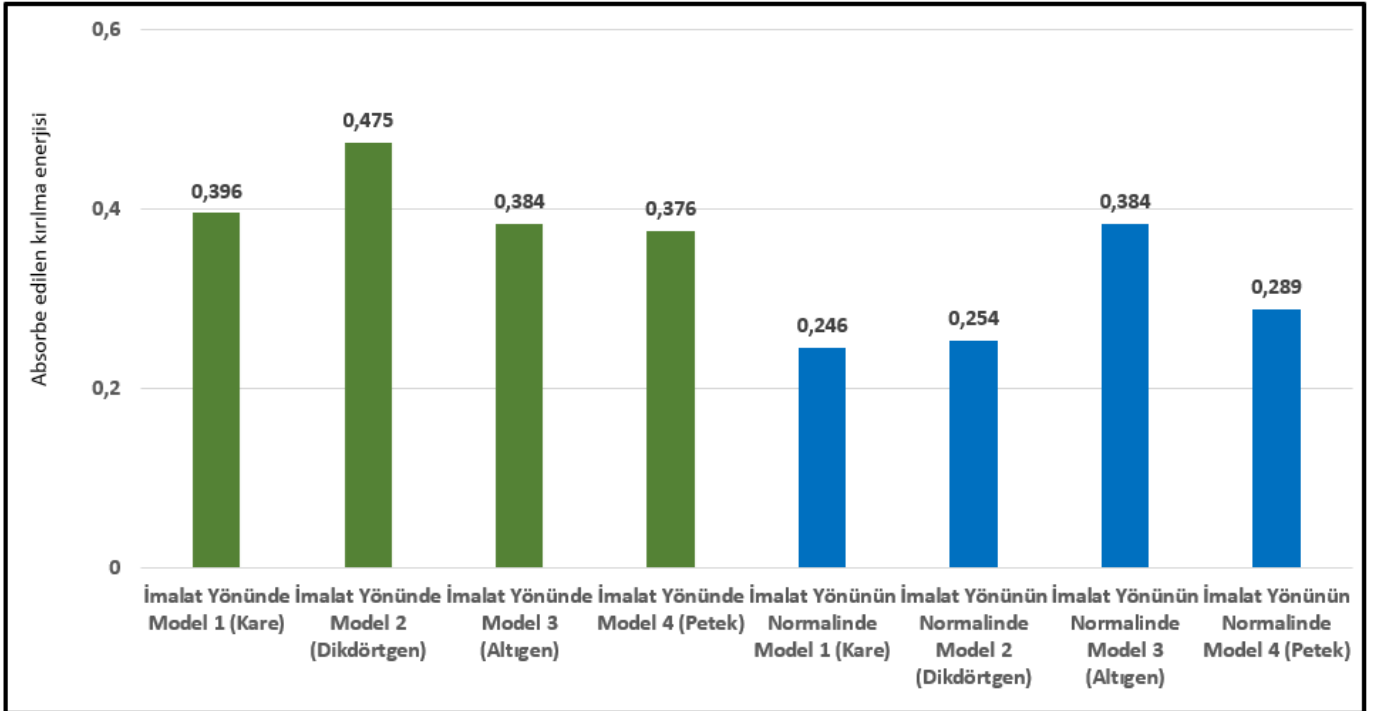
absorbe edilen enerji değerinde azalma olmuştur. Ağırlıktaki % 44 azalmayı değerlendirdiğimizde absorbe edilen enerji değerinde azalmalar hem imalat yönünde hem de imalat yönünün normalinde gayet makül gözükmemektedir. Bu noktada tasarım için istenen mukavemet değerine göre bir optimizasyon ihtiyacı göze çarpmaktadır. Özellikle imalat yönü ve normalinde yakın değerler beklenen tasarımlarda parçanın doluluk deseni de çok önemli hale gelmektedir. Bu doğrultuda hesaplanan farklı doluluk desenlerinde absorbe edilen kırılma enerjisi değerleri en yüksek dikdörtgen deseninde 0.475 J ile elde edilmiştir. Ancak dikdörtgen deseni için imalat yönünün normalini incelediğimizde absorbe edilen kırılma enerjisi değeri 0.275 J dür. Bu noktada farklı yönlerdeki kuvvetlere maruz kalacak yapılarda dikdörtgen desenin seçilmesi uygun değildir. Dikdörtgen desenli yapı anizotropik malzeme gibi davranmaktadır. Bu kısımda altıgen desenli yapı göze çarpmaktadır. İmalat yönünde absorbe edilen kırılma enerjisi değeri ile imalat yönünün normalinde hesaplanan absorbe edilen kırılma enerjisi değeri birbiri ile aynı olarak hesaplanmış ve 0.384 J'dür. Benzer şekilde darbe-çentik mukavemeti değerlerini incelediğimizde aynı değişim oranları görülmektedir



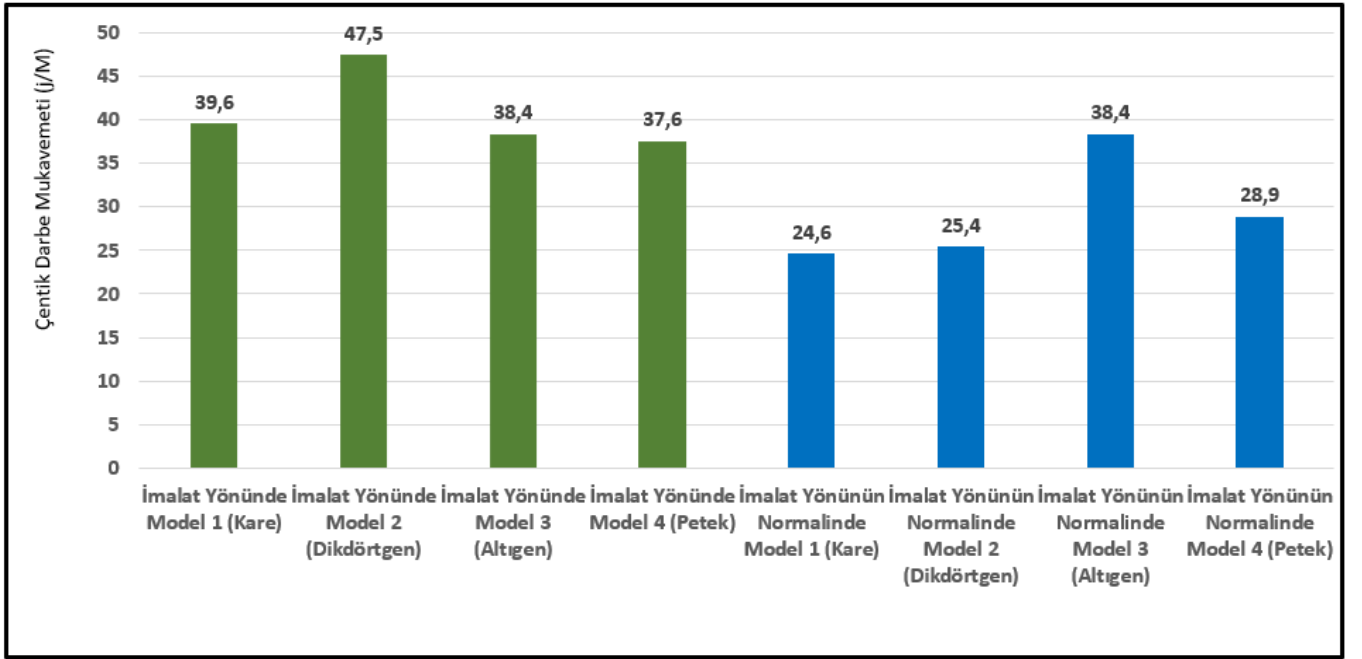
Şekil 18. Doluluk Oranında İmalat Yönünde ve İmalat Yönünün Normalinde Açılan Çentik İle Test Hazırlanan Numuneler İçin Absorbe Edilen Kırılma Enerjisi Değeri (J) Grafığı



Şekil 19. Doluluk Oranında İmalat Yönünde ve İmalat Yönünün Normalinde Açılan Çentik İle Test Hazırlanan Numuneler İçin Çentik Darbe Mukavemeti (j/M) Grafiği



Şekil 20. Doluluk Desende İmalat Yönünde ve İmalat Yönünün Normalinde Açılan Çentik İle Test Hazırlanan Numuneler İçin Absorbe Edilen Kırılma Enerjisi Değeri (J) Grafiği



Şekil 21. Doluluk Deseninde İmalat Yönünde ve İmalat Yönünün Normalinde Açılan Çentik İle Test Hazırlanan Numuneler İçin Çentik Darbe Mukavemeti (j/M) Grafiği

Teşekkürler

Yazarlar, bu çalışmada yapılan işlemler sırasında verdiği destekten dolayı Tırsan Treyler A.Ş. şirketine teşekkür eder.

Yayın Etiği Beyanı

Bu çalışma etik kurul izni veya herhangi bir özel izin gerektirmez.

Araştırmacıların Katkısı

Yazarlar çalışmaya eşit katkıda bulunmuştur.

Çıkar Çatışması

Çalışma kapsamında herhangi bir kurum veya kişi ile çıkar çatışması bulunmamaktadır.

KAYNAKLAR

- Altıparmak, T. , Kurt, E. & Özdemir, S. N. (2023). Üç Boyutlu İmalat Yöntemi ile Farklı Çözünürlüklerde Malzeme Üretimi ve Mekanik Davranışlarının İncelenmesi . TOGU Career Research Journal , 4 (1) , 1-12
- Attaran, M. (2017). The rise of 3-D printing: The advantages of additive manufacturing over traditional manufacturing. Business Horizons, 60(5), 677–688.

- Banfield, C., Kidd, J., & Jacob, J. D. (2016). Design and Development of a 3D Printed Unmanned Aerial Vehicle.
- Barz, A., Buer, T., & Haasis, H. D. (2016). A Study on the Effects of Additive Manufacturing on the Structure of Supply Networks. IFAC-PapersOnLine, 49(2), 72–77.
- Kong, X., Nie, L., Zhang, H., Wang, Z., Ye, Q., Tang, L., Huang, W., & Li, J. (2016). Do 3D Printing Models Improve Anatomical Teaching About Hepatic Segments to Medical Students? A Randomized Controlled Study. World Journal of Surgery, 40(8), 1969–1976.
- Mussi, E., Furferi, R., Volpe, Y., Facchini, F., McGreevy, K. S., & Uccheddu, F. (2019). Ear reconstruction simulation: From handcrafting to 3D printing. In Bioengineering, 6(1), 14.
- Salazar-Gamarra, R., Contreras-Pulache, H., Cruz-Gonzales, G., Binasco, S., Cruz-Gonzales, W., & Moya-Salazar, J. (2022). Three-Dimensional Printing and Digital Flow in Human Medicine: A Review and State-of-the-Art. In Applied System Innovation, 5(6), 126.
- Saleh Alghamdi, S., John, S., Roy Choudhury, N., & Dutta, N. K. (2021). Polymers Additive Manufacturing of Polymer Materials: Progress, Promise and Challenges, 13, 753
- Tatlı, O. (2020). Üç boyutlu yazıcı tasarımı, imalatı ve dolgu geometrisinin mekanik özelliklere etkisi. Diss. Bursa Uludag University.
- Wagner, S. A., & Kreyer, R. (2021). Digitally Fabricated Removable Complete Denture Clinical Workflows using Additive Manufacturing Techniques. Journal of Prosthodontics, 30, 133–138.