

Article Arrival Date

1.08.2021

Article Type

Research Article

Article Published Date

20.09.2021

Doi Number: <http://dx.doi.org/10.38063/ejons.462>

FARKLI GÖRÜNTÜ İŞLEME ALGORİTMALARININ EKLEMELİ İMAL EDİLMİŞ METAL PARÇALARININ POROZİTE TESPİTİNDE KULLANIMINA YÖNELİK KARŞILAŞTIRILMASI

COMPARISON OF DIFFERENT IMAGE PROCESSING ALGORITHMS FOR THE USE OF POROSITY DETECTION IN METAL ADDITIVE MANUFACTURING

Özgür POYRAZ

Eskişehir Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, ORCID ID: 0000-0001-9892-5738

Osman Onur BAŞ

Eskişehir Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, ORCID ID: 0000-0002-8010-0516

Furkan ÖZKAN

Eskişehir Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, ORCID ID: 0000-0001-5269-9480

ÖZET

Sunduğu avantajlar arasında çok sayıda farklı konu bulunan eklemeli imalat teknolojileri, son yıllarda değişik sektörler tarafından uygulanmaya başlamıştır. Eklemeli imalat teknolojilerinin yedi ana grubu içerisinde değerlendirilen toz yatağı füzyon prosesi sayesinde farklı metal alaşımlarını ve parçanın bilgisayar ortamında tasarlanan modelini kullanarak doğrudan üretim yapmak mümkün hale gelmiştir. Bununla beraber, gelişimi henüz devam eden proses için aşılması gereken zorluklar bulunmaktadır. İş parçası içerisindeki boşlukların dolu malzemeye oranı olarak da tanımlanan ve mekanik-metalürjik pek çok soruna yol açabilen porozite, aşılması gereken zorluklara bir örnektir. Bu sebeplerle toz yatağı füzyon esaslı eklemeli imalat ile üretilmiş parçaların porozite tespitinin yapılması ve sonrasında mümkünse proses parametrelerinin iyileştirilerek mikro yapı bütünlüğü açısından kabul edilebilir seviyede parçaların imal edilmesi gerekmektedir. Literatürde porozitenin tespiti için kullanılan temel yöntemler arasında X-ışını ile tahribatsız muayene, Arşimet prensibi ile yoğunluk ölçümü ve mikroskobik incelemeler vardır. Bunlar arasından mikroskobik inceleme yöntemi, kullanılması gereken ekipmanların gerek akademik gerekse endüstriyel kurumlarda yaygın olarak bulunması sebebi ile avantajlıdır. Temelde üretilen parçaların kesit görüntülerinin alınması ve sonrasında özel yazılımlarla görüntülerin işlenmesine dayanan bu yöntemde kullanılan özel yazılımlar çoğunlukla açık koda sahip değildirler. Bu durum porozite problemlerini tespit etmek, kullanılan algoritmaların doğruluğundan emin olmak ve çoğunlukla geçmişte konvansiyonel yöntemlerle üretilen malzemelere yönelik geliştirilmiş yazılımların eklemeli imalattaki hatalarını anlamak isteyen araştırmacılar için tercih edilmemektedir. Bu makalede görüntü işleme için kullanılan ve Matlab yazılımı içerisinde açık olarak entegre edilebilen üç farklı algoritma karşılaştırılmaktadır. Karşılaştırma işlemi öncelikle bilgisayar destekli tasarım yazılımında suni olarak tasarlanmış ve değeri bilinen poroziteler görüntü işleme algoritmaları ile tespit edilmiş, ve daha sonra bu algoritmalar mikro yapı görüntüleri literatürden alınan toz yatağı füzyon ile eklemeli olarak imal edilmiş çelik, nikel ve titanyum alaşım gruplarından üç farklı malzemenin mikro yapı görüntüleri üzerine uygulanmıştır. Sonuç itibari ile porozite tespitinde eşikleme tekniğinin önemli olduğu görülmüş ve kullanılan malzeme ve mikro yapı hazırlama süreçlerinin de bulgulara etkidiği ortaya çıkartılmıştır.

567

Anahtar Kelimeler: Eklemeli İmalat, Toz Yatağı Füzyon, Porozite, Görüntü İşleme, Matlab

ABSTRACT

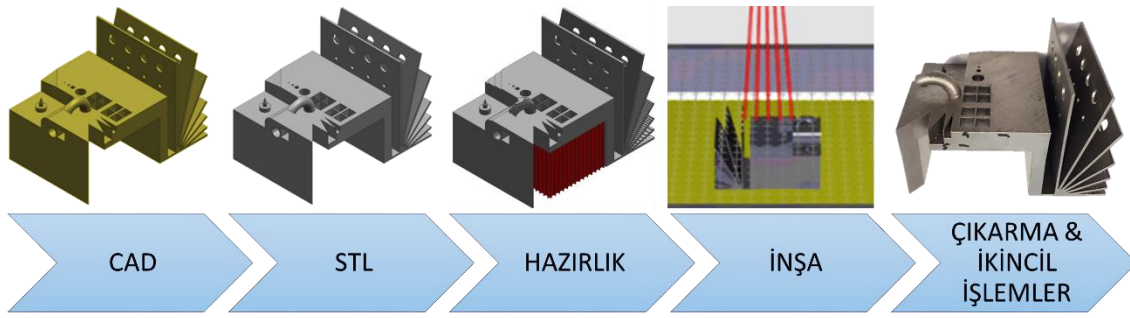
Additive manufacturing technologies, which offer many different advantages, has been employed by various industries in recent years. Thanks to the powder bed fusion process, fabrication of parts has become possible by directly using the model of the part designed in the computer environment. However, there are still challenges to be overcome for the emerging process. Porosity, which is defined as the ratio of voids in the workpiece and cause many mechanical-metallurgical problems, is an example for the challenges. That's why, it is necessary to determine the porosity of the parts produced with powder bed fusion, and then, if possible, to improve the process parameters. Non-destructive testing with X-ray, density measurement with Archimedes principle, and microscopic examinations are among the common methods used for porosity determination. The microscopic examination method is advantageous because the equipment to be used is widely available in both academic and industrial institutions. The special software used in this method, which is based on taking the cross-sectional images of the produced parts and then processing those, mostly do not have open source code. This situation is not preferred for researchers who want to detect porosity problems, to be sure of the accuracy of the algorithms used, and to understand the errors in additive manufacturing. This article compares three different algorithms used for image processing that can be explicitly integrated into Matlab software. First of all, artificially designed and known porosities in computer aided design software were determined by image processing algorithms. Then these algorithms are employed for microstructure images of three different materials which were produced powder bed fusion additive manufacturing. As a result, it has been seen that the thresholding technique is important in the determination of porosity and it has been revealed that the materials used and the microstructure preparation processes also affect the results.

Keywords: Additive Manufacturing, Powder Bed Fusion, Porosity, Image Processing, Matlab

1. GİRİŞ

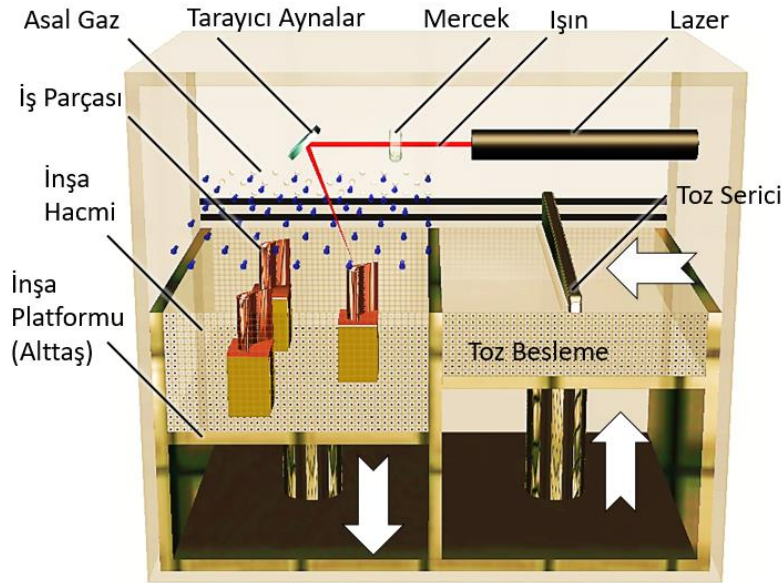
Eksiltmeli yöntemlerden farklı olarak parçaları katmanlar halinde inşa etme yeteneğine sahip olan Eklemeli İmalat (Eİ) teknolojileri, sundukları tasarım serbestliği, hafifleştirme, düşük adetli üretim ve fonksiyonel geçişli malzemeleri işleme kabiliyeti sebebi ile akademiden ve endüstriden araştırmacıların ilgisini çekmektedir (Kuşhan vd., 2018). Uluslararası standartlara göre yedi ana grupta incelenen eklemeli imalat teknolojileri arasında Toz Yatağı Füzyon (TYF) prosesleri, yine standartlar tarafından desteklenen metal alaşım çeşidi açısından en fazla seçeneği sunan gruptur (ASTM, 2015).

TYF Eİ prosesinin temel adımları diğer Eİ prosesleri ile benzerlik göstermektedir. Bu kapsamda bilgisayar destekli tasarım (İng. Computer Aided Design – CAD) yazılımları ile hazırlanan 3-Boyutlu (3B) parça modelleri, Eİ için uygun olan dosya formatlarında (Örneğin amf, obj, stl) dışa aktarılır ve daha sonra iş hazırlama yazılımlarına alınarak buralarda düzenlenir. Yapılan düzenlemeler arasında parçanın katmanlara ayrılması ve imalat planlaması ile uygun olarak proses parametrelerinin atanması bulunmaktadır. Bunun akabinde iş dosyası Eİ tezgahına yüklenir ve malzeme ile gerekli diğer ayarlar yapıldıktan sonra proses başlatılır. Prosesin tamamlanması sonrasında inşa edilen parça tezgahtan ayrılır ve gerekli ise ikincil işlemler ile kullanıma hazır hale gelir. Eİ proseslerinin tamamına uygulanabilecek temel işlem adımları Resim 1'de verilmektedir (Poyraz, 2018).



Resim 1. Eklemeli imalatta temel adımlar (Poyraz, 2018)

TYF Eİ prosesinin diğer Eİ prosesleri ile ayrışan özelliği ise büyük ölçüde parçanın inşa edilmesi adımında görülmektedir. Bu adımda parçacık boyut dağılımı oldukça küçük toz formundaki metal malzeme bir katman serilir ve sonrasında malzeme üzerine parçanın ilgili katman kesit geometrisi ile uyumlu geometride enerji girdisi sağlanır. Bu girdi için enerji kaynağı olarak lazer veya elektron ışını kullanılabilir. Enerji girdisinin yapıldığı toz malzeme hızlı bir şekilde eriyip katlaşır ve inşa platformu bir katman kadar aşağı indirilir. Bu döngünün tekrar edilmesi ile TYF Eİ süreci inşa adımı tamamlanmış olur. Resim 2’de enerji kaynağı lazer olan bir TYF Eİ sistemi örnek olarak verilmektedir.



Resim 2. Enerji kaynağı lazer olan bir TYF Eİ (Poyraz, 2018)

TYF Eİ prosesinin açıklamalarından da anlaşılacağı üzere söz konusu processte takım veya kalıp kullanım ihtiyacı yoktur çünkü parça 3B model verisinden doğrudan üretilmektedir. Bu durum tasarım ve mühendislik açısından hafif yapılar, kişiselleştirilmiş ürünler ve hızlı pazara girişin yanında, imalat açısından az sayıda parça üretebilme kabiliyeti getirmektedir. Bunlara ek olarak toz malzemenin tekrar kullanılabilmesi malzeme atığını azaltarak çevreye duyarlı bir yöntem sunmakta, gelecek gelişmeler de dikkate alındığında yerinde üretim sayesinde tamir ve servis süreçlerini yalınlaştırma potansiyeli bulunmaktadır (Bromberger ve Kelly, 2017). Buna karşın TYF Eİ prosesinin de dezavantajları bulunmaktadır. Bu dezavantajlar arasında alışlagelmiş imalat yöntemlerine kıyasla uzun inşa süreleri, küçük parça boyutları, düşük ölçüsel doğruluk-hassasiyet, mikro yapı problemleri ve porozite, destek yapıları gereksinimi, artık gerilmeler ve deformasyonlar bulunmaktadır (Poyraz ve Kuşhan, 2019).

Söz konusu dezavantajlar arasında sıralanan porozite iş parçası içerisindeki boşlukların dolu malzemeye oranı olarak da tanımlanmakta ve mekanik-metalürjik pek çok soruna yol açmaktadır. Yol açtığı fiziksel ve mekanik problemler arasında parça yoğunluğu, elastisite modülü, akma mukavemeti, çekme mukavemeti ve yorulma değerlerindeki düşüş öne çıkmaktadır (Gallarga vd.,

2016). Bu sebeplerle TYF Eİ ile üretilmiş parçaların porozite tespitinin yapılması ve sonrasında mümkünse proses parametrelerinin iyileştirilerek mikro yapı bütünlüğü açısından kabul edilebilir seviyede parçaların imal edilmesi gerekmektedir. Etkilenen fiziksel ve mekanik özelliklerin yanı sıra porozite, gözeneklerinin içinin boş olması veya bu gözeneklerin içine gaz hapsediğinde, o noktalarda yalıtkan özelliği göstermesi nedeni ile termal özellikleri de olumsuz olarak etkilemektedir (Poyraz vd., 2021). TYF Eİ ile yapılan farklı çalışmalarda, proses parametrelerinin poroziteye etkideği ve özellikle katman kalınlığı, lazer gücü, lazer tarama hızı ve tarama mesafesi gibi parametrelerin parça porozitesinde rol oynadığı tespit edilmiştir (Gong vd., 2013, Jeon vd., 2018, Slotwinski vd., 2014). Literatürde porozitenin tespiti için kullanılan temel yöntemler arasında X-ışını ile tahribatsız muayene, Arşimet prensibi ile yoğunluk ölçümü ve mikroskopik incelemeler vardır (Arvieu vd., 2020, Nickerson vd., 2019). Bunlar arasında mikroskopik inceleme yöntemi, kullanılması gereken ekipmanların gerek akademik gerekse endüstriyel kurumlarda yaygın olarak bulunması sebebi ile avantajlıdır. Temelde üretilen parçaların kesit görüntülerinin alınması ve sonrasında özel yazılımlarla görüntülerin işlenmesine dayanan bu yöntemde kullanılan özel yazılımlar çoğunlukla açık koda sahip değildirler. Bu durum porozite problemlerini tespit etmek, kullanılan algoritmaların doğruluğundan emin olmak ve çoğunlukla geçmişte konvansiyonel yöntemlerle üretilen malzemelere yönelik geliştirilmiş yazılımların eklemeli imalattaki hatalarını anlamak isteyen araştırmacılar için tercih edilmemektedir.

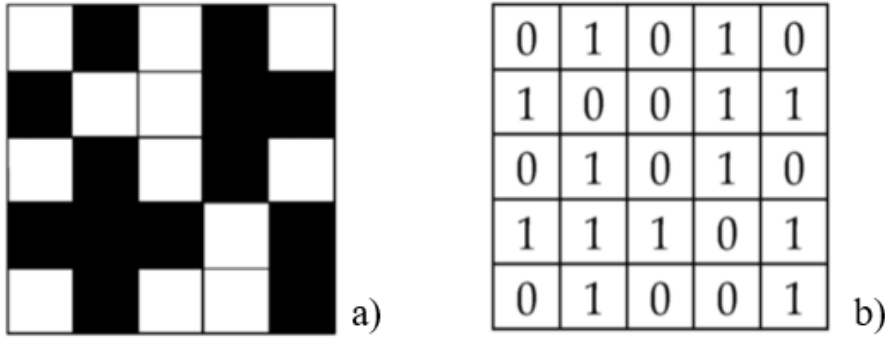
Bu makalede görüntü işleme için kullanılan ve Matlab yazılımı içerisine açık olarak entegre edilebilen üç farklı algoritma karşılaştırılmaktadır. Karşılaştırma işleminde öncelikle bilgisayar destekli tasarım yazılımında suni olarak tasarlanmış ve değeri bilinen poroziteler görüntü işleme algoritmaları ile tespit edilmiş, ve daha sonra bu algoritmalar mikro yapı görüntüleri literatürden alınan toz yatağı füzyon ile eklemeli olarak imal edilmiş çelik, nikel ve titanyum alaşım gruplarından üç farklı malzemenin mikro yapı görüntüleri üzerine uygulanmıştır.

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Görüntü İşleme Algoritmalarının Karşılaştırılması

MathWorks tarafından geliştirilmiş olan MATLAB yazılımı, araştırmacıların Görüntü İşleme Araç Menüsü (İng. Image Processing Toolbox) ile farklı resimleri işlemek için kullandığı arayüzlerden biridir. Açık kod kullanımı sayesinde derinlemesine araştırma yapmanın mümkün olduğu arayüz ile işlenebilecek görüntü formatları arasında Yüksek Dinamik Aralıklı (İng. High Dynamic Range), Tam Renkli (İng. Truecolor / Red Green Blue – RGB), İndekslenmiş (İng. Indexed), Gri Ölçekli (İng. Grayscale) ve İkili (İng. Binary) görüntüler bulunmaktadır. Yazılım arayüzü ile çalışılabilecek görüntü çeşidi fazla olsa dahi, eklemeli imal edilmiş metal parçalardaki porozitenin fiziksel karşılığının ilgili noktada malzeme boşluğunu ifade etmesi sebebi ile görüntünün ikili bir formata indirgenmesi faydalı olmaktadır. Diğer bir söylemle eklemeli imal edilmiş metal parçaların mikroskop kesit görüntülerinden seçilen herhangi bir nokta ya boş ya da dolu olacaktır. Bu makalede kesit görüntülerini ikili formata indirgeyen üç farklı teknik karşılaştırılmaktadır.

Karşılaştırılan ilk teknikte görüntünün orijinal formatı ne olursa olsun, arayüz içine alındıktan sonra sayısallaştırmak için ikili formata dönüştürülmesi amaçlanmıştır. Bu dönüşüm ile hedeflenen malzemenin dolu olduğu bölgeler için 1 (beyaz), malzemenin boş veya poroz olduğu bölgeler için ise 0 (siyah) içeren ikili bir haritanın elde edilmesidir. Bu sayede ikili görüntüden ikili sayı (İng. Binary Digit – Bit) dizisine geçilebilecek ve bu da ileri seviye hesaplamalara imkân verecektir. Resim 3'te ikili görüntü ve ondan türetilmiş ikili sayı dizisi örneği verilmektedir (Jaafer vd., 2020).



Resim 3. İkili görüntü a), ikili sayı dizisi b) (Jaafer vd, 2020 tarafından Creative Commons Attribution Lisansı altındadır.)

Bu yaklaşımdaki en önemli zorluk, uygun bir eşik (ing. Treshold) değerinin nasıl seçileceğidir. Uygun eşik değerinin elde edilmesi ve bunun eklemeli imalatta ortaya çıkan porozitelere uygulanması için denenen ilk teknik, görüntü işleme konusunda öncü olan Otsu (Otsu, 1979) tarafından geliştirilen tekniktir. Bu yöntemde gri ölçekli görüntü üzerinde çok seviyeli eşik (İng. Mutlilevel tresholding) kullanarak, görüntünün en karanlık bölümünü tespit edilebilmektedir. Bu algoritma, eşik seçim kuralı olarak arka plan ile hedef görüntü arasındaki sınıflar arası maksimum varyansı alır. Gri tonlama özelliklerine göre görüntüyü ön plana ve arka plana ayırır. En iyi eşik değeri alındığında, iki parça arasındaki fark en büyük olmaktadır. Bu nedenle, kümeler arasındaki varyans en üst düzeye çıkarıldığı sürece, yanlış sınıflandırma olasılığı en aza indirilecek ve böylece bir görüntünün mükemmel bölümlenmesini gerçekleştirecektir (Huang vd., 2021).

Karşılaştırılan ikinci teknikte dolaylı bir dönüşüme imkân veren ve RGB görüntüleri dikkate alan algoritmalar değerlendirilmiştir. RGB görüntülerin olmadığı durumda, örneğin indekslenmiş görüntüler için, öncelikle RGB dönüşümü yapılmaktadır. Buna göre RGB görüntünün işlenmesi sayesinde resim en küçük piksel serilerine (İng. Serialization) ayrılmakta ve sonrasında her bir piksel için RGB değerlerinin bileşkesi ile Siyah Renk İndeksi hesaplanmaktadır. Siyah Renk İndeksi değerinin 255 seviyesine yakınsadığı noktalar porozite olarak algılanmaktadır.

Karşılaştırılan üçüncü ve son teknikte ise dijital görüntüler gri ölçekli görüntülere çevrilmekte ve sonrasında niceleme (İng. Quantization) yöntemi gri tonlarının seviyeleri belirlenmektedir. Belirlenen seviyeler ayrıştırıldıktan sonra ara değerler görmezden gelinmekte ve sınırlara yakın değerler de alt veya üste yuvarlanarak ikili sayı dizisi elde edilmektedir.

Her üç yöntem sonunda da 0 (siyah) gözeneklerin piksel sayısı tüm görüntünün piksel sayısına oranlanarak porozite oranı hesaplanabilmektedir.

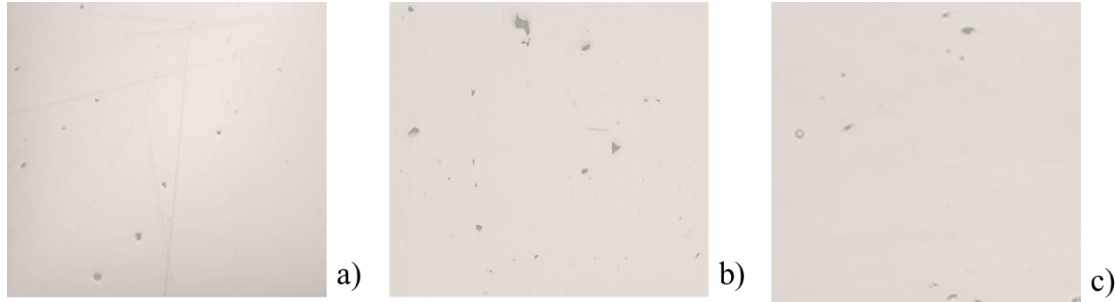
Algoritmaların daha sağlıklı karşılaştırılabilmesi için öncelikle bilgisayar destekli tasarım yazılımında suni olarak tasarlanmış ve değeri bilinen poroziteler görüntü işleme algoritmaları ile tespit edilmiştir. Tasarlanarak oluşturulan suni görüntülerde zemin rengi makale zemini ile karıştırılmaması açısından açık gri – RGB (225, 225, 225) seçilmiş ve suni poroziteler ise siyah – RGB (0, 0, 0) olarak ayarlanmıştır. Tablo 1’de yapılan tasarımlar, toplam ve porozite alan değerleri ile porozite oranı görülmektedir.

Tablo 1. Suni olarak tasarlanan porozite görüntüleri.

	Senaryo 1	Senaryo 2	Senaryo 3	Senaryo 4
Tasarım				
Nominal boşluk (porozite) alanı (mm ²)	3.125	6.25	12.5	25.0
Nominal toplam alan (mm ²)	625	625	625	625
Porozite oranı (%)	0.5	1.0	2.0	4.0

2.2. Deneysel Verilerle Karşılaştırmalar

Porozitenin tespitinde kullanılan üç farklı algoritma, suni görüntülere ek olarak mikro yapı görüntüleri literatürden alınan toz yatağı füzyon ile eklemeli olarak imal edilmiş çelik, nikel ve titanyum alaşım gruplarından üç farklı malzemenin mikro yapı görüntüleri üzerine uygulanmıştır. Uygulaması yapılan görüntüler Resim 4'te ve söz konusu görüntülerin malzeme, proses ve numune hazırlama aşamaları ile ilgili veriler Tablo 2'de sunulmaktadır.



Resim 4. TYF Eİ ile üretilmiş numunelerde porozite; a) 316L, b) Inconel 718, c) Ti6Al4V (Yusuf vd., 2017, Calandri vd., 2019, Phutela vd., 2020 tarafından Creative Commons Attribution Lisansı altındadır.)

Tablo 2. Deneysel karşılaştırmada kullanılan görüntüler için proses, ikincil işlem ve numune hazırlama şartları

Malzeme	316L	Inconel 718	Ti6Al4V
Kaynak	Yusuf vd., 2017	Calandri vd., 2019	Phutela vd., 2020
Katman kalınlığı (mm)	0.05	0.02	0.04
Lazer gücü (W)	200	175	82.5
Lazer tarama hızı (mm/s)	1600	1200	Belirtilmemiş
Tarama mesafesi (mm)	Belirtilmemiş	0.11	0.09
Tarama stratejisi	Ada tarama	İki yönlü tarama	Çift aşamalı tarama
İkincil işlem	Belirtilmemiş	Yok	Yok

Numune hazırlama	Bakalite alma, parlatma, asitle dađlama	Parlatma, asitle dađlama	Parlatma
Yoğunluk / porozite tespiti	Arşimet ve X-ışını ile tomografi	Arşimet ve taramalı elektron mikroskobu	Işık mikroskobu ve ticari yazılım ile hesaplama
Porozite ortalaması (%)	0.82	0.33	0.35

Literatürden alınan ve üç farklı alaşım grubunun mikro yapısını sergileyen görüntüler, MATLAB yazılımı içine alınmış, üç farklı görüntü işleme tekniği ile işlenerek porozite oranları hesaplanmıştır.

3. BULGULAR VE TARTIŞMALAR

Tablo 3'te suni olarak tasarlanmış poroziteye sahip görüntülerin işlenmesi ile elde edilen sonuçların karşılaştırması verilmektedir. Tablo 3'ten de görüleceği üzere belirli poroziteye sahip görüntüler suni olarak tasarlandığı zaman her üç görüntü işleme algoritması da 3. ondalık basamağa kadar aynı değeri vermektedir. Elde edilen bu sonuçlara, tasarlanmış görüntülerde poroziteyi belirten bölgelerle görüntü zemini arasındaki ayırımın net ve keskin olmasının yol açtığı yorumlanmaktadır. Başka bir anlatımla algoritmalar değişse de porozite ve diğer bölgelerin ayırımının iyi yapıldığı durumda porozite oranı açısından bir farklılık olmadığı aşıkardır.

Tablo 3. Suni olarak tasarlanan porozite ile farklı görüntü işleme algoritmalarının karşılaştırılması

	Senaryo 1	Senaryo 2	Senaryo 3	Senaryo 4
Suni porozite oranı (%)	0.5	1.0	2.0	4.0
Algoritma 1 (%) (Çoklu eşikleme)	0.460	0.940	1.923	3.928
Algoritma 2 (%) (Serilere ayırma)	0.460	0.940	1.923	3.928
Algoritma 3 (%) (Niceleme)	0.460	0.940	1.923	3.928

Tablo 4'te ise literatürden alınan, farklı alaşım gruplarından TYF Eİ ile üretilmiş ve sonrasında gerekli ikincil işlemler ile numune hazırlama süreçlerinden geçtikten sonra porozite oranları hesaplanmış deneysel veriler ile bu makalede incelenen algoritmaların görüntü işleme sonucunda elde ettiği porozite oranları sunulmaktadır. Tablo 4'ten görüleceği üzere Inconel 718 ve Ti6Al4V malzemelerin mikro yapı görüntüleri Algoritma 1 ve Algoritma 2 ile işlendiğinde, literatürde çeşitli yöntemlerle hesaplanıp ortalamaları alınarak raporlanmış porozite oranlarına kabul edilebilir bir seviyede yakınsama sağlanmaktadır. Her iki algoritmanın da iki ayrı malzeme grubuna yakınsama ortalaması yaklaşık olarak %10 seviyelerindedir.

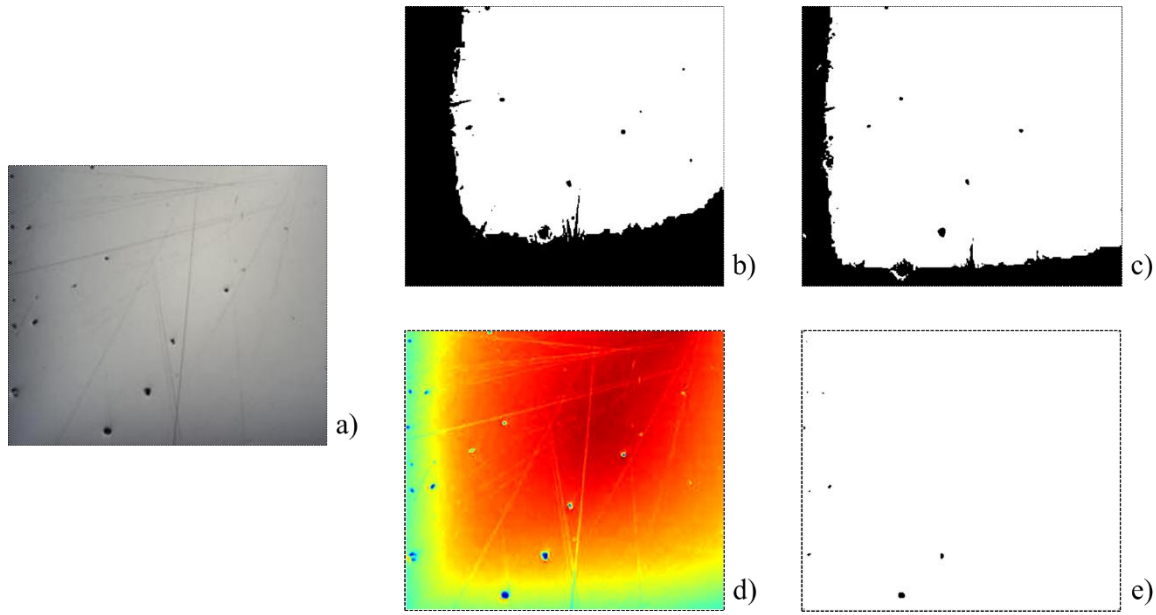
Tablo 4. Suni olarak tasarlanan

Malzeme	316L	Inconel 718	Ti6Al4V
Kaynak	Yusuf vd., 2017	Calandri vd., 2019	Phutela vd., 2020
Yoğunluk / porozite tespiti	Arşimet ve X-ışını ile tomografi	Arşimet ve taramalı elektron mikroskobu	Işık mikroskobu ve ticari yazılım ile hesaplama
Porozite ortalaması (%)	0.82	0.33	0.35
Algoritma 1 (%) (Çoklu eşikleme ile porozite hesabı)	35.9	0.41	0.39
Algoritma 2 (%) (Serilere ayırma ile porozite hesabı)	16.1	0.36	0.32
Algoritma 3 (%) (Niceleme ile porozite hesabı)	0.08	0.21	0.03

Buna kıyasla 316L malzemesinin mikro yapı görüntüsü Algoritma 1 ve Algoritma 2 ile işlendiğinde, literatürde raporlanan orandan çok daha yüksek ve yakınsama açısından kabul edilemez oranlara ulaşıldığı görülmektedir. Bunun sebebinin daha iyi anlaşılması için elde edilen porozite oranlarına ek olarak işlenen görüntülerin de incelenmesi faydalı olacaktır. Bu sebeple işlenen görüntülerin sonuçları Resim 5'te verilmiştir. Resim 5-a)'da görüleceği üzere orijinal mikro yapı görüntüsünün yan ve alt bölgesine doğru fark edilir seviyede olan ışık koyuluğu, Algoritma 1 (Resim 5-b) ve Algoritma 2 (Resim 5-c) ile işlendiğinde tamamen siyah olarak dönüştürülmekte ve ikili görüntüde 0 olarak işaretlenen bu bölgeler porozite oranlarının yüksek çıkmasına sebep olmaktadır. Çoklu eşikleme ve serilere ayırma ile ikili görüntüye dönüştürmeyi sağlayan bu algoritmaların numune mikro yapı fotoğraflarındaki ışık problemlerine duyarlı olduğu bu sonuç ile ortaya konmuştur.

Buna karşın Algoritma 3 kullanıldığında ve aynı mikro yapı görüntüleri Algoritma 3 ve niceleme prensibi ile işlendiğinde elde edilen porozite değerinin literatürde raporlanan değerden daha düşük olduğu görülmektedir. Resim 5-d)'de görüldüğü üzere, niceleme yönteminin ışığa duyarlılığı resmin genelinde daha stabil sonuçlar vermektedir ve ilk iki algoritmanın kullanıldığı durumlarda resmin yan ve alt bölgelerinde ortaya çıkan yanlısamlar bunda ortaya çıkmamaktadır.

Fakat Algoritma 3 kullanıldığı durumda ise, özellikle küçük boşlukların (porozitelerin) çevrelerindeki sınırların farklı seviyeler olarak algılanması sebebi ile söz konusu küçük boşluklar nihai işleme ve ikili görüntüye indirgeme aşamasında kaybolmaktadır. Bu durum hem Resim 5-e)'de görülmekte hem de Tablo 4'teki sonuçlarda ortaya çıkmaktadır.



Resim 5. a) TYF Eİ ile üretilmiş 316L numunede porozite (Yusuf vd., 2017), b) a görüntüsünün Algoritma 1 ile işlenmiş hali, c) a görüntüsünün Algoritma 2 ile işlenmiş hali, d) ve e) a görüntüsünün Algoritma 3 ile işlenmiş hali

Algoritma 3 ve niceleme yöntemi ile işlenen görüntülerde ortaya çıkan ve küçük boşlukların kaybolmasına sebep olan problem Inconel 718 ve Ti6Al4V malzemelerinin mikro yapı görüntülerinden hesaplanan porozite oranlarında da fark edilir seviyededir. Tablo 4'ten görüleceği üzere literatürde raporlanan orijinal porozite oranı %0.35 olan bir numune görüntüsü Algoritma 3 ile işlendiğinde elde edilen sonuç %0.08 olmaktadır.

4. SONUÇLAR

Sağladığı avantajlar arasında çok sayıda konu bulunan ve son yıllarda değişik sektörler tarafından uygulanmaya başlanan eklemeli imalat teknolojileri arasındaki toz yatağı füzyon grubu, uluslararası standartlar tarafından desteklenen metal alaşım çeşidi açısından en fazla seçeneği sunmaktadır. Buna rağmen gelişimi henüz konvansiyonel imalat yöntemlerine kıyasla yeni olan toz yatağı füzyon ile eklemeli imalatta hala aşılması gereken zorluklar bulunmaktadır. Parça malzemesi içindeki boşlukların oranı olarak da tanımlanabilen porozite söz konusu zorluklara bir örnektir.

Kontrol edilmesi ve iyileştirilmesi gereken porozitenin ölçümü için literatürde farklı yöntemler kullanılmaktadır ve X-ışını ile tahribatsız muayene, Arşimet prensibi ile yoğunluk ölçümü ve mikroskopik incelemeler porozite ölçüm yöntemlerinden bazılarıdır. Bunlar arasından mikroskopik incelemeler porozite ölçüm yöntemleri açısından yaygın bulunan bir seçenek olsa da kullanılan ticari yazılımların arka planındaki hesaplamaların bilinmemesi araştırmacılar için bir dezavantajdır.

Bu makalede görüntü işleme için kullanılan ve Matlab yazılımı içerisinde açık olarak entegre edilebilen üç farklı algoritma karşılaştırılmaktadır. Karşılaştırma işleminde öncelikle bilgisayar destekli tasarım yazılımında suni olarak tasarlanmış ve değeri bilinen poroziteler görüntü işleme algoritmaları ile tespit edilmiş, ve daha sonra bu algoritmalar mikro yapı görüntüleri literatürden alınan toz yatağı füzyon ile eklemeli olarak imal edilmiş çelik, nikel ve titanyum alaşım gruplarından üç farklı malzemenin mikro yapı görüntüleri üzerine uygulanmıştır. Bunlar arasında Algoritma 1'de çoklu eşikleme, Algoritma 2'de serilere ayırma ve Algoritma 3'te niceleme prensipleri ile görüntüler işlenmiştir. Ulaşılan nihai sonuçlar aşağıda sıralanmaktadır.

- Çoklu eşikleme ve serilere ayırma yöntemleri, homojen veya düzgün seviyede etkiyen bir ışık ile alınan mikro yapı görüntülerinin işlenmesinde diğer deneysel yöntemlere kıyasla kabul edilebilir sonuçlar ortaya koymaktadır.

- Numune mikro yapı görüntüleri sağlıklı olduğu takdirde porozitenin hesaplanması için her iki algoritma da (çoklu eşikleme veya serilere ayırma) kullanılabilir.
- Buna rağmen söz konusu iki yöntem mikro yapı görüntülerinde ışık problemlerine karşı duyarlıdır ve ışığın uygun olmadığı durumlarda hatalı hesaplama sonuçları ortaya çıkarmaktadır.
- Niceleme yöntemini kullanan algoritmalar ise ışık problemlerine karşı daha stabil olmakla beraber küçük boşlukların (porozitelerin) algılanması yönünden problemlidir ve bu sebeple her durumda gerçek değere kıyasla daha düşük hesaplama sonuçları vermektedir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, TÜBİTAK 2209-A - Üniversite Öğrencileri Araştırma Projeleri Destekleme Programı ve Eskişehir Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Proje destekleri kapsamında 209 programı altında 21LTP025 proje numarası ve “Toz Yatağında Lazer Eklemeli İmalatta Porozite Oranının Hesaplanmasına Yönelik Matlab İçerisinde Araç Geliştirilmesi” adı ile desteklenen proje kapsamında yapılmıştır.

KAYNAKÇA

Arvieu, C., Galy, C., Le Guen, E., & Lacoste, E. (2020). Relative density of SLM-produced aluminum alloy parts: interpretation of results. *Journal of Manufacturing and Materials Processing*, 4(3), 83.

ASTM, I. (2015). ASTM52900-15 standard terminology for additive manufacturing—general principles—terminology. ASTM International, West Conshohocken, PA, 3(4), 5.

Bromberger, J., & Kelly, R., (2017). Additive manufacturing: A long-term game changer for manufacturers, <http://mckinsey.it/idee/additive-manufacturing-a-long-term-game-changer-for-manufacturers>, erişim tarihi 1.5.2018.

Calandri, M., Yin, S., Aldwell, B., Calignano, F., Lupoi, R., & Ugues, D. (2019). Texture and microstructural features at different length scales in inconel 718 produced by selective laser melting. *Materials*, 12(8), 1293.

Galarraga, H., Lados, D. A., Dehoff, R. R., Kirka, M. M., & Nandwana, P. (2016). Effects of the microstructure and porosity on properties of Ti-6Al-4V ELI alloy fabricated by electron beam melting (EBM). *Additive Manufacturing*, 10, 47-57.

Gong, H., Rafi, K., Starr, T., & Stucker, B. (2013). The effects of processing parameters on defect regularity in Ti-6Al-4V parts fabricated by selective laser melting and electron beam melting. In *24th Annual International Solid Freeform Fabrication Symposium—An Additive Manufacturing Conference*, Austin, TX (pp. 424-439).

Huang, C., Li, X., & Wen, Y. (2021). AN OTSU image segmentation based on fruitfly optimization algorithm. *Alexandria Engineering Journal*, 60(1), 183-188.

Jaafer, A. A., Al-Bazoon, M., & Dawood, A. O. (2020). Structural topology design optimization using the binary bat algorithm. *Applied Sciences*, 10(4), 1481.

Jeon, T. J., Hwang, T. W., Yun, H. J., VanTyne, C. J., & Moon, Y. H. (2018). Control of porosity in parts produced by a direct laser melting process. *Applied Sciences*, 8, 12, 2573.

Kuşhan, M. C., Poyraz, Ö., Uzunonut, Y., & Orak, S. (2018). Systematical Review On The Numerical Simulations Of Laser Powder Bed Additive Manufacturing. *Sigma: Journal of Engineering & Natural Sciences/Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 36(4).

Nickerson, S., Shu, Y., Zhong, D., Könke, C., & Tandia, A. (2019). Permeability of porous ceramics by X-ray CT image analysis. *Acta Materialia*, 172, 121-130.

Otsu, N. (1979). A threshold selection method from gray-level histograms. *IEEE transactions on systems, man, and cybernetics*, 9(1), 62-66.

- Phutela, C., Aboulkhair, N. T., Tuck, C. J., & Ashcroft, I. (2020). The effects of feature sizes in selectively laser melted Ti-6Al-4V parts on the validity of optimised process parameters. *Materials*, 13(1), 117.
- Poyraz, Ö. (2018) *Metallerin Lazer Katmanlı İmalatında Kullanılan Proses Parametrelerinin Etkisinin, Modelleme ve Simülasyon Yöntemleri Kullanılarak İncelenmesi* (Doktora Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir, Türkiye). YÖK Tez Merkezi Veri Tabanı, Tez Numarası: 522682
- Poyraz, Ö., & Kuşhan, M. C. (2019). Residual Stress-induced Distortions in Laser Powder Bed Additive Manufacturing of Nickel-based Superalloys. *Strojniski Vestnik/Journal of Mechanical Engineering*, 65(6).
- Poyraz, Ö., Özkan, F., & Baş, O.O. (2021). Toz Yatağı Füzyon Esaslı Eklemeli İmalat İle Üretilen Ti6al4v Alaşımında Porozite. Selçuk 4. Uygulamalı Bilimler Kongresi, Karaman, Türkiye.
- Slotwinski, J. A., Garboczi, E. J., & Hebenstreit, K. M. (2014). Porosity measurements and analysis for metal additive manufacturing process control. *Journal of research of the National Institute of Standards and Technology*, 119, 494.
- Yusuf, S. M., Chen, Y., Boardman, R., Yang, S., & Gao, N. (2017). Investigation on porosity and microhardness of 316L stainless steel fabricated by selective laser melting. *Metals*, 7(2), 64.