

ULUBORLU MESLEKİ BİLİMLER DERGİSİ

(Uluborlu Journal of Vocational Sciences)

Yıl: 2020

Cilt: 3

Sayı: 1

Sahibi

Prof. Dr. İbrahim DİLER
Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi

Sorumlu Müdür

Dr. Burhan DUMAN
Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi

Baş Editör

Dr. Burhan DUMAN
Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi

Editörler

Dr. Ahmet Ali SÜZEN
Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi

Dr. Kıyas KAYAALP
Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi

Editör Kurulu Sekreterleri

Osman CEYLAN
Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi

Ahmet KÖSE
Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi

Yazışma Adresi

Uluborlu Mesleki Bilimler Dergisi
Sekretarya Ofisi
Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi
Uluborlu Selahattin Karasoy Meslek Yüksekokulu
Uluborlu / Isparta / Türkiye

İletişim

Tel: +90 0246 531 26 21 - 0246 531 26 22

E-mail: uluborlumesbilder@gmail.com

ULUBORLU MESLEKİ BİLİMLER DERGİSİ

(Uluborlu Journal of Vocational Sciences)

Yıl: 2020

Cilt: 2

Sayı: 1

Editör Kurulu (Editorial Board)

Dr. Ecir Uğur KÜÇÜKSİLE, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi

Dr. Hilmi Cenk BAYRAKÇI, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi

Dr. Okan BİNGÖL, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi

Dr. Fatih TAYLAN, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi

Dr. Ramazan ŞENOL, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi

Dr. Kubilay TAŞDELEN, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi

Dr. Kıyas KAYAALP, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi

Dr. Burhan DUMAN, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi

Dr. Koray ÖZSOY, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi

Dr. Ahmet Ali SÜZEN, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi

Dr. Onur SEVLİ, Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi

Danışma Kurulu (Advisory Board)

Dr. Fu Jianzhong Zhejiang University – China

Dr. Hans-Jörg Trnka Fusszentrum Wien – Austria

Dr. Fotis Kokkoras Technological Educational Inst. of Thessaly - Greece

Dr. Serdal TERZİ Süleyman Demirel Üniversitesi - Turkey

Dr. Kerim ÇETİNKAYA Karabük Üniversitesi - Turkey

Dr. Tuncay AYDOĞAN Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi - Turkey

Dr. Afşin GÜNGÖR Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi - Turkey

Dr. Şaban İNAM Selçuk Üniversitesi - Turkey

ULUBORLU MESLEKİ BİLİMLER DERGİSİ

(Uluborlu Journal of Vocational Sciences)

Yıl: 2020

Cilt: 3

Sayı: 1

İÇİNDEKİLER

SAYFA

Araştırma Makaleleri

BLOK ZİNCİR TEKNOLOJİSİ VE AKILLI ŞEHİR SİSTEMLERİ

Emine Betül ŞEN..... 1-9

BAĞLAYICI PÜSKÜRTMELİ METAL EKLEMELİ İMALATTA

KULLANILAN BAĞLAYICILAR

Osman Saltık , Abdullah Özsoy..... 10-18

BAĞLAYICI PÜSKÜRTMELİ METAL EKLEMELİ İMALATTA KULLANILAN PARAMETRELER

Mert Gürgen, Mehmet Cengiz Kayacan..... 19-27



ULUBORLU MESLEKİ BİLİMLER DERGİSİ (UMBD)

Uluborlu Journal of Vocational Sciences

<http://dergipark.gov.tr/umbd>

BLOK ZİNCİR TEKNOLOJİSİ VE AKILLI ŞEHİR SİSTEMLERİ

Emine Betül ŞEN ^{1*}

^{1*}Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı, Isparta, Türkiye.

* eminebetulsen@gmail.com

(Geliş/Received:09.07.2020; Düzeltme/Revised:30.08.2020; Kabul/Accepted:06.09.2020)

ÖZET: Günümüzde, dünya nüfusunun hızlı kentleşmesi, insanların yaşam koşullarını ve yaşam kalitesini önemli ölçüde etkileyen birçok ekonomik, sosyal ve çevresel soruna neden olmaktadır. “Akıllı şehir” kavramı, bu kentsel sorunları çözme fırsatları getirmektedir. Akıllı şehirlerin amacı, kamu kaynaklarından en iyi şekilde yararlanmak, vatandaşlara kaliteli hizmetler sunmak ve insanların yaşam kalitesini yükseltmektir. Akıllı şehirlerin uygulanmasında bilgi ve iletişim teknolojisi önemli bir rol oynamaktadır. Gelişmekte olan bir teknoloji olarak blok zinciri, şeffaflık, âdemi merkezîyetçilik ve güvenlik gibi birçok iyi özelliğe sahiptir. Blok zincirinin bu özellikleri akıllı şehir hizmetlerini iyileştirmeye ve akıllı şehirlerin gelişimini teşvik etmeye yardımcı olur. Bu yazıda akıllı şehirlere uygulanan blok zinciri teknolojisinin özellikleri verilerek, kullanım örnekleriyle birlikte açıklamalar yapılmıştır. Ayrıca, bazı zorluklar ve daha geniş perspektifler tartışılmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Akıllı şehir sistemleri, Blok zinciri, Güvenlik

BLOCK CHAIN TECHNOLOGY AND SMART CITY SYSTEMS

ABSTRACT: Today, the rapid urbanization of the world's population causes many economic, social and environmental problems that significantly affect people's living conditions and quality of life. The concept of “Smart city ” introduces opportunities to solve these urban problems. The goal of smart cities is to make the most of public resources, provide quality services to citizens and improve people's quality of life. Information and communication technology plays an important role in the implementation of smart cities. As an emerging technology, block chain has many good features such as security, transparency, decentralization and security. These features of the block chain help improve smart city services and encourage the development of smart cities. In this paper, the features of block chain technology applied to smart cities are given and explanations are given together with examples of usage. In the final chapter, some challenges and broader perspectives are discussed.

Keywords: Block chain, Smart Cities, Security

1. GİRİŞ

Akıllı şehir sistemleri, vatandaşların yaşamlarını korumak, geliştirmek ve bağlamak için oluşturulan dijital teknoloji sistemleridir. Akıllı şehir sistemleri, mevcut kaynakların verimli ve optimum kullanımını sağlarken, kullanıcılarına daha iyi hizmet sunmak ve fiziksel, sosyal ve iş altyapılarını entegre etmek, yönetmek için bilgi teknolojisini kullanmaktadır. Bilgi teknolojisinin geliştirdiği Endüstri 4.0 akıllı şehir sistemlerinin yapı taşlarından biri olmaktadır. Gelişen bilim ve teknoloji ile endüstride ki 4. Devrim olarak adlandırılan Endüstri 4.0, modern dünyada ihtiyaçları hızlı, güvenilir ve yenilikçi özellikleri sayesinde hızla gelişen teknolojiye yeni bir reform niteliğinde olmaktadır[1]. Nesnelerin interneti, bulut bilişim ve birbirine bağlı ağlar gibi teknolojilerin yaygınlaşmasıyla, akıllı şehirler yenilikçi çözümler sunabilmekte ve vatandaşlar ile yerel yönetim arasında daha doğrudan etkileşim ve işbirliği sağlayabilmektedir. Bu işbirliği yoğun veri kullanımı gerçekleşmektedir. Bir dizi potansiyel faydaya rağmen, dijital sistemlerdeki bilgi güvenliği ve gizliliği ile ilgili birçok zorluk oluşmaktadır. Çünkü dijital verilerin mevcut olduğu her yerde, siber saldırılar tehdit altındadır ve siber güvenliğe ihtiyaç artmaktadır[2]. Blok zinciri teknolojisi ile akıllı şehir sistemlerinde güvenli bir iletişim platformu sağlayarak bir güvenlik çerçevesi oluşturmaktadır[3].

Blok zinciri çeşitli nedenlerden ötürü hızla gelişen önemli bir teknoloji olmaktadır. Özellikle diğer sistemlerden daha iyi güvenlik sağladığı için bu teknolojinin etkisi oldukça geniş ve faydalı olmaktadır. Başlangıçta kripto para birimleri ve finansal işlemler için dijital bir platform olarak oluşturulmuş olsa da, blok zinciri şehir yönetimi de dahil olmak üzere diğer alanlarda da potansiyel uygulamalara sahiptir. Akıllı şehir dönemi, blok zinciri gelişimi için çok çeşitli olanaklar sunmaktadır. Veri blokları zincirine dayanan, yayımlandıktan sonra değiştirilemeyen bir sistem olarak da tanımlanabilmektedir. Blok zinciri ilk olarak 2008 yılında Satoshi Nakamoto tarafından oluşturulan Bitcoin'e uygulanmıştır[4]. Blok zinciri temelde değişmez, merkezi olmayan ve halka açık olarak paylaşılan veri tabanıdır. Blok zincirinde tüm işlemler kaydedilmekte ve sistemdeki herkesin bu işlemlere erişmesine, göndermesine ve doğrulamasına izin verilmektedir. Blok zinciri teknolojisi, herkesin tüm işlem kayıtlarına erişmesini sağlamak ve bunu da saydam hale getirmektedir. Blok zinciri sisteminde, kararlar tüm düğümler tarafından eşler arası bir şekilde alınmaktadır. Blok zinciri üzerindeki akıllı sözleşmeler otomatik olarak işlem oluşturma, karar verme ve veri depolama gerçekleştirme yeteneğine sahip olmaktadır. Blok zinciri sisteminin merkezisizleştirilmesi, merkezi olmayan düğümler arasında fikir birliği algoritmaları çalıştırarak tutarlılığın sağlanmasını gerekli kılmaktadır. Blok zinciri sistemindeki güvenlik bütünlük, gizlilik ve yetkilendirme sağlamaktadır[5].

2. BLOK ZİNCİRİ GENEL YAPISI

2.1. Merkezi olmayan ve Şeffaf Konsensüs

Blok zincirinde konsensüs, taleplerin, işlemlerin ve bilgilerin yürütüldüğü, değiştirildiği veya yaratıldığı kronolojik sırayı doğrulamak için uygulanan bir yöntemdir. Sahiplik, dolayısıyla hak ve yükümlülükleri tesis edebildiği için doğru sıralama kritiktir. Bir blok zinciri ağında, işlem sırasını belirleyen, işlemleri onaylayan ve düğümlerin birbirleriyle nasıl etkileşime girdiğine ilişkin kuralları belirleyen merkezi bir merkez veya otorite yoktur. Bunun yerine, birçok doğrulayıcı "eş" düğüm ağ konsensüs protokolünü uygulamakta ve tüm düğümlerin bilgilere izin düzeyi ile sınırlı olmaktadır[23]. Böylece kayıtlar şeffaf ve izlenebilir. Bunun yanı sıra, şimdiye kadar önerilen farklı konsensüs protokollerinden, fikir birliği, düğümlerin

yeterli çoğunluğunun paylaşımlı deftere yeni kayıtların eklendiği sırayla kabul etmesini sağlamaktadır.

2.2. Güvenlik ve Değişmezlik

Blok zinciri, tek yönlü kriptografik karma işlevleri ve topluluk konsensüsü sayesinde kayıtların geri döndürülemediği paylaşılan, kurcalamaya dayanıklı çoğaltılmış bir defterdir. Değişmezlik, gerçeğin tarihsel, benzersiz bir mutabakat versiyonunu sağlayan uzlaşma ihtiyacını ortadan kaldırmaktadır. Topluluk mutabakatı ile doğrulanan değişmez tarihi bir kaydın çok önemli bir doğrudan sonucu, bunun sisteme güven duymasıdır. Gerçekten de, bir birey veya herhangi bir grup birey için, bu bireyler böyle bir kayda müdahale etmekte çok zorlanmaktadır[6].

2.3. İş Kanıtı (Proof of Work)

İş kanıtı, bitcoin'de kullanılan konsensüs algoritmasıdır[24]. Temel fikri, muhasebe hakları ve ödülleri, düğümler arasındaki karma (hash) güç yarışması yoluyla tahsis etmektir. Önceki bloğun bilgilerine dayanarak, farklı düğümler bir matematik probleminin özel çözümünü hesaplamaktadır. Bu matematik problemini çözen ilk düğüm bir sonraki bloğu oluşturabilmekte ve belirli miktarda bitcoin ödülü alabilmektedir.

2.4. Blok Zinciri Kategorileri

Blok zinciri, genel blok zinciri, özel blok zinciri ve izin verilen blok zinciri olmak üzere üç kategoriye ayrılmaktadır[25].

2.4.1. Genel blok zinciri

Halka açık bir blok zinciri, halka açık bir alandaki tüm insanlar tarafından erişilebilir olduğu anlamına gelmektedir. Herkes düğümlerden biri olabilir ve kuralları takip ederek ödülleri almak için katkıda bulunabilir. Düğümler arasında güven ilişkisi yoktur. Kamu blok zinciri tamamen açık ve merkezsizdir. Genel blok zincirinde tüm işlemler asla değiştirilemez veya iptal edilemez. İş kanıtı konsensüs algoritması genel blok zincirinde kullanılabilir[7].

2.4.2. Özel blok zinciri

Özel blok zinciri, blok zinciri sahibinin bilgilerini değiştirme yetkisine sahip olduğu anlamına gelmektedir. Düğümlerin geri kalanı sınırlı okuma erişimine sahiptir. Halka açık blok zinciri ile karşılaştırıldığında, özel blok zinciri kolay değiştirme ve düşük işlem maliyeti özelliklerine sahiptir. Özel blok zincirinin işlem doğrulaması yalnızca bazı yüksek kredi düğümlerine ihtiyaç duymaktadır[8].

2.4.3. İzin verilen blok zinciri

İzin verilen blok zincir, blok zincirin birçok partiden oluştuğu ve ana düğümlerin katılımcılar tarafından önceden belirtildiği anlamına gelmektedir. İzin verilen blok zincir üyeleri diğerlerine tam olarak güvenmemektedir. Her katılımcı kurallara göre kendi konsensüs düğümünü seçmektedir. İşlemlerin çoğu konsensüs düğümü tarafından tanınması gerekmektedir[9]. Konsorsiyum blok zincirinin açıklık ve merkezileşme derecesi, kamu ve özel blok zincir arasındadır. İzin verilen blok zinciri, farklı işletmeler tarafından inşa edilen yarı kapalı ağ için uygundur. Farklı işletmeler arasında çakışmalar olabilmekte ve bazı

düğümler kötü amaçlı düğümler haline gelebilmektedir. Şekil 1 deki şema merkezi olmayan mimariyi göstermektedir.

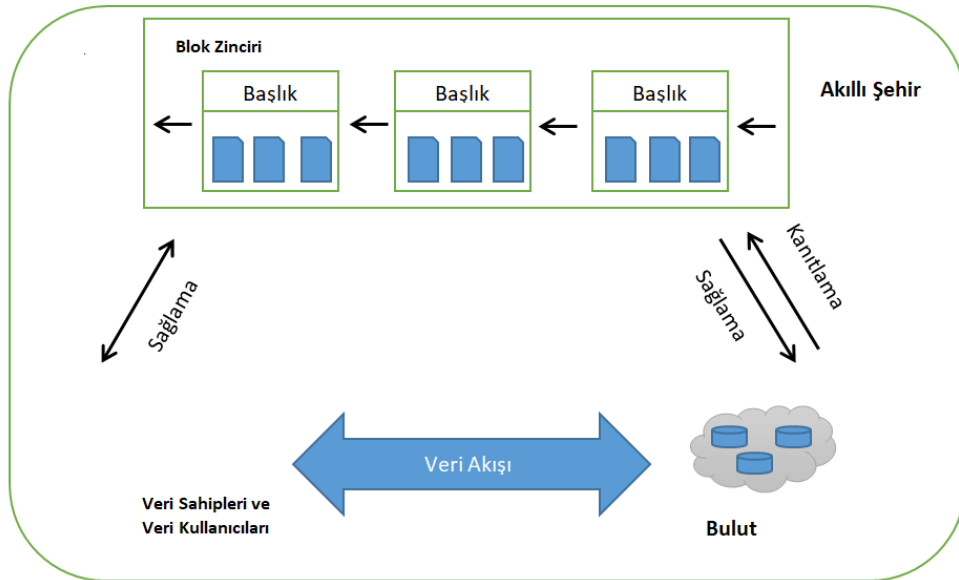


Şekil 1. Blok Yapısı [22]

3. BLOK ZİNCİRİNİN AKILLI ŞEHİR SİSTEMLERİNDE KULLANILABİLİRLİĞİ

Akıllı sistemler otobüs, ev, park, alışveriş merkezi gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Akıllı sistemler insanların ihtiyaçları doğrultusunda oluşturulmuş teknolojilerdir. İnsanların ihtiyaçlarını bilmek, onlara uygun teknolojiler üretmek de veri toplama ve analizi ile mümkün olmaktadır. Vatandaşlara etkin bir şekilde kamu hizmetleri sunmaya ve şehir yönetimini geliştirmeye yardımcı olabilmek için toplanan verilerin, toplanması kadar elde güvenli bir şekilde tutulması büyük önem arz etmektedir. Bu sebeple blok zinciri teknolojisi ile akıllı şehir sistemleri birleştirilmiştir. Verilerin izinsiz değiştirilmesine izin verilmeyen blok zinciri teknolojisi güvenlik limitini üst değerlere taşımaktadır. Akıllı şehir sistemlerinde ki farklı kullanım alanlarından biri olan akıllı şehir sistemlerini kullanılabilir yapan cihaz sistemleridir[10]. Cihaz sayısı ve uygulamaların karmaşıklığı zaman geçtikçe artmaktadır. Akıllı şehirlerdeki cihazlar ve düğümler, ağı esnek bir şekilde bağlayabilmekte veya ağdan ayrılabilir. Merkezi sistemlerle karşılaştırıldığında, merkezi olmayan sistemler, cihaz sayısının ve uygulamaların karmaşıklığının dalgalandığı dinamik senaryolar için daha uygundur. Bir başka nokta ise, şehir yönetimi olmaktadır. Vatandaşların güçlü bir katılım, demokrasi ve şeffaflık arzusu vardır. Hükümet, şehir yönetimi ile ilgili bilgileri, hükümet işleri bilgileri, çevresel bilgiler ve karar verme süreci gibi vatandaşlara açıklamalıdır. Ayrıca, şirketlerin müşteri ile ilgili bilgilerin nasıl kullanıldığını da açıklamaları da gerekmektedir[11]. Bu problemlere blok zinciri çözüm bulmaktadır. Blok zinciri özellikleri, akıllı şehirlerdeki bu zorlukların üstesinden gelme yeteneğine sahiptir. Blok zinciri sistemleri, merkezi bir üçüncü taraf olmadan normalde eşler arası çalışmaktadır. Sistemde, her bir düğüm, gerçek dünya kimliğini gizli tutarak genel bir takma ad adresiyle bağlantılıdır. İçsel takma ad, kullanıcıların kimliklerinin gizli tutulması gereken kullanım durumları için uygundur. Blok zinciri teknolojisi, herkesin tüm işlem kayıtlarına erişmesini sağlamak ve bu

da saydam hale getirmektedir. Konsensüs algoritmaları, tüm merkezi olmayan düğümler tarafından bir blok zincirine dâhil edilmeden önce bir anlaşmaya varmak için yürütülmektedir. Böylece, blok zinciri sisteminde, kararlar tüm düğümler tarafından eşler arası bir şekilde alınır, bu da onu demokratik hale getirmektedir. Blok zincir sisteminde, tüm işlemler dijital imzalar kullanılarak imzalanmaktadır[12]. Ayrıca, veri blokları tek yönlü kriptografik hash fonksiyonları ile bağlanmakta ve sabitlenmektedir. Herhangi bir küçük değişiklik farklı bir karma oluşturmakta ve anında tespit edilebilmekte, bu da paylaşılan defteri değiştirilemez hale getirmektedir. Bu iyi özellikler nedeniyle, akıllı şehirlere blok zincir teknolojisi uygulamak veri bütünlüğünü sağlayabilmektedir. Aynı zamanda şirketler, okullar, hastaneler, üniversiteler, yerel ve ulusal hükümet sistemlerinde bireyleri veri paylaşmaya ve ortak karar vermeyi teşvik etmeye, şeffaf şehir yönetimine olanak tanıyabilmekte ve güvenilir, şeffaf, demokratik bir akıllı şehir uygulanmasını ve konuşlandırılmasını teşvik etmektedir. Ancak, teşviklerin eksikliği, ticaret güveni, hükümete güveni azaltarak, kuruluşların ve bireylerin arasında ki veri paylaşımı üzerinde kötü bir etkiye sahip olmaktadır. Şekil 2’de blok zincirinin akıllı sistemlerde ki ilişkisi gösterilmiştir.

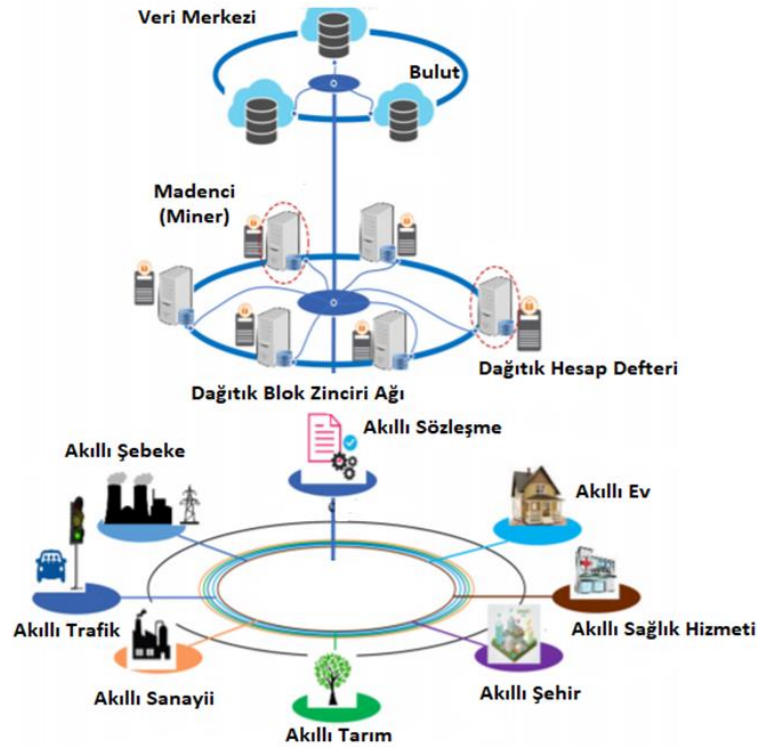


Şekil 2. Akıllı şehirde merkezi olmayan denetim mimarisi [20]

Blok zinciri teknolojisi akıllı şehirleri önemli ölçüde geliştirmektedir. Akıllı şehirlerde akıllı vatandaş, akıllı sağlık, akıllı şebeke, akıllı ulaşım, tedarik zinciri yönetimi, akıllı iş, akıllı ev, akıllı hükümet, akıllı eğitim ve diğerleri dâhil olmak üzere birçok alan vardır. Bu alanlardan bazılarının blok zinciri ile etkileşimini açıklanacaktır. Akıllı vatandaşlık hizmeti bu örneklerin başında gelmektedir. Vatandaşlar akıllı şehirlerin merkezidir[13]. Vatandaşların kişisel verilerini analiz etmek, kişiselleştirilmiş hizmetler sunmak, teknolojik gelişim ve ekonomik büyümeyi hızlandırmak, gelecekteki pazar eğilimlerini tahmin etmek ve şirketlerin karar alma sürecini optimize etmek gibi birçok avantaja sahip olmaktadır. Son yıllarda, kentsel nüfusun hızla büyümesiyle, vatandaşların kişisel verileri katlanarak artmaktadır. Günümüzde, bu veriler bazı sosyal medya platformları aracılığıyla olarak toplanmakta, depolanmakta ve analiz edilmektedir. Bu merkezi yol vatandaşların kişisel verilerinin nasıl kullanıldığı hakkında çok az bilgiye sahip olmalarına neden olmaktadır. Blok zinciri, vatandaşların kişisel verilerine erişimi toplamasına, depolamasına ve kontrol etmesine izin veren umut verici bir teknolojidir. Veri depolama sistemlerinde blok zincirinin şeffaflık, güvenlik ve değişmezlik özellikleri bu işlem için blok zincirini ideal bir seçim haline getirmektedir. Bir diğer örnek olan kişisel veri erişim kontrolü, bilgilere kimlerin erişebileceğini belirtmek için izinler

atamayı amaçlamaktadır. Toplumumuzda vatandaşlar kişisel verilerinin nasıl kullanıldığı hakkında çok az bilgiye sahiptir. Bununla birlikte, vatandaşlar kişisel verilerinin nerede saklandığını ve verilerine kimin erişebileceğini kontrol etmeye isteklidir. Kentsel nüfusun hızla büyümesiyle, tüm vatandaşların merkezi bir erişim kontrol sunucusuna dayanan kişisel verilerinin erişim kontrolünü yönetmek zorlaşmaktadır. Blok zinciri teknolojisini kullanarak kişisel veri erişim kontrolünü geliştirilmektedir[14].

Son yıllarda veriler toplumumuzda ve ekonomimizde değerli bir varlık haline gelmektedir. Bu nedenle, veri alışverişi piyasaları daha popüler hale gelmektedir. Veri değişim pazarlarında, veri sahipleri verilerini veri tüketicilerine paylaşabilmekte veya satabilmektedir. Ancak, tüm katılımcıların yetkili bir üçüncü tarafa güvenmek zorunda oldukları mevcut veri alışverişi piyasaları merkezileştirilmiştir. Merkezi pazarlarda, veri sahipleri ve müşterilerin yetkili üçüncü tarafa bazı yönetim ücretleri ödemeleri gerekmektedir. Bu transfer de güvensiz bir ortam oluşabilmektedir. Bu zorlukların üstesinden gelmek için, blok zinciri teknolojisi, veri sahipleri ve müşteriler tarafından, merkezi olmayan bir veri alışverişi pazarını işbirliği içinde oluşturmak için kullanılabilir[15]. Veri sahipleri ile veri tüketicileri arasındaki işlem günlükleri blok zincirine kaydedilmektedir. Akıllı sözleşmeler, veri telif hakkı ve kişisel verilerin kullanımı gibi veri alışverişindeki kuralları sağlamak için kullanılmaktadır. Blok zinciri ve akıllı sözleşmeler, bazı araştırmacılar tarafından, vatandaşların faaliyetlerini geliştirmek, iyileştirmek için kullanılabilir. Blok zinciri teknolojisi, irade taslağını kurcalamaya dayanıklı, güvenli ve şeffaf tutmak aynı zamanda işlem hızını arttırmak için kullanılmaktadır. Blok zinciri tabanlı akıllı sözleşme sistemini kullanarak, faydalanıcılar hakları için savaşmanın zorluğundan kurtarılabilmektedirler. Blok zinciri teknolojisinin şeffaflığı, hükümetin iradelerin işlenmesini izlemesini de sağlamaktadır.



Şekil 3. Dağıtılmış blok zinciri tabanlı akıllı şehir ağı mimarisi[19]

Sağlık, vatandaşların mutlu yaşamının temelidir. Vatandaşlar, tıbbi teknolojiye ilerlemelerden büyük faydalar elde etmektedirler. Ancak, dünya nüfusunun hızlı kentleşmesi nedeniyle geleneksel sağlık hizmetleri vatandaşların taleplerini karşılamak için yeterli

değildir. Giderek artan talep ile sınırlı kaynaklar arasındaki çelişki, geleneksel sağlık hizmetlerini akıllı, verimli ve sürdürülebilir sağlık hizmetlerine dönüştürmeyi gerekli kılmaktadır. Akıllı sağlık hizmetlerinin gerçekleştirilmesi, giyilebilir cihazlar, akıllı hastaneler, akıllı acil müdahale ve akıllı ambulans sistemleri gibi birçok bileşenle ilgili olmaktadır[16]. Hasta verileri, hastaların etkili tedavisi için çok önemlidir. Akıllı sağlık hizmetlerinde, farklı hastaneler arasında hasta veri paylaşımı, hemşirelerin ve doktorların bir hastanın durumunu yargılamasına ve uzak yerlerde bile hasta sağlığı hakkında gerçek zamanlı kararlar almasına yardımcı olabilmektedir. Akıllı sağlık hizmetlerinde blok zinciri uygulamasının birçok avantajı vardır. Tıbbi veriler blok zincirinde güvenli ve değişmez bir şekilde saklanabilmektedir. Hastalar tıbbi verilerinin kullanımını kontrol edebilmekte ve verilerine erişimi esnek bir şekilde yönetebilmektedir.

Bilgi iletişimi ve teknolojisinin ilerlemesi ile akıllı araçlar son yıllarda oldukça dikkat çekmektedir. Akıllı ulaşım, sürücüler ve yolcular için konfor ve rahatlık sağlamayı, trafiği ve seyahat verimliliğini artırmayı ve araç yol güvenliğini artırmayı amaçlamaktadır. Akıllı ulaşım, bir aracın genellikle yol tarafı birimleri ve ortam araçları ile iletişim kurmak için birden fazla ağ arabirimi vardır. Blok zinciri teknolojisinin dağıtılmış doğası, akıllı ulaşımın sağlamlığını artırabilmekte, araç iletişim yönetimi ve bilgi paylaşımını geliştirebilmektedir[17]. Blok zinciri yardımıyla, merkezi olmayan, güvenilir bir akıllı ulaşım sistemi kurulabilmektedir. Birçok ülkede yeşil ulaşım sistemleri geliştirmek için elektrikli araçlar ve şarj istasyonları kullanılmaktadır. Blok zinciri ve akıllı sözleşmeler, elektrikli araçlar ve şarj istasyonları arasında merkezi olmayan ve şeffaf elektrik ticaretini kolaylaştırmak için kullanılabilmektedir. Elektrikli araçların talep bilgileri ve şarj istasyonlarının fiyatlandırma ve konum bilgileri genellikle her elektrikli aracın en uygun şarj istasyonunu seçebileceği temelde blok zincirinde saklanmaktadır.

Akıllı cihazların belirli hizmetler sunmak için birbirleriyle iletişim kurması gerekmektedir. Merkezi olmayan bir teknoloji olarak blok zinciri, cihazlar arasındaki iletişimi teşvik etmekte ve akıllı evdeki her cihazın doğrudan diğer cihazlardan veri talep etmesini sağlamaktadır[18]. Akıllı ev sahibi tarafından cihazlar arasındaki iletişimi yönetmek için özel blok zinciri yapısı kullanılmaktadır. Yerel cihazlar arasındaki iletişim geçmişleri blok zincirinde işlemler olarak kaydedilmektedir. Akıllı evin sahibi cihazlar arasındaki iletişimi kontrol edebilmektedir. Cihaz sahibinin izin verdiği cihazlar yalnızca paylaşılan bir anahtar kullanarak birbirleriyle iletişim kurabilmektedir. Kartlar veya mobil cihazlar ile enerji tüketimler ödenmektedir. Ancak, gelecekteki akıllı ev sistemlerinde, otomatik ödeme insan müdahalesi olmadan olmaya yönelik teknolojilerle gelişmektedir. Blok zinciri ve akıllı sözleşmeler otomatik ödemenin için bir araçtır[21].

4. SONUÇ

Akıllı şehirlere uygulanan blok zinciri teknolojileri gün geçtikçe artmaktadır. Akıllı şehir, akıllı sağlık, akıllı ulaşım ve diğerleri perspektiflerinden blok zinciri teknolojisinin akıllı şehirler alanında çok fazlaca kullanılmaktadır. Blok zinciri tabanlı akıllı şehirlerde güvenlik ve gizlilik en önemli noktadır. Bu özellikle birlikte öne çıkan blok zinciri teknolojisi gelişimini sürdürmektedir. Aynı zamanda akıllı şehir sistemlerinde blok zinciri teknolojisini uygulama konusundaki araştırmalar oldukça geniştir. Geliştirilen blok zinciri teknolojisi ile akıllı şehir sistemleri verimliliği daha çok artarak, bugünün ve geleceğin en büyük yeniliklerinde biri olma potansiyeline sahip olabilmektedir. Fakat bu faydaların yanında blok zincirinin sistemlerde kullanılmasının getirdiği bazı sorun ve zorluklar da bulunmaktadır. Bunların en başında ise fazla enerji tüketimi gelmektedir. Güçlü sistemler gerektiren blok

zinciri, başlangıç aşamasında fazla maliyete ihtiyaç duyabilmektedir. Bu konu da gerekli hesaplamaların yapılıp, değerlendirilmelerde bulunulması önemlidir.

KAYNAKLAR

- [1] Duman, B., & Özsoy, K. (2019). Endüstri 4.0 Perspektifinde Akıllı Tarım. 4th International Congress on 3D Printing (Additive Manufacturing) Technologies and Digital Industry, 11-14 April 2019, 540-555, ANTALYA.
- [2] Süzen, A. A. (2020). A Risk-Assessment of Cyber Attacks and Defense Strategies in Industry 4.0 Ecosystem. International Journal of Computer Network & Information Security, 12(1).
- [3] Biswas, K., & Muthukkumarasamy, V. (2016, December). Securing smart cities using blockchain technology. In 2016 IEEE 18th international conference on high performance computing and communications; IEEE 14th international conference on smart city; IEEE 2nd international conference on data science and systems (HPCC/SmartCity/DSS) (pp. 1392-1393). IEEE.
- [4] Nakamoto, S., & Bitcoin, A. (2008). A peer-to-peer electronic cash system. Bitcoin.–URL: <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf>.
- [5] Mingxiao, D., Xiaofeng, M., Zhe, Z., Xiangwei, W., & Qijun, C. (2017, October). A review on consensus algorithm of blockchain. In 2017 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC) (pp. 2567-2572). IEEE.
- [6] Tasatanattakool, P., & Techapanupreeda, C. (2018, January). Blockchain: Challenges and applications. In 2018 International Conference on Information Networking (ICOIN) (pp. 473-475). IEEE.
- [7] Pilkington, M. (2016). Blockchain technology: principles and applications. In Research handbook on digital transformations. Edward Elgar Publishing.
- [8] Gabison, G. (2016). Policy considerations for the blockchain technology public and private applications. SMU Sci. & Tech. L. Rev., 19, 327.
- [9] Ruta, M., Scioscia, F., Ieva, S., Capurso, G., Loseto, G., Gramegna, F., ... & Di Sciascio, E. (2017). Semantic-enhanced blockchain technology for smart cities and communities. In 3rd Italian conference on ICT.
- [10] Sharma, P. K., & Park, J. H. (2018). Blockchain based hybrid network architecture for the smart city. Future Generation Computer Systems, 86, 650-655.
- [11] Liao, D. Y., & Wang, X. (2017, October). Design of a blockchain-based lottery system for smart cities applications. In 2017 IEEE 3rd International Conference on Collaboration and Internet Computing (CIC) (pp. 275-282). IEEE.
- [12] Efanov, D., & Roschin, P. (2018). The all-pervasiveness of the blockchain technology. Procedia Computer Science, 123, 116-121.
- [13] Brandão, A., São Mamede, H., & Gonçalves, R. (2018, March). Systematic review of the literature, research on blockchain technology as support to the trust model proposed applied to smart places. In World Conference on Information Systems and Technologies (pp. 1163-1174). Springer, Cham.
- [14] Sun, J., Yan, J., & Zhang, K. Z. (2016). Blockchain-based sharing services: What blockchain technology can contribute to smart cities. Financial Innovation, 2(1), 1-9.
- [15] Rivera, R., Robledo, J. G., Larios, V. M., & Avalos, J. M. (2017, September). How digital identity on blockchain can contribute in a smart city environment. In 2017 International smart cities conference (ISC2) (pp. 1-4). IEEE.
- [16] Mettler, M. (2016, September). Blockchain technology in healthcare: The revolution starts here. In 2016 IEEE 18th international conference on e-health networking, applications and services (Healthcom) (pp. 1-3). IEEE.
- [17] Hamida, E. B., Brousmiche, K. L., Levard, H., & Thea, E. (2017, July). Blockchain for enterprise: overview, opportunities and challenges.
- [18] Li, S. (2018, August). Application of blockchain technology in smart city infrastructure. In 2018 IEEE International Conference on Smart Internet of Things (SmartIoT) (pp. 276-2766). IEEE.

- [19] Singh, S., Sharma, P. K., Yoon, B., Shojafar, M., Cho, G. H., & Ra, I. H. (2020). Convergence of Blockchain and Artificial Intelligence in IoT Network for the Sustainable Smart City. *Sustainable Cities and Society*, 102364.
- [20] Yu, H., Yang, Z., & Sinnott, R. O. (2018). Decentralized big data auditing for smart city environments leveraging blockchain technology. *IEEE Access*, 7, 6288-6296.
- [21] Nam, K., Dutt, C. S., Chathoth, P., & Khan, M. S. (2019). Blockchain technology for smart city and smart tourism: latest trends and challenges. *Asia Pacific Journal of Tourism Research*, 1-15.
- [22] Khan, M. A., & Salah, K. (2018). IoT security: Review, blockchain solutions, and open challenges. *Future Generation Computer Systems*, 82, 395-411.
- [23] Zimmerman, P. (2020). Blockchain structure and cryptocurrency prices.
- [24] Ferretti, S., & D'Angelo, G. (2020). On the ethereum blockchain structure: A complex networks theory perspective. *Concurrency and Computation: Practice and Experience*, 32(12), e5493.
- [25] Pilkington, M. (2016). Blockchain technology: principles and applications. In *Research handbook on digital transformations*. Edward Elgar Publishing.



ULUBORLU MESLEKİ BİLİMLER DERGİSİ (UMBD)

Uluborlu Journal of Vocational Sciences

<http://dergipark.gov.tr/umbd>

BAĞLAYICI PÜSKÜRTMELİ METAL EKLEMELİ İMALATTA KULLANILAN BAĞLAYICILAR

Osman Saltık^{1*}, Abdullah Özsoy²

^{1*}Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye.

^{2*}Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye.

*Sorumlu Yazar: osmansaltik42@gmail.com

(Geliş/Received:25.11.2020; Düzeltme/Revised:09.12.2020; Kabul/Accepted:16.12.2020)

ÖZET: Günümüzde kullanılan malzemelerin neredeyse tamamı bir imalat sürecinden geçmektedir. İmalat süreçleri kullanılan malzemenin niteliği ve imalat yöntemine göre değişmektedir. İmalat yöntemlerinin birbirlerine göre bazı avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır. Endüstri devrimleri ile bu avantaj ve dezavantajlar daha da belirgin ve etkili bir hale gelmiştir. Özellikle Endüstri 4.0 devrimi ile imalat alanında büyük gelişmeler olmuş ve bu gelişmeler sayesinde imalat yöntemlerinde büyük ölçekte ilerleme kaydedilmiştir. Geleneksel imalat yöntemlerinde imalatı çok uzun süren veya çok karmaşık yapıdaki parçaların imal edilememesi gibi dezavantajları ortadan kaldıracabilecek eklemeli İmalat yöntemleri geliştirilmiştir.

Bu yöntemlerinden birisi de bağlayıcı püskürtmeli eklemeli imalat metodudur. Bu yöntemde metal toz hammadde üzerine, bağlayıcı püskürtülerek tozların birleşmesi sağlanır. Metal tozların birleştirilmesinde kullanılan bağlayıcılar reçine olarak adlandırılmaktadır. Bu yöntem henüz gelişme aşamasında olduğundan dolayı literatürde bu imalat yönteminin detayları, ürün özellikleri ve yöntemde kullanılan bağlayıcılara yönelik yeterli düzeyde ve kapsamlı bir çalışma bulunmamaktadır. Bu makalede çeşitli çalışmalarda kullanılan bağlayıcılar, kürlenme şartları, ham mukavemete etkileri, fırın ortamında piroliz (buharlaştırma) olma özellikleri ve kalıntı bırakma durumlarından bahsedilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Bağlayıcı, Eklemeli İmalat, Ham mukavemet, Piroliz, Reçine.

BINDERS USED IN METAL BINDER JETTING ADDITIVE MANUFACTURING

ABSTRACT: Almost all of the materials used today go through a manufacturing process. This process varies based on the nature of the material and the manufacturing method. In addition, these methods have some advantages and disadvantages compared to each other. With industrial revolutions, these pros and cons have become even more distinctive. Especially with the Industry 4.0 revolution, there have been great developments in the field of manufacturing, and thanks to these developments, large-scale progress has been made in manufacturing methods. Additive manufacturing methods have been developed that can eliminate the drawbacks such as the inability to manufacture parts that take too long or have a complex structure in traditional manufacturing methods.

One of these methods is the binder jetting additive manufacturing method. In this method, a liquid binder known as resin selectively deposits onto a layer of metal powder to combine powders. This method is still in the development phase, there is no adequate and comprehensive study in the literature regarding the details of this manufacturing method, product properties, and binders used in the method. In this article, binders used in various studies, curing conditions, effects on raw strength, properties of being pyrolysis (evaporation) in the oven environment, and residue conditions are mentioned.

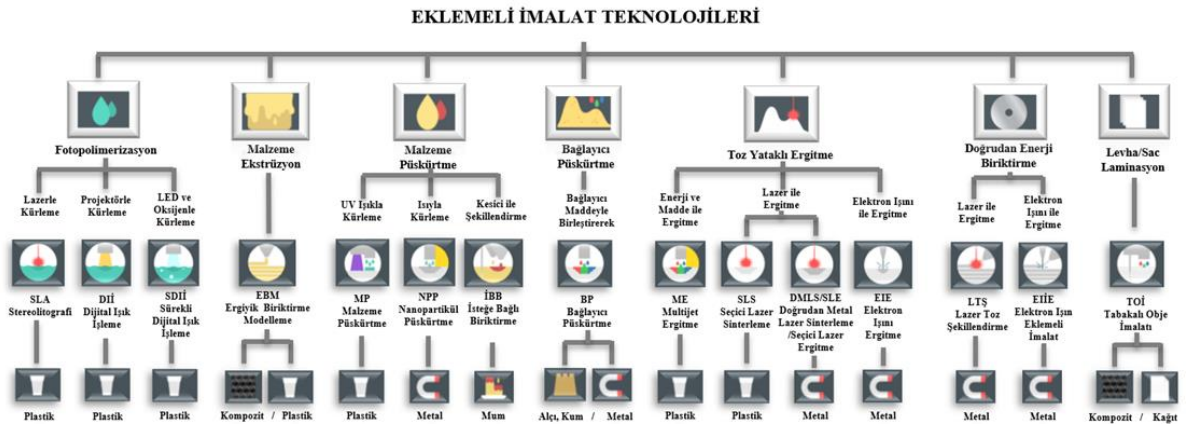
Keywords: Additive Manufacturing, Binder, Green Strength, Pyrolysis, Resin.

1. GİRİŞ

1.1. Eklemeli İmalat

Eklemeli imalat 1980’li yılların başında ürün ya da malzemelerin prototip imalatının yapılmasını sağlamak için geliştirilen bir imalat metodu olarak ortaya çıkmıştır. Zaman içinde metodun fonksiyonelliği geliştirilerek imalat sanayinde önemli bir yere sahip olmaya başlamıştır. Eklemeli imalat metodu, karmaşık yapıdaki parçaların kolaylıkla imal edilebilmesi, minimum atık malzeme oluşturmaya vb. gibi avantajlı yönleriyle geleneksel imalat yöntemlerinden ayrılmaktadır [1].

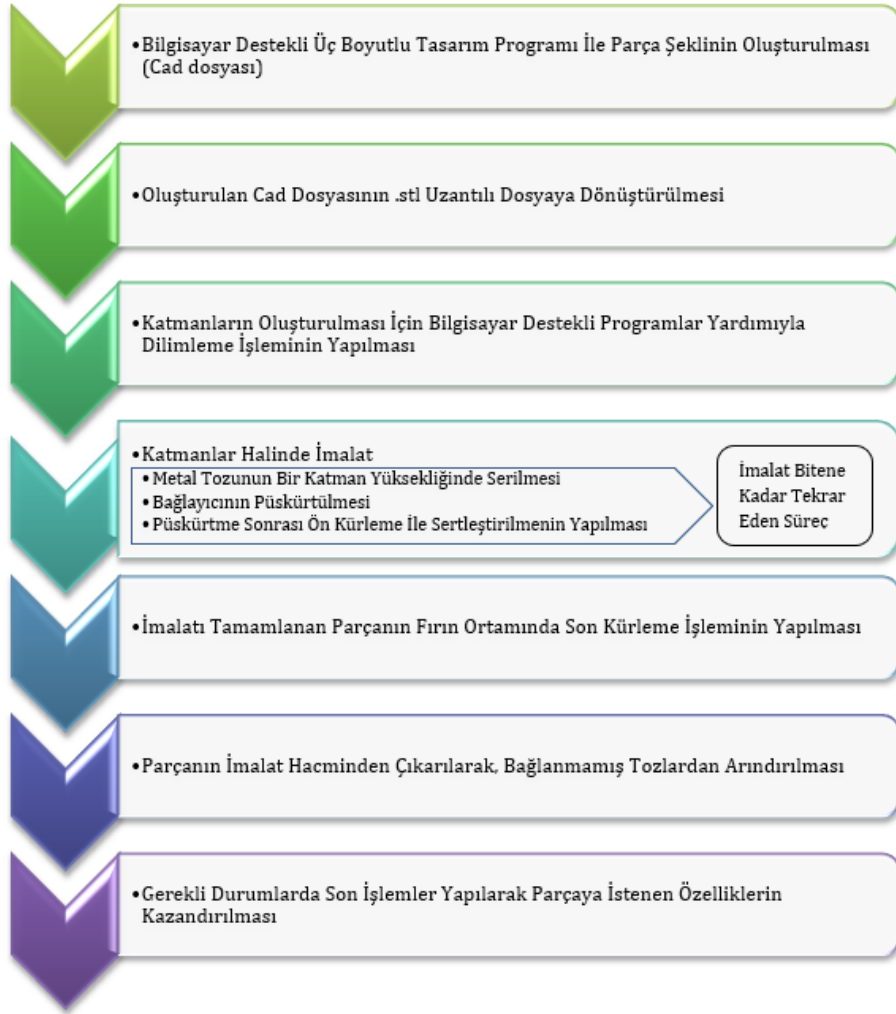
Eklemeli imalat metodu, malzeme cinsine ve ekleme metoduna göre değişik sınıflandırmalar içermektedir. Şekil 1’de eklemeli imalat teknolojilerinin sınıflandırılması verilmiştir.



Şekil 1. Eklemeli İmalat Teknolojilerinin Sınıflandırılması [2].

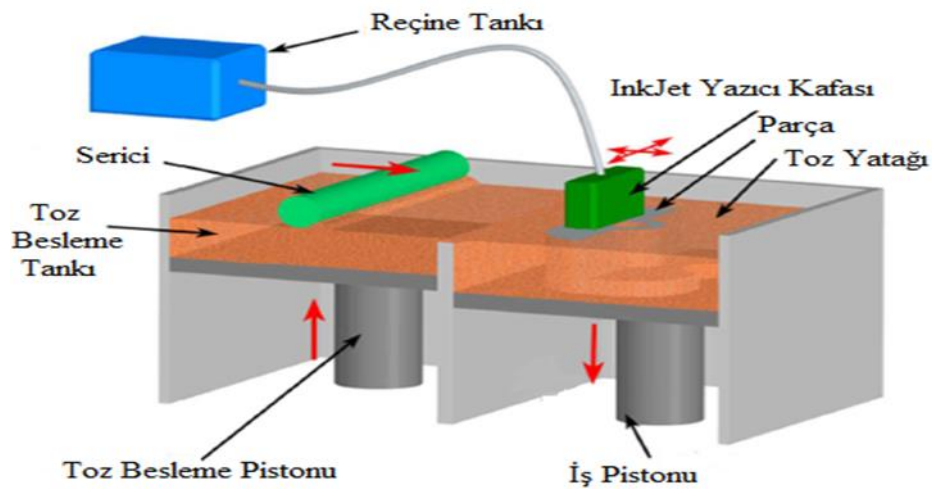
1.2. Bağlayıcı Püskürtmeli Metal Eklemeli İmalat

Bu yöntemin temel çalışma prensibi; toz besleme ünitesinde bulunan metal tozların imalat hacmi içerisine (toz yatağına) bir katman kalınlığı kadar serilmesi ve metal tozların üzerine bağlayıcı reçinenin püskürtülmesi şeklindedir. Püskürtme işlemi sonucunda, istenen geometri iki boyutlu olarak elde edilir ve bir katmanda imalat işlemi tamamlanmış olur. Nihai parçanın elde edilmesi için işlem basamakları son katmana kadar tekrarlanır. İmalat süreci şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 2. Bağlayıcı Püskürtmeli Metal Eklemeli İmalat Süreci [1].

Malzemenin toz formunda bulunması sayesinde, herhangi bir destek kullanımına gerek yoktur. Tozu elde edilebilen her türlü malzeme, istenilen geometride bu yöntem sayesinde ürüne dönüştürülebilir. Şekil 3’de bağlayıcı püskürtmeli eklemeli imalat tezgâhının şematik görünümü verilmiştir.



Şekil 3. Bağlayıcı Püskürtmeli Eklemeli İmalat Tezgahının Şematik Gösterimi [3].

Bağlayıcı püskürtmeli metal eklemeli imalat yönteminin diğer yöntemlere göre bazı avantajları bulunmaktadır. Bunlar;

- Diğer Eklemeli imalat yöntemlerinde görülen sıcaklığa bağlı kalıntı gerilmeler, çarpılma, çatlak oluşumu gibi olumsuz durumlar bağlayıcı püskürtmeli metal eklemeli imalat yönteminde bulunmamaktadır [4],
- Toz yataklı ergitmedeki imalat hızının yetersizliğine karşılık oldukça ciddi rakamlara (yaklaşık 40 kata) ulaşmış imalat hızına sahiptir [5,6,7],
- İmalat hacmi olarak da diğer yöntemlerle karşılaştırıldığında çok daha büyük parçaların üretilmesine imkân sağlayabilmektedir [8,9],
- İmalat esnasında destek yapıya ihtiyaç olmadığından, imalat hacminin tamamı kullanılarak kitlesel imalat yapılabilmektedir [10].

Şekil 4’de Bağlayıcı püskürtmeli metal eklemeli imalat cihazı ve şekil 5’de Bağlayıcı püskürtmeli metal eklemeli imalat yöntemiyle imal edilmiş bir parça görülmektedir.



Şekil 4. Bağlayıcı Püskürtmeli Metal Eklemeli İmalat Cihazı [11].



Şekil 5. Paslanmaz 420SS ile İmal Edilmiş Türbin Kanatçığı [12].

2. BAĞLAYICI PÜSKÜRTMELİ METAL EKLEMELİ İMALAT MALZEMELERİ

2.1. Metal Toz Hammadde

Bu yöntemde temel olarak kullanılan iki malzeme vardır. Bunlardan birincisi metal toz hammaddedir. Yöntemin üstün avantajlarından dolayı çok çeşitli alanda kullanılması, farklı nitelikteki metal tozlarının bu yöntemde kullanılmasının önünü açmıştır. Bu alanda yapılan çalışmalar ve endüstriyel ürünler incelendiğinde, genellikle paslanmaz çelik 300 ve 400 serisi tozlar, inconel 718, inconel 625, tungsten, kobalt krom tozları tercih edilmekte, bunlara ilaveten demir, bakır, bronz ve çeşitli seramik katkıların toz içerisine girdiği gözlenmiştir. Toz seçiminde toz malzemenin türü, alaşım elementleri, tanecik boyutlandırması ve toz geometrisi gibi parametreler önem arz eder [13,14].

2.2. Bağlayıcılar

Yöntemde kullanılan ikinci malzeme ise bağlayıcılardır. Metal tozların bağlanmasını sağlamaktadır. Bağlayıcılar organik ve inorganik olarak ikiye ayrılırlar. Organik bağlayıcılar çalışmalarda daha çok tercih edilmiştir. Çünkü organik bağlayıcıların piroliz olup ortamdaki çekilme özellikleri yüksek olup geride çok az kalıntı bırakmaktadırlar. Bu durum özellikle istenmektedir [15]. Bağlayıcıların viskozite, yüzey enerjisi, uçabilirlik, fiyat, ıslatabilirlik kabiliyeti gibi özellikleri ayrı ayrı ele alınmalıdır [15]. Genellikle su ve solvent bazlı reçineler tercih edilmektedir. Şekil 6'da bağlayıcı kimyasal ve metal toza dair örnek görseller verilmiştir [16,17].



Şekil 6. Bağlayıcı Kimyasal Örneği (solda), Metal Toz örneği (sağda) [16,17].

Bağlayıcı püskürtmeli eklemeli imalatta farklı tür toz hammaddelerin bağlanması için en uygun bağlayıcının seçilmesi imalat ve sonrasındaki işlemler açısından büyük önem taşımaktadır. Bazı metal toz hammaddeler ve kullanılan bağlayıcıları tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Toz malzemeler ve bağlayıcıları [18,19,20]

Metal toz malzeme	Bağlayıcı
Paslanmaz çelik 316, 316L	Etilen glikol monobutil eter, izopropil alkol, etilen glikol, etilen vinil asetat, polipropilen, stearik asit

Titanyum ve alaşımları	Polivinil alkol, polivinil pirolidon, polietilen glikol, polimetilmetakrilat, stearik asit, dekstrin+gliserin
Inconel 625 ve 718	Dietil glikol bazlı sulu bağlayıcı, Etilen glikol monobutil eter, etilen glikol

Yapılan bir çalışmada bakır tozlarının bağlayıcı püskürtmeli eklemeli imalatı incelenmiştir. Hammadde olarak 15-75 μm aralığındaki bakır tozu ve bağlayıcı olarak Exone firmasının PM-B-SR-1-04 isimli standart bağlayıcısı çalışmada kullanılmıştır. Bağlayıcının içeriği hakkında bilgi paylaşılmamıştır. Toz boyutu, sinterleme şartları ve fırın atmosferine bağlı olarak bakırdan imal edilmiş parçaların yoğunluk ve büzülme şartlarını incelemişlerdir. Toz boyutu küçüldükçe yoğunluğun arttığı gözlenmiştir. Çalışmada, yapılan ön deneyler sonucunda ideal bağlayıcı doygunluk oranı %70 olarak tespit edilmiştir [21].

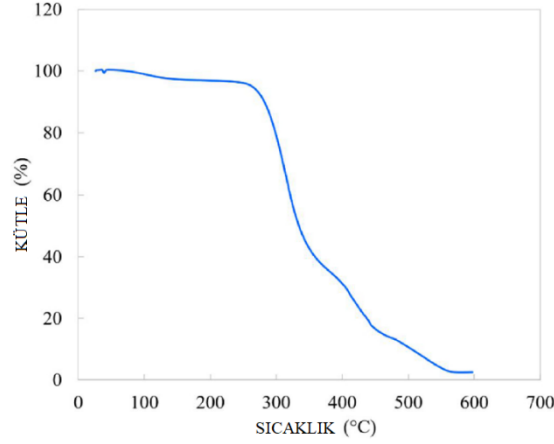
7, 21 ve 70 μm boyutlarındaki inconel 718 tozu ile yapılan çalışmada, Exone ticari firmasının dietil glikol su esaslı bağlayıcısı kullanılmıştır. Bağlayıcının içeriği hakkında bilgi paylaşılmamış ancak bağlayıcının buharlaşma sıcaklığının tanımlanması için diferansiyel termal analiz (tga) testi yapılmıştır. Analiz sonucunda maksimum buharlaşma sıcaklığı yaklaşık 650 ° C olarak bulunmuştur. Yapılan imalatlar esnasında bağlayıcı doygunluk oranı 7, 21 ve 70 μm toz boyutları için sırasıyla %80, %80 ve %70 olarak uygulanmıştır. Parçaların ön kurlenmesi 200 ° C lik fırın sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Bağlayıcının buharlaşması ve parça içinden uzaklaştırılması için ise 20 ° C/dk ısıtma oranı ile 700 ° C ye kadar fırın ısıtılmış ve bu sıcaklıkta 30 dakika bekletilmiştir [22].

Bağlayıcı püskürtmeli metal eklemeli imalat yöntemi ile üretilen parçalar üzerinde, toz karakteristiklerinin etkisinin araştırıldığı bir çalışmada, farklı boyutlardaki 316L paslanmaz çelik tozu kullanılmış. Yine bu çalışmada Exone ticari firmasının eter solvent bazlı bağlayıcısı kullanılmıştır. Bağlayıcının kimyasal bileşimi hakkında bilgi verilmemiştir. Bağlayıcı doygunluk oranı %100, bağlayıcı kuruma süresi 45 sn ve katman kalınlığı 0.15 mm olarak verilmiştir. Ön kurlama işlemi, 200 ° C de 2 saat olarak gerçekleştirilmiştir. Bağlayıcının buharlaştırılması ve parçadan uzaklaştırılması için 20 ° C/dk ısıtma hızı ile 500 ° C ye kadar ısıtma yapılmış ve bu sıcaklıkta 1 saat bekletilmiştir [23].

Başka bir çalışmada 316 ve 420 paslanmaz çelik tozların bağlayıcı püskürtmeli imalatına yönelik olarak araştırma yapılmıştır. Çalışmaya göre çelik tozları içerisine bor, bor nitrür ve bor karbür ilaveler katılarak mekanik özelliklerdeki değişim gözlenmiştir. Aynı zamanda farklı fırın atmosferi şartlarının etkisi de incelenmiştir. Herhangi bir katkı ilave edilmeksizin %92 yoğunluk elde edilmiştir. Bu çalışmada izopropil alkol (IPA), etilen glikol (EG) ve etilen glikol monobutil eter (EGBE) malzemelerin bir karışımı bağlayıcı olarak kullanılmıştır. Ancak detaylı bir veri bulunmamaktadır [24].

Toz sıkıştırma, katman kalınlığı ve sıvı bağlayıcı seviyesinin ham parça yoğunluğu üzerindeki etkilerinin araştırıldığı bir çalışmada, su atomizasyon yöntemiyle üretilmiş, 45 μm 'den daha küçük toz boyutuna sahip saf demir tozu ile bağlayıcı olarak 63 μm 'den daha küçük boyutlardaki polivinil alkol kullanılmıştır. Ağırlıkça %99 Demir tozu, %1 polivinil alkol olacak şekilde bir karışım yapılmıştır. Polivinil alkolü çözmek için, su bazlı bir çözücü olan zcorp firmasının zb60 modeli kullanılmıştır. İçeriği tam bilinmemekle birlikte, su bazlı çözücünün yaklaşık %85-95'i sudan, geri kalanının ise bazı gliserol polimerlerden oluştuğu ifade edilmiştir. Çalışmada 5 mm çapında ve 8 mm yüksekliğinde numuneler imal edilmiştir. Bağlayıcı olarak kullanılacak Polivinil alkolün diferansiyel termal (tga) analizi yapılmış ve şekil 8'de verilen grafiğe göre 270 °C de bozulmanın başladığı ve 570 °C ye kadar devam ettiği

görülmektedir. En hızlı bozulmanın ise 270-360 ° C arasında meydana geldiği grafikten anlaşılmaktadır [25].



Şekil 8. Polivinil Alkolün Kütle Kayıp Profili [25].

Çalışmada bağlayıcı piroliz olma şartları (sıcaklık ve zaman) belirlenmiş ve şartların belirlenmesi sonucunda, piroliz işleminin proses parametrelerine bağlı olduğu bulunmuştur. Katman kalınlığının artırılması ile toplamda kullanılan bağlayıcı miktarı azaldığından piroliz süresi kısalmıştır [25].

3. TARTIŞMA

Literatür incelendiğinde kullanılan bağlayıcıların neredeyse tamamının imalatçı firmaların geliştirdiği bağlayıcılar olduğu gözlemlenmiştir. Farklı bağlayıcı tiplerine ait çalışmalar yok denecek kadar azdır. Farklı bağlayıcıların kullanılmasının imalat proseslerini etkilediği anlaşılmaktadır. Farklı bağlayıcı türleri kullanılmasının ve proses parametre değişkenliğinin parçanın imalat süreci ve sonrasında önemli bir rolü bulunmaktadır. Farklı bağlayıcıların imalat sürecini nasıl etkilediği konusunda literatürde eksiklik olduğu tespit edilmiştir.

4. SONUÇ

Her geçen gün yeni gelişmelerin yaşandığı eklemeli imalat alanı, artık geleneksel yöntemlerle yapılan imalat yöntemlerine alternatif bir alan olarak karşımıza çıkmaktadır. Bağlayıcı püskürtmeli metal eklemeli imalat yönteminin de yakın zamanda gelecek vadeden bir imalat yöntemi olacağı, bu alanda yapılan çalışmalardan anlaşılmaktadır. Yöntemde kullanılan proses parametrelerinin, bağlayıcının kurlenme şartları, parçanın ham mukavemeti, bağlayıcının piroliz olma şartları ve kalıntı bırakma gibi durumlarını büyük ölçüde etkilediği anlaşılmaktadır.

Aşağıda verilen çalışmaların literatüre katkı sağlayabileceği düşünülmektedir;

- Yöntemde kullanılabilecek farklı tür bağlayıcıların geliştirilmesi,
- Farklı türlerdeki bağlayıcıların proses parametrelerine etkisi,
- Farklı türlerdeki bağlayıcıların ham mukavemete etkisi.

Yöntemde kullanılabilecek farklı tür bağlayıcıların geliştirilmesi, bağlayıcıların proses parametrelerine ve ham mukavemete etkisinin anlaşılması için çok sayıda deney yapılması gerekmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Demiray, M. A., Şekerci, B., Saltık, O., Kayacan, M.C., (2018). Eklemeli İmalat Yöntemlerinde Kullanılan Malzemeler", 4th International Congress on 3D Printing (Additive Manufacturing) Technologies and Digital Industry, Antalya, 274-284.
- [2] 3dhubs, 2019. Erişim Tarihi: 21.12.2019. <https://www.3dhubs.com/get/am-technologies>
- [3] CustomPartNet, (2019). Erişim Tarihi: 21.12.2019. <http://www.custompartnet.com/wu/3d-printing>
- [4] Makepartsfast,2020 Erişim Tarihi: 13.12.2020 <https://www.makepartsfast.com/what-are-the-benefits-of-binder-jetting-in-3d-printing/>.
- [5] Slm solution, (2017). Erişim Tarihi: 18.09.2017. <https://slm-solutions.com/products/machines/selective-laser-melting-machine-slmr500>.
- [6] Exone, (2017). Erişim Tarihi: 18.09.2017. https://www.exone.com/Portals/0/Systems/M-Flex/X1_MFlex_US.pdf.
- [7] Desktop metal, (2018). Erişim Tarihi: 05.07.2018. <https://www.desktopmetal.com/>
- [8] Eos, (2018). Erişim Tarihi: 22.09.2018. <https://www.eos.info/en>.
- [9] Exone, (2018). Erişim Tarihi: 05.07.2018. <https://www.exone.com/>
- [10] 3dhubs, (2018). Erişim Tarihi: 05.08.2018. <https://www.3dhubs.com/knowledge-base/introduction-binder-jetting-3d-printing>.
- [11] Exone, (2019). Erişim Tarihi: 21.12.2019. <https://www.exone.com/en-US/3D-printing-systems/metal-3d-printers/M-Flex>
- [12] Electronic Specifier, (2019). Erişim Tarihi: 21.12.2019. <https://aerospacedefence.electronicspecifier.com/event-news/advanced-ceramic-applications-set-to-take-off-in-the-aerospace-industry>.
- [13] Sachs E.M., Cima, M.J., Brecht, J.F., Khanuja, S., (2000). Ceramic Mold Finishing, United States Patent, No: 6,109,332 dated 29.08.2000.
- [14] Cima, M., Sachs, E., Fan, T., Brecht, J.F., Michaels, S.P., Khanuja, S., Lauder, A., Lee, S.J.J., Brancazio, D., Curodeau, A., Tuerck, H., Three-Dimensionel Printing Techniques, United States Patent, No: 5,387,380 dated 07.02.1995.
- [15] Utela, B., Storti, D., Anderson, R., Ganter, M., (2008). A Review of Process Development Steps for New Material Systems in Three Dimensional Printing (3DP). Journal of Manufacturing Processes, 10, 96-104.
- [16] 3dprint, (2017). Erişim Tarihi: 15.05.2017. www.3dprint.com.
- [17] Asahi-Yukizai, (2017). Erişim Tarihi: 15.05.2017. www.asahi-yukizai.co.jp.
- [18] Salehi M, Gupta M, Maleksaeedi S, Sharon NML Inkjet based 3D additive manufacturing of metals. In, 2018. Materials Research Forum LLC,
- [19] Lores A, Azurmendi N, Agote I, Zuza E (2019) A review on recent developments in binder jetting metal additive manufacturing: materials and process characteristics. Powder Metallurgy 62 (5):267-296

- [20] García JH (2014) Development of binder systems based on CAB powder injection moulding (PIM) and micro powder injection moulding (?-PIM) of zircon and invar powders. Universidad Carlos III de Madrid,
- [21] Bai, Y., Williams, C.B., (2015). An Exploration of Binder Jetting of Copper. Rapid Prototyping Journal, 21(2), 177-185.
- [22] Nandwana, P., Elliott, A. M., Siddel, D., Merriman, A., Peter, W. H., & Babu, S. S., (2017). Powder Bed Binder Jet 3D Printing of Inconel 718: Densification, Microstructural Evolution and Challenges. Current Opinion in Solid State and Materials Science, 21(4), 207-218.
- [23] Miyanaji, H., Momenzadeh, N., & Yang, L., (2019). Effect of Powder Characteristics on Parts Fabricated via Binder Jetting Process. Rapid Prototyping Journal, 25(2), 332-342.
- [24] Do, T., Kwon, P., & Shin, C. S., (2017). Process Development Toward Full-Density Stainless Steel Parts With Binder Jetting Printing. International Journal of Machine Tools and Manufacture, 121, 50-60.
- [25] Rishmawi, I., Salarian, M., & Vlasea, M., (2018). Tailoring Green and Sintered Density of Pure Iron Parts Using Binder Jetting Additive Manufacturing. Additive Manufacturing, 24, 508-520.



ULUBORLU MESLEKİ BİLİMLER DERGİSİ (UMBD)

Uluborlu Journal of Vocational Sciences

<http://dergipark.gov.tr/umbd>

BAĞLAYICI PÜSKÜRTMELİ METAL EKLEMELİ İMALATTA KULLANILAN PARAMETRELER

Mert Gürgeç^{1*}, Mehmet Cengiz Kayacan²

^{1*}Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye.

^{2*}Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye.

*Sorumlu Yazar: mertgurgen@sdu.edu.tr

(Geliş/Received:04.11.2020; Düzeltme/Revised:08.12.2020; Kabul/Accepted:15.12.2020)

ÖZET: Günümüzde teknolojinin de gelişmesiyle geleneksel yöntemlerle imal edilemeyen fonksiyonel parçalar için alternatif yollar aranmaya başlanmıştır. Bu geleneksel olmayan imalat yöntemlerinden biri de Eklemeli İmalat'tır. Eklemeli İmalat (Additive Manufacturing), geleneksel yöntemlerin tersine, imal edilecek parçanın daha kaba bir ham maddeden eksilterek ya da kütleli şekillendirmeyle çalışmaz. Uygun biçimde hazırlanmış bir tasarıma göre toz ya da ergiyik ham maddesinden kesit alanların katmanlar halinde imal eden bir sistemdir. Malzeme cinsine, katmanların birleştirilme biçimine ve birleştirici enerji kaynağına göre alt türlere ayrılarak, istenilen şekilde parçanın imal edildiği üretim yöntemi olarak tanımlanabilmektedir.

Eklemeli İmalat yöntemlerinden biri olan, Bağlayıcı Püskürtmeli Metal Eklemeli İmalat yakın zamanda ortaya çıkmış ve hala gelişmekte olan bir Eklemeli İmalat yöntemidir. Gelişme aşamasında olmasından dolayı net bir bağlayıcı türü, oranı, sinterleme süreci ve ortamı belirlenememiştir. Bu makalede çeşitli çalışmalarda kullanılan toz hammaddelerden (hammadde türü, toz boyutu), sinterleme süreçlerinden (sinterleme sıcaklığı, süresi, ortamı) ve kullanılan bağlayıcıların hammadde metal tozu ile oranlarından bahsedilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Bağlayıcı püskürtmeli metal eklemeli imalat, Bağlayıcı, Eklemeli İmalat, Reçine, Sinterleme.

PARAMETERS USED IN METAL BINDER JETTING ADDITIVE MANUFACTURING

ABSTRACT: Nowadays, with the development of technology, alternative ways have been sought for functional parts that cannot be manufactured by traditional methods. One of these unconventional manufacturing methods is Additive Manufacturing. Additive Manufacturing does not work by removing the part to be manufactured from a raw material or by mass shaping, unlike traditional methods. It is a system that manufactures cross-sections of powder or melt raw material in layers according to a suitably prepared design. It can be divided into sub-types according to the type of material, the way the layers are combined and the unifying energy source, and it can be defined as the production method in which the part is manufactured as desired.

As one of the Additive Manufacturing methods, Metal Binder Jetting is a recently emerged and still developing Additive Manufacturing method. Due to the fact that it is under development, a clear binder type, ratio, sintering process and atmosphere could not be determined. In this article, powder raw materials (raw material type, powder size), sintering processes (sintering temperature, time, atmosphere) and the ratio of binders used with raw material metal powder in various studies are mentioned.

Keywords: Additive manufacturing, Binder, Metal binder jetting, Resin, Sintering.

1. GİRİŞ

Eklemeli İmalat (Eİ) teknolojileri 20. yüzyılın son yarısından itibaren hızlı prototipleme sistemleri olarak öne çıkmaya başlamıştır. Günümüze kadar da büyük gelişme göstermiş ve halen gelişim göstermeye devam etmektedir. Eİ yöntemlerinde, elektronik ortamdaki bir tasarım dosyasından yola çıkılarak, tasarlanan modelin kesit alanları toz ya da ergiyik ham maddesinden katmanlar halinde birbiri üzerine eklenerek parça imal edilmektedir [1]. İmalata dair herhangi bir kısıtlamayı düşünmeksizin tasarım yapılabilmesi ve böylece karmaşık parçalar oluşturulabilmesi, en az atık malzeme, kesici takım ve kesme kuvvetlerinin olmaması en önemli avantajlarıdır. Eİ’de, tasarımı yapılmış 3B dijital katı model, direkt olarak Eİ cihazına gönderilmemektedir. Model öncelikle, Eİ standart arabirimi olan Standard Tessellation Language (STL) biçimli dosyaya dönüştürülmektedir. 3B katı model, STL formatına dönüştürüldükten sonra Eİ arayüzüne gönderilmeye hazır hale getirilmektedir [2].

Eİ yöntemlerinden biri olan Bağlayıcı Püskürtmeli Eklemeli İmalat’ın temelleri 1990’lı yıllarda Massachusetts Teknoloji Enstitüsü tarafından geliştirilmiştir. İlk zamanlarında 3D Printer (3B Yazıcı) olarak adlandırılan yöntem, 2010 yılında ticarileşirken literatüre Binder Jetting (Bağlayıcı Püskürtme) olarak geçmiştir [36]. Bu yöntemde imalat için temel olarak iki farklı malzeme kullanılmaktadır. Bunlardan ilki ana malzeme olan toz malzemedir. Bu toz malzemeler; seramik, polimer, kompozit ve metal tozları olabilmektedir. Bu yöntemde metal tozları kullanımıyla parça imalatı son yıllarda yeni yeni yaygınlaşmaya başlamıştır. İkincisi ise toz halindeki ana malzemeyi birbirine bağlayan genelde reçine olarak bilinen sıvı bağlayıcı maddedir [37]. Ürünü oluşturacak olan malzemenin tozu, toz serme sistemi ile serilir. Ardından püskürtmeli yazıcılara benzer şekilde bağlayıcı malzeme, damla damla bir katman üzerine püskürtülür. Püskürtme işlemi sonucunda, istenen geometri iki boyutlu olarak elde edilir. Arkasından bir sonraki katmana geçilerek aynı işlemler tekrarlanır ve parça üç boyutlu hale getirilir. İmalat işlemi bittikten sonra parça ham haldedir. Çoğu zaman mekanik özellikleri artırmak için son işlemler (kaplama, infiltrasyon vb.) yapılır. Kaplama malzemesi olarak yapıştırıcı (seramiklerde) ve infiltrasyon malzemesi olarak bronz (metallerde) kullanılan son işlem malzemelerine örnektir [38]. Metal toz hammadde kullanılan yöntem Bağlayıcı Püskürtmeli Metal Eklemeli İmalat (BPMEİ) olarak adlandırılır.

BPMEİ cihazlarında 316, 316L, 420, Inconel 625/718, kobalt/krom ve tungsten karbür gibi ileri teknoloji metalleri kullanılarak parça imal etmek mümkündür. Bu ve benzeri malzemelerle kompozit teknolojisi de emdirme (infiltrasyon) yöntemi ile kullanıma uygundur [3]. Adı geçen malzemeler genel olarak otomotiv, havacılık ve uzay, savunma sanayi gibi ileri mühendislik malzemeleri ihtiyacı olan alanlarda kullanılmaktadır. Ek olarak diğer sektörlerde de yüksek mekanik özellikler ve karmaşık geometri gereksinimi olan özel alanlarda tercih edilmektedir [4,39].

Diğer mevcut metal Eİ metotlarında olduğu gibi, BPMEİ cihazlarında da imal edilen parçalar doğrudan fonksiyonel hale gelmez. BPMEİ’de ilk adımda ham mukavemete sahip düşük yoğunluklu parçaların imalatı söz konusudur. Bu parçalara çeşitli son işlemler (kürleme, sinterleme, infiltrasyon vb.) uygulanarak parçanın mekanik özellikleri istenen düzeye getirilmektedir. Bu adımlardan biri olan infiltrasyon, sinterleme esnasında ana parça malzemesinden daha düşük sıcaklıkta ergiyen bir metalin parçaya emdirilme işlemidir. Bakır, bronz, alüminyum da emdirme malzemeleri olarak kullanılmaktadır [5-7].

BPMEİ yönteminin çalışma adımları;

- Toz ve bağlayıcı ham maddenin ilgili hazneleri doldurulması,
- Tozun, besleme ünitesinden alınarak serici mekanizmayla imalat tablasına pürüzsüz bir şekilde serilmesi,
- Tablaya serilen tozların gerekli kısımlarına (katı model geometrisine göre) bağlayıcının püskürtülmesi,
- Püskürtülen bağlayıcının özelliğine göre (hava ortamında, CO₂'li ortamda, ışıkla (UV), sıcaklıkla vb. sertleşen bağlayıcılar) sertleştirme (kürleme) işleminin yapılması,
- İmalat bitene kadar her bir katmanda serme, bağlayıcı püskürtme ve kürleme işlemlerinin tekrarlanması,
- İmalat işlemi tamamlandıktan sonra toz yatağı içinde bulunan imalat parçalarının, bağlanmayan tozlardan temizlenmesi,
- İmalat parçasının fırınlama işlemine alınarak; bağlayıcının uçurulması (piroliz) ve bağlayıcı sayesinde bir arada duran tozların metalik bağ ile kaynaşmasının sağlanması (sinterleme),
- Parçadan uçurulan bağlayıcıdan arta kalan boşluklara sıvı metal emdirilmesi (infiltrasyon),
- İhtiyaca göre basınçlı sinterleme vb. [genellikle Hot Isostatic Pressing (HIP)/Sıcak İzostatik Presleme (SİP)] gibi işlemler sonucunda fonksiyonel parçanın imalatı şeklindedir.

BPMEİ genel olarak; pompalar, türbinler, ısı eşanjörleri, filtreleme sistemleri, güç aktarım organları, bazı protezler vb. parçalarda kullanılır. Bu alanlarda BPMEİ yöntemi genellikle, parçalara korozyon direnci, yüksek aşınma direnci ve mukavemet sağladığı için tercih edilmektedir. Diğer metal Eİ metotlarına göre çok daha hızlı ve düşük maliyetli imalat metodudur. Tablo 1’de metal Eİ yöntemlerinin, marka model, imalat hacmi, imalat hızı, imalat ortamı ve ısı kalıntı gerilme oluşturma durumlarını gösteren bir karşılaştırması verilmiştir.

Tablo 1. Metal Eklemeli İmalat Yöntemlerinin Özellikleri [3, 8-12]

Yöntem	Marka/Model	İmalat Hacmi (mmXmmXmm)	İmalat Hızı (cm ³ /sa)	Katman Kalınlığı(mm)	İmalat Ortamı	Isıl Kalıntı Gerilme
BPMEİ	Digital Metal DM P2500	203x180x69	100	0,035	Açık Hava	Yok
BPMEİ	Desktop Metal Production System	330x330x330	8200	-	Açık Hava	Yok
BPMEİ	Exone Innovent	160x65x65	125	0,100	Açık Hava	Yok
BPMEİ	Exone M-Flex	400x250x250	1800	0,100	Açık Hava	Yok
BPMEİ	Exone M-Print	800x500x400	-	0,100	Açık Hava	Yok
Seçici Lazer Ergitme	SLM Solutions SLM280	280x280x365	88	0,020	Ar-N	Var
Seçici Lazer Ergitme	SLM Solutions SLM500	500x280x365	171	0,020	Ar-N	Var
Seçici Lazer Ergitme	EOS M280	250x250x325	-	0,020	Ar-N	Var
Seçici Lazer Ergitme	EOS M400-4	400x400x400	100	-	Ar-N	Var
Elektron Işın Ergirme	ARCAM Q20plus	Ø350x380	-	0,140	Vakum	Var

Elektron Işın Ergirme	ARCAM A2X	200x200x380	55-80	-	Vakum	Var
Nanopartikül Püskürtme	XJet Carmel1400	500x280x200	210	0,003	Basınçlı Hava	Yok
Nanopartikül Püskürtme	XJet Carmel700	500x140x200	105	0,010	Basınçlı Hava	Yok

BPMEİ yöntemi henüz yeni ve gelişmekte olan bir eklemeli imalat yöntemidir. Piyasada ticari marka olarak yalnızca 3 firma bulunmaktadır. Bu firmaların yanı sıra HP şirketi de, Metal Jet adını verdiği BPMEİ yöntemiyle çalışan cihazı ile piyasa çıkmayı planlamaktadır. HP, Volkswagen ve GKN Powder Metallurgy şirketleri arasında yapılan işbirliği sonucunda Volkswagen'in araçlarında HP'nin BPMEİ tezgâhlarında imal edilmiş parçaların kullanılacağı açıklanmıştır. Aynı zamanda diğer Eİ yöntemlerine kıyasla BPMEİ ile otomotiv sektörü için seri imalat imkânı olduğu belirtilmiştir. [35-37].

2. BAĞLAYICI PÜSKÜRTMELİ METAL EKLEMELİ İMALATTA KULLANILAN PARAMETRELER

BPMEİ yöntemi yeni bir teknoloji olması ve gelişmeye devam etmesinden dolayı netleşmiş parametrelere sahip değildir. Yapılan çalışmalar incelendiğinde toz hammadde cinsi, boyutu; sinterleme sıcaklığı, süresi, ortamı; bağlayıcı/toz hammadde oranı parametrelerinin farklılıklar gösterdiği görülmektedir. Tablo 2'de toz hammadde, sinterleme ve bağlayıcı oranı üzerine çalışma yapan literatür çalışmaları ve hangi parametrelerden bahsettikleri verilmiştir.

Tablo 2. BPMEİ Parametrelerinin Yer Aldığı Literatür Çalışmaları

Çalışma Adı	Toz Hammadde	Sinterleme	Bağlayıcı Oranı
Lorenz vd. (2004) [15]	+		
Miyanaji ve Yang (2016) [16]	+		+
Enneti vd. (2018) [17]	+	+	+
Do vd. (2017) [18]	+	+	+
Vangapally vd. (2017) [19]	+	+	
Tang vd. (2016) [20]	+	+	
Frykholm vd. (2016) [21]	+	+	
Johnston vd. (2004) [22]	+	+	
Utela vd. (2008) [23]	+		+
Mostafaei vd. (2017) [24]	+	+	
Bai ve Williams (2015) [25]	+		+
Cordero vd. (2017) [26]	+	+	
Doyle vd. (2015) [27]	+	+	
Turker vd. (2008) [28]	+	+	
Gülsoy (2008) [29]	+	+	
Do vd. (2018) [30]	+	+	+

2.1. Toz Hammadde

BPMEİ'de toz seçiminde toz malzemenin türü, alaşım elementleri, tanecik boyutlandırması ve toz geometrisi gibi parametreler, daha yoğun ve mukavemetli numunelerin imalatı açısından önem arz etmektedir [31,32].

BPMEİ için kullanılan ham madde tozlarının 20 µm'den büyük olması durumunda;

- Tozun serilmesinin kolay,
- Toz yüzey alanının az,
- Büyük gözeneklerin kalmasının bağlayıcının emilimi açısından kolay olduğunu söylenmiştir [23].

Aynı çalışmada 5 µm daha küçük tozlar ile imalat yapıldığında;

- Sinterlenme yeteneğinin iyi olduğu,
- Yüzey pürüzlülüğünün azaldığını,
- Daha ince bir katman ile çalışabilme imkânı olduğu,
- Zor serilebilen bir yapıya sahip,
- Bağlayıcının tozları ıslatma sorununun yaşandığı,
- Bulamaç halinde çökme durumlarının yaşanabildiğini bahsedilmiştir [23].

Topaklanma etkisini azalttığı için 20 µm ve üzerindeki tozların tercih edilmesi uygundur. Toz boyutunun fazla büyümesi, yüzey pürüzlülüğünü ve katman kalınlığını artırdığı ifade edilmiştir [33]. Tozların daha küçük taneli olması kılcallıktan oluşacak basıncı artırarak; infiltrant maddenin nüfuziyetini artırdığını tespit edilmiştir [15].

BPMEİ’de tozların fiziksel özellikleri üzerine yapılan çeşitli çalışmalar incelendiğinde;

- İmalat için %60 14 µm, %40 4 µm oranında [18],
- Inconel 625 malzeme için 65-110 µm arası [24],
- SS420 için 10-40 µm arası [16],
- WC + %12 Co karışımlarında 20-45 µm arası [17],
- SS420 için 45 µm [26],
- SS420 için 30 µm [27],
- Inconel 718 malzeme için 20-53 µm arası [28],
- SS316L için 4, 14, 30 ve 82 µm boyutlarındaki tozlardan farklı oranlarda karışım toz ham madde kullanıldığı görülmüştür [30].

Tozların büyük ve küçük olmasının avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır. Bu avantajlardan en üst seviyede yararlanmak ve dezavantajları en aza düşürmek için tozlar karışım halinde de kullanılmaktadır. Karıştırılmış tozlar ile imalatı yapılan numunelerin ham yoğunluk oranları %50 değerinden %65 değerine kadar artmıştır [30].

Katman kalınlığı 50-200 µm arasında değişirken, katman kalınlığının artması, özellikle düşük sinterleme sıcaklıklarında sinterlenmiş numunenin yoğunluk oranını azaltmaktadır [28]. Katman kalınlığının artması akma ve çekme dayanımlarını da düşürmektedir [27].

2.2. Sinterleme

BPMEİ’de tezgahta ham mukavemete sahip olarak imal edilen numunelerin, sinterleme işlemine tabi tutularak gerçek mukavemet değerlerini kazanmaları sağlanır.

316L paslanmaz çeliğin sinterleme sıcaklığı, sıcaklık artış hızı, sinterleme süresi ve sinterleme ortamı üzerine çeşitli çalışmalar bulunmaktadır. 1100°C’de 2 saat ve 4 saat, 1200°C’de de aynı şekilde 2 saat ve 4 saat sinterleme yapıldığında; sinterleme sıcaklığı ve süresinin artması, basma dayanımını artırdığı sonucu çıkarılmıştır [19].

İncelenen çalışmalarda, fırın ortamındaki yüksek sıcaklıklarda numunelerin korozyona uğramaması için, fırın ortamı Ar ve H₂ gazlarından birini ya da birlikte ikisini kullanmıştır [18,22]. Bazı çalışmalarda fırın atmosferi, imalatın başında vakumlanırken [24], bazı çalışmalarda adı geçen gazlar ortama basıldıktan belli bir süre sonra vakumlama işlemi yapılmıştır [17,18].

Sinterleme sıcaklığı olarak 1150, 1250 ve 1350°C (316L metal tozunun ergime sıcaklığının yaklaşık %95'i sıcaklıkta) sıcaklıklarda, 4 saat sinterleme yapılmış, sinterleme sıcaklığına 5°C/dk ısıtma hızı ile çıkıp, aynı hızla soğutulmuştur [18]. Bir başka çalışmada ise, 316L parçalarını 28 L/saat debi ile argon ortamında sinterlemesi gerçekleştirilmiştir. Numuneler önce 465°C'ye 5°C/dakika hız ile çıkarılırken, 200 ve 465°C'de 30'ar dakika bekletilmiştir [22].

Numunelerin sinterleme sürecinde, fırın sıcaklıkları doğrudan sinterleme sıcaklıklarına yükseltilmemiş, belli sıcaklıklarda belli sürelerde bekletilerek yükseldiği görülmüştür [18,20]. Bunun temel amacı, numuneler içerisinde bulunan bağlayıcıların en fazla şekilde buharlaştırarak, geriye en az miktarda atık bırakmasını sağlamaktır. Sinterleme sıcaklığına yükselirken, sıcaklık artış hızı olarak 4, 7, 10 ve 20°C/dk, sinterleme sıcaklığı olarak 1010, 1100, 1180 ve 1263°C ve sinterleme süresi olarak 2 saat süre tercih edilmiştir [22]. Diğer bir çalışmada, 316L için 1250-1385°C sinterleme sıcaklığında; 1100°C'ye kadar 10°C/dakika, sonrasında sinterleme sıcaklığına kadar 5°C/dakika sıcaklık artış hızını kullanmıştır [29]. Sinterleme sıcaklığının artırılması ile yoğunluk doğru orantılı olarak artmaktadır [28]. Sinterleme sıcaklığının artışı aynı zamanda malzemelerin çekme dayanımlarını da yükseltmektedir [24].

Sinterlenmiş numune içerisinde bulunan C ve O₂ değerlerinin, sinterleme sıcaklığı arttıkça değiştiği belirtilmiştir. Ti malzeme ile yaptıkları çalışmada, sinterleme sıcaklığı 1250°C'den 1350°C'ye çıktığında, yapıdaki ağırlıkça C oranı %0,08'den %0,03'e düşerken, O₂ oranı %0,20'den %0,26 ya yükselmiştir [21]. Başka bir çalışmada sinterleme sıcaklığı ve süresi arttıkça, sinterlenen numunelerin sertlik değerinin artış gösterdiğini belirtmişlerdir [34].

2.3. Bağlayıcı Oranı

BPMEİ'de imal edilen numunenin hacimce %30-75 arası metal tozu, %10 bağlayıcı ve kalan kısmının da boşluktan oluştuğunu belirtmiş [23]. 316L ile yapılan başka çalışmada hacimce %70 toz, kalan kısmın bağlayıcı olması gerektiğini söylenmiştir [25]. 420 paslanmaz çelik tozu için ideal bağlayıcı oranının hacimce %29 olması gerektiğini aktarılmıştır [16]. WC-%12Co tozunda hacimce %45 bağlayıcı oranı (%3,5 ağırlıkça bağlayıcı) kullanmıştır [17].

420 paslanmaz çelik tozlarıyla yapılan bir çalışmada ExOne firmasının bağlayıcı reçinesi kullanılmıştır. Firmanın reçinesinin izopropil alkol, etilen glikol monobütül eter ve etilen glikol içerdiği bilgisi verilmektedir. Çalışmada ExOne şirketinden alınan bilgiyle bağlayıcı yoğunluğunun 1,06 g/cm³ olduğu söylenmiş ve yapılan hesaplamalarla bağlayıcı oranı hesaplanmıştır. İmal edilen numunenin hacimce %60'nın toz hammadde, %20'sinin bağlayıcı ve kalan %20'sinin ise boşluk olduğu ifade edilmiştir. Ağırlıkça bağlayıcı oranı ise %4,37 olarak bulunmuştur [18].

Titanyum tozlarının BPMEİ'sinin yapıldığı başka bir çalışmada, bağlayıcı olarak polivinil alkol kullanılmıştır. Ti tozunda hacimce %20 bağlayıcı oranı kullanılmıştır [35].

3. SONUÇ

BPMEİ'nin Tablo 1'deki diğer eklemeli imalat yöntemleri ile karşılaştırılmasına bakıldığında;

- İmalat hızının daha yüksek olduğu,
- İmalat alanın daha büyük olduğu,
- Toz yataklı ergitme yöntemlerindeki gibi termal kalıntı gerilme oluşmadığı,
- İmalat ortamının koruyucu gaza ya da vakuma ihtiyaç duymadığı

görülmektedir.

BPMEİ'de kullanılan hammadde toz boyutu 50-200 mikron arasında değişmektedir. Toz boyutu katman kalınlığı değerinin belirlenmesindeki esas parametredir. Katman kalınlığı, toz boyut aralığının en büyük değerinden daha büyük olması gerekir.

BPMEİ ile ilgili önemli bir nokta, sinterleme sırasında fırın sıcaklığının doğrudan sinterleme sıcaklığına çıkarılmamasıdır. Belirli sıcaklık artış hızları seçilmeli, kullanılan bağlayıcı reçine türüne uygun olarak bazı sıcaklık değerlerinde belli sürelerle beklenmelidir. Bu sayede parça içerisinde bulunan bağlayıcı miktarı sinterleme sonrasında en az seviyeye indirilebilir. Ayrıca, fırın ortamında inert gaz kullanımı veya ortamın vakumlanması ile parçaların oksitlenmesinin engellenmesi ve buharlaşan reçinenin ortam atılması açısından gerekli görülmektedir.

BPMEİ yönteminde kullanılan imalat parametreleri ve uygulanan çeşitli son işlemler yapılan çalışmalarda farklı farklı değerlerde denenmiştir. İmalat sonrası yapılan sinterleme işlemi sonucunda parçada meydana gelen boyutsal değişimler için henüz net bir çözüm bulunabilmiş değildir.

Bu çalışmada toz hammadde, sinterleme ve bağlayıcı oranı açısından literatür çalışmaları karşılaştırılmıştır. İleride yapılacak çalışmalarda; toz serme hızı, katman kalınlığı, bağlayıcı çeşitleri, bağlayıcı kalıntı miktarları, infiltrasyon, numune yoğunlukları, çekme ve basma dayanımları, sertlik değerleri ve yüzey pürüzlülüğü üzerine de literatür taraması yapılabilir.

KAYNAKLAR

- [1] YALÇIN, B., & Ergene, B. (2017). ENDÜSTRİDE YENİ EĞİLİM OLAN 3-B EKLEMELİ İMALAT YÖNTEMİ VE METALURJİSİ. SDU International Journal of Technological Science, 9(3).
- [2] Duman, B., & Kayacan, M. C. SEÇMELİ LAZER SİNERLEME TEZGÂHI İÇİN İMALAT YAZILIMI GELİŞTİRİLMESİ. Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi, 8(3), 27-45.
- [3] Exone., 2019. Erişim Tarihi: 10.10.2019 <https://www.exone.com/>
- [4] Mouritz, A. P. (2012). Introduction to aerospace materials. Elsevier.
- [5] Yin, X., Travitzky, N., & Greil, P. (2007). Near-Net-Shape Fabrication of Ti3AlC2-Based Composites. International journal of applied ceramic technology, 4(2), 184-190.
- [6] Myers, K., Juhasz, M., Cortes, P., & Conner, B. (2015). Mechanical modeling based on numerical homogenization of an Al2O3/Al composite manufactured via binder jet printing. Computational Materials Science, 108, 128-135.
- [7] Tuffile, C. D., Lemke, H., & Mack, P. E. (2016). U.S. Patent Application No. 15/014,637.
- [8] Desktop Metal, 2019. Erişim Tarihi: 1.10.2019 <https://www.desktopmetal.com/>
- [9] EOS., 2019. Erişim Tarihi: 10.10.2019 <https://www.eos.info/en>
- [10] SLM Solutions, 2019. Erişim Tarihi: 10.10.2019 <https://slm-solutions.com/>
- [11] Digital Metal, 2019. Erişim Tarihi: 10.10.2019 <https://digitalmetal.tech/>
- [12] XJet, 2019. Erişim Tarihi: 10.10.2019 <https://xjet3d.com>
- [13] Arcam, 2019. Erişim Tarihi:10.10.2019. <http://www.arcam.com/>
- [14] Hrabe, N., Gnäupel-Herold, T., & Quinn, T. (2017). Fatigue properties of a titanium alloy (Ti-6Al-4V) fabricated via electron beam melting (EBM): Effects of internal defects and residual stress. International Journal of Fatigue, 94, 202-210.
- [15] Lorenz, A.M., Sachs, E.M., Allen, S.M., 2004. Techniques For Infiltration of a Powder Metal Skeleton by a Similar Alloy With Melting Point Depressed, United States Patent, No: US 6,719,948 B2 dated 13.04.2004.
- [16] Miyanaji, H., Yang, L., 2016. Equilibrium Saturation in Binder Jetting 3D Printing Process: Theoretical Model vs. Experimental Observations.
- [17] Enneti, R.K., Prough, K.C., Wolfe, T.A., Klein, A., Studley, N., Trasorras, J.L., 2018. Sintering of WC-12%Co Processed by Binder Jet 3D Printing (BJ3DP) Technology, International Journal of Refractory Metals & Hard Materials, 71, 28-35.
- [18] Do, T., Kwon, P., & Shin, C. S. (2017). Process development toward full-density stainless steel parts with binder jetting printing. International Journal of Machine Tools and Manufacture, 121, 50-60.
- [19] Vangapally, S., Agarwal, K., Sheldon, A., & Cai, S. (2017). Effect of Lattice Design and Process Parameters on Dimensional and Mechanical Properties of Binder Jet Additively Manufactured Stainless Steel 316 for Bone Scaffolds. Procedia Manufacturing, 10, 750-759.
- [20] Tang, Y., Zhou, Y., Hoff, T., Garon, M., & Zhao, Y. F. (2016). Elastic modulus of 316 stainless steel lattice structure fabricated via binder jetting process. Materials Science and Technology, 32(7), 648-656.
- [21] FRYKHOLM, R., TAKEDA, Y., ANDERSSON, B. G., & CARLSTRÖM, R. (2016). Solid state sintered 3-D printing component by using inkjet (binder) method. Journal of the Japan Society of Powder and Powder Metallurgy, 63(7), 421-426.

- [22] Johnston, S., Frame, D., Anderson, R., & Storti, D. Strain Analysis of Initial Stage Sintering of 316L SS Three Dimensionally Printed (3DP™) Components.
- [23] Utela, B., Storti, D., Anderson, R., Ganter, M., 2008. A Review of Process Development Steps for New Material Systems in Three Dimensional Printing (3DP), *Journal of Manufacturing Processes* 10, 96-104.
- [24] Mostafaei, A., Toman, J., Stevens, E. L., Hughes, E. T., Krimer, Y. L., & Chmielus, M. (2017). Microstructural evolution and mechanical properties of differently heat-treated binder jet printed samples from gas-and water-atomized alloy 625 powders. *Acta Materialia*, 124, 280-289.
- [25] Bai, Y., Williams, C.B., 2015. An Exploration of Binder Jetting of Copper. *Rapid Prototyping Journal*, 21(2), 177-185.
- [26] Cordero, Z. C., Siddel, D. H., Peter, W. H., & Elliott, A. M. (2017). Strengthening of ferrous binder jet 3D printed components through bronze infiltration. *Additive Manufacturing*, 15, 87-92.
- [27] Doyle, M., Agarwal, K., Sealy, W., & Schull, K. (2015). Effect of layer thickness and orientation on mechanical behavior of binder jet stainless steel 420+ bronze parts. *Procedia Manufacturing*, 1, 251-262.
- [28] Turker, M., Godlinski, D., & Petzoldt, F. (2008). Effect of production parameters on the properties of IN 718 superalloy by three-dimensional printing. *Materials characterization*, 59(12), 1728-1735.
- [29] Gülsoy, H. Ö. (2008). Production of injection moulded 316L stainless steels reinforced with TiC (N) particles. *Materials Science and Technology*, 24(12), 1484-1491.
- [30] Do, T., Bauder, T. J., Suen, H., Rego, K., Yeom, J., & Kwon, P. (2018, June). Additively Manufactured Full-Density Stainless Steel 316L with Binder Jet Printing. In *ASME 2018 13th International Manufacturing Science and Engineering Conference* (pp. V001T01A017-V001T01A017). American Society of Mechanical Engineers.
- [31] Cima, M., Sachs, E., Fan, T., Bredt, J.F., Michaels, S.P., Khanuja, S., Lauder, A., Lee, S.J.J., Brancazio, D., Curodeau, A., Tuerck, H., Three-Dimensional Printing Techniques, United States Patent, No: 5,387,380 dated 07.02.1995.
- [32] Sachs E.M., Cima, M.J., Bredt, J.F., Khanuja, S., 2000. Ceramic Mold Finishing, United States Patent, No: 6,109,332 dated 29.08.2000.
- [33] Bredt, J.F., Clark, S., Gilchrist, G., 2006. Three Dimensional Printing Material System and Method, No: US 7,087,109 B2 dated 08.08.2006.
- [34] Ren, L., Zhou, X., Song, Z., Zhao, C., Liu, Q., Xue, J., & Li, X. (2017). Process parameter optimization of extrusion-based 3D metal printing utilizing PW-LDPE-SA binder system. *Materials*, 10(3), 305.
- [35] Salehi, M., Gupta, M., Maleksaeedi, S., & Sharon, N. M. L. (2018, January). Inkjet based 3D additive manufacturing of metals. *Materials Research Forum LLC*.
- [36] Meteyer, S., Xu, X., Perry, N., & Zhao, Y. F. (2014). Energy and material flow analysis of binder-jetting additive manufacturing processes. *Procedia Cirp*, 15, 19-25.
- [37] Bai, Y., Wagner, G., Williams, C. B., 2015. Effect of bimodal powder mixture on powder packing density and sintered density in binder jetting of metals. In *2015 Annual International Solid Freeform Fabrication Symposium*, 62, 758-771.
- [38] Redwood, B., 2019. Additive Manufacturing Technologies: An Overview. Erişim Tarihi: 10.10.2019. <https://www.3dhubs.com/knowledgebase/additive-manufacturing-technologies-overview>
- [39] Kayacan, M. C., DELİKANLI, Y. E., Duman, B., & Özsoy, K. (2018). Ti6Al4v toz alaşımları kullanılarak SLS ile üretilen geçişli (değişken) gözenekli numunelerin mekanik özelliklerinin incelenmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 33(1).