



MAKİNE İMALAT TEKNOLOJİLERİ VE EKLEMELİ İMALAT LİTERATÜRÜNÜN GÖRSELLEŞTİRİLMESİNE DAİR BİBLİYOMETRİK BİR ANALİZ

Sabiha KILIÇ^{1*}

¹ Hitit Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi İşletme Bölümü Üretim Yönetimi
ve Pazarlama ABD, Çorum, ORCID No : <http://orcid.org/0000-0002-0906-4567>

Anahtar kelimeler

Öz

Makine, imalat teknolojileri, eklemeli imalat, citespace, bibliyometrik analiz

Çalışmada makine imalat teknolojilerinin gelişim evriminin incelenmesi, bu evrim içerisinde eklemeli imalatın gelişim sürecinin değerlendirilmesi amaçlanmaktadır. Bu kapsamda ifade edilen gelişim sürecinin entelektüel eğilim yapısı, akademik literatür çerçevesinde bilimsel haritalama uygulaması kullanılarak görselleştirilmiştir. Bu amaçla, makine imalat teknolojileri ve eklemeli imalat alanındaki başlıca araştırma konularının neler olduğu, klasik ve geçici yayınlar, birbirleriyle bağlantılı alanlar, en aktif alanlar, alanların gelişim tarihindeki kritik geçişler ve dönüm noktaları değerlendirilmiştir. Atıf patlaması olan yazarlar, anahtar kelimeler ve ülke modelleri ayrıntılı olarak incelenmiştir. Çalışmanın veri setlerinde yer alan bilimsel eserlerin görselleştirilmesi ve alana ilişkin akademik eğilimlerin incelenmesi amacıyla CiteSpace bibliyometrik haritalama programından yararlanılmıştır.

¹ Sorumlu yazar; e-posta: sabihakilic@hitit.edu.tr
doi : [muhendismakina.1319011](https://doi.org/10.1319011)

A BIBLIOMETRIC ANALYSIS TO VISUALIZATION OF MACHINE MANUFACTURING TECHNOLOGIES AND ADDITIVE MANUFACTURING LITERATURE

Keywords

*Machinery,
manufacturing
technologies, additive
manufacturing,
citespace, bibliometric
analysis*

Abstract

In this study, it is aimed to examine the development of machine manufacturing technologies and to evaluate the development process of additive manufacturing in this evolution. The intellectual tendency structure of the development process expressed in this context has been visualized using scientific mapping within the framework of academic literature. For this purpose, the main research topics in the field of machine manufacturing technologies and additive manufacturing, classical and temporary publications, interrelated areas, the most active areas, critical transitions and turning points in the development history of the areas are evaluated. Authors, keywords, and country patterns that with citation booms are studied in detail. CiteSpace bibliometric mapping program is used to visualize the scientific works in the data sets of the study and to examine the academic trends in the field.

Araştırma Makalesi

Başvuru Tarihi : 20.12.2022

Kabul Tarihi : 17.03.2023

Research Article

Submission Date : 20.12.2022

Accepted Date : 17.03.2023

Extended Abstract

Introduction/Background

Making new investments in the development of technology used in manufacturing processes is a strategy that can provide flexibility to manufacturing systems in terms of product mix, product volume, product change, and delivery of products (Merklein, Lechner ve Kuppert(2012; Beach , Muhlemann, Price, Paterson ve Sharp, 2000). Advanced manufacturing systems involve creating advanced products, using innovative techniques in the production phase, and inventing new processes and technologies for the production of the future (Katz, 2015). In addition, it includes not only robots and high-tech processes but also the production of innovative products and the use of creative principles. Digital modeling and fabrication, nano-manufacturing, power electronics, semiconductor manufacturing, and additive manufacturing are technologies considered in the advanced manufacturing category. In traditional manufacturing methods, parts are designed before they are produced, while in additive manufacturing designs are produced directly. The freedom of geometric drawing allows engineers to design products as they visualize them. Additive manufacturing is considered to be a new industrial revolution that enables the mass production of parts instead of being produced as a prototype (Berman, 2012). From this perspective, the research is aimed to examine the development of machine manufacturing technologies and to evaluate the development process of additive manufacturing within this evolution. This development process, which is expressed within the scope of this purpose is visualized by scientific mapping.

Objectives/Research Purpose

The mean goal of the research is to visualize the intellectual development of academic studies in machine manufacturing technologies and additive manufacturing literature. For this purpose, evaluations are made about the reflections of scientific developments in the field of additive manufacturing in machine manufacturing technologies to the academic literature. In this context, first of all, scientific developments in the field of machine manufacturing technologies are examined within the scope of academic studies. Afterward, a projection of the development and evolution of additive manufacturing technologies and their reflections on scientific studies are presented.

Methods/Methodology

The study has two datasets. The first dataset consists of 13,551 scientific works which are obtained by scanning the keyword "TS=Machine Manufacturing Technologies" in the WoS bibliographic database. The second dataset consists of 1,976 scientific works and which is obtained by scanning the keywords "TS=Machine AND TS=Manufacturing AND TS=Technologies AND TS=Additive" in the WoS bibliographic database. CiteSpace bibliometric mapping program is used to visualize the scientific works in the data sets and to examine the academic trends in the field.

Results/Findings

When the academic literature on machine manufacturing technologies in the WoS bibliographic database is examined, it can be said that scientific studies in this field have been to be published in international journals since 1981. In the field of machine manufacturing

technologies, the concept of group technology has been one of the most discussed concepts in the 90s. Group technology was proposed by Kusiak(1987) as a production management philosophy based on cellular production system logic in order to reduce production setup times and inventories in the process. Group technology includes the processes of grouping the family of parts in a production system according to their design and production similarities and creating cells suitable for these groups. This new concept, proposed in 1987, aimed to improve the quality of part families and machine cells (Kusiak, 1987). As a result of the technological developments in recent conditions, additive manufacturing technology has started to be discussed in the machinery manufacturing technologies literature in order to increase the quality in the production process and to provide fast and low-cost production that is similar to the production management philosophy on which the group technology is based.

Discussion and Conclusions

Additive manufacturing has the potential to reduce both time-to-market from the design stage to the time-to-market stage and time to full-scale manufacturing volume. It offers a future where products are produced not according to a just-in-time approach, but according to the exact manufacturing mode, which depends on printing directly as ordered. Such a new paradigm will provide significant consequences to the global supply chain. Some of the need for transportation and storage of parts will be eliminated. In addition, the need for assembly line workers to assemble complex products will decrease (Campbell & Ivanova, 2013). Other advantages of additive manufacturing include shortened time-to-market for products and reduced waste and energy consumption by companies throughout the world. In addition, additive manufacturing technology can be used to facilitate the remanufacturing, repair, and reuse of old products (MAL Inc, 2014). To successfully implement additive manufacturing, progress is required in five main areas: design, materials, technology, software, and quality control. Therefore, more research and development is needed in more areas. All these advantages offered by additive manufacturing technology create new opportunities in the field of machine manufacturing technologies, while also inspiring scientific studies in this field. It is thought that this research, which examines the development evolution in machine manufacturing technologies within the scope of academic studies, will guide the academic studies planned in this field in the future.

1. Giriş

Geleneksel imalat, hammaddelerin piyasaya arz edilmek üzere nihai ürünlere dönüştürüldüğü endüstriyel bir imalat süreci olarak tanımlanmaktadır. Günümüzde ise imalat, makinelerden imalat sistemlerine kadar işletme düzeyindeki tüm süreçlerle entegre edilmiş bir kavram olarak kabul edilmektedir (Esmailian, Behdad ve Wang, 2016). İmalat, teknolojiye dayalı olarak beş grup altında sınıflandırılabilir. Bunlar (Nassehi, Newman, Dhokia, Zhu ve Asrai, 2012);

- Birleştirme Teknolojisi (Joining Technology): Yeni bir parça oluşturmak için birkaç parçanın birleştirildiği teknolojidir. Kaynak ve montaj teknolojisi örnek olarak verilebilir (Liu, Lai, Kristiansen ve Khoo, 1998).
- Bölme Teknolojisi (Dividing Technology): Testereyle kesme ve sökme gibi işlemleri içeren teknolojidir.
- Çıkarmalı Teknoloji (Subtractive Technology): Talaşlı imalat işlemleri gibi malzeme çıkarma işlemlerini içeren teknolojidir (Nieslony ve Grzesik, 2011).
- Dönüştürücü Teknoloji (Transforative Technology): Bir iş parçasının kütlesi değişmeden başka bir iş parçasına dönüştürüldüğü teknolojidir. Şekillendirme, ısıl işlem ve kriyojenik soğutma örnek olarak verilebilir.
- Eklemeli Teknoloji (Additive Technology): Hızlı prototipleme, basınçlı döküm ve enjeksiyonlu kalıplama örnek olarak verilebilir (Zhu, Dhokia, Hassehi ve Newman, 2013).

İmalat süreçlerinde kullanılan teknolojinin geliştirilmesine yönelik yeni yatırımların yapılması, ürün karması, ürün hacmi, ürün değişikliği ve ürünlerin teslimatı açısından imalat sistemlerine esneklik sağlayabilecek bir stratejidir (Merklein, Lechner ve Kuppert (2012; Beach ve diğ., 2000). İleri imalat sistemleri, gelişmiş ürünler yaratmak, üretim aşamasında yenilikçi teknikler kullanmak ve geleceğin üretimi için yeni süreçler ve teknolojiler icat etmeyi içerir (Katz, 2015). İleri imalat, yalnızca robotları ve yüksek teknolojlili süreçleri değil aynı zamanda yenilikçi ürünlerin üretimini ve yaratıcı ilkelerin kullanımını da içermektedir. Dijital modelleme ve fabrikasyon, nano imalat, güç elektroniği, yarı iletken imalat ve eklemeli imalat ileri imalat kategorisinde değerlendirilen teknolojilerdir. Bunlar arasında eklemeli imalat, ince toz katmanlarının eritilmesi ve plastik ya da metal malzeme katmanının diğerinin üzerine eklenmesiyle parçaların üretildiği teknoloji olarak tanımlanabilir. Her katman CAD modellerinde önerilen geometriye göre eritilir (Zhou ve Chen, 2012). Bu teknoloji, üretilcek parçaların imalat aşamasından önce tasarımını değil tasarlanan parçanın aynı anda üretilmesini öneren yeni bir paradigmayı içerir. Geleneksel imalat yöntemlerinde parçalar üretilmeden önce tasarlanırken, eklemeli imalatta tasarımlar doğrudan üretilmektedir. Geometrik özgürlük, mühendislerin ürünleri üretim kısıtları olmaksız-

zın görselleştirdikleri gibi tasarımlarına izin verir. Eklemeli imalat bir prototip üretmek için parçaları üretmek yerine, parçaların toplu üretimini sağlayan yeni bir sanayi devrimi olarak kabul edilmektedir(Berman, 2012). ABD, eklemeli imalat sistemlerinin kurulumunda dünyada öncü bir ülke olmuştur. Son 24 yılda endüstriyel eklemeli imalat sistemlerinin %38'i ABD'de kurulmuştur. Eklemeli imalat sistemlerini kurma konusunda ABD'yi Japonya(%9,7), Almanya(%9,4), Çin Halk Cumhuriyeti(%8,7), İngiltere(%4,2) ve Fransa(%3,2) izlemektedir(Wohlers Report, 2014). 2020 yılında yayımlanan Wohlers Raporu'na göre eklemeli imalat endüstrisinin küresel pazar büyüklüğünün 2024 yılında 34 milyar \$'ın üzerine çıkacağı öngörülmektedir(Wohlers Report, 2020). Çalışmada makine imalat teknolojilerinin gelişim evriminin incelenmesi, bu evrim içerisinde eklemeli imalatın gelişim sürecinin değerlendirilmesi amaçlanmaktadır. Bu kapsamda ifade edilen bu gelişim sürecinin akademik literatür çerçevesinde entelektüel eğilim yapısının bilimsel haritalama uygulaması kullanılarak görselleştirilmesi gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla CiteSpace bilimsel haritalama uygulamasından yararlanılmıştır. Çalışmada makine imalat teknolojileri alanında üretilen bilimsel eserlerden oluşan birinci veri seti ve eklemeli imalat konusunda üretilen bilimsel eserlerden oluşan ikinci veri seti WoS istatistikleri ve CiteSpace bilimsel haritalama programı yardımıyla ayrıntılı olarak analiz edilmiştir. Aşağıdaki bölümde makine imalat teknolojileri WoS istatistiklerine dair ayrıntılı bilgiler yer almaktadır.

2. Makine İmalat Teknolojileri WoS İstatistikleri

Çalışma kapsamında makine imalat teknolojileri alanında gerçekleştirilen bilimsel eserlere dair veri seti, Web of Science bibliyografik veri tabanından elde edilmiştir. Veri setine ilişkin tarama 25 Kasım 2022 tarihinde gerçekleştirilmiştir. Web of Science bibliyografik veri tabanında "TS=Machine Manufacturing Technologies" anahtar kelimesi taranılarak ulaşılan 13.551 bilimsel esere dair; yazar, yayın türü, yayın yılı, yayın konuları, atıf konuları, ortak yayın yapılan kurumlar, dergi ve yayıncı bilgilerini içeren veriler aşağıdaki bölümlerde özetlenmektedir:

2.1. Yazar Bilgisi

WoS bibliyografik veri tabanı verilerine göre; makine imalat teknolojileri alanında 1981-2022 yılları arasında toplam 200 yazar tarafından 13.551 eser gerçekleştirilmiştir. Yayın sayısına göre ilk beş yazar Klocke, F.(64 adet yayın), Wang, Lihui(36 adet yayın), Newman, Stephen T.(33 adet yayın), Xu, Xun William(27 adet yayın) ve Klink, A.(26 adet yayın) olarak sıralanabilir.

2.2 Yayın Yılı

WoS bibliyografik veri tabanı verilerine göre; makine imalat teknolojileri alanında ilk yayın 1981 yılında gerçekleştirilmiştir. Bu alanda üretilen en fazla eser

sayısı 2021 yılına (1.279 adet) aittir. 2022 yılının ilk 11 ayında 1.249 adet yayın üretilmiş olmakla birlikte 2023 yılına ait erken görünümde 21 adet yayın bulunmaktadır.

2.3 Yayın Türü

WoS bibliyografik veri tabanı verilerine göre; makine imalat teknolojileri alanındaki yayınların %56'sı araştırma makalesi(7.612 adet), %43'ü bildiri(5.849 adet) ve %4,6'sı inceleme makalesi(624 adet)'dir. Diğer yayınlar arasında kitap, kitap bölümü, kitap incelemesi, editöre mektup, özet bildiri vb. yayınlar bulunmaktadır.

2.4 Yayın Konuları

WoS bibliyografik veri tabanı verilerine göre; makine imalat teknolojileri alanında 1981-2022 yılları arasında toplam 200 alanda yayın üretilmiştir. En fazla yayın üretilen alanlar sırasıyla üretim mühendisliği(3.943 adet/%29), multidisipliner malzeme bilimi çalışmaları(2.475 adet/%18), makine mühendisliği(2.026 adet/%15), elektrik elektronik mühendisliği(1.911 adet/%14), endüstri mühendisliği(1.732 adet/%13) ve otomasyon kontrol sistemleri(1.324 adet/%10) olarak ifade edilebilir. Makine imalat teknolojileri konusunda sosyal bilimler alanında en fazla yayın yönetim(324 adet) alt bilim alanında gerçekleştirilmiştir. Diğer sosyal bilim alt alanlarındaki yayın sayıları; işletme(124 adet), iktisat(73 adet), disiplinlerarası sosyal bilimler çalışmaları(38 adet), finans(13 adet), sayısal yöntemler(12 adet), sosyoloji(6 adet), davranış bilimleri(5 adet), kamu yönetimi(3 adet), uluslararası ilişkiler(3 adet), siyaset bilimi(3 adet) ve çalışma ekonomisi(2 adet) olarak ifade edilebilir.

2.5 Atıf Konuları

WoS bibliyografik veri tabanı verilerine göre; makine imalat teknolojileri alanında 1981-2022 yılları arasında en fazla atıf yapılan konular arasında ilk beş sırada imalat(1.773 atıf), nanolifler, yapı iskeleleri&fabrikasyon(1.558 atıf), tedarik zinciri&lojistik(1.261 atıf) ile tasarım&üretim(1.200 atıf) konuları yer almaktadır. Sosyal bilimler alt alanları incelendiğinde yönetim alanında 634 atıf, iktisat alanında 34 atıf, iktisat teorisi alanında 10 atıf, siyaset bilimi alanında 4 atıf ve siyaset felsefesi alanında 2 atıf bulunduğu söylenebilir.

2.6 Ortak Yayına Sahip Kurumlar

WoS bibliyografik veri tabanı verilerine göre, makine imalat teknolojileri alanında 1981-2022 yılları arasında en az 100 ortak yayını bulunan özel ve kamu kurumları sırasıyla Fraunhofer Gesellschaft(210 adet ortak yayın), Chinese Academy of Sciences (166 adet ortak yayın), Rwth Aachen University(160 adet ortak yayın), Indian Institute of Technology System IIT System(149 adet ortak

yayın), Helmholtz Association(110 adet ortak yayın), Centre National de La Recherche Scientifique CNRS(108 adet ortak yayın), Nanjing University of Aeronautics Astronautics(106 adet ortak yayın), (National Institute of Technology NIT System(105 adet ortak yayın), Huazhong University of Science Technology(104 adet ortak yayın) olarak ifade edilebilir. Makine imalat teknolojileri alanında ortak yayını bulunan kurumlar arasında üniversiteler büyük bir orana sahiptir. 197 kurum arasında 157'sini üniversiteler oluşturmaktadır. Özel kurumlar arasında Siemens AG'nin 43 adet, Siemens Germany'nin 27 adet ortak yayını bulunmaktadır. Diğer kurumlar arasında özel ve kamu laboratuvarları, kamu ve özel araştırma ve uygulama merkezleri ile araştırma ve eğitim enstitüleri yer almaktadır.

2.7 Dergi ve Yayıncı Bilgileri

WoS bibliyografik veri tabanı verilerine göre; makine imalat teknolojileri alanında 1981-2022 yılları arasında yayın sayısı en yüksek olan ilk üç dergi sırasıyla International Journal of Advanced Manufacturing Technology(583 adet yayın), Proceedings of Spie(400 adet yayın), International Journal of Production Research(251 adet yayın) olarak ifade edilebilir. Bu alanda en fazla yayına sahip ilk beş yayıncı ise Elsevier(2.861 adet yayın), IEEE(1.639 adet yayın), Springer Nature(1.637 adet yayın), Taylor&Fransis(706 adet yayın) ve MDPI(635 adet yayın)'dır.

3. Yöntem

Çalışmada, bilimsel eserlerin bibliyometrik analizine imkan sağlayan CiteSpace 6.1.R4 versiyonu bilimsel haritalama programı kullanılmıştır. Çalışmanın iki veri seti bulunmaktadır. Birinci veri seti 13.551 bilimsel eserden oluşmaktadır. Birinci veri seti, WoS bibliyografik veri tabanında "TS=Machine Manufacturing Technologies" anahtar kelimesi taranılarak elde edilmiştir. Makine imalat teknolojileri alanındaki teknolojik gelişmeler kapsamında çalışmanın ikinci veri seti WoS bibliyografik veri tabanında "TS=Machine AND TS=Manufacturing AND TS=Technologies AND TS=additive" anahtar kelimeleri taranılarak elde edilmiştir. İkinci veri seti 1976 bilimsel eserden oluşmaktadır. Veri setleri WoS bibliyografik veri tabanında yayımlanan bilimsel eserler ile sınırlı olup CiteSpace bilimsel haritalama programı kullanılarak analiz edilmiştir. Bu çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

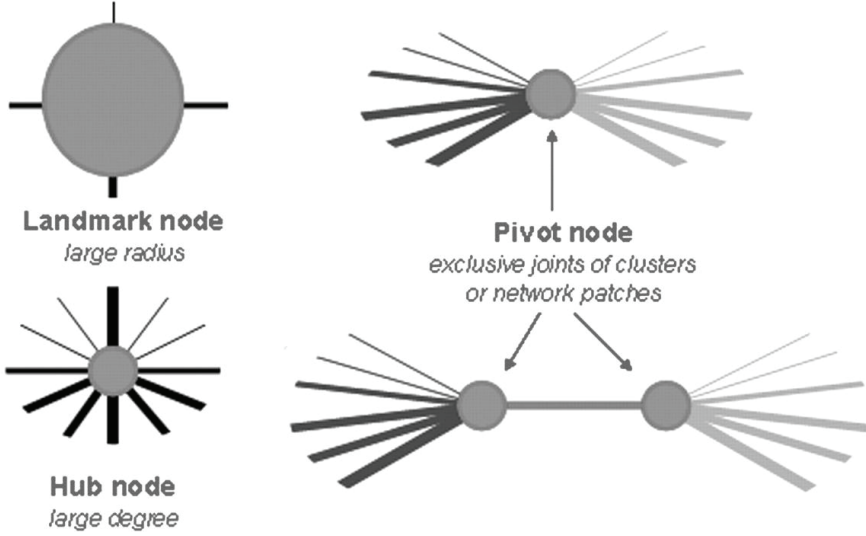
CiteSpace bilimsel haritalama programının temeli, ağ analizi ve görselleştirmedir. Ağ modelleme ve görselleştirme aracılığıyla, bir bilim alanının entellektüel manzarası keşfedilebilir, araştırmacıların hangi konuları daha çok çalıştıkları anlaşılabilir, geliştirilen yöntem ve araçlar hakkında bilgi sahibi olunabilir. CiteSpace, bilimsel yayınlardan oluşan veri seti sayesinde ilgili bilim alanına ilişkin gelişim sürecinin izinin sürülmesine imkan tanır. Bir bilim alanında yaşanan di-

namik gelişmeleri takip etmek için tek bir düşünce ekolünü incelemek yeterli değildir. Belirli bir bilim alanına ilişkin konunun daha iyi anlaşılması, genellikle, diğer bilim dallarındaki konularla nasıl ilişkili olduğunun anlaşılmasına bağlıdır. Bilimsel bir alanın entelektüel yapısını araştırırken atıf sayısı, potansiyel olarak önemli alanlara dikkat çeker. Bu tür bilgiler yalnızca bir ormanda belirli bir noktaya yaklaşarak ve filtreleme yaparak hedefi seçmemize değil, aynı zamanda ormanı oluşturan ağaçları da ilk etapta seçmemize olanak tanır(Chen, 2017).

Bilimsel literatür klasik ve geçici olmak üzere iki tür makaleden oluşur. Klasik makaleler köklü ve iyi bilinen katkılara sahip çalışmalardır. Bilimsel literatürdeki konumları sabit ve görünürlükleri yüksektir. Geçici makaleler ise bilimsel literatürün geçici kısmında yer alırlar. Bilimsel dünyada yayımlandıktan hemen sonra unutulmuş birçok makale bu tür makalelere örnek olarak verilebilir. Ancak, bazen kaybolan bu makalelerden bazıları, ilk yayımlandıkları yıllardan çok daha sonra yeniden keşfedilebilir(Chen, 2016).

Bilimin en yaygın olarak bilinen teorisi, Thomas Kuhn'un "Bilimsel Devrimlerin Yapısı"dır. Thomas Kuhn'un bilimsel devrimlerin yapısı teorisine göre bilim, istikrarlı ve kazanılmış bilgilerin toplamı değildir. Kuhn, bilimin süreklilik göstermediğini iddia eder. Öyle ki bilimsel süreç zaman içerisinde gerçekleşen devrimlerle kesintiye uğramaktadır. Bilim, bu devrimleri bilimsel temellere ters düştüğü gerekçesiyle başlangıçta kabul etmek istememektedir. Ancak devrimler öyle bir hale bürünür ki bilim de bu devrimleri kabul etmek zorunda kalır. Daha önce radikal olarak anılan devrimler önce normal bilim haline ve daha sonra bilim adamları tarafından ortaklaşa kabul gören olgulara dönüşür (Kuhn, 1962). Kuhn'un teorisi, bilimsel devrimlerin bilimin çok önemli bir parçası olduğunu öne sürmektedir. Paradigma kayması kavramı neredeyse tüm bilimsel disiplinlerde yaygın olarak bilinmektedir. Kuhn'un teorisi, ortak atıf ağlarındaki zamsal modellerin incelenmesi yoluyla paradigma değişimlerini tespit etme ve izleme konusunda derin bir ilgi uyandırmıştır(Chen, 2016).

Bilim alanı görselleştirmesinin birincil amacı, bir bilim alanının gelişimini izlemek ve tespit etmektir. Aşamalı bilim alanı görselleştirmesi özellikle bir alanın ilerlemesinde klasik ve geçici yayınların katkı düzeylerini tanımlamak için kullanılabilir teknikleri içerir. Bilimsel bir alanın pek çok yönü, bilimsel bir ağ şeklinde temsil edilebilir. Bilimsel işbirliği ağları, ortak yazarlığın sosyal ağları, atıf ağları, ortak atıf ağları bunlardan bazılarıdır. Bilimsel ağlar zaman içerisinde sürekli olarak değişkenlik gösterir. Bazı değişkenlikler orta düzede iken bazıları da ani ve hızlı olabilir. Bu tür değişkenliklerin sonuçlarını anlamak, bilimsel bir alanda çalışan herkes için önemlidir. Görselleştirilmiş bir ortak atıf ağında dönüm noktası düğümleri(Landmark node), merkez düğümleri(Hub node) ve pivot düğümleri(Pivot node) bulunur. Bu düğümler, bir bilim alanına dair literatürde yer alan önemli makalelerin aranmasını basitleştirmeye yardım-



Şekil 1. Görsel Ağ Düğümleri (Chen, 2004)

cı olur. Görselleştirilmiş ortak atıf ağında yer alan düğümler aşağıdaki şekilde görülmektedir(Chen, 2004):

Dönüm noktası düğümü(Landmark node) çokça alıntılanan ve ait olduğu bilgi alanına önemli katkıları bulunan makaleleri kapsar. Merkez düğüm(Hub node), nispeten önemli katkıları bulunan makalelerin yer aldığı düğümdür. Merkez düğümde yer alan makaleler ait oldukları bilimsel alana önemli entelektüel katkılar sunma potansiyelinde olan çalışmalardır. Pivot düğümler(Pivot node) farklı ağlar arasındaki bağlantı noktalarıdır. Pivot düğümler iki ağ tarafından paylaşılan ortak düğümler veya ağ bağlantıları sağlayan ağ geçidi düğümleridir. Pivot düğümlerin görselleştirilmiş bir ağda önemli işlevleri bulunur(Chen, 2004).

Atıf indeksi, yazarların makalelerinde yaptıkları atıfları izleme fikrine dayanır. Atıf indekslemenin öncüsü olan Eugene Garfield(1955), bilimsel atıf indeksi oluşturmaya yönelik asıl amacının insanların literatürde daha ilgili makaleler bulmalarına yardımcı olmak olduğunu vurgulamaktadır(Garfield, 1955). Bilimsel eserlerin analizinde atıf patlaması(citation bursts) modeli için g-indeksi'nden yararlanılmıştır. q-indeksi, 2006 yılında Egghe tarafından geliştirilmiş bir ortak atıf indeksidir. q-indeksi, h-indeksi'nin geliştirilmiş halidir(Egghe, 2006). h-indeksi, bilim insanlarının yayın sayısını ve yayınlarının performansını ölçmektedir. Bir bilim insanının h adet makalesinin her biri en az h kadar atıf almışsa ve diğer makaleleri en fazla h sayıda atıf almışsa bu bilim insanının indeks değeri h olarak ifade edilebilir(Hirsch, 2005). h-indeksi çok boyutlu bir bibliyometrik yapıyı tek bir değere indirgediğinden dolayı bibliyometrik analizlerde q-indeksi kullanılmaktadır(Chen, 2016). q-indeksi'nde yazar performansları yüksek atıf

almış çalışmalara göre hesaplanır. q-indeksi, en iyi makalelerin atıf puanlarını h-indeksi'ne göre daha fazla dikkate aldığı için bilim insanlarının görünürlüklerini artırmaktadır(Egghe, 2006). q-indeksi aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanmaktadır:

$$q^2 \leq k \sum_{i \leq g} C_i, k \in Z^+ \quad (1)$$

Çalışmada öncelikle makine imalat teknolojileri alanındaki akademik çalışmaların entelektüel yapısı aşağıdaki sorular kapsamında görselleştirilmiştir. Çalışmanın ilerleyen bölümlerinde ise çalışmanın amacına uygun olarak eklemeli imalat alanındaki entelektüel yapı analiz edilmiştir:

- Makine imalat teknolojileri literatürüne yön veren dönüm noktası çalışmalar hangileridir?
- Makine imalat teknolojileri literatüründe en çok çalışılan konular nelerdir?
- Makine imalat teknolojileri literatüründe atıf patlaması olan yazarlar kimlerdir?
- Makine imalat teknolojileri literatüründe atıf patlaması olan ülkeler hangileridir?
- Makine imalat teknolojileri literatüründe atıf patlaması olan anahtar kelimeler hangileridir?
- Makine imalat teknolojileri literatüründe majör kümeler hangileridir?
- Makine imalat teknolojileri literatüründe güncel çalışma konuları nelerdir?
- Makine imalat teknolojileri literatüründe ana atıf makaleleri hangileridir?

3.1 Atıf Patlaması(Citation Bursts) Yazar Modeli

1981-2022 arasındaki yıllara ait makine imalat teknolojileri WoS bibliyografik veri setine göre oluşturulan en fazla atıf alan yazarlara ilişkin ağ haritası ile yayınlarına atıf patlaması olan yazarlara ilişkin şekil ve tablo aşağıda yer almaktadır:

Şekil 2'de son 41(1981-2022) yılda gerçekleştirilen makine imalat teknolojileri alanına ait yayınların yazarlarına ilişkin ortak atıf ağ haritası görülmektedir. Bilimsel haritada toplam 974 atıf ve 3458 ortak atıf ağı yer almaktadır. Makine imalat teknolojileri alanına yön veren dönüm noktası klasik (Landmark node) yayınlar, Kusiak(1987) ve Chandrasekharan&Rajagopalan(1989)'a ait yayınlardır. Dönüm noktası düğümü olarak da ifade edilebilen bu yayınlar, çok fazla alınılma sayısına sahip olmaları nedeniyle alana yön veren yayınlar olarak kabul edilmektedir. Bu alanda en yüksek atıf sayısına sahip yazarlar sırasıyla Kuisak



Şekil 2. En Fazla Atıf Alan Yazarlara İlişkin Ağ Haritası

LRF=3,0; LBY=41; e=2,0; g-indeks k=30; Network=974; E=3458 (CiteSpace, 2022).

A.(33 atıf), Chandrasekharan M.P ve Rajagopalan R.(31 atıf), King J.R.(29 atıf), Seifoddini, H.(27 atıf) ve Mcauley, J.(25 atıf)'dir. Aşağıdaki tabloda Kusiak'ın 1987 yılında yayımlanmış olduğu makalesine yapılan atıf ve ortak atıf bilgileri yer almaktadır:

Tablo 1. Ortak Atıflar (Kusiak, 1987)* (CiteSpace, 2022)

Atıf Sayısı	Atıf Alan Makale
116	HERAGUSS, 1994, IEEE T SYM AN CYB, V24 P203 DOI 10.1109/21.281420
67	CHENG CH, 1998, INT J PROD RES, V36, P1325, DOI 10.1080/002075498193345
51	MORGAN J, 2021, J MANUF SYST, V59 P481, DOI 10.1016/j.jmsy.2021.03.001
45	CHEN WH, 1994, EUR J OPER RES, V75, P100, DOI 10.1016/0377-2217(94)90188-0
31	HSU CM, 1998, PROD PLAN CONTROL, V9, P155, DOI 10.1080/095372898234370
27	CHENG CH, 1992, OMEGA-INT-J MANAGE S, V20, P493, DOI 10.1016/0305-0483(92)90023-Z
27	CHOW WS, 1992, COMPUT IND ENG, V22, P95, DOI 10.1016/0360-8352(92)90036-J
21	Ng SM, 1996, OPER RES, V44, P735, DOI 10.1287/opre.44.5.735
20	Alhourani F, 2013, COMPUT IND ENG, V66, P781, DOI 10.1016/j.cie.2013.09.002
19	LEE H, 1992, J INTELL MANUF, V3, P325, DOI 10.1007/BF01577273
19	KAMRANI AK, 1993, COMPUT IND ENG, V25, P487, DOI 10.1016/0360-8352(93)90326-S
13	LEEM CW, 1996, J INTELL MANUF, V7, P355, DOI 10.1007/BF00 123911
12	MOHAMED ZM, 1996, EUR J OPER RES, V95, P566, DOI 10.1016/S0377-2217(96)00311-6
11	KAMRANI AK, 1993, COMPUT IND ENG, V24, P431, DOI 10.1016/0360-8352(93)90039-Z
9	CHENG CH, 1995, INT J OPER PROD MAN, V15, P86, DOI 10.1108/01443579510104538
9	LAHA D, 2017, MATER TODAY-PROC, V4, P1442
8	TABOUN SM, 1991, COMPUT IND ENG, V20, P343, DOI 10.1016/0360-8352(91)90006-R
7	ESCOTO RP, 1998, PROD PLAN CONTROL, V9, P267, DOI 10.1080/095372898234244
6	CHENG CH, 1995, INT J OPER PROD MAN, V15, P41, DOI 10.1108/01443579510090327
5	BIAN S, 2021, J MANUF SYST, V61, P66, DOI 10.1016/j.jmsy.2021.08.009
5	KAMRANI AK, 1994, PROD PLAN CONTROL, V5, P450, DOI 10.1080/09537289408919517
5	CHENG CH, 1996, J OPER RES SOC, V47, P1468, DOI 10.1057/palgrave.jors.0471205

5	GANESH MV, 1994, COMPUT IND ENG, V26, P193, DOI 10.1016/0360-8352(94)90037-X
5	HERTZ A, 1994, DISCRETE APPL MATH, V50 P255, DOI 10.1016/0166-218X(92)00173-J
4	ZHANG Y, 2013, METHODS IN PRODUCT DESIGN:NEW STRATEGIES IN REENGINEERING
4	GU PH, 1991, COMPUT IND, V17, P9, DOI 10.1016/0166-3615(91)90099-U
4	SRIVASTAVA B, 1995, INT J COMP INTEG M, V8, P255, DOI 10.1080/09511929508944652
2	STRYCZEK R, 2017, GRAPH-BASED MDL IN ENG, V42, P143, DOI 10.1007/978-3-319-39020-8_11
1	HAZARIKA M, 2022, INT J SYST ASSUR ENG, VO, PO, DOI 10.1007/s13198-021-01615-9
1	ANG DS, 1998, IND MANAGE DATA SYST, V98, P3, DOI 10.1108/02635579810199681
1	CHOI KH, 1998, KSME INT J, V12, P181, DOI 10.1007/BF02947162

* Kusiak, A.(1987). The generalized group technology concept. International Journal of Production Research, 25, 561-569.

Tablo 1 incelendiğinde Kusiak'ın 1987 yılında makine imalat teknolojileri alanında gerçekleştirmiş olduğu grup teknolojisi konulu makalesine 1992-2022 yılları arasında toplam 33 atıf ve 549 ortak atıf yapıldığı görülmektedir. Andrew Kusiak, 2019 yılına kadar Manitoba Üniversitesi Makine ve Endüstri Mühendisliği bölümü öğretim üyesi olarak görev yapmış olup 2019 yılından bu yana Iowa Üniversitesi Endüstri ve Sistem Mühendisliği Bölümü öğretim üyesidir. Makalesi günümüzde de atıf olarak güncelliğini halen korumaktadır. Kusiak(1987)'in yayını bilimsel alana yön veren klasik ve köklü bir makaledir. Klasik makaleler, bilimsel literatürde yüksek görünürlüğe sahip makalelerdir ve ait oldukları alana yön verici düzeyde katkıda bulunurlar. Aşağıdaki tabloda 1981-2022 dönemine ait makine imalat teknolojileri alanında yayın yapan yazarların atıf patlaması dönemlerine ilişkin tablo yer almaktadır:

Tablo 2 yazarların yayınlarına ait atıf patlaması dönemlerini göstermektedir. Atıf patlaması yazarların yayınlarına yapılan ortak atıf sayısının en yüksek olduğu yılları ifade etmektedir. Bu yıllar tabloda kırmızı çizgi ile gösterilmektedir. Atıf patlaması düzeyi en yüksek ilk üç yazarın King, J.R.(1982/8,03), Kusiak, A.(1987/7,52) ve Tao, F.(2018) olduğu söylenebilir. Kusiak'ın 1987 tarihli makalesinin 2022 yılında da atıf almaya devam ettiği görülmektedir. Aşağıdaki bölümde makine imalat teknolojileri alanındaki ortak atıf yayınlarında kullanılan anahtar kelimelere ilişkin bilgiler yer almaktadır.

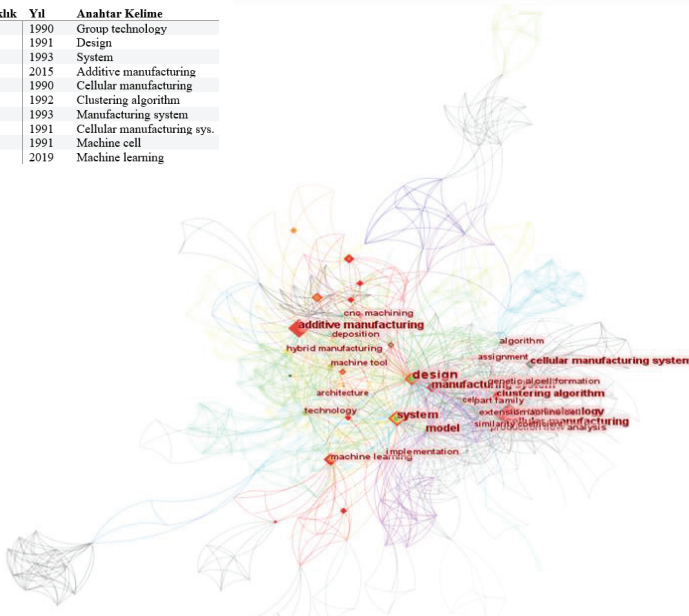
Tablo 2. Yazarların Atıf Patlaması Dönemleri(1981-2002)(CiteSpace, 2022)

Authors	Year	Strength	Begin	End	1981 - 2022
KING JR	1982	8.03	1991	1998	
KUSIAK A	1987	7.52	1991	1998	
TAO F	2018	6.67	2019	2022	
MCAULEY J	1972	5.71	1991	1998	
MCCORMICK WT	1972	5.71	1994	1996	
CHANDRASEKHARAN MP	1989	5.61	1994	2008	
WEI JC	1990	5.19	1992	2000	
SEIFODDINI H	1986	5.1	1991	1998	
LIL	2018	4.97	2020	2022	
CHAN HM	1982	4.72	1991	2002	
GUNASINGH KR	1989	4.7	1992	1995	
BALLAKUR A	1987	4.32	1992	1996	
KUSIAK A.	1986	4.28	1992	1996	
WEMMERLOV U	1989	4.06	1993	1996	
SELIM HM	1998	3.95	2000	2005	
KUMAR KR	1983	3.79	1994	2000	

3.2 Anahtar Kelime Ağ Analizi

Makine imalat teknolojileri alanında 1981-2022 yılları arasındaki ortak atıf yayınlarında kullanılan anahtar kelimelere ilişkin ağ haritası aşağıdaki şekilde yer almaktadır.

Sıklık	Yıl	Anahtar Kelime
36	1990	Group technology
24	1991	Design
19	1993	System
17	2015	Additive manufacturing
17	1990	Cellular manufacturing
17	1992	Clustering algorithm
16	1993	Manufacturing system
13	1991	Cellular manufacturing sys.
9	1991	Machine cell
9	2019	Machine learning



Şekil 3. Anahtar Kelime Ağ Haritası

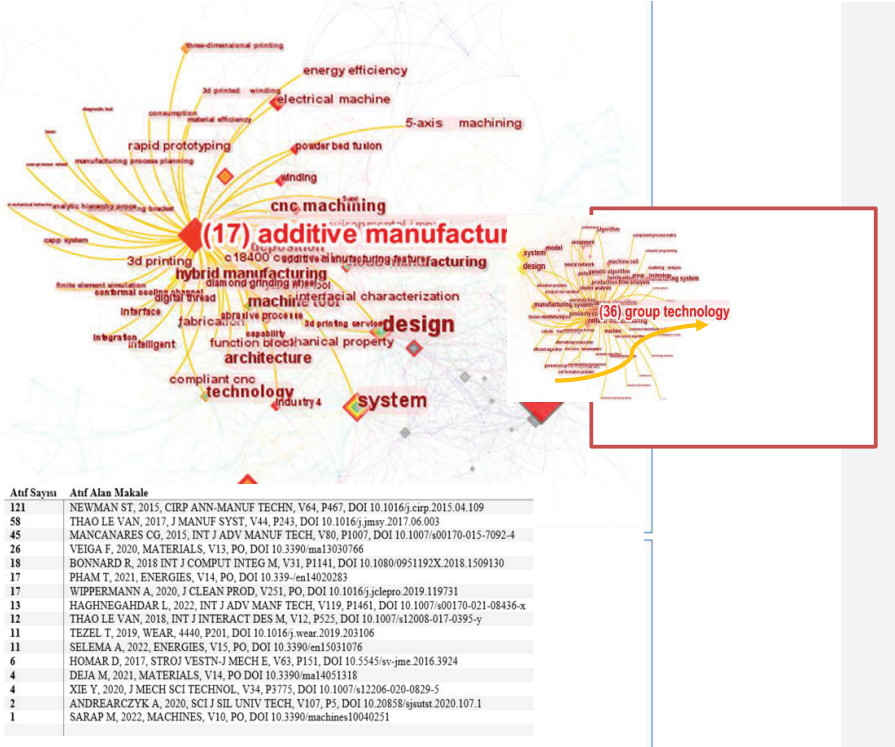
LRF=3,0; LBY=41; e=2,0; g-indeks k=30; Network=476; E=1740 (CiteSpace, 2022)

Bilimsel ağ haritasında 476 ağ ve ortak atıflarda kullanılan 1740 anahtar kelime bulunmaktadır. Anahtar kelimeler arasında grup teknolojisi, kümeleme algoritması ve eklemeli imalat ortak atıf alan yayınlarda en sık kullanılan üç anahtar kelimedir. Aşağıdaki tabloda makine imalat teknolojileri alanındaki ortak atıf yayınlarının atıf patlaması dönemlerinde en sık kullanılan anahtar kelimelere dair veriler yer almaktadır:

Tablo 3. Anahtar Kelime Frekans Değerleri(1981-2022)(CiteSpace, 2022)

Keywords	Year	Strength	Begin	End	1981 - 2022
group technology	1990	7.33	1990	2005	
clustering algorithm	1992	3.97	1992	2004	
additive manufacturing	2015	5.13	2015	2022	

Tablo 3 incelendiğinde makine imalat teknolojileri alanında 90'lı yıllarda en sık kullanılan grup teknolojisi ile kümeleme algoritması kavramlarının 1990-2005 yılları arasında ortak atıf alan yayınlarda çok sık kullanıldığı söylenebilir. 2015 yılı itibariyle makine imalat teknolojileri literatürüne giren eklemeli imalat kav-



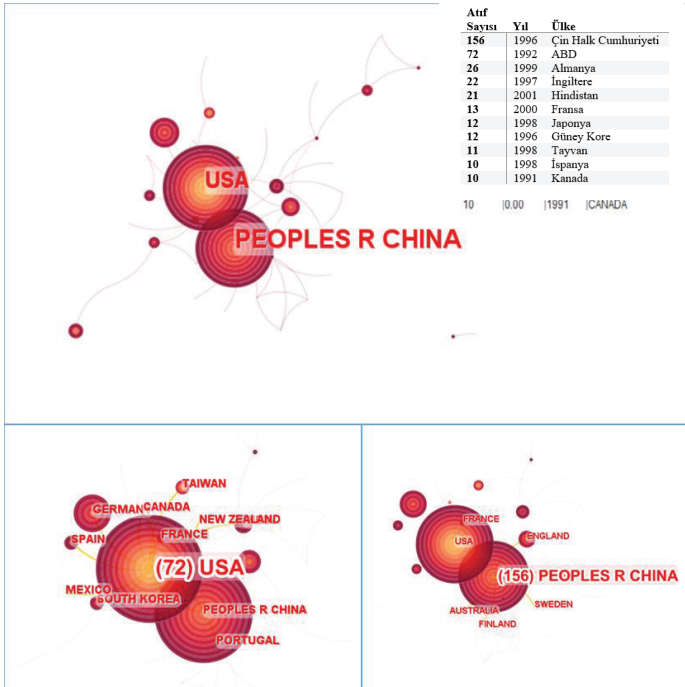
Şekil 4. Eklemeli İmalat Ağ Haritası (CiteSpace, 2022)

ramının ise 2015-2022 yılları arasında gerçekleştirilen ortak atıf alan yayınlarda çok sık kullanıldığı ifade edilebilir. Grup teknolojisi ve kümeleme algoritması kavramlarının 2005 yılı itibariyle güncelliğini yitirmeye başladığı, günümüzde ise teknolojik gelişmelere bağlı olarak üç boyutlu yazıcılarla birlikte eklemeli imalat kavramının makine imalat teknolojileri akademik literatüründe yükselen bir trende sahip olduğu ifade edilebilir. Aşağıdaki şekilde eklemeli imalat anahtar kelimesine ilişkin ağ haritası yer almaktadır.

Şekil 4 incelendiğinde, eklemeli imalat anahtar kelimesinin 2015-2022 dönemine ait 17 yayına yapılan ortak atıf yayınlarında toplam 366 kez kullanıldığı söylenebilir. Eklemeli imalatın birlikte kullanıldığı anahtar kelimeler arasında hibrit üretim, 3D yazıcı, hızlı prototip, endüstri 4.0, enerji etkinliği, dijital iplik, arayüz, üç boyutlu yazıcı hizmeti, eklemeli imalat özellikleri vb. kavramlar yer almaktadır. Aşağıdaki bölümde makine imalat teknolojileri alanında en çok yayın yapan ve ortak atıf yayınlara sahip ülkelere ilişkin ayrıntılı analizler yer almaktadır.

3.3 Atıf Patlaması Ülke Modeli

Makine imalat teknolojileri alanında 1981-2022 yılları arasında en çok yayın yapan ve yayınlarına atıf patlaması bulunan ülkelerin bilimsel ağ haritası aşağıdaki şekilde yer almaktadır:



Şekil 5. Ortak Atıf Ülke Ağ Haritası

LRF=3,0; LBY=41; e=2,0; g-indeks k=30; Network=63; E=58

Şekil 5'te yer alan ülke bazlı bilimsel ağ haritasına göre, makine imalat teknolojileri alanında yayınlarına atıf alan 63 ülke bulunmaktadır. Bu ülkeler arasında 58 ülkenin yayınları ortak atıf almıştır. Ortak atıf sayısı en yüksek iki ülke ABD ve Çin Halk Cumhuriyetidir. ABD'de makine imalat teknolojileri alanında yayımlanan 72 yayın toplam 1990 ortak atıf almıştır. ABD'deki yazarlar tarafından üretilen yayınların ortak atıflarının bulunduğu ülkeler arasında Almanya, Meksika, Güney Kore, İspanya, Portekiz, Çin Halk Cumhuriyeti, Yeni Zellanda, Fransa, Tayvan ve Kanada yer almaktadır. Çin Halk Cumhuriyeti'ndeki yazarlar tarafından üretilen 156 yayın ise toplam 557 ortak atıf almıştır. Çin Halk Cumhuriyetinde yayımlanan yayınların ortak atıflarının bulunduğu ülkeler arasında, ABD, Finlandiya, İsveç, İngiltere, Fransa ve Avustralya bulunmaktadır. Makine imalat teknolojileri alanında dünyada yayın sayısı açısından Çin Halk Cumhuriyeti'nin, yayın performansı açısından ise ABD'nin göreceli üstünlüğe sahip ülkeler oldukları söylenebilir. Aşağıdaki tabloda ülke bazında makine imalat teknolojisi alanında üretilen yayınların atıf patlaması dönemlerine dair veriler yer almaktadır:

Tablo 4: Ülke Bazında Atıf Patlaması Dönemleri(1981-2022)(CiteSpace, 2022)

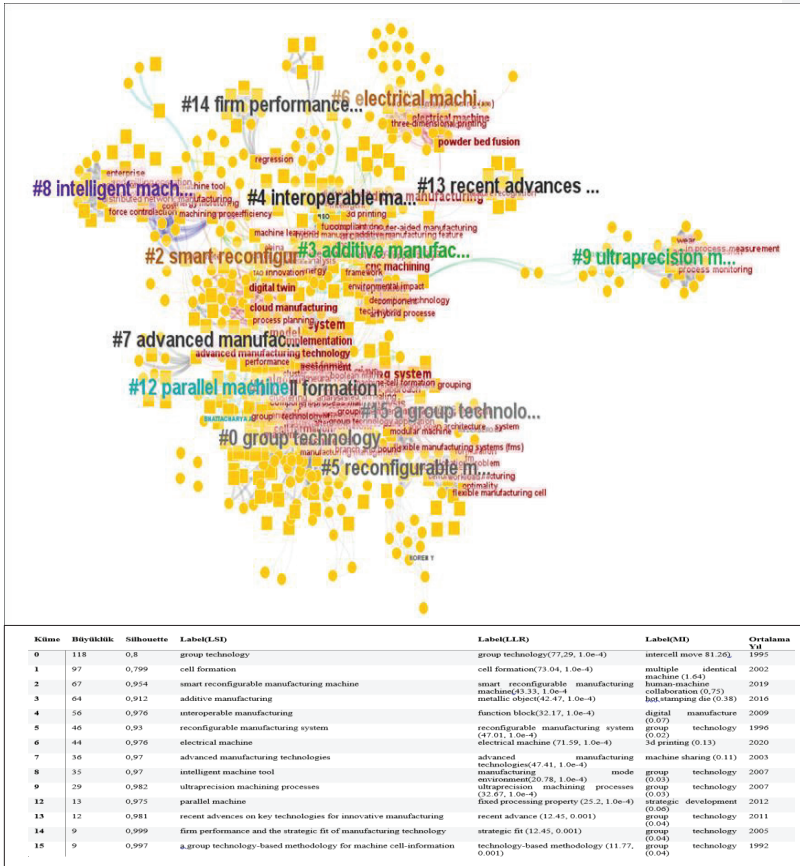
Countries	Year	Strength	Begin	End	1981 - 2022
USA	1992	16.3	1992	2000	
PEOPLES R CHINA	1996	14.5	2009	2014	
CANADA	1991	4.57	1991	2006	

Tablo 4'ün verilerine göre, makine imalat teknolojileri alanındaki yayınlarına dair ortak atıf patlaması en yüksek ülke ABD'dir. WoS bibliyografik veri setine göre ABD'de makine imalat teknolojileri alanında ilk bilimsel eserler 1992 yılında üretilmiş olup aynı yıl ortak atıf almaya başlanmıştır. Bu yayınlar Mitsuishi, M., Nagao, T., Hatamura, Y., Kramer, B. ve Warisawa, S. tarafından Human Aspects in Computer Integrated Manufacturing dergisinde 24-26 Haziran 1992 yılında yayımlanan "A Manufacturing System for the Global Age" başlıklı çalışma ile Kamrani, A.K. ve Parsaei, H.R. tarafından Computers&Industrial Engineering dergisinde 1992 yılında yayımlanan "A Methodology of Forming Manufacturing Cells Using Manufacturing and Design Attributes" başlıklı çalışmadır. Bu çalışmalarla birlikte 1992-2022 yılları arasında ABD'de makine imalat teknolojileri alanında üretilen toplam 72 çalışma 1990 adet ortak atıf almış olup en yüksek atıf patlaması 1992-2000 yılları arasında yaşanmıştır. Çin Halk Cumhuriyetinde ise makine imalat teknolojileri alanında WoS bibliyografik veri setine göre ilk yayın 1996 yılında üretilmiştir. Ancak ortak atıf 2009 yılında alınmaya başlanmıştır. Çin Halk Cumhuriyetinde makine imalat teknolojileri alanında üretilen ilk yayın Gibson, I. tarafından Rapid Prototyping Journal dergisinde 1 Haziran 1996 yılında yayımlanan "A Discussion on the Concept of a Flexible Rapid Prototyping Cell" başlıklı çalışmadır. Çin Halk Cumhuriyeti'nde makine imalat teknolojileri

alanında 1996-2022 yılları arasında yayımlanan toplam 156 çalışma 557 adet ortak atıf almış olup bu yayınlara yapılan atıf patlaması 2009-2014 yılları arasında yaşanmıştır. Kanada’da ise WoS bibliyografik veri setine göre makine imalat teknolojileri alanında üretilen ilk yayın Gu, P. tarafından Computers in Industry dergisinde 1991 yılında yayımlanan “Process-Based Machine Grouping for Cellular Manufacturing Systems” başlıklı çalışmadır. Kanada’da 1991-2006 yılları arasında yayımlanan toplam 10 çalışmaya 99 ortak atıf yapılmış olup atıf patlaması da bu yıllar arasında yaşanmıştır. Aşağıdaki bölümde makine imalat teknolojisi literatüründeki akademik çalışmaların ortak atıf kümelerine ilişkin ağ analizi verileri yer almaktadır.

3.4 Atıf Patlaması Küme Analizi

Makine imalat teknolojileri alanında 1981-2022 yılları arasında gerçekleştirilen yayınların yazar ve anahtar kelime kapsamında bilimsel haritalama analizi



Şekil 6. En Yüksek Ortak Atıf Alan Kümeler

LRF=3,0; LBY=41; e=2,0; g- indeksi k=30; Network=945; E=3842 (CiteSpace, 2022)

gerçekleştirilmiş olup, ortak atıf kümelerine ait ağ haritası aşağıdaki şekilde yer almaktadır.

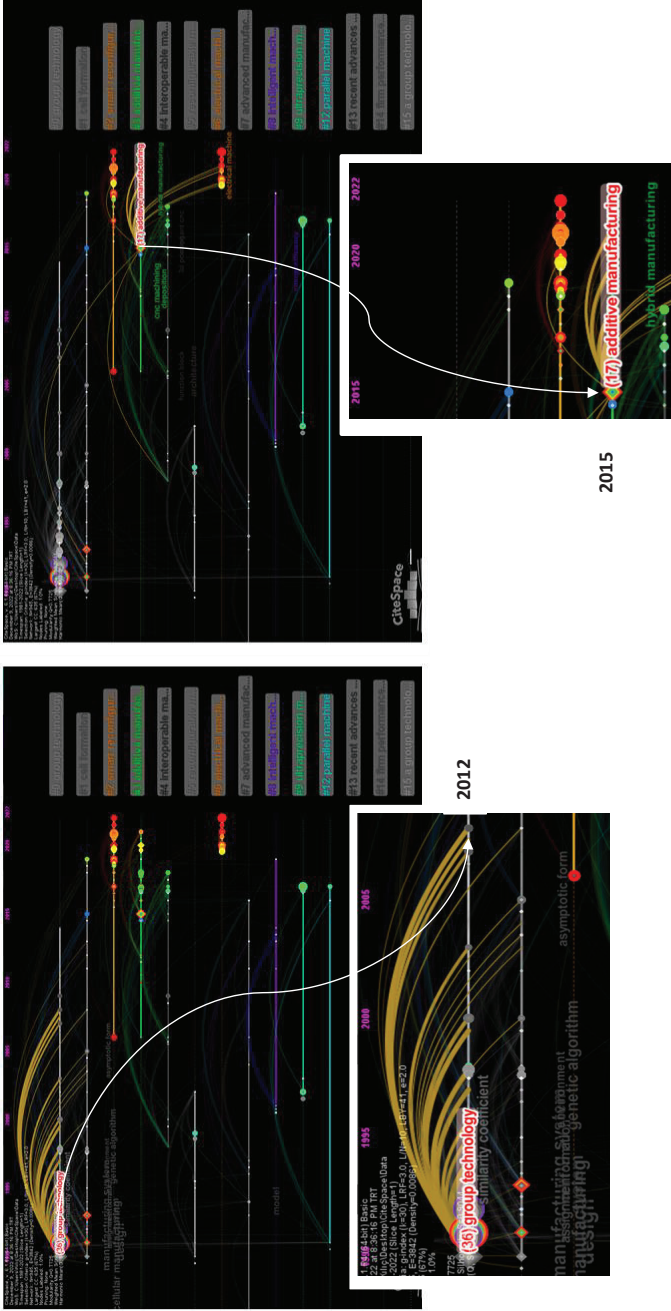
Şekil 6’da kümeleme analizi sonucunda en yüksek ortak atıf sayısına sahip 15 küme olduğu belirlenmiştir. Bilimsel ağ haritasında 945 atıf ağı ve 3842 ortak atıf ağı bulunmaktadır. “#0 grup teknolojisi” kümesinde, ortak atıf alan 118 yayın yer almaktadır. Kümenin Sihhouette indeksi %80’dir. Bu durumda #0 grup teknolojisi kümesinde yer alan verilerin birbirine yakınlıklarının iyi olduğu ve kümeleme başarısının yüksek olduğu ifade edilebilir. Kümenin ortalama atıf yılı 1995’dir. Kümede ortak atıf alan yayınlarda en sık kullanılan ortak kavram “hücrelerarası hareket”tir. Kümenin ortak atıf yayınlarında en sık kullanılan anahtar kelimesi “grup teknolojisi”(36 adet yayında)ve en çok atıf yapılan kaynakları Kusiak, A(1987) ve Chandrasekharan ve Rajagopalan(1989)’a ait makalelerdir. Kümenin ana atıf makalesi “Heragu, S.S. (1994) Group technology and cellular manufacturing. IEEE TRANSACTIONS ON SYSTEMS MAN AND CYBERNETICS, V24, P13 DOI 10.1109/21.281420”dir.

İkinci en büyük küme “#1 hücre oluşumu” kümesidir. Kümede ortak atıf alan 97 adet çalışma bulunmaktadır. Kümenin Sihhouette indeksi %79,9’dur. Kümenin ortalama atıf yılı 2002’dir. Dolayısıyla kümede yer alan yayınların ortalama 2002 yılı itibarıyla atıf almaya başladığı ifade edilebilir. Kümede ortak atıf alan yayınlarda en sık kullanılan ortak kavram “çoklu özdeş makine”dir. Ana atıf makalesi “Caux, C. (2000) Cell formation with alternative process plans and machine capacity constraints: a new combined approach. INTERNATIONAL JOURNAL OF PRODUCTION ECONOMICS DOI 10.1016/S0925-5273(99)00065-1”dir. Kümenin ortak atıf yayınlarında en sık kullanılan anahtar kelimeleri “tasarım” (23 adet yayında), “sistem”(17 adet yayında) ve “hücreli imalat”(17 adet yayında)’tır. Üçüncü en büyük küme “#2 akıllı yeniden yapılandırılabilir imalat makinesi” kümesidir. Kümede ortak atıf alan 67 çalışma bulunmaktadır. Kümenin Sihhouette indeksi %95,4’tür. Kümenin ortalama atıf yılı 2019’dur. Kümede ortak atıf alan yayınlarda en sık kullanılan ortak kavram “insan-makine işbirliği”dir. Kümenin ana atıf makalesi “Morgan, J (2021) Industry 4.0 smart reconfigurable manufacturing machines. JOURNAL OF MANUFACTURING SYSTEMS, V59, P26 DOI 10.1016/j.jmsy.2021.03.001”dir. Kümenin ortak atıf yayınlarında en sık kullanılan anahtar kelimesi “makine öğrenmesi”(9 adet yayında), en çok atıf yapılan kaynakları Tao, F.(2018) ve Lee, J.(2015)’dir. Dördüncü en büyük küme “#3 eklemeli imalat” kümesidir. Kümede ortak atıf alan 64 çalışma bulunmaktadır. Kümenin Sihhouette indeksi %91,2’dir. Kümenin ortalama atıf yılı 2016’dır. Kümede ortak atıf alan yayınlarda en sık kullanılan anahtar kelime “sıcak presleme kalıbı”dır. Kümenin ana atıf makalesi “Bonnard, R (2018) Step-nc digital thread for additive manufacturing: data model, implementation and validation. INTERNATIONAL JOURNAL OF COMPUTER INTEGRATED MANUFACTURING, V31, P20

DOI 10.1080/0951192X.2018.1509130”dir. Kümenin ortak atıf yayınlarında en sık kullanılan anahtar kelimeleri “eklemeli imalat”(17 adet yayında), “teknoloji”(7 adet yayında)’dir.

Makine imalat teknolojileri alanında yapılan yayınlarda 2015 yılı dönüm noktası olmuştur. Eklemeli imalat konusunda Newman, S.T., Zhu, Z., Dhokia, V. ve Shokrani A. tarafından 2015 yılında CIRP Annals-Manufacturing Technology dergisinde yayımlanan “Process planning for additive and subtractive manufacturing technologies” başlıklı makalenin 2016 yılı itibariyle ortak atıf almaya başlamasıyla birlikte makine imalat teknolojileri alanında insan-makine işbirliği, makine öğrenmesi, yeniden yapılandırılabilir imalat makinesi, üç boyutlu yazıcı, dijital ipilik, hibrit üretim, hızlı protipleme, vb. kavramlar literatüre girmeye başlamıştır. Yaklaşık 2020 yılı itibariyle üç boyutlu yazıcı kavramı makine imalat teknolojileri alanında yapılan yayınlarda daha sık kullanılmaya başlanmıştır. Öyle ki “#6 elektrikli makine” kümesinde yer alan “Szabo, L. (2022) The key role of 3d printing technologies in the further development of electrical machines. MACHINES DOI 10.3390/machines10050330” yayın, en fazla atıf alan makaledir. Makalede, elektrikli makinelerin gelişmesinde üç boyutlu yazıcıların rolü tartışılmaktadır. Bu kümenin en fazla atıf yapılan kaynakları Li, L.(2018)(10 adet yayında), Simpson, N.(2018)(7 adet yayında), Garibaldi, M.(2016)(6 adet yayında) olarak ifade edilebilir.

WoS bibliyografik veri tabanından elde edilen 1981-2022 yılı veri seti analiz edildiğinde 2015 yılı itibariyle makine imalat teknolojileri alanında eklemeli imalat teknolojisinin yükselen trend izlediği söylenebilir. Aşağıdaki bölümde makine imalat teknolojileri literatüründe temel kavramların gelişim dönemlerine ilişkin zaman çizelgesi grafiği yer almaktadır.

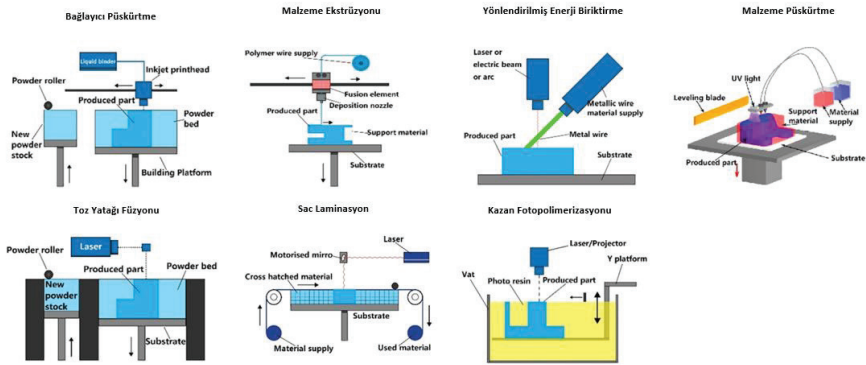


Şekil 8. Grup Teknolojisinden Ekleme İmalata Zaman Çizelgesi
 LRF=3,0; LBV=4,1; e=2,0; g-indeks k=30; Networkk=945; E=3842 (CiteSpace, 2022)

Makine imalat teknolojileri literatüründe 90'lı yıllarda hakim olan grup teknolojisi kavramı 2012 yılı itibarıyla önemini yitirmeye başlamış ardından üç boyutlu yazıcıların gelişmesiyle birlikte eklemeli imalat, makine imalat teknolojileri literatüründe yükselen bir eğilim göstermeye başlamıştır. Aşağıdaki bölümde makine imalat teknolojileri literatüründe eklemeli imalat kavramının akademik gelişim süreci incelenmektedir.

3.5 Eklemeli İmalat

Eklemeli imalat, birçok endüstri için geleceğin üretim teknolojisi olarak ifade edilmektedir. Eklemeli imalat üç boyutlu yazıcılarla birlikte karmaşık fonksiyonların kolay entegrasyonunun sağlanmasına imkan tanımakta, pahalı takım tezgahlarına ihtiyaç duyulmadan karmaşık veya kişiselleştirilmiş bileşenlerin hızlıca üretilmesini sağlamaktadır. Katmanlı imalat olarak da ifade edilen eklemeli imalat, katmanların birbiri üzerine dizilmesiyle istenilen bir şeklin üretilbildiği bir teknolojidir (Qin ve diğ., 2022). Aşağıdaki şekilde yedi farklı eklemeli imalat süreci ve unsurları yer almaktadır:



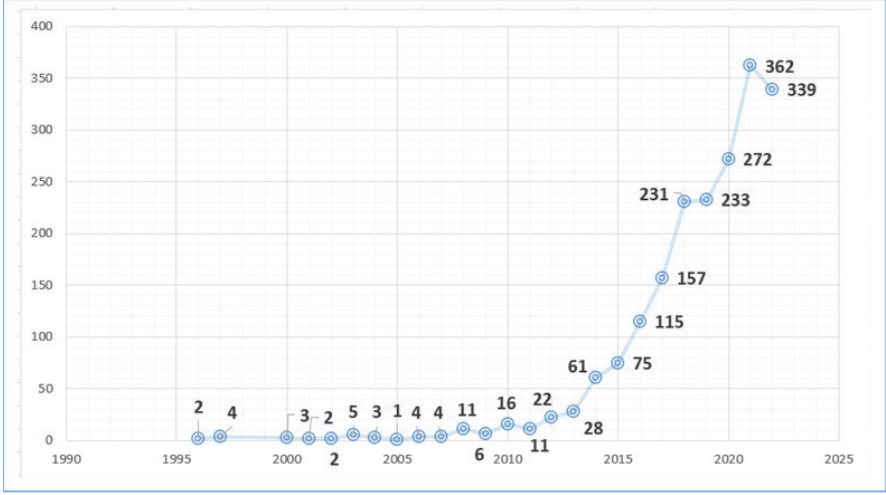
Şekil 9. Eklemeli İmalat Süreci (Qin ve diğ., 2022)

Şekil 9’da eklemeli imalatın yedi farklı üretim süreci yer almaktadır. Bağılayıcı Püskürtme, Yönlendirilmiş Enerji Biriktirme, Malzeme Ekstrüzyonu, Malzeme Püskürtme, Toz Yatağı Füzyonu, Sac Laminasyonu ve Kazan Fotopolimerizasyonu olmak üzere bu yedi farklı sürecin her biri kendine has üretim özelliklerine sahiptir (Quan ve diğ., 2015). Geçen yirmi yılda eklemeli imalat alanında önemli teknolojik gelişmeler yaşanmıştır. Eklemeli imalat teknolojisine uygun malzeme ve uygulamalar konusunda her geçen gün yeni gelişmelerin yaşanması, uygun malzeme çeşitliliğini ve bu sayede eklemeli imalatın tüm sektörlerde uygulanmasını mümkün hale getirebilecektir (Yang, Li, Pan ve Sun, 2017). Eklemeli imalat konusu özellikle makine imalat teknolojileri alanında sahip olduğu avantajları nedeniyle dikkat çekmiş ve pek çok akademik çalışmaya konu olmuştur. Aşağıdaki bölümde makine imalat teknolojileri literatüründe eklemeli imalat konusundaki çalışmalara ilişkin ayrıntılı analizler yer almaktadır.

3.5.1 Eklemeli İmalat WoS İstatistikleri

WoS bibliyografik veri tabanında gelişmiş arama bölümüne “TS=machine AND

TS=manufacturing AND TS=Technologies AND TS=additive” anahtar kelimeleri yazılarak 30 Kasım 2022 tarihinde yapılan tarama sonucunda makine imalat teknolojileri alanında 1.976 adet bilimsel çalışmaya ulaşılmıştır. 1996-2022 yılları arasında üretilen bilimsel eserlerin 2021 yılında önceki yıllara göre artış gösterdiği söylenebilir. Makine imalat teknolojileri alanında üretilen eklemeli imalat konulu çalışmaların yıllara göre dağılım sayıları aşağıdaki şekilde yer almaktadır:

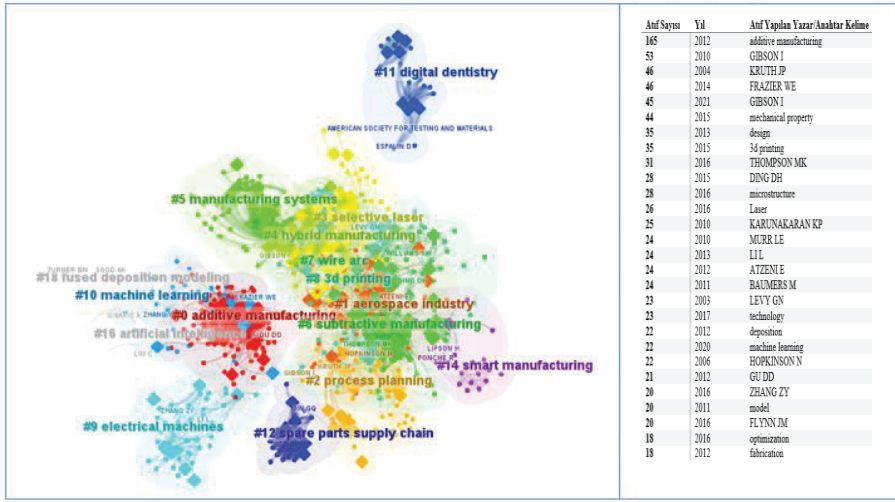


Şekil 10: Makine İmalat Teknolojileri Alanında Üretilen Bilimsel Eserler (WoS, 2022).

WoS bibliyografik veri tabanından elde edilen veri setine göre makine imalat teknolojileri alanında eklemeli imalat konusunda 10’dan fazla bilimsel eser üreten yazarlar Wicker, Ryan, B.(21 adet), Paris, Henri Modor(12 adet), Revilla-Leon, Marta(11 adet) ve Vaimann, Toomas(10 adet) olarak ifade edilebilir. Üretilen bilimsel eserlerin 1.222 tanesi araştırma makalesi, 162 tanesi inceleme makalesi ve 616 tanesi bildiri niteliğindedir. Diğer yayınlar arasında kitap bölümü, editöre mektup ve erken görünüm yayınları bulunmaktadır. Aşağıdaki bölümde makine imalat teknolojileri alanında üretilen eklemeli imalat konulu çalışmalara ilişkin bilimsel haritalama analizleri yer almaktadır.

3.5.2 Eklemeli İmalat Bilimsel Haritalama Analizleri

WoS bibliyografik veri setinde yer alan makine imalat teknolojileri literatüründeki eklemeli imalat konulu çalışmaların yazar ve anahtar kelime kapsamında CiteSpace bilimsel haritalama programında analizi gerçekleştirilmiş olup ayrıntılı bilgi aşağıdaki şekilde yer almaktadır:



Şekil 11. Eklemeli İmalat Bilimsel Ağ Haritası

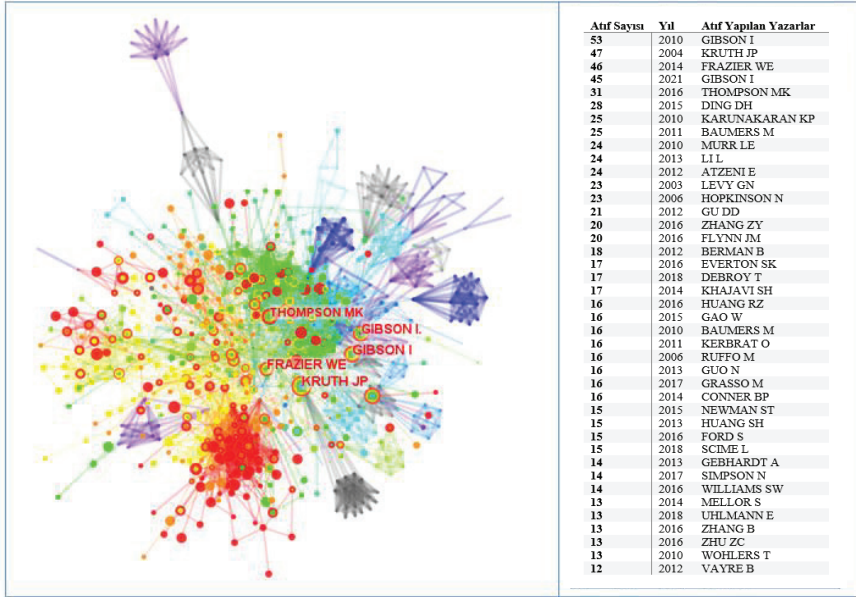
LRF=3,0; LBY=26; e=2,0; g-indeks k=57; Network=971; E=4491(CiteSpace, 2022)

Makine imalat teknolojileri literatüründe yer alan eklemeli imalat konulu bilimsel eserler atıf ve ortak atıf sayılarına göre 16 alt kümede sınıflandırılmıştır. Bilimsel ağ haritasında 971 atıf ve 4491 ortak atıf yer almaktadır. Çalışmaların yoğunlaştığı kümeler; #0 eklemeli imalat; #1 havacılık endüstrisi; #2 süreç planlama; #3 seçici lazer; #4 hibrit imalat; #5 imalat sistemleri; #6 çıkarmalı imalat; #7 geniş ark; #8 3D yazıcı; #9 elektrikli makineler; #10 makine öğrenmesi; #11 dijital diş hekimliği; #12 yedek parça tedarik zinciri; #14 akıllı imalat; #16 yapay zeka; #18 fused deposition modelling-FDM'dir. FDM, üç boyutlu baskı teknolojileri içerisinde ölçüsel doğruluğu ve tekrarlanabilirliğiyle stabil parçalar oluşturmak için kullanılan teknoloji olarak ifade edilebilir. Kümelerde en çok atıf yapılan anahtar kelime "eklemeli imalat"tır. Kümelerin en çok ortak atıfta bulunan makalelerine dair ayrıntılı bilgi aşağıda yer almaktadır:

- Qin, J (2022) Research and application of machine learning for additive manufacturing. ADDITIVE MANUFACTURING DOI 10.1016/j.addma.2022.102691.
- Pinkerton, AJ (2016) [invited] lasers in additive manufacturing. OPTICS AND LASER TECHNOLOGY DOI 10.1016/j.optlastec.2015.09.025.
- Thao, Le Van (2018) Extracting features for the manufacture of parts from existing components based on combining additive and subtractive technologies. INTERNATIONAL JOURNAL OF INTERACTIVE DESIGN AND MANUFACTURING - IJIDEM, V12, P12 DOI 10.1007/s12008-017-0395-y.
- Thao, Le Van (2018) The development of a strategy for direct part reuse using additive and subtractive manufacturing technologies. ADDITIVE MANUFACTURING, V22, P13 DOI 10.1016/j.addma.2018.06.026.

- Chong, L (2018) A review of digital manufacturing-based hybrid additive manufacturing processes. INTERNATIONAL JOURNAL OF ADVANCED MANUFACTURING TECHNOLOGY, V95, P20 DOI 10.1007/s00170-017-1345-3.
- Brajlili, T (2011) Speed and accuracy evaluation of additive manufacturing machines. RAPID PROTOTYPING JOURNAL, V17, P12 DOI 10.1108/13552541111098644.
- Norrish, J (2021) A review of wire arc additive manufacturing: development, principles, process physics, implementation, and current status. JOURNAL OF PHYSICS D-APPLIED PHYSICS DOI 10.1088/1361-6463/ac1e4a.
- Gargalis, L (2020) Additive manufacturing and testing of a soft magnetic rotor for a switched reluctance motor. IEEE ACCESS DOI 10.1109/ACCESS.2020.3037190.
- Ghilan, A (2020) Trends in 3d printing processes for biomedical field: opportunities and challenges. JOURNAL OF POLYMERS AND THE ENVIRONMENT, V28, P23 DOI 10.1007/s10924-020-01722-x.
- Roberson, DA (2013) 3d printer selection: a decision-making evaluation and ranking model. VIRTUAL AND PHYSICAL PROTOTYPING DOI 10.1080/17452759.2013.830939.
- Khajavi, SH (2014) Additive manufacturing in the spare parts supply chain. COMPUTERS IN INDUSTRY, V65, P14 DOI 10.1016/j.compind.2013.07.008.
- Rosen, DW (2014) What are the principles for design for additive manufacturing?. PROCEEDINGS OF THE 1ST INTERNATIONAL CONFERENCE ON PROGRESS IN ADDITIVE MANUFACTURING DOI 10.3850/978-981-09-0446-3_027.
- Phua, A (2022) A digital twin hierarchy for metal additive manufacturing. COMPUTERS IN INDUSTRY DOI 10.1016/j.compind.2022.103667.
- Wu, H (2016) In situ monitoring of fdm machine condition via acoustic emission. INTERNATIONAL JOURNAL OF ADVANCED MANUFACTURING TECHNOLOGY, V84, P13 DOI 10.1007/s00170-015-7809-4.

Makine imalat teknolojileri literatüründe eklemeli imalat konulu en çok atıf alan bilimsel eserlerin 2011-2022 yılları arasında üretildiği söylenebilir. Bu konuda en çok kullanılan anahtar kelimeler ise eklemeli imalat, üç boyutlu yazıcı, makine özellikleri, makine öğrenmesi, mikro yapı, lazer, tasarım, fabrikasyon, model, optimizasyon, FDM(fused deposition modelling) ve yapay zeka olarak ifade edilebilir. Aşağıdaki şekilde makine imalat teknolojileri literatüründe eklemeli imalat konulu çalışmalarına en çok atıf yapılan yazarlara dair bilimsel ağ haritası yer almaktadır:



Şekil 12. Eklemeli İmalat Yazar Bazlı Bilimsel Ağ Haritası

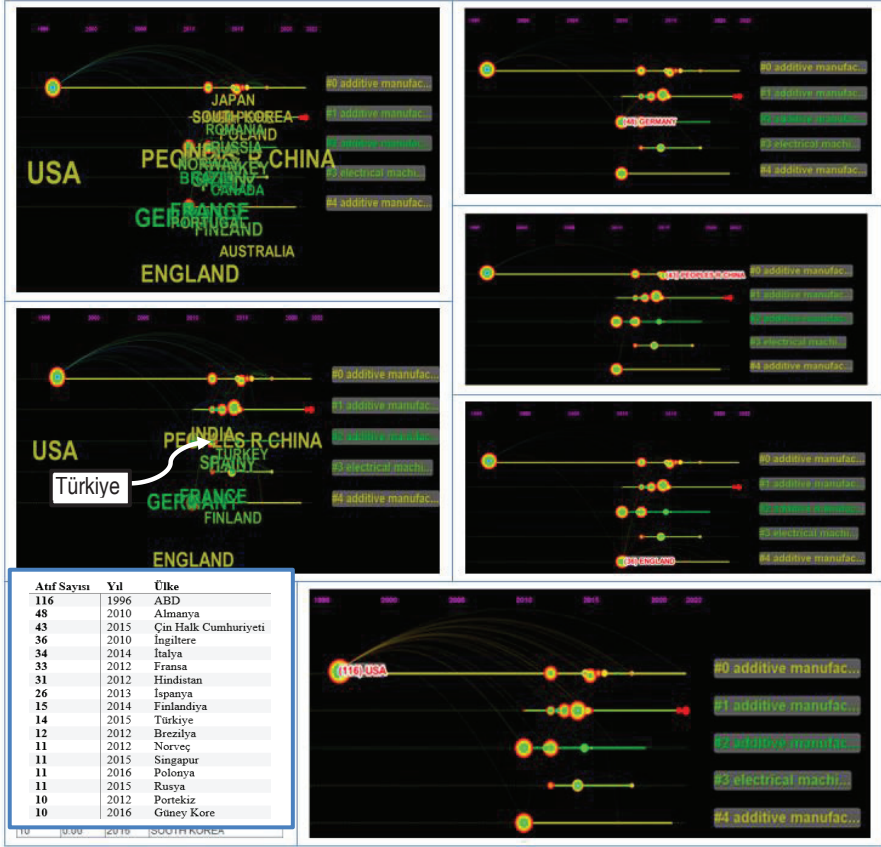
LRF=3,0; LBY=26; e=2,0; g- indeks k=57; Network=947; E=4114 (CiteSpace, 2022)

Şekil 12’de yer alan bilimsel ağ haritasında 947 atf ve 4114 ortak atf yer almaktadır. Yayınlarına en çok atf yapılan ilk beş yazar sırasıyla Gibson, I.(2010/53 atf), Kruth, J.P.(2004/47 atf), Frazer W.E.(2014/46 atf), Gibson, I.(2021/45 atf) ve Thompson, M.K.(2016/31 atf) olarak sıralanabilir. En çok Atf alan iki çalışmaya ilişkin ayrıntılı bilgi aşağıda yer almaktadır:

- Gibson, I, Rosen, D. W., and Stucker, B., (2010). “Additive Manufacturing Technologies,” Springer, 2010.
- Gibson, I, Rosen, D. W., Stucker, B., ve Khorasani, M. Khorasani. (2021). Additive Manufacturing Technologies, 3. Baskı, Springer, 2021.

Aşağıdaki şekilde makine imalat teknolojileri literatüründeki eklemeli imalat konulu çalışmaların yer aldığı ülkelere ilişkin bilimsel ağ haritası yer almaktadır:

Şekil 13’te yer alan ülke bazlı bilimsel ağ haritasına göre, makine imalat teknolojileri literatüründe eklemeli imalat konusunda üretilen bilimsel eserlerine atf alan 62 ülke ve bu bilimsel eserlerine ortak atf alan 151 ülke bulunmaktadır. Eklemeli imalat konusundaki yayınlarına en çok ortak atf alan ülkeler sıralandığında ABD’nin 116 yayını, Almanya’nın 48 yayını, Çin Halk Cumhuriyeti’nin 43 yayını ve İngiltere’nin 36 yayını olduğu söylenebilir. Türkiye’nin ortak atf alan 14 yayını bulunmaktadır. Ülkelere göre gerçekleştirilen kümeleme analizi sonucunda ortak atf sayısı en yüksek olan ülkeler 5 kümeye ayrılmıştır. Birinci



Şekil 13. Ekllemeli İmalat Ülke Bazlı Bilimsel Ağ Haritası

LRF=3,0; LBY=26; e=2,0; g-İndeks k=57; Network=62; E=151 (CiteSpace, 2022)

kümede ABD, Çin Halk Cumhuriyeti ve Hindistan yer almaktadır. Bu kümede ana atıf makalesi Gutowski, T. (2017) Note on the rate and energy efficiency limits for additive manufacturing. JOURNAL OF INDUSTRIAL ECOLOGY, V21, P11 DOI 10.1111/jiec.12664. olarak ifade edilebilir. Birinci kümede elektrikli makineler, fiber kompozit ürün ve ekllemeli imalat en sık tekrar eden anahtar kelimelerdir. İkinci kümede İtalya, İspanya ve Türkiye yer almaktadır. Bu kümenin ana atıf makalesi Moehringe, H.C. (2015) A testpart for interdisciplinary analyses in micro production engineering. 3RD CIRP GLOBAL WEB CONFERENCE - PRODUCTION ENGINEERING RESEARCH ADVANCEMENT BEYOND STATE OF THE ART (CIRPE2014) DOI 10.1016/j.procir.2015.04.018. olarak ifade edilebilir. İkinci kümede elektrikli makine, düşük maliyetli ekllemeli imalat en sık tekrar eden anahtar kelimelerdir. Üçüncü kümede Almanya, Fransa ve Brezilya yer almaktadır. Bu kümenin ana atıf makalesi Czelusniak, T. (2019) Materials used for sinking edm

electrodes: a review. JOURNAL OF THE BRAZILIAN SOCIETY OF MECHANICAL SCIENCES AND ENGINEERING DOI 10.1007/s40430-018-1520-y olarak ifade edilebilir. Üçüncü kümede en sık tekrar eden anahtar kelimeler yedek parça, eklemeli imalat ve fused deposition modelling(FDM)'dir. Dördüncü kümede Finlandiya, Portekiz ve Estonya yer almaktadır. Bu kümenin ana atıf makalesi Ghahfarokhi, P.S. (2021) Opportunities and challenges of utilizing additive manufacturing approaches in thermal management of electrical machines. IEEE ACCESS DOI 10.1109/ACCESS.2021.3062618 olarak ifade edilebilir. Dördüncü kümede en sık tekrar eden anahtar kelimeler, elektrikli makine ve eklemeli imalatdır. Beşinci kümede İngiltere, Avustralya ve Güney Afrika yer almaktadır. Bu kümenin ana atıf makalesi, Nyika, J. (2021) Advances in 3d printing materials processing-environmental impacts and alleviation measures. ADVANCES IN MATERIALS AND PROCESSING TECHNOLOGIES DOI 10.1080/2374068X.2021.1945311 olarak ifade edilebilir. Beşinci kümede en sık tekrar eden anahtar kelimeler, üç boyutlu yazıcı malzemeleri, eklemeli imalat ve fiber kompozit üründür.

4. Bulgular

Çalışmanın amacı, makine imalat teknolojileri ve eklemeli imalat literatüründeki akademik çalışmaların entelektüel gelişiminin görselleştirilmesidir. Bu amaçla, makine imalat teknolojileri ve eklemeli imalat alanındaki başlıca çalışma konularının neler olduğu, klasik ve geçici yayınlar, alanın gelişim tarihindeki kritik geçişler ve dönüm noktaları ile atıf patlaması olan yazar, anahtar kelime ve ülke modelleri ayrıntılı olarak incelenmiştir. Bu kapsamda WoS bibliyografik veri tabanından elde edilen makine imalat teknolojileri ve eklemeli imalat konusundaki akademik eserler CiteSpace bilimsel haritalama programında analiz edilerek aşağıdaki bulgular elde edilmiştir:

- Makine imalat teknolojileri alanında 1981-2022 yılları arasında WoS bibliyografik veri tabanında yer alan uluslararası bilimsel dergilerde toplam 13.551 makale yayımlanmıştır.
- Makine imalat teknolojileri literatürüne yön veren ortak atıf performansı en yüksek dönüm noktası iki çalışma Kusiak, A.(1987) ile Chandrasekharan ve Rajagopalan(1989)'a aittir. Her iki bilimsel eser grup teknolojisi konulu çalışmalardır.
- Makine imalat teknolojisi alanında grup teknolojisi 2012 yılına kadar alanda güncelliğini korumaya devam etmiştir. Ancak 2015 yılı itibarıyla makine imalat teknolojileri alanında eklemeli imalat teknolojisine yönelik çalışmaların giderek artış eğilimi gösterdiği söylenebilir. Anahtar kelime analizi yapıldığında 2015-2022 tarihleri arasında "eklemeli imalat" anahtar kelimesinin ortak atıf yayınlarında 366 kez kullanıldığı belirlenmiştir.

- Makine imalat teknolojileri yayınlarının ortak atıf performansı en yüksek ilk iki ülke ABD ve Çin Halk Cumhuriyeti'dir. ABD'de yayımlanan 72 yayın 1.990 ortak atıf alırken, Çin Halk Cumhuriyeti'nde yayımlanan 156 yayın 557 ortak atıf almıştır.
- Makine imalat teknolojileri alanındaki bilimsel eserlerin çalışma konuları itibariyle birbirine yakınlıkları oranında kümeleme analizi yapılmış ve en güncel çalışmaların yer aldığı kümeler değerlendirildiğinde makine imalat teknolojileri alanında 2015 yılının dönüm noktası olduğu, eklemeli imalat konusunda Newman, S.,T., Zhu, Z., Dhokia, V ve Shokrani, A. tarafından 2015 yılında çalışılan, CIRP Annals-Manufacturing Technology dergisinde yayımlanan "Process planning for additive and subtractive manufacturing technologies" başlıklı çalışmanın 2016 yılı itibariyle ortak atıf almaya başlamasıyla birlikte insan-makine işbirliği, makine öğrenmesi, yeniden yapılandırılabilir imalat makinesi, üç boyutlu yazıcı, dijital iplik, hibrit üretim, hızlı prototipleme vb. kavramların makine imalat teknolojileri literatürüne girmeye başladığı söylenebilir.
- Eklemeli İmalat konusunda ortak atıf yakınlığı en yüksek yazarlar Newman ve diğ.(2018), Simpson(2018) ve Karunakaran(2010) olarak belirlenmiş olup, doğrudan ilgi düzeyi en yüksek anahtar kelimeler "hibrit üretim", "hızlı prototipleme" ve "elektrikli makine"dir.
- Eklemeli imalat konusunda en çok atıf alan yayın Gibson ve diğ. tarafından 2010 yılında yayımlanan "Eklemeli İmalat Teknolojileri" konulu bilimsel bir kitaptır. Kitabın ilerleyen yıllarda ikinci ve üçüncü baskıları da yayımlanmıştır.
- Eklemeli imalat konusunda üretilen bilimsel eserlerine ortak atıf alan 151 ülke bulunmaktadır. Yayınlarına en çok ortak atıf alan ilk üç ülke, ABD, Almanya ve Çin Halk Cumhuriyeti'dir. Türkiye'nin eklemeli imalat konusunda ortak atıf alan 14 yayını bulunmaktadır.

Genel olarak değerlendirildiğinde, makine imalat teknolojileri alanında üretilen bilimsel eserlerinin ortak atıf performansı en iyi olan ülkeler ABD, Çin Halk Cumhuriyeti ve Almanya'dır. Makine imalat teknolojileri alanındaki bilimsel gelişmelere bağlı olarak ve üç boyutlu yazıcı endüstrisindeki teknolojik ilerlemeler dikkate alındığında bilimsel literatürde yer alan araştırma ve çalışmaların da bu alana doğru eğilim gösterdiği söylenebilir. Çalışma kapsamında yapılan analizlerin, makine imalat teknolojileri literatüründeki güncel gelişmelerin değerlendirilmesi ve bu alanda çalışan akademik ve uzman araştırmacılara fayda sağlayabileceği öngörülmektedir.

5. Sonuç

WoS bibliyografik veri tabanında yer alan makine imalat teknolojileri akademik literatürü incelendiğinde, bu alandaki ilk bilimsel çalışmaların 1981 yılı itibarıyla uluslararası dergilerde yayımlanmaya başladığı söylenebilir. Makine imalat teknolojileri alanında 90'lı yıllarda grup teknolojisi kavramı en çok tartışılan kavramlardan biri olmuştur. Grup teknolojisi, Kusiak(1987) tarafından, üretimde hazırlık süreleri ve süreçteki stokları azaltmak amacıyla hücreli üretim sistemi mantığına dayanan bir üretim yönetimi felsefesi olarak önerilmiştir. Grup teknolojisi, bir üretim sisteminde yer alan parça ailelerinin tasarım ve üretim benzerliklerine göre gruplandırılması ve bu gruplara uygun hücrelerin oluşturulması süreçlerini içerir. 1987 yılında önerilen bu yeni konsept, parça ailelerinin ve makine hücrelerinin kalitesini iyileştirmeyi amaçlamaktadır(Kusiak, 1987). Günümüz şartlarında yaşanan teknolojik gelişmeler sonucunda, grup teknolojisinin dayandığı üretim yönetimi felsefesine benzer şekilde, üretim sürecinde kaliteyi arttırmak, hızlı ve düşük maliyetli üretim sağlamak amacıyla makine imalat teknolojileri literatüründe eklemeli imalat teknolojisi tartışılmaya başlanmıştır.

Eklemeli imalat genellikle, 3D yazıcı, hızlı prototipleme, hızlı takımlama, hızlı teknolojiler, hızlı imalat, serbest biçimli imalat, ileri imalat, eklemeli fabrikasyon, eklemeli katmanlı imalat, doğrudan dijital imalat ve doğrudan imalat gibi kavramlarla birlikte anılmaktadır(Neil Hopkinson ve Hague, 2006). Ancak eklemeli imalat, bu kavramlarla aynı şey değildir. Buna karşılık bu kavramların dayandığı teknolojilerle aynı prensip üzerine inşa edilmiştir. Bu prensip, alet ve fiyestürlere ihtiyaç duymadan malzeme katmanlarını istifleyerek çok karmaşık geometrilere sahip parçalar üretebilme yeteneğidir. Bu teknoloji, başlangıçta hızlı prototipleme için bir uygulama olarak kabul edilmiştir. Günümüzde ise havacılık, tıp, otomotiv, inşaat ve sanat da dahil olmak üzere farklı endüstrilerde geniş çapta kullanılmaktadır. Daha düşük bir fiyata daha yüksek kalitede malzemelerin mevcudiyeti, önümüzdeki birkaç yıl içerisinde daha büyük hassasiyet seviyelerinde daha büyük ürünler üretebilme yeteneği sağlayarak(Zhou, Chen ve Epstein, 2010) bu teknolojinin sadece tasarım açısından değil aynı zamanda imalat açısından da önemli tedarik zinciri avantajları sağlayabileceği söylenebilir. Üretilen ürün türü ve imalatın nerede gerçekleştirileceği konusundaki esneklik, çok sayıda şirketin yanında CAD-CAM tasarımlarını sadece endüstriyel düzeyde değil aynı zamanda tüketiciler düzeyinde de sunabilmelerine imkan tanıyabilecektir. Bu tasarımlar, nihai tüketiciler pazarında indirilebilir CAD-CAM tasarım kitapları aracılığıyla kitlesel kişiselleştirme imkanı sağlayacaktır(Berman, 2012). Eklemeli imalatın sahip olduğu avantajlar sadece özgür ürün tasarımına imkan vermesiyle sınırlı değildir. Tasarım kısıtlamalarını ortadan kaldıran, malzeme tasarrufu ve geometrik açıdan karmaşık tasarımlara imkan sunması gibi tasarım özgürlüğü sayesinde endüstriye başka potansiyel faydalar da sunmaktadır. Örneğin en önemli potansiyel avantajlarından biri lojistik sistemini daha verimli hale getirebilecek olmasıdır(Appleton,

2014). Eklemeli imalat hem tasarım aşamasından pazara sunum aşamasına kadar geçen pazara çıkış süresini hem de tam ölçekli imalat hacmine ulaşma süresini azaltma potansiyeline sahiptir. Ürünlerin tam zamanında imalat yaklaşımına göre değil, doğrudan sipariş edildiği gibi basıldığı tam imalat moduna göre üretildiği bir gelecek sunar. Böylesine yeni bir paradigma, küresel tedarik zincirine önemli sonuçlar sağlayacaktır. Parçaların nakliyesi ve depolama ihtiyacının bir kısmı ortadan kalkacaktır. Ayrıca, montaj hattı çalışanlarının karmaşık ürünleri bir araya getirme ihtiyacı da azalacaktır(Campbell ve Ivanova, 2013). Eklemeli imalatın sağladığı diğer avantajlar arasında, ürünlerin pazara çıkış sürelerinin kısalmaya olacağı olması, dünya çapındaki şirketlerin atık ve enerji tüketimlerinin azalması, eski ürünlerin yeniden üretilebilmesi, onarılabilmesi ve yeniden kullanılabilmesine imkan sağlaması gibi konular söylenebilir(Hull, 2014).

Eklemeli imalatın başarılı bir şekilde uygulanabilmesi için tasarım, malzeme, teknoloji, yazılım ve kalite kontrol olmak üzere beş ana alanda ilerleme gerekmektedir. Bu nedenle daha fazla alanda daha fazla araştırma ve geliştirmeye ihtiyaç vardır. Eklemeli imalat teknolojisinin sunmuş olduğu tüm bu avantajlar makine imalat teknolojileri alanında yeni fırsat alanları yaratırken, bu alandaki bilimsel çalışmalara da ilham olmaktadır. Makine imalat teknolojileri literatüründeki akademik eserlerin gelişim sürecinin incelendiği bu çalışmanın gelecekte bu alanda yapılması planlanan akademik çalışmalara rehberlik edeceği düşünülmektedir.

Kaynakça

- Appleton, R., W. (2014). Additive manufacturing overview for the United States Marine Corps. R W Appleton&Company, Inc. Erişim adresi: <http://www.rwappleton.com/3Dprinting.pdf>.
- Beach, R., Muhlemann, A., P., Price, D., H., R., Paterson, A. ve Sharp, J., A. (2000). Manufacturing operations and strategic flexibility: survey and cases. *International Journal Operation Production Management*, 20(1), 7-30. Doi: <https://doi.org/10.1108/01443570010301056>.
- Berman, B.(2012). 3-D printing: The new industrial revolution. *Business Horizon*, 55(2), 155-162.Doı: <https://doi.org/10.1016/j.bushor.2011.11.003>.
- Chandrasekharan, M. P., ve Rajagopalan, R. (1989). Groupability: Analysis of the properties of binary data matrices for group technology. *International Journal of Production Research*, 27(6), 1035-1052. Doi: <https://doi.org/10.1080/00207548908942606>.
- Chen, C. (2004). Searching for intellectual turning points: Progressive knowledge domain visualization. *PNAS*, 101(1), 5303-5310, Erişim Adresi: www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.0307513100.

- Chen, C. (2016). *CiteSpace: A practical guide for mapping scientific literature*. New York: Nova Science Publishers, Inc.
- Chen, C. (2017). Science mapping: A systematic review of the literature. *Journal of Data and Information Science*, 2(2), 1-40. Doi: <https://doi.org/10.1515/jdis-2017-0006>.
- Egghe, L. (2006). Theory and practice of the g-index. *Scientometrics*, 69(1), 131-152. Doi: <https://doi.org/10.1007/s11192-006-0144-7>.
- Esmailian, B., Behdad, S. ve Wang, B. (2016). The evolution and future manufacturing: A review. *Journal of Manufacturing Systems*, 39, 79-100. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2016.03.001>.
- Garfield, E. (1955). Citation indexes for science: A new dimension in documentation through association of ideas. *Science*, 122(3159), 108-111. Doi: <https://doi.org/10.1126/science.122.3159.108>.
- Hirsch, J., E. (2005). An index to quantify an individual's scientific research output. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 102(46), 16569-16572. Doi: <https://doi.org/10.1073/pnas.0507655102>.
- Hull, C. (2014). 3D systems: Empowering our customers to manufacture the Future. *3D Printing* 1(1), 55-59.
- Katz, J. (2015). Advanced manufacturing: Where is America today? *Industry Week*, 259(10), 26-30. Erişim adresi: <https://www.industryweek.com/the-economy/public-policy/article/21942827/advanced-manufacturing-where-is-america-today>.
- Kuhn, T., S. (1962). *The Structure of Scientific revolutions*. Chicago: University of Chicago Press.
- Kusiak, A. (1987). The generalized group technology concept. *International Journal of Production Research*, 25, 561-569. Doi: <https://doi.org/10.1080/00207548708919861>.
- Liu, J., Lai, Z., Kristiansen, H. ve Khoo, C. (1998). *Overview of conductive adhesive joining technology in electronics packaging applications*. Proceedings of 3rd International Conference on Adhesive Joining and Coating Technology in Electronics Manufacturing 1998. Presented at adhesives '98. IEEE.org 1-18. Doi: <https://doi.org/10.1109/ADHES.1998.741996>.
- Merklein, M., Lechner, M. ve Kuppert, A. (2012). Enhancement of formability of aluminum alloys in multi-stage forming operations by a local intermediate heat treatment. *Production Engineering*, 6(6), 541-549. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.phpro.2014.08.070>.

- Nassehi, A., Newman, S. Dhokia, V., Zhu, Z. ve Asrai, R. (2012). Using formal methods to model hybrid manufacturing processes. Edt, ElMaraghy H., A. *Enabling manufacturing competitiveness and economic sustainability SE-8*. Berlin Heidelberg: Springer, 52-56.
- Neil Hopkinson, P., D. ve Hague, R. (2006). *Rapid manufacturing: An industrial revolution for the digital age*. England, West Sussex: John Wiley&Sons.
- Nieslony, P. ve Grzesik, W. (2011). Optimization procedures for machining operations on cnc machine tools. *Pomiary Automatyka Kontrola R*, 57(2), 224-227. Erişim Adresi: <https://www.infona.pl//resource/bwmeta1.element.baztech-article-BSW4-0098-0025>
- Quan, Z., Wu, A., Keefe, M., Qin, X., Yu, J., Suhr, J., Byun, J.H., Kim, B.S. ve Chou, T.W. (2015). Additive manufacturing of multi-directional preforms for composites: Opportunities and challenges. *Materials Today*, 18(9), 504-512. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.mattod.2015.05.001>.
- Wohlers Report (2014). *Tracking global growth in industrial-scale additive manufacturing*. Erişim adresi: <https://wohlersassociates.com/product/wohlers-report-2014/>.
- Wohlers Report (2020). 3D printing and additive manufacturing state of the industry: Annual worldwide progress report. *Wohlers Associates*. Erişim adresi: <https://wohlersassociates.com/product/wohlers-report-2020/>.
- Yang, Y., Li, L., Pan, Y. ve Z. Sun, Z. (2017). Energy consumption modeling of stereolithographybased additive manufacturing toward environmental sustainability. *Journal of Industrial Ecology*, 21168–S178. <https://doi.org/10.1111/jiec.12589>.
- Zhou, C., Chen, Y. ve Epstein, D., J. (2010). Additive manufacturing based on multiple calibrated projectors and its image planning. *ASME 2010 International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information In Engineering Conference*, 439-449.
- Zhou, C. ve Chen, Y. (2012). Additive manufacturing based on optimized mask video projection for improved accuracy and resolution. *Journal of Manufacturing Process*, 14(2), 107-118. Doi: <https://doi.org/10.1016/J.JMAPRO.2011.10.002>.
- Zhu, Z., Dhokia, V.G., Nassehi, A. ve Newman, S.T. (2013). A review of hybrid manufacturing processes-state of the art and future perspectives. *International Journal Computer Integrated Manufacturing*, 26(7), 596-615. Doi: <https://doi.org/10.1080/0951192X.2012.749530>.