



Mimarlıkta Makine Öğrenmesi: Bibliyometrik Bir Analiz

Makbule ÖZDEMİR ¹, Semra ARSLAN SELÇUK ²

makbuleozdemir@gazi.edu.tr, semraselcuk@gazi.edu.tr

¹ Araş. Gör. Gazi Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Ankara

² Doç. Dr. Gazi Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Ankara

ÖZET

Mühendislikte yaygın olarak kullanılan "makine öğrenmesi" diğer pek çok disiplinde olduğu gibi mimarlık disiplininde de dönüştürücü potansiyele sahip teknolojik bir yenilik olarak kabul edilmektedir. Bu teknolojinin mimarlık alanındaki olası kullanımları hala belirli bir seviyeye ulaşmadığından, ilgili literatürün sistematik olarak analiz edilmesi, bu sayede araştırma eğilimlerinin ve boşluklarının ortaya çıkarılması, yeni araştırma alanlarının tanımlanması ve kurulabilecek olası iş birliklerinin ortaya çıkarılması son derece önemlidir. Bu bağlamda, bu çalışmada, nicel bir yaklaşımla, mimarlık alanında makine öğrenmesi yoluyla yapılan çalışmalar ve oluşan bilgi birikimi sistematik olarak analiz edilmiştir. Çalışmada, son 10 yıl içinde WoS veri tabanında taranan dergilerde yayınlanmış 461 akademik çalışmanın bibliyometrik verileri kullanılmış ve haritalama yöntemi ile görselleştirilmiştir. Bu analiz ile konular arası ilişkiler, konu yoğunluğundaki eğilimler ve çalışmaların ne gibi iş birliktelikleri yarattığı "ağ haritaları" aracılığı ile ortaya konmuştur. Mimarlıkta makine öğrenmesinin kullanımına yönelik olarak yapılmış çalışmaların değerlendirilmesi ile çok disiplinli bir konunun mimarlıktaki bilgi birikimine olası katkıları tartışılmıştır. İlgili araştırma alanlarındaki boşluklar vurgulanarak, gelecekteki olası araştırma konuları paylaşılmış ve söz konusu etkileşimin gelecekte yaratabileceği etki tartışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Yapay zeka, makine öğrenmesi, mimari tasarım, ağ analizi, bibliyometrik analiz

ABSTRACT

"Machine learning", which is commonly utilized in engineering, is accepted as a technological innovation having transformative potentials in the architectural discipline as well as in many other disciplines. The possible uses of this technology in architecture have not yet reached a certain level. For this reason, it is extremely important to systematically analyze the related literature, to reveal research trends and gaps, to define new research areas and to reveal possible collaborations that can be established. For this reason, in this study, with a quantitative approach, the researches carried out in the field of architecture through machine learning and the resulting information have been systematically analyzed. For this purpose, the bibliometric data of 461 papers published in the journals scanned through the WoS database in the last 10 years have been used and visualized with a scientific mapping method. With this analysis, the relations between the subjects, the trends in the subject intensity and the collaborations formed by the studies have been revealed through "network maps". Studies on the use of machine learning in architecture have been evaluated and the possible contributions of a multidisciplinary subject to architectural knowledge have been discussed. As a result, maps in relevant research areas highlighted, possible future research topics shared, and the future impact of this interaction discussed.

Keywords: Artificial intelligence, machine learning, architectural design, network analysis, bibliometric analysis

1. GİRİŞ

Hesaplamalı teknolojilerde yaşanan gelişmeler mimari tasarım ve üretim yöntemlerinde paradigmatik değişim/dönüşümler meydana getirmektedir. Bu değişim/dönüşüm için

geleneksel bilgisayar destekli tasarım araçlarının ötesinde karmaşık hesaplamalı işlevler ve otomasyon devreye girmiştir. Tasarım araçları, yaratıcı süreci destekleyen çeşitli otomatik yöntemler sunmakta ve kullanıcının, ortak programlama dilleri ve/veya görsel programlama teknikleriyle kendi algoritmalarını oluşturmalarına olanak vermektedir (Cudzik & Radziszewski, 2018). Bu bağlamda, programlamadaki son yaklaşımlar ve bu yaklaşımları benimsemenin mimarlık pratiğinde nasıl bir etki yaratacağı farklı platformlarda tartışılmaktadır (Nicholas, Rossi, Williams, Bennett, & Schork, 2020; Rawitscher, 2017). Son yıllarda sıklıkla kullanılan veri tabanlı sistemler "girdi verileri"¹ üzerinden bir yapı oluşturabilmektedir. Bu sistemlerden biri yapay zekanın bir dalı olan ve konuyu örnek veriler üzerinden deneyimleyerek "öğrenme" yoluyla belirli görevleri gerçekleştiren makine öğrenmesi (ML) yöntemidir (Alpaydin, 2009). Bu yöntem elde ettiği verilerin işlenmesi ile insan müdahalesine gerek duymadan tahminler yaparak görevlerin yerine getirilmesinde kullanılmaktadır. Birçok disiplinin çalışma kapsamına dahil olan bu yöntem karar verme süreçlerinde ve monoton işlerin uygulanmasında kolaylıklar sağlamaktadır (Paliouras, Karkaletsis, & Spyropoulos, 2001; Tamura, Ohsaki, & Takagi, 2018).

ML yöntemleri, "dış kaynaklardan gelen verileri işleyen tasarımcılar" olarak da nitelendirildiği için tüm tasarım disiplinlerinden olduğu gibi mimarlık için de uygun yaklaşımdır. Söz konusu teknolojilerin çok farklı alanlarda kullanımının artması ve yarattığı etki göz önünde bulundurulduğunda mimarlık disiplininde de kullanımının hızla yaygınlaşması beklenmektedir. (Andrade Zandavali & Jiménez García, 2019; Belém, Santos, & Leitão, 2019; Khean, 2018) Tasarımcıların akıl yürütme sürecine benzer bir sistemle (Steinfeld, 2017) tasarım sürecine katkıda bulunarak mevcut tasarım araçlarının iyileştirilmesine katkı sağlayacağı da öngörülmektedir. Mimarlar ve mühendisler, tasarım için anlamlı bilgileri sentezlemek için bu veri ağırlıklı işlemlere dahil olarak yeni modeller ve yöntemler üretmektedirler. (Ahuja & Chopson, 2020; Al Jassmi, Ahmed, Philip, Al Mughairbi, & Al Ahmad, 2019; Chatzikonstantinou & Sariyildiz, 2016; Tamke, Nicholas, & Zwierzycki, 2018)

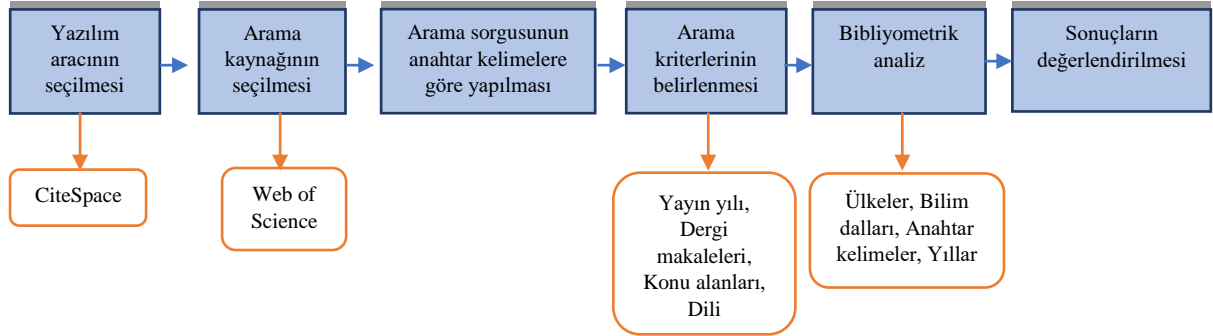
Bu bağlamda, bu makalede mimarlık disiplininde makine öğrenmesi yoluyla yapılan çalışmalar ve oluşan bilgi birikimi sistematik olarak analiz edilmiştir. WoS (*Web of science*) veri tabanında ilgili "anahtar kelimelerle yapılan tarama sonuçlarının bibliyometrik verileri analiz edilerek haritalama yöntemi ile görselleştirilmiş, konular arasındaki ilişkiler, eğilimler ve yarattığı iş birliktelikleri "ağ haritaları" aracılığı ile ortaya konmuştur.

2. YÖNTEM

Çalışmada elde edilen verilerin oluşturduğu ilişkileri ve birbirlerini nasıl etkilediklerini ortaya çıkarmak amacıyla bibliyometrik analiz tekniği kullanılmıştır. Bu bölümde, bibliyometrik analiz sürecinde ilgili makalelerin gözden geçirilmesi için araştırma yöntemi ve araçları özetlenmiş, kullanılan araştırma yöntemi kapsamlı olarak sunulmuştur. Bu araştırma süreci, Şekil 1'de gösterilen adımları içerir şekilde tasarlanmıştır.

Çalışmada öncelikli olarak, uygulanacak analiz tekniği için kullanılacak yazılım aracına karar verilmiştir. Arama ölçütleri ve arama sorgusunun yapılacağı anahtar kelimeler belirlenerek taranan makalelerin bibliyografik kayıtlarının veri kümeleri WoS veri tabanından çekilmiştir. Bu verilerin CiteSpace aracılığı ile ülkeler, bilim dalları, anahtar kelimeler ve yıllar bazında haritaları oluşturularak, çalışmalara ait ilişkiler ve çalışma alanlarında olası boşluklar "grafikler" aracılığı ile irdelenmiştir. Son olarak bulgular değerlendirilmiş ve araştırma sorusu yanıtlanarak çalışma sonuçlandırılmıştır.

¹ Sayısal (nitel) veya sayısal olmayan (nicel) değerlerden oluşan verilerdir. Veriler ölçme, sayma, araştırma, gözlem yapma yoluyla elde edilebilir (URL-1). Veri tabanlı sistemlerde veriler bilgisayarlar tarafından derlenerek formüle edilmektedir.



Şekil 1. Araştırma yöntemi

2.1. Bilimsel analiz ve haritalama

Bilimsel analiz ve haritalama yöntemi, büyük ölçekli bir bilimsel veri kümesinin farklı bilgi alanlarında nasıl yapılandırıldığını açıklayan bibliyometrik haritalar oluşturmayı ve görselleştirmeyi amaçlamaktadır (Van Eck & Waltman, 2010). Bu haritalama sistemi tanımlayıcı ve teşhis edici bir araç olarak işlev görmektedir (Tijssen & Van Raan, 1994). Ayrıca kapsamlı literatürde bilgi gövdesindeki boşlukları işaretlemeye diğer bir ifade ile az sayıdaki araştırmanın nerede yapıldığını belirlemeye odaklandığında, sistematik verileri görselleştirme konusunda etkin bir yöntem olarak da kullanılmaktadır (Cobo, López-Herrera, Herrera-Viedma, & Herrera, 2011; Petticrew & Roberts, 2008).

Yapılan bilimsel analiz çalışmalarının manuel olarak incelenmesi, çalışma sayısının fazlalığı açısından araştırmanın kısıtlı kalmasına neden olabilmektedir (He ve diğerleri, 2017). Bu konuda yazılım araçlarının kullanıldığı teknik ise manuel inceleme yöntemine göre daha kapsamlı olması ve çeşitli konuları araştırması bakımından avantaj sağlamaktadır. Ayrıca bu teknikler, araştırmanın ilerleyen aşamalarında güncelleme yapma olanağı sağlarken, manuel uygulamalar bu konuda da araştırmacıyı zorlayabilir. (Oraee, Hosseini, Papadonikolaki, Palliyaguru, & Arashpour, 2017). Bu sebeple, söz konusu çalışmalarda verileri analiz etmek için "nicel tabanlı bilim haritalama tekniğinin" bilgisayar programları aracılığıyla gerçekleştirilmesi önerilmektedir (Yalcinkaya & Singh, 2015). Bu sayede, daha büyük bir bibliyometrik veri setlerindeki bağlantıları ve ağları görsel olarak haritalandırabilmek mümkün olabilecektir (Cobo ve diğerleri, 2011). Ayrıca, yazar önyargısını en aza indirerek ve literatür incelemelerini olumsuz etkileyebilecek faktörlerin minimize edilmesi ve salt ele alınan verilere dayalı olarak mevcut literatürün incelenmesi yapılabilecektir. (Hosseini, Maghrebi, Akbarnezhad, Martek, & Arashpour, 2018) Bu yöntemle, bir çalışma alanındaki araştırmaların, ülkelerin, anahtar kelimelerin ve araştırma kuruluşlarının arasındaki ilişkiler haritalandırılabilir (Su & Lee, 2010) Söz konusu ilişkilerin ortaya çıkarılması ile alandaki boşlukları belirlemek ve temel araştırma gereksinimlerini keşfetmek mümkün olmaktadır. Analiz sonucunda ortaya çıkan bilgi birikimi, konuyla ilgili literatürde gizli kalan kavramlar arasındaki örüntüleri ve ilişkileri de ortaya çıkarmaya yardımcı olmaktadır.

2.2. Yazılım aracının ve veri tabanının seçimi

Büyük ölçekli bilimsel veri kümelerini haritalamak ve görselleştirmek için kullanılan bibliyometrik yazılım araçlarında çeşitli alternatifler bulunmaktadır (Cobo ve diğerleri, 2011) Söz konusu yazılımlar (VOSviewer, CiteSpace ve Gephi vb.) farklı analiz türlerini gerçekleştirebilmek için farklı yeteneklerle ve güçlü özelliklerle tasarlanmıştır. VOSviewer, bibliyometrik ağları görselleştirmek için gereken temel işlevselliği sunarken (Van Eck & Waltman, 2010, 2014), CiteSpace bilimsel bir alan ile ilgili literatürü analiz etmek ve görselleştirmek için; ağ düzenlerini, kümeleri, ortaya çıkan eğilimleri ve zaman dilimi

görünümlerini algılayabilen bir literatür haritalama aracıdır (Hosseini, Maghrebi, ve diğerleri, 2018). CiteSpace, bibliyografik kayıtların doğrudan Web of Science (WoS), PubMed ve Scopus gibi veri tabanlarından indirilmesine olanak tanımaktadır. Bu çalışmanın amaçları doğrultusunda CiteSpace yazılımı tercih edilmiştir. Bibliyometrik çalışmalar için sıklıkla tercih edilen bir araç olması, kaynak yelpazesi ve bunları indeksleme hızı göz önüne alındığında arama kaynağı Web of Science (WoS) ile sınırlandırılmıştır.

2.3. Anahtar kelimelerin seçimi ve arama ölçütlerinin belirlenmesi

Anahtar kelimeler, ilgili çalışmaların örüntüleri, ilişkileri ve organizasyonu açısından bilgi sağlamanın doğru bir yolunu sunmaktadır (Van Eck & Waltman, 2014). Bu sebeple anahtar kelimeler arasındaki ilişki hakkında arka plan ve ilgili aramalar önem arz etmektedir.

“Makine Öğrenmesi (ML)” terimi, bilgisayar, medikal ve istatistik gibi disiplinlerdeki araştırma konularında (Jordan & Mitchell, 2015) sıklıkla kullanılmaktadır. Bu çalışmada, mimarlık alanında yapılan “makine öğrenmesi” araştırmalarına ilişkin isabetli ve güvenilir bir bibliyometrik veri kümesi elde etmek için öncelikle en çok başvurulan anahtar kelimeler kullanılmış, daha sonra mimarlık disiplininde yapılan “makine öğrenmesi” çalışmalarında sıklıkla kullanılan anahtar kelimeler belirlenmiştir. Bir başka ifade ile öncelikle “machine learning” anahtar kelimesi ile ulaşılan veri sonuçları gözden geçirilmiş daha sonra “architecture” bilim dalı başlığı altında ulaşılan çalışmaları genişletmek adına sıklıkla kullanılan anahtar kelimeler belirlenerek aramalar birkaç kez tekrarlanmıştır. Sonuçta, çalışmada kullanılacak anahtar kelimeler “Machine Learning”, “Artificial Intelligence”, “Image Processing”, “Pattern Recognition”, “Geometric Pattern”, “Pattern Visualization” olarak tespit edilmiştir. WoS™ Koleksiyonunda yapılan arama sonucunda elde edilen bibliyografik kayıt; yazar listesi, başlık, özet, bir dizi anahtar sözcük ve makale tarafından alıntılanan bir dizi referans dahil olmak üzere “yayımlanmış bir makalenin verilerini” içermektedir. Yayınların tümü, son 10 yılda kayda değer bir artış görülmesi sebebi ile 2010-2020 yılları arasında “dergilerde” yayınlanan araştırma/derleme makaleleri olarak seçilmiştir. Konferans bildirileri gibi kaynaklar analitik süreci karmaşıklaştırdıkları ve sonuçlara katkısının düşüklüğü (Butler & Visser, 2006; Hong & Chan, 2014; Hood & Wilson, 2001; Hosseini, Martek, ve diğerleri, 2018; Tijssen & Van Raan, 1994) sebebiyle dahil edilmemiştir. Her bir anahtar kelime ile mimarlık alanı kısıtlaması ile yapılan arama sonuçlarında ulaşılan makale sayıları Tablo 1’de görülmektedir. Aramalar sonucunda elde edilen 469 makale gözden geçirilerek eşleşenler çıkarılmıştır ve toplam 461 makale “veri seti” olarak işleme konulmuştur.

Tablo 1. Mimarlık kategorisinde yapılan arama sonuçları

Arama	Anahtar kelime	Kategori	Sonuç
1	Machine Learning	Architecture	35
2	Artificial Intelligence	Architecture	60
3	Image Processing	Architecture	267
4	Pattern Recognition	Architecture	17
5	Geometric Pattern	Architecture	76
6	Pattern Visualization	Architecture	14

3. BİBLİYOGRAFİK ANALİZ VE BULGULAR

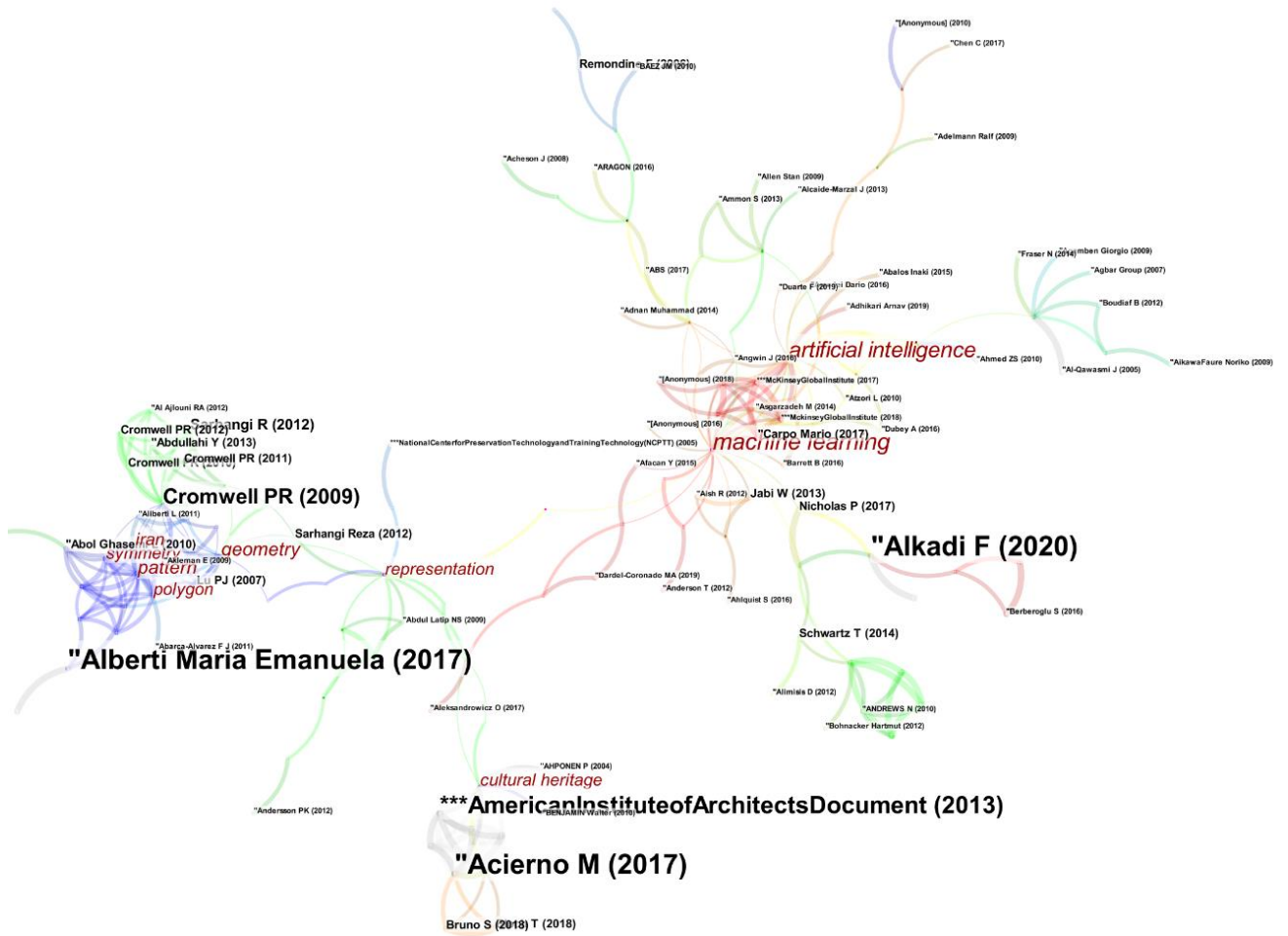
Seçilen anahtar kelimelerle yapılan aramalar sonucunda elde edilen veri setleri Citespace yazılımı ile analiz edilmiştir. Analiz sonucunda bibliyometrik verilere dayalı olarak oluşturulan harita; ülke iş birlikleri, ortak yazarlık, referanslar ve ortak anahtar kelimeler gibi çeşitli parametrelerden oluşan, bir “ağ” ile temsil edilmektedir.

İlk harita, anahtar kelimelerin “yazarlık ağı” ilişkisi üzerine oluşturulmuştur. Ağdaki bağımsız düğümler, ara bağlantılarına göre gruplar veya kümeler halinde



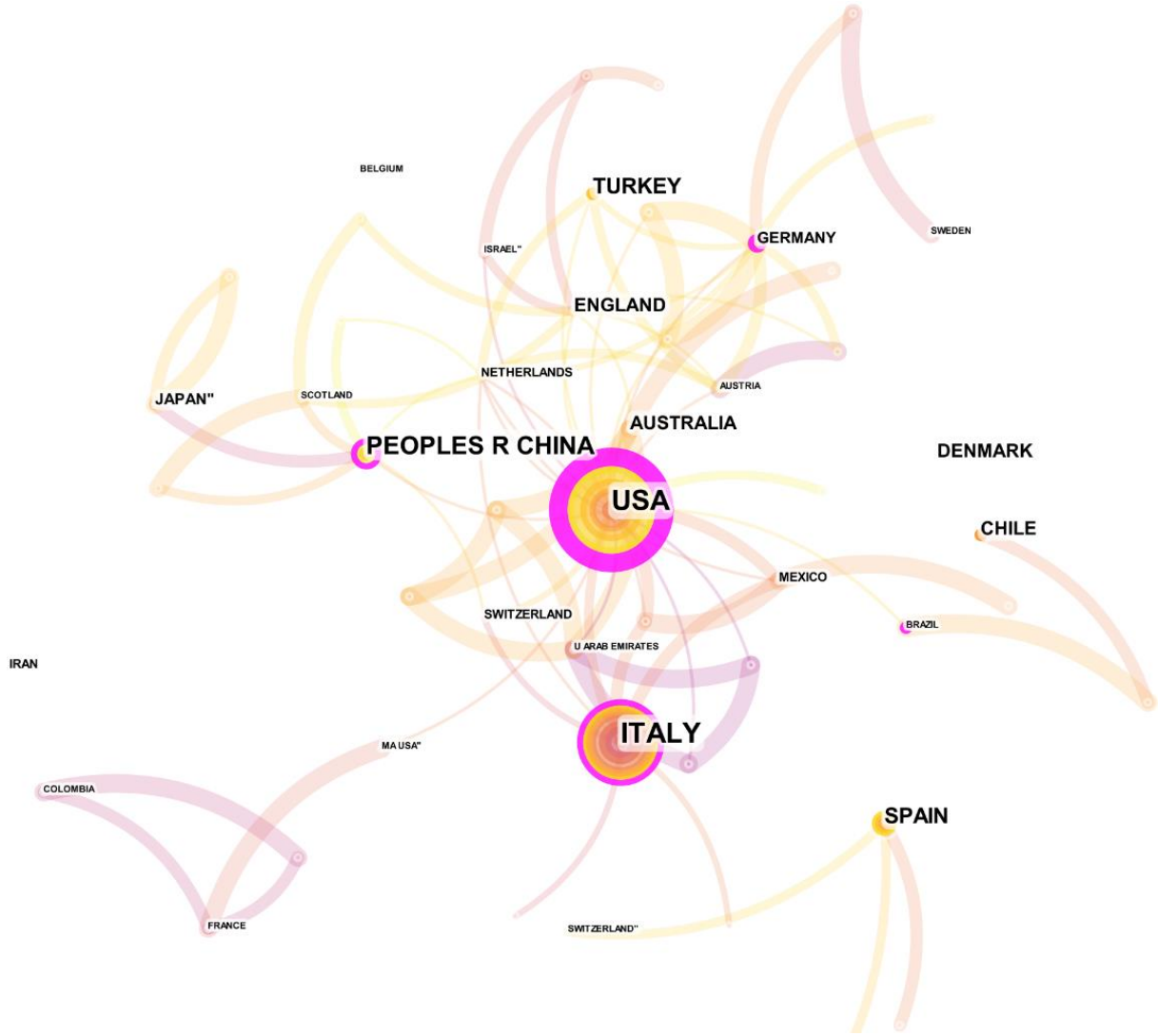
toplatabilmektedir (Li, Wu, Shen, Wang, & Teng, 2017). D g mler arasındaki mesafeler çalışmaların yakınlık seviyesini göstermekte, ağın renkleri yıllara göre değişmektedir. Yazı boyutu da yapılan alıntının ne kadar fazla olduğunu göstermek için değişmekte ve alıntı konsantrasyonuna göre farklılaşmaktadır. Şekil 3.1'de gösterildiği gibi, ağın merkezi çevresinde yer alan çalışmalar, aralarında minimum mesafe olan çok sayıda doğrudan alıntıya sahip olanlardır. Bir başka ifade ile bu çalışmalar ağın merkezi bilgi kaynağı ve makine öğrenmesi için referans noktası olan en etkili çalışmaları göstermektedir. Elde edilen harita ile yazarlık ağı belirlenmiş olup bu alanda çalışan ve en çok atıf alan araştırmacılar ortaya çıkarılmıştır (Şekil 1).

Bu konularda  ne çıkan yazarlar (Cromwell, 2009), (Carpo, 2017), (Alberti, 1988), (Alkadi, Lee, Bashiri, & Choi, 2020), (Acierno, Cursi, Simeone, & Fiorani, 2017) olarak belirlemiştir. Bu makalelerin yayım yılları 1988'den 2020'ye kadar geniş bir zaman dilimine yayılmıştır. Carpo (2017), zeki tasarımcıların süreçle başa çıkma görevlerini, dijital dönüşü ve mimarlıkta tekno- sosyal paradigmanın gelişiminde dijitalin rolünü tartışmaktadır. Cromwell (2009) ise desende tekraralama birimini, bir model oluşturmak için izometrilere faydalanarak tekrarlanan bir şablon için genel bir yaklaşım olarak kullanmaktadır. Alberti (1988), mimarlık teorisi ve pratiği üzerine çalışmıştır. (Acierno ve diğerleri, 2017) ise bilgi ve iletişim teknolojisinin mimari miras üzerindeki etkisini göz önünde bulundurarak mimari mirasın korunmasına yönelik araştırma faaliyetleri sırasında bilgi ve bilginin temsilini ve yönetimini desteklemek için bir model sunulmaktadır. Alkadi ve diğerleri, (2017)   boyutlu yapı oluşturmak için katmanlı bir üretim süreci önermiştir. 3B modelini ve istenen yazdırma parametrelerini girdi olarak içeren yeni bir algoritma geliştirilmiştir. Bu yayınların makine öğrenmesi, temsil, geometri, kültürel miras gibi geniş bir perspektif te birbirleriyle ilişkili olduğu ve bu sebeple de bağlantıların zayıf olduğu görülmektedir.



Şekil 1. ML bilgi kütlesindeki (yoğunluk görselleştirme ağı) çalışmalar

Çalışmalarda en etkili ülkeleri belirlemek ve aralarındaki iş birliğini haritalamak için bir "ülkeler ağı" oluşturulmuştur. Şekil 2'de çalışmaların sayıca ülkelere göre dağılımı gösterilmektedir. Analiz de 52 ülkenin araştırmalara katkı sağladığı görülmüştür. Bu da araştırma alanının birçok ülkede, hala keşfedilmemiş/çalışılmamış olduğu göstermektedir. Grafikte oluşan kümeler araştırma alanlarındaki işbirliğine, ortak alıntılara veya benzerliğe dayalı olarak meydana gelmiştir. Düşümlerin boyutu, bu alanda yaptıkları çalışmalarla "öne çıkan" ülkeleri göstermektedir. Düşümlerdeki zayıflıklar ise, işbirliğine olan ilginin azlığını işaret etmektedir. Büyük düşümlere sahip Amerika, İtalya, Çin gibi ülkelerin görülmesi mimarlıkta ML araştırmalarının gelişmiş ekonomilerde daha fazla çalışıldığını ve bu konularda daha aktif olduklarını göstermektedir. Söz konusu ülkeler arasında bilimsel anlamda bağlantı ve iş birliği mevcuttur. Araştırmalardaki en aktif ülkeler hakkındaki farkındalık gelecekteki iş birliğini teşvik edici niteliktedir. Bu anlamda bu grafik teknoloji ve yenilik alışverişini attırmada ve ortak araştırma finansman programlarını yaygınlaştırma konusunda potansiyel oluşturacak bir bilgi sunmaktadır.



Şekil 2. Yapılan yayınların ülkelere göre dağılımı

Bu veriyle makale sayısı ve toplam alıntıya dayanarak bir sıralama tablosu oluşturulmuştur (Tablo 2). Bu analiz ile farklı ülkelerde yapılan çalışmaların "alıntı sayılarına" göre en üst sıradaki kümede ABD, ikinci kümede "İtalya", devamında ise sırasıyla "Çin", "İspanya", "Türkiye" "Avustralya" yer almaktadır. Araştırma gücünün esas olarak gelişmiş ülkelerdeki araştırma kurumlarında yoğunlaştığı görülmüştür. Amerika, araştırma alanındaki ülkelerin etkisinin analizi ile tutarlı olarak alıntılama sayısı ile mutlak katkı ve etki açısından en üst sıralarda yer almaktadır.

Tablo 2. Ülkelerin alıntı sayılarına göre dağılımı

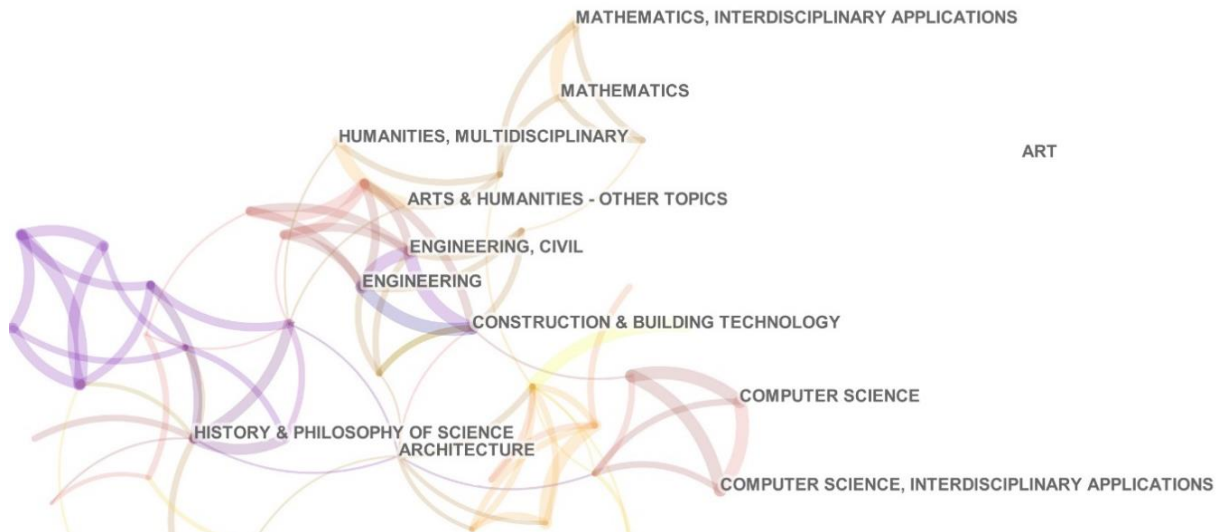
Sayı	Çalışmanın yapıldığı ülke	Alıntılama Sayısı
1	USA	64
2	Italy	57
3	Peoples R China	34
4	Spain	33
5	Turkey	23
6	Australia	19
7	Chile	17

Haritalarda düğümlerin boyutu ve uzaklıkları kadar “merkeziyet” bilgisi de öne çıkmaktadır. Bir düğümün merkeziyeti, düğümün bir ağdaki konumunun önemini ölçen grafik teorik bir özellik olarak tanımlanmıştır (Freeman, 1978). Ait olduğu düğümün bağlı olduğu ağlardaki kısa yolların yüzdesini ölçmektedir. Merkeziyeti yüksek bir düğümün farklı kümelerin bağlantı yollarında bulunma olasılığı yüksektir. Bu ölçümler bir ağdaki farklı uzmanlıkları bulmakta yararlı olmaktadır (Chen, 2006). Ayrıca kümeleri bulma ve ayırma özelliğiyle kullanılmaktadır (Girvan & Newman, 2002). Tablo 3'te gösterildiği gibi, ülke bazında merkeziyet olarak değerlendirildiğinde, ABD ve Çin bu alanlarda daha çok öne çıkan iki ülke olarak görülmektedir. Amerika Birleşik Devletleri, İtalya ve Çin mimarlıkta ML araştırmalarındaki işbirliğinin kapsamında en üst sıralarda yer alan ülkeler olarak öne çıkmasına rağmen İtalya ile arasındaki bağlantının güçlü olmadığı görülmektedir (Tablo 3). Bu nedenle, bu tür öncü ülkelerdeki kurumların, ML araştırma alanında küresel işbirliğini ve bilgi alışverişini daha da geliştirmek için bir strateji olarak birbirleriyle işbirliğini teşvik etmek için politikaları yeniden tanımlamaları gerekebileceği şeklinde bir sonuç çıkarılmıştır.

Tablo 3. Ülkelerin merkeziyete göre dağılımı

Sayı	Çalışmanın yapıldığı ülke	Merkeziyet
1	USA	23
2	Peoples R China	11
3	England	11
4	Germany	11
5	Netherlands	11
6	Italy	9
7	Australia	9
8	Turkey	6

Makalelerin ilgili olduğu çalışma disiplinleri araştırmacıların hangi alanlarla ortak çalışmalar yürütebileceklerini de tanımlayabilmektedir. Bu sebeple veri setinde yer alan yayınların “alanlara göre” bir ağı oluşturulmuştur (Şekil 3). Alanlar arasında kurulan bağlantının gücüne ve düğümler arasındaki mesafeye bakıldığında söz konusu işbirliğinin “bilgisayar bilimleri” düğümü ile çok güçlü olmayan ilişki içerisinde olduğu söylenebilir. İşbirliğinin bir diğer komşusu da bina teknolojileridir. Bu alanın da güçlü bir şekilde mühendislikle bağlantısı olduğu görülmektedir. Alanlar arasındaki baskın roller ve özellikle araştırmanın yoğunlukta olduğu alanlar mimarlık, bilgisayar bilimleri ve bina teknolojileri gibi alanlardır.



Şekil 3. Yapılan yayınların alanlara göre dağılımı

Ana araştırma alanlarının sıralaması araştırma alanlarının ilişkisi ışığında, birkaç temel bulgu Tablo 4.'de gösterilmiştir. Alıntı sayılarına göre en üst sıradaki kümede "Mimarlık" 365 atıf sayısı ile öne çıkmaktadır. İkinci küme ise "Bilim tarihi ve felsefesi" devamı ise sırasıyla "Bilgisayar Bilimi", "İnşaat ve Yapı Teknolojisi", "Mühendislik", "İnşaat Mühendisliği" yer almaktadır. Makaleler incelendiğinde arama kriterlerinde bulunan "geometrik örüntü", "örüntü görselleştirme" gibi anahtar kelimelerin yapılan çalışmalar mimarlık tarihi ile olan ilişkisi nedeniyle "bilim tarihi" alanı ile bağlantılıdır. Bu alandaki araştırmacıların aratılan konu başlıkları ile ilgilendikleri ve ayrıca farklı disiplinler arasında işbirliğine dayalı çalışmayı geliştirmeye açık oldukları düşünülebilir (Tablo 4).

Tablo 4. Yayın yapılan alanların alıntı sayılarına göre dağılımı

Sayı	Çalışma alanı	Alıntılama sayısı
1	Architecture	365
2	History and Philosophy of Science	55
3	Computer Science	50
4	Construction and Building Technology	38
5	Engineering	38
6	Civil Engineering	36

Bu haritaya göre merkeziet en üst sırada yer alan küme "Mimarlık" disiplinidir. Arama kategorisinin mimarlık olarak belirlenmesi bağlantı gücünün yüksek çıkmasına sebep olmaktadır. Yayın yapılan alanların ikincisi "Bilgisayar bilimi" olarak belirlenmiştir. Bu da anahtar kelimelerin seçimi ile mimarlık ve ML kesişimi doğrultusunda merkezietinin güçlü olması beklenen ikinci alandır. Devamında "İnşaat ve bina teknolojisi", "Kent çalışmaları", "Mühendislik", "Fizik" gelmektedir (Tablo 5). Bu bağlantılar ışığında çalışma alanlarının seçimi ve alanlara göre çalışma potansiyellerinin belirlenmesi mümkün olabilmektedir.

Tablo 5. Yayın yapılan alanların merkeziete göre dağılımı

Sayı	Çalışma disiplini	Merkeziet
1	Architecture	39
2	Computer Science	31
3	Construction and Building Technology	26
4	Urban Studies	22
5	Engineering	20
6	Physics	19

Çalışmanın devamında anahtar kelimelerin analizi yapılmıştır. (Şekil 4). Anahtar kelimeler çoğunlukla yayınların temalarını yansıtmaktadır (Jin, Gao, Cheshmehzangi, & Aboagye-Nimo, 2018; Wuni, Shen, & Osei-Kyei, 2019). Bu sebeple çalışmalardaki anahtar kelimelerin analizi, araştırmacılar için bilgi alanlarının bütünsel bir haritasını oluşturmaktadır. Anahtar kelimeler yoluyla kümelerin tanımlanması ve yorumlanması, bilgi alanının belirlenmesinde önemli bir adım olarak görülmektedir. Çalışmalarda eğilimleri belirlemek için anahtar kelimelerden oluşan kümelerin açıklanmasına odaklanılmıştır.

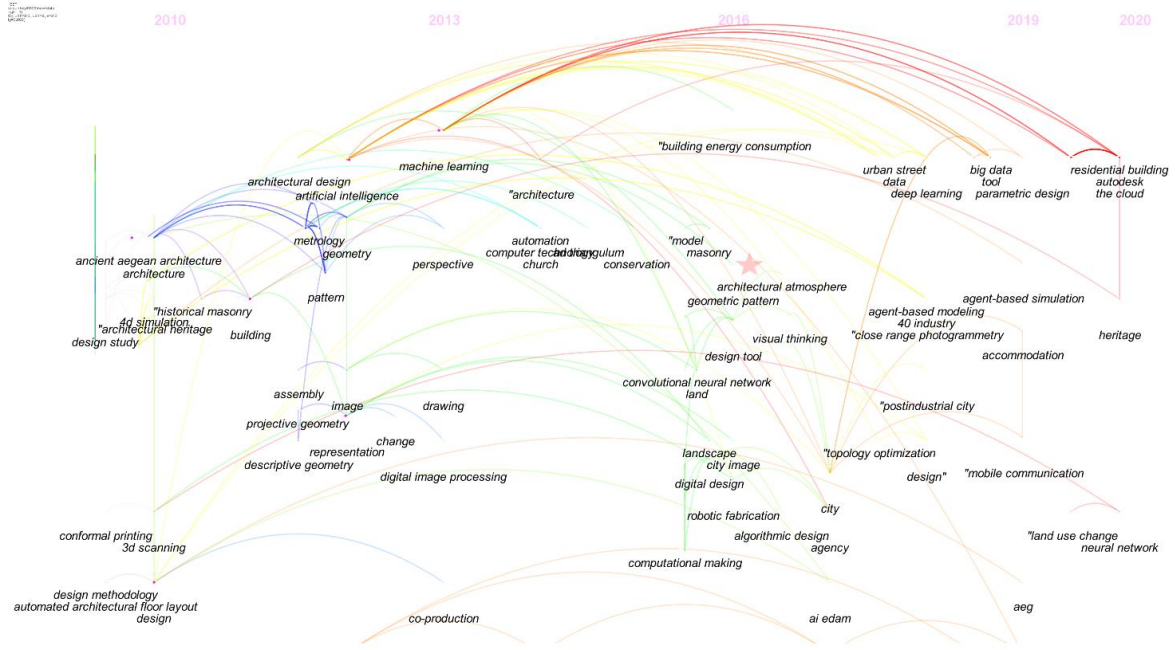
461 çalışmayı barındıran veri setine dayalı olarak anahtar kelimelerinin görselleştirmesini sunmak için tüm anahtar kelimeler yerine "yazar anahtar kelimeleri" kullanılmıştır. (Lee & Su, 2010) Bu sayede veri setinden toplam 246 anahtar kelime çıkarılmıştır. Bunlardan 32'si 4 ve üzeri makalede bulunmaktadır. Anahtar kelime arasındaki bağlantıların gücü, karşılık gelen araştırma alanlarının ilişkisini yansıtmaktadır (Van Eck & Waltman, 2010). Yapılan yayınların anahtar kelimelere göre dağılımına bakıldığında, işbirliğinin ML

araştırmasının diğer kilit alanlarla güçlü bağlantıları olmadığı görülmektedir. Bu durum mimarlıkta ML çalışmalarının diğer alanlara oranla azlığının da bir göstergesidir. Araştırmacıların tasarımı, dijital tasarımı, inşa edilebilirliği geliştirerek tasarım sürecini ve çıktılarını optimize etmekle ilgilendikleri ve ayrıca farklı disiplinler arasında işbirliğine dayalı çalışmayı geliştirmeye ilgilendikleri görülmektedir.



Şekil 4. Yapılan yayınların anahtar kelimelere göre dağılımı

Anahtar kelimeler, yayınların temel içeriği ile ilgili olduğundan, anahtar kelimelerin analizi, kritik araştırma konularının belirlenmesine yardımcı olabilmektedir. Araştırma alanlarında tercih edilen anahtar kelimeleri karşılaştırıldığında, ML'nin mimarideki çeşitli yeteneklerini temsil eden teknikler veya metodolojilerle ilişkili kelimeler görülmektedir. Bu kategorilerin anahtar kelimelerle bağlantılarının yıllara göre dağılımı Şekil 5'te gösterilmiştir. Grafiğe bakıldığında ML yöntemlerinin 2010 ve 2013 yılları arasında mimarlığa entegre olmaya başladığı anlaşılmaktadır. 2016 yılından sonra derin öğrenme ile, 2019 yılından sonra ise büyük veriler üzerine çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Bu harita, yapay zeka araçlarının yıllar içinde kademeli mimarlık disiplininde çalışılmaya başladığını gelişen yazılım araçları sayesinde aradaki boşluğun azalmaya başladığını ancak yapay zeka-mimarlık entegrasyonunda hala güçlü bağların oluşmadığı görülmektedir.



Şekil 5. Yapılan yayınların anahtar kelimelere ve yıllara göre dağılımı

Anahtar kelimeleri alıntı sayılarına göre değerlendirildiğinde sırasıyla "Makine öğrenmesi" "Yapay zeka", "Tasarım", "Mimarlık mirası", "4d simülasyon" şeklinde devam etmektedir (Tablo 6). Bu da son on yılda mimarlık alanında makine öğrenmesi ve yapay zeka çalışmalarının ön plana çıktığının bir göstergesidir. Ayrıca, mimari tasarımın karar verme sürecinde, ML ve yapay zeka teknikleri ile işbirliğine başladığını ve bir tasarım platformunun entegrasyon ve iletişim kapasitesini kolaylaştırmaya doğru geliştiğini de göstermektedir. Bununla birlikte, bu bulgunun, en büyük kümelerden biri olarak tanımlanan ML ve yapay zekanın mimarlık alanında yıllar içinde kademeli olarak geliştiği ve sektör gereksinimleri arasındaki boşluğunda bir miktar azaldığı söylenebilir.

Tablo 6. Anahtar kelimelerin alıntı sayılarına göre dağılımı

Sayı	Çalışma Alanı	Alıntılama Sayısı
1	Machine Learning	19
2	Artificial Intelligence	15
3	Design	11
4	Architectural Heritage	11
5	4D Simulation	11
6	Representation	11
7	3D Scanning	11
8	4D Bim	11
9	Cultural Heritage	10
10	Architecture	10

Anahtar kelimeler belirli zaman aralıklarında yayınlanan makalelerin ortak noktalarına da işaret etmektedir. Bu bilgi, makalelerin daha geniş indekslenmesini kolaylaştırmak için makalelerinde kullanacakları uygun anahtar kelimeler konusunda araştırmacılara yol göstermektedir. Oluşturulan ağda önemli olanın ortaya çıkarılması için en basit ve en güvenilir yaklaşım olarak, düğümlerin merkezietti ölçülmektedir (Hennig, Brandes, Pfeffer, & Mergel, 2012; Prell, 2012). Araştırmaların merkeziette olan anahtar kelimeleri, bağlantı gücünü artırarak kritik araştırma odaklarını belirlemektedir. Bu

dağılıma göre anahtar kelimelere bakıldığında ise en üst sırada yer alan öge, "Makine öğrenmesi" olup, sırasıyla "Yapay Zeka", "Mimarlık", "Geometri", "Örüntü", "Kültürel Miras", "Tasarım" şeklinde devam etmektedir. ML düğümünün farklı kümelerin bağlantı yollarında bulunma olasılığı yüksektir. Bu da ML sistemlerinin entegrasyona açık ve geniş çalışma ağı potansiyelini göstermektedir.

Tablo 7. Anahtar kelimelerin merkeziyete göre dağılımı

Sayı	Çalışma Alanı	Merkeziyet
1	Machine Learning	24
2	Artificial Intelligence	19
3	Architecture	18
4	Geometry	14
5	Pattern	13
6	Cultural Heritage	12
7	Design	11
8	Representation	11
9	City	10
10	Building	10

Makaleler incelendiğinde geometri, örüntü, dizayn gibi anahtar kelimeler kavramsal, modelleme ağırlıklı çalışmalar olurken; örüntü, makine öğrenmesi ve yapay zeka başlıklarında tahmin, optimizasyon, kümeleme daha fazla yer almaktadır. Diğer anahtar kelimelere bakıldığında ise; dijital tasarım, tasarım araçları, büyük veri, akıllı şehirler, geometri, örüntü, yapı performans ölçüleri, derin öğrenme ve robotik fabrikasyon gibi kavramların ortaya çıktığı görülmektedir. Bu alanlarda yoğunlaşma, ML araştırmacılarının bu alanlardaki keşif ve tanımlamanın ön aşamalarından olgun bir duruma, yani genişletme ve iyileştirmeye geçmesine yardımcı olacağı düşünülmektedir. Mimarlıkta ML alanındaki aktif araştırmacıların, ML'in belirli alanlarına ayrılmış araştırma kümeleri oluşturmaya odaklanmaları faydalı görülmektedir.

4. TARTIŞMA VE SONUÇ

Çalışmada mimarlık disiplininde yapay zeka ve makine öğrenmesi konularında yapılan bilimsel yayınlar WoS veri tabanından çekilen bibliyometrik veriler ışığında incelenmiş ve alandaki araştırma eğilimleri değerlendirilmiştir. Bu bağlamda, mimarlık disiplininde makine öğrenmesi çalışmalarının arttığı 2010 yılından itibaren yapılan 461 çalışmanın bibliyometrik verileri üzerinden kaynak dergi, anahtar kelime, ortak yazar, atıf ve ülkelere ilişkin değerlendirmeler yapılmış alana ilişkin araştırma konuları belirlenmiştir. Söz konusu araştırma konuları, bilgisayar bilimleri, bina teknolojileri, yapı fiziği ve mühendislik gibi alanlardaki ortak konularla kesişmektedir. Ayrıca ML'nin kullanım alanları ve bu alanlardaki araştırma potansiyelleri değerlendirildiğinde mimarlığın makine öğrenmesi ile entegrasyonun sınırlı sayıda olduğu açıktır. Benzer şekilde ülkemizde de bu konularda yapılan yayınların sayısı sınırlıdır ve araştırma yapmaya açık bir alan olarak belirmektedir. Bulguları değerlendirdiğimizde, ML araştırmasına katılan ülkelerdeki araştırmacılar, aktörler ve kurumlarda işbirliğinin zayıf olduğu da görülmektedir. Bu bağlamda araştırmacıların disiplinler arası çalışmalar ve araştırmalar içeren ML çalışmalarına odaklanmaları önemlidir. Sınırlı sayıda çalışmalara ve zayıf bağlantılara rağmen, yapılan analiz bu konudaki araştırmaların son yıllarda büyüme eğiliminde olduğunu göstermiştir. Araştırma konularındaki artış mimarlıkta yapay zeka teknolojisinin gelişmeye açık bir alan olduğuna işaret etmektedir. Teknolojik gelişmelerin hızı göz önünde bulundurulduğunda ML sistemlerinin mimarlık disiplinin entegrasyonunun ilerleyen zamanlarda daha farklı alanlarda etkin sonuçlar ortaya çıkaracağı açıktır.



KAYNAKLAR

- Acierno, M., Cursi, S., Simeone, D., & Fiorani, D. (2017). Architectural heritage knowledge modelling: An ontology-based framework for conservation process. *Journal of Cultural Heritage, 24*, 124-133.
- Ahuja, S., & Chopson, P. (2020). Automation and Machine Learning in Architecture: A New Agenda for Performance-Driven Design. *Architectural Design, 90*(2), 104-111.
- Al Jassmi, H., Ahmed, S., Philip, B., Al Mughairbi, F., & Al Ahmad, M. (2019). E-happiness physiological indicators of construction workers' productivity: A machine learning approach. *Journal of Asian Architecture and Building Engineering, 18*(6), 517-526.
- Alberti, L. B. (1988). *On the art of building in ten books*: Mit Press.
- Alkadi, F., Lee, K.-C., Bashiri, A. H., & Choi, J.-W. (2020). Conformal additive manufacturing using a direct-print process. *Additive Manufacturing, 32*, 100975.
- Alpaydin, E. (2009). *Introduction to machine learning*: MIT press.
- Andrade Zandavali, B., & Jiménez García, M. (2019). *Automated Brick Pattern Generator for Robotic Assembly using Machine Learning and Images*.
- Belém, C., Santos, L., & Leitão, A. (2019). *On the Impact of Machine Learning: Architecture without Architects?*
- Butler, L., & Visser, M. S. (2006). Extending citation analysis to non-source items. *scientometrics, 66*(2), 327-343. doi:10.1007/s11192-006-0024-1
- Carmo, M. (2017). *The second digital turn: design beyond intelligence*: MIT Press.
- Chatzikonstantinou, I., & Sariyildiz, S. (2016). Approximation of simulation-derived visual comfort indicators in office spaces: a comparative study in machine learning. *Architectural Science Review, 59*(4), 307-322.
- Chen, C. (2006). CiteSpace II: Detecting and visualizing emerging trends and transient patterns in scientific literature. *Journal of the American Society for information Science and Technology, 57*(3), 359-377.
- Cobo, M. J., López-Herrera, A. G., Herrera-Viedma, E., & Herrera, F. (2011). Science mapping software tools: Review, analysis, and cooperative study among tools. *Journal of the American Society for information Science and Technology, 62*(7), 1382-1402.
- Cromwell, P. R. (2009). The search for quasi-periodicity in Islamic 5-fold ornament. *The Mathematical Intelligencer, 31*(1), 36.
- Cudzik, J., & Radziszewski, K. (2018). Artificial Intelligence Aided Architectural Design. *AI For Design and Built Environment, 1*.
- Freeman, L. C. (1978). Centrality in social networks conceptual clarification. *Social networks, 1*(3), 215-239.
- Girvan, M., & Newman, M. E. (2002). Community structure in social and biological networks. *Proceedings of the national academy of sciences, 99*(12), 7821-7826.
- He, Q., Wang, G., Luo, L., Shi, Q., Xie, J., & Meng, X. (2017). Mapping the managerial areas of Building Information Modeling (BIM) using scientometric analysis. *International Journal of Project Management, 35*(4), 670-685.
- Hennig, M., Brandes, U., Pfeffer, J., & Mergel, I. (2012). *Studying social networks: A guide to empirical research*: Campus Verlag.
- Hong, Y., & Chan, D. W. (2014). Research trend of joint ventures in construction: a two-decade taxonomic review. *Journal of facilities management, 12*(2), 118-141.
- Hood, W. W., & Wilson, C. S. (2001). The literature of bibliometrics, scientometrics, and informetrics. *scientometrics, 52*(2), 291.
- Hosseini, M. R., Maghrebi, M., Akbarnezhad, A., Martek, I., & Arashpour, M. (2018). Analysis of citation networks in building information modeling research. *Journal of construction engineering and management, 144*(8), 04018064.
- Hosseini, M. R., Martek, I., Zavadskas, E. K., Aibinu, A. A., Arashpour, M., & Chileshe, N. (2018). Critical evaluation of off-site construction research: A Scientometric analysis. *Automation in Construction, 87*, 235-247.



- Jin, R., Gao, S., Cheshmehzangi, A., & Aboagye-Nimo, E. (2018). A holistic review of off-site construction literature published between 2008 and 2018. *Journal of Cleaner Production*, 202, 1202-1219. doi:https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.08.195
- Jordan, M. I., & Mitchell, T. M. (2015). Machine learning: Trends, perspectives, and prospects. *Science*, 349(6245), 255-260. Retrieved from https://science.sciencemag.org/content/349/6245/255.long
- Khean, N., Fabbri, Alessandra and Haeusler, M. Hank. (2018). *Learning Machine Learning as an Architect, How to? - Presenting and evaluating a Grasshopper based platform to teach architecture students machine learning*. Paper presented at the Computing for a better tomorrow - Proceedings of the 36th eCAADe Conference Lodz, Poland, 1.
- Lee, P.-C., & Su, H.-N. (2010). Investigating the structure of regional innovation system research through keyword co-occurrence and social network analysis. *Innovation*, 12(1), 26-40.
- Li, X., Wu, P., Shen, G. Q., Wang, X., & Teng, Y. (2017). Mapping the knowledge domains of Building Information Modeling (BIM): A bibliometric approach. *Automation in Construction*, 84, 195-206.
- Nicholas, P., Rossi, G., Williams, E., Bennett, M., & Schork, T. (2020). Integrating real-time multi-resolution scanning and machine learning for Conformal Robotic 3D Printing in Architecture. *International Journal of Architectural Computing*, 1478077120948203.
- Oraee, M., Hosseini, M. R., Papadonikolaki, E., Palliyaguru, R., & Arashpour, M. (2017). Collaboration in BIM-based construction networks: A bibliometric-qualitative literature review. *International Journal of Project Management*, 35(7), 1288-1301.
- Paliouras, G., Karkaletsis, V., & Spyropoulos, C. D. (2001). *Machine learning and its applications : advanced lectures*. Berlin ; New York: Springer.
- Petticrew, M., & Roberts, H. (2008). *Systematic reviews in the social sciences: A practical guide*: John Wiley & Sons.
- Prell, C. (2012). *Social network analysis: History, theory and methodology*: Sage.
- Rawitscher, N. (2017). *Computational Matters*.
- Steinfeld, K. (2017). *Dreams May Come* Paper presented at the Acadia 2017.
- Su, H.-N., & Lee, P.-C. (2010). Mapping knowledge structure by keyword co-occurrence: a first look at journal papers in Technology Foresight. *scientometrics*, 85(1), 65-79.
- Tamke, M., Nicholas, P., & Zwierzycki, M. (2018). *Machine learning for architectural design: Practices and infrastructure*.
- Tamura, T., Ohsaki, M., & Takagi, J. (2018). Machine learning for combinatorial optimization of brace placement of steel frames. *Japan Architectural Review*, 1(4), 419-430.
- Tijssen, R. J., & Van Raan, A. F. (1994). Mapping changes in science and technology: Bibliometric co-occurrence analysis of the R&D literature. *Evaluation Review*, 18(1), 98-115.
- Van Eck, N. J., & Waltman, L. (2010). Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. *scientometrics*, 84(2), 523-538.
- Van Eck, N. J., & Waltman, L. (2014). Visualizing bibliometric networks. In *Measuring scholarly impact* (pp. 285-320): Springer.
- Wuni, I. Y., Shen, G. Q. P., & Osei-Kyei, R. (2019). Scientometric review of global research trends on green buildings in construction journals from 1992 to 2018. *Energy and Buildings*, 190, 69-85. doi:10.1016/j.enbuild.2019.02.010
- Yalcinkaya, M., & Singh, V. (2015). Patterns and trends in building information modeling (BIM) research: A latent semantic analysis. *Automation in Construction*, 59, 68-80.
- URL:1, https://tr.wikipedia.org/wiki/Veri. Erişim tarihi: 10.10.2020