

Sayısal İkiz Üzerine Bir Literatür Taraması¹

İlker İbrahim Avşar²

Dilara Berrak Tarhan³

Özet

Verimlilik ister işletmeler açısından ele alınsın ister ülke ekonomileri açısından ele alınsın rekabet için önemli bir kavramdır. Endüstri 4.0 bağlamında değerlendirilen Sayısal İkiz, işletmelere dolayısıyla ülkelere verimlilik artışı vaat etmektedir. Bu çalışma ile Sayısal İkiz ve verimlilik konusunu işleyen akademik yayınların; yıllara göre sayısı, hangi dergilerde yayımlandığı, kategorilerine göre yayınların dağılımı, yayınlarda tercih edilen türler, yazarın çalıştığı kurum, yayını destekleyen kuruluşlar, yayınlarda sık kullanılan kelimeler ve kelimeler arasındaki ilişki durumunu göstererek konuya ilgi gösteren araştırmacılara fikir vermek amaçlanmaktadır. Sistematik literatür taramasıyla Sayısal İkiz ve verimlilik konulu yayınların genel görünümü çıkarılmaya çalışılmıştır. Web of Science (WoS) veri tabanı Sayısal İkiz ve verimlilik anahtar kelimeleri kullanılarak taratılmıştır. Tarama sonucunda 300 adet yayına ulaşılmıştır. Elde edilen yayınlar WoS kategorisi, yayın yılı, belge türü, yazarın bağlı olduğu kuruluş, yayının yapıldığı dergi, yayına destek veren kuruluşlar gibi farklı kriterler ile tasnif edilmiştir. WoS kategorisine göre Sayısal İkiz ve verimlilik alanındaki yayınlar en fazla mühendislik alanından gelmektedir. Bu alan, yeni olmasına karşın 2017 yılından itibaren her yıl daha fazla sayıda yayın yapıldığı görülmektedir. Yayınlarda en fazla makale türü tercih edilmektedir. Üniversiteler arasında en fazla “Beihan Üniversitesi” konuya ilgi göstermektedir. Çin merkezli kuruluşların ve Avrupa Komisyonu’nun Sayısal İkiz ve verimlilik konulu yayınlara en fazla finansal destek veren kuruluşlar olduğu görülmektedir.

1 Bu bölümün özeti, UTZ2022 Sinop Kongresi’nde sunulmuştur.

2 Dr. Öğr. Üyesi, Korkut Ata Üniversitesi, Bahçe MYO, Yönetim ve Organizasyon Bölümü/ Lojistik Pr., iibrahimavsar@osmaniye.edu.tr, ORCID: 0000-0003-2991-380X

3 Dr. Öğr. Üyesi, Ankara Medipol Üniversitesi, İktisadi İdari ve Sosyal Bilimler Fakültesi, Uluslararası Ticaret ve Finansman Bölümü, dbtarhan@gmail.com, ORCID: 0000-0002-4303-5292

Giriş

Çağımızın çözülmesi zor problemlerinin temelinde ekonomik sorunlar yatmaktadır. “Verimlilik” ekonomik problemleri çözecek önemli anahtar kelimelerdendir. Verimlilik; üretimin girdi ve çıktı süreçlerinde savurganlıktan uzak şekilde eldeki kaynaklardan en yüksek verimi almaktır. Verimliliği arttıran faktörler arasında; maliyeti azaltacak, üretimi hızlandıracak ve kayıpları en aza indirecek modeller öncelikli olarak değerlendirilmelidir. Amaçlara hizmet edecek olan araçların tespiti, yerleşim düzeninin planlaması, varlıkların yönetimi, taşımacılık gibi süreçlerin etkin kullanımı değerlendirilecek diğer konular arasındadır. Bunların yanı sıra kapasitenin tam kullanımı, kalitenin artırılması, insan kaynağının eğitilmesi konuları da verimlilik ile ilgilidir (Kara ve Döğeroğlu, 1994: 33).

Üretim süreçlerinin dönüşümü ile akıllı üretim giderek daha önemli hale gelmektedir. Sayısal İkiz kullanılan akıllı üretim, ürünlerin üretim sürecini daha verimli ve akıllı hale getiren akıllı algılama ve benzetim işlevlerine sahiptir. Sayısal İkiz; ürünlerin ve üretim donanımlarının durumunu gerçek zamanlı olarak izleyebilir ve oluşacak arızaları tahmin edebilir (He ve Bai, 2021: 15). Birçok alanda kullanılabilir özellikte olan Sayısal İkiz henüz sınırlı kullanıma sahiptir ve üretim dışında sağlık, muhasebe, kamu denetimi, inşaat, eğitim gibi alanlarda da kullanılabilir (Aynacı, 2020; Yukcu ve Aydın, 2020; Özen ve Gürel, 2020; Ceylan, 2019; Göçen, 2020)

Üretimin zorluklarında biri de etkin iletişimidir. Endüstri bileşenlerinin iletişim kurma, bilgi alışverişi yapma ve bilgi paylaşma ihtiyacı üretim süreçlerinin hızla sayısallaşmasının arkasındaki isteklendirmedir. Sayısal İkiz hızla artan sayısallaşma talebine modern çözümdür. Sayısal İkiz; veriyi toplar, süreci izler, geçmiş verilere erişir. Bunun sonucu olarak iş sürecinin daha iyi anlaşılmasına ve oluşacak durumların daha iyi tahmin edilmesine olanak tanır (Botkina ve diğerleri, 2018: 218).

Çalışma, Sayısal İkiz ve verimlilik konusunu işleyen yayınların genel eğilimlerini göstermesi açısından önem taşımaktadır. Endüstri 4.0 ile adı sıkça duyulmaya başlayan sayısal ikiz konusuna olan akademik ilgiye yönelik eğilimleri göstermek çalışmanın temel motivasyonudur. Bu şekilde sayısal ikiz konusunda oluşan yönelimleri görmek mümkün olacaktır ve konuya ilgi duyan araştırmacılara fikir verilecektir. Çalışmanın temel amacı sayısal ikiz konusuna olan akademik ilginin seviyesini göstermektir ve konuya yönelik literatüre katkıda bulunmaktır. Bu amaçla; çalışma ile Web of Science (WoS) veri tabanında verimlilik ve Sayısal İkiz konulu sorgulama yapılmıştır. Elde edilen 300 yayın üzerinde sistematik literatür taraması gerçekleştirilmiştir. Literatür taramasından önce endüstri 4.0, sayısal ikiz ve verimlilik kavramları

açıklanmış, daha önce konuyla ilgili yapılan yayınlara yönelik örnek yayınlar listelenmiştir.

Yazarın ulaşabildiği literatürde, “Verimlilik” ve “Sayısal İkiz” odaklı WoS veri tabanı sorgusuna yönelik yapılmış çalışmaya rastlanmamıştır. Yapılan çalışmanın literatürdeki boşluğu dolduracağı öngörülmektedir. Çalışma 5 bölümden oluşmaktadır. Bölüm 2 kavramsal çerçeve, bölüm 3 yöntem, bölüm 4 veriler, bölüm 5 sonuç konularını içermektedir.

1. Kavramsal Çerçeve

1.1. Endüstri 4.0

Endüstri 4.0 sayısal dönüşümü ve sayısal teknolojileri kullanarak akıllı ekosistemler oluşturma çabasını ifade etmektedir. Endüstri 4.0 hem endüstri hem de hizmet alanında çalışan kuruluşlara hitap edecek şekilde geniş uygulama alanına sahiptir (Erturan ve Ergin, 2018: 827).

Endüstri 4.0; Nesnelerin İnterneti, Hizmetlerin İnterneti, Siber Fiziksel Sistemler, Benzetim, Bulut Bilişim, Büyük Veri, Akıllı Fabrikalar, Yapay Zekâ, Üç Boyutlu Yazıcılar, Otonom Robotlar, Arttırılmış Gerçeklik ve Sanal Gerçeklik gibi bileşenlere sahiptir. Bu bileşenlerden Yapay Zekâ, Büyük Veri, Nesnelerin İnterneti ve Hizmetlerin İnterneti birçok alanda kullanılan temel bileşenler arasındadır (Akgül, 2021: 221-222). Bu teknolojiler farklı adlara sahip olsalar bile iç içe geçmiş yapılardır. Detaylandırmak gerekirse; Endüstri 4.0 Siber-Fiziksel Sistemle, Siber-Fiziksel Sistem Büyük Veriyle, Büyük Veri Nesnelerin İnterneti ile ilişkilidir (Ediz, 2021: 10). Sayısal İkiz ise Nesnelerin İnterneti çerçevesinde devrim niteliğinde bir gelişmedir (Gopinath ve diğerleri, 2019: 8).

Nesnelerin İnternet’inin ortaya çıkışından sonra nesnelerin bulunduğu yeri göstermede kullanılan radyo frekans tanımlama yongalarının fiyatındaki ucuzlama yeni bir çağın ortaya çıkışını kolaylaştırmıştır. Bu teknolojilerle elde edilen veriler kısa zamanda artmış ve yeni iş kollarını ortaya çıkarmıştır. Gerçek zamanlı verilerle yapay zekâ teknikleri kullanılarak sadece nesnenin takibi yapılmamış aynı zamanda insan etkisi olmadan yürütülen iş modellerinin sürdürülebilmesi de sağlanmıştır. Sayısal İkiz’in bir kopyadan ötesi olmasını sağlayan ve onu Endüstri 4.0 için anahtar ürün haline getiren özellik fiziksel üründe meydana gelebilecek tüm durumları değerlendirebilmesidir. Nesnelerin İnternet’i teknolojisi Sayısal İkiz teknolojisini uygulanabilir hale getirmektedir ve birçok sektörde kullanımının önünü açmaktadır (Kumaş ve Erol, 2021: 699).

1.2. Sayısal İkiz

Fiziksel sistem ve onun sayısal temsili arasında yakınsama sağlayan model olarak Sayısal İkiz; veriye ve fiziksel bilgiye dayalı zekâyı tek model altında birleştirerek olası durumların tahmini için yeni bakış açısı sağlar (Qiao ve diğerleri, 2019: 6). Sayısal İkiz, siber fiziksel dünyayı üretim gibi süreçlere bütünleştirerek Endüstri 4.0 uygulamaları için umut verici ortam sağlamaktadır (Qi ve diğerleri, 2018: 6). Sayısal İkiz'in uygulaması gerçek durumun analizinde başlar ve kullanıcının sistemle etkileşime girebileceği bir platform tasarımıyla sona erer (Bevilacqua ve diğerleri, 2020: 14). Gerçek verilerle çalışabilen Sayısal İkiz; uygulanması durumunda işletmeler için faydalı olabilecek bir modeldir (Sommer ve diğerleri, 2020: 461; Liu ve diğerleri, 2019: 19319).

Sayısal İkiz, gerçek dünya ile sanal dünya arasındaki köprü işlevi görmektedir. Aynı zamanda dördüncü sanayi devriminin genel amaçlı ve temel teknoloji yaklaşımlarından biridir. Her şeyin birbiriyle bağlantısını destekleyen kapsamlı teknoloji yaklaşımıdır. Ayrıca sayısal ekonominin köşe taşıdır ve geleceğin akıllı çağında bilgi altyapısının temelidir. Bu yeni teknoloji, önümüzdeki on yıla damgasını vuracaktır. Dördüncü sanayi devrimi bağlamında Sayısal İkiz; küreselleşmenin, sanayileşmenin ve kentleşmenin tüm alanlarına nüfuz ederek her yerde bulunur hale gelecektir (Duan ve Tian, 2020: 731).

Sayısal İkiz kullanım alanına örnek vermek gerekirse; Sayısal İkizin erişebildiği gerçek zamanlı algılayıcı verilerinin sentezlenmesiyle fabrikada hareket eden ve insanlara yardım eden çift kollu robotlar yönetilir. Bu sistem, robotların yerleşim ve görev planları açısından en iyi yapılandırmayı üretir. Beklenmedik olay olduğunda görevi yeniden tanımlayabilir ve sistemin çevrimiçi yeniden yapılandırılmasına imkân tanınır (Kousi ve diğerleri, 2021: 12).

1.2.1. Sayısal İkizin Özellikleri

Sayısal İkiz modelinin sahip olması gereken bazı temel özellikler (Ashtari Talkhestani ve diğerleri, 2019: 765):

- Sayısal İkiz'in, her zaman fiziksel varlıkla gerçek zamanlı veri alışverişini yapıyor olması gerekmektedir.
- Sayısal İkiz, fiziksel varlığın veya sürecin sayısal temsili olduğundan dolayı mümkün olduğunca gerçekçi modele sahip olmalı ve fiziksel varlığa ilişkin mümkün olan en çok veri ve bilgiyle modellenmelidir.

- İşletme sırasında elde edilen tüm süreç verilerinin yanı sıra varlığın geliştirilmesi sırasında oluşturulan tüm organizasyonel ve teknik bilgileri içeren veri setiyle çalışılmalıdır.
- Fiziksel varlığın davranışı Sayısal İkiz üzerinde benzetim çalıştırmaya olanak tanınmalıdır.
- Sayısal İkiz'i çalıştırabilmek için yukarıdakilere ek olarak; benzersiz Sayısal İkiz kimliği, yaşam döngüsü süresince Sayısal İkiz'deki değişimleri kaydedecek sürüm yönetim sistemi, eş benzetim ve veri alış-veriş uygulamaları için ara yüzler, modellerin koşurulduğu araçlarda ara yüzler, ortak simülasyonlarda diğer ikizler için ara yüz uygulamaları geliştirmek de gerekmektedir.

Geleceğin Sayısal İkiz ekosistemine doğru bilgi teknolojileri ve iletişim teknolojileri evrim geçirmektedir. Endüstri 4.0'ın başlattığı devrim ile herhangi bir işte gelecekte firesiz test yapabilmek için bir dizi adım bulunmaktadır (Liu ve diğerleri, 2018: 6):

- Modern iletişim ve bilgi teknolojileri kullanarak gerçek zamanlı ve esnek firesiz test planları geliştirilmelidir.
- Fire vermeden yapacağınız test süreçlerini çevrimiçi izleme yapabilecek şekilde iş sürecinizle bütünleştirilmelidir.
- Firesiz test süreçlerine karar verme özelliği katılmalıdır.

1.2.2. Sayısal İkiz ve Maliyet Faydası

İşletmeler; petrol kulesi, hidroelektrik santrali, 5G ağı veya uçak gibi karmaşık bir fiziksel sistem geliştirirken üretim aşamasına geçmeden önce tüm olası durumları görmek istemektedir. Sonucun kesin olarak tahmin edilmesi için her girdi değerinde olası durumların iyi bilinmesi gerekmektedir. Örneğin bir 5G yatırımında; 4G uygulaması olan gelişmekte olan bir ülkede deneme amaçlı 5G ağı oluşturmak pahalı olacaktır. Eğer 5G hücrelerinin konumlandırılması olası noktaların etkileri önceden tahmin edilirse, yöneticilerin kendi ülkeleri için uygun stratejileri geliştirmelerine olanak tanınacaktır. Dolayısıyla geri dönüşü olmayan maliyetli yatırım hatalarının önüne geçilecektir (Nguyen, 2021: 11).

Maliyet faydası elde edebilmek için; Sayısal İkiz uygulamaları, birden fazla kullanımı desteklemesi için uygulamadan bağımsız (genel), özelleştirilebilir ve yeniden kullanılabilir olmalıdır. Bu modelde yönergeler, yöntemler ve iyi geliştirilmiş bir uygulama bulunmalıdır. Bir şirkette tutarlı şekilde uygulanan model; birleştirilebilir ve birlikte kullanılır özellikleri kolayca tasarlanır

olmalıdır. Tasarımdan sonra veri elde etme, modelleme ve benzetim, iletişim ve bütünleştirmeye ilgili standartları inşa edilir (Shao ve Helu, 2020: 3).

1.2.3. Sayısal İkiz Konulu Yayınlar

Sayısal İkiz'in verimlilik odaklı diğer uygulamalarına yönelik çalışmalar bulunmaktadır; sesli iletişime dayalı Sayısal İkiz örneğinde ambalaj kutuları üretimi (Padovano ve diğerleri, 2018), insan makine etkileşimine Sayısal İkiz yaklaşımı (Ma ve diğerleri, 2019), binalarda enerji tasarrufu (Lydon ve diğerleri, 2019), lazerli üretim modellemesi (Papacharalampopoulos ve Stavropoulos, 2019), cevher atığı temizlemede enerji tasarrufu (Dli ve diğerleri 2020), havacılıkta bakım (Oyekan ve diğerleri, 2020), enerji tüketimi için çift yönlü karar verme (Fathy ve diğerleri, 2021), makine optimizasyonu (Heo ve Yoo, 2021), prefabrik bina kaldırma sisteminde güvenlik (Liu ve diğerleri, 2021), tesiste doluluk (Seghezzi ve diğerleri, 2021) konulu çalışmalar yapılan uygulamalara örnekler arasındadır.

1.3. Verimlilik

Verimlilik kavramı geçmişten günümüze önemini korumaktadır (Dinç ve Kılıçaslan, 2021: 24). Verimlilik kavramını önemli yapan şey insan ve üretim arasında bağ kurmasıdır (Suiçmez, 2015: 2). Tek tanımı olmamasına rağmen verimlilik; iyi seçilmiş işlerin, ideal şekilde ve ekonomik olarak yapılarak akılcı işin elde edilmesidir (Gülcü, 2004: 3).

Verimlilik önemli bir göstergedir (Çetin, 2004: 27). Günümüzde işletmelerin başarı düzeylerini değerlendirmenin yanı sıra ülkelerin kalkınma çabalarını değerlendirmede temel göstergelerden biri de verimliliğdir. Verimlilik, yaşam kalitesiyle de ilgilidir. Verimlilik seviyesi yükseldikçe daha ucuz ve daha kaliteli ürünler piyasaya sürülebilmektedir. Verimlilik artışı istikrara sebep olmaktadır (İleri, 2014: 22-23).

Verimliliğin geliştirilmesi isteği mevcut ürünlerin güncellenmesi anlamına gelmektedir. Bunun için; hizmetleri geliştirmek, çok işlevli ekipler kurmak, pilot uygulamalarla yenilikleri önceden denemek, diğer işletmelerin elde ettikleri başarılarından yararlanmak ve başarısızlıklardan ders almak gerekmektedir (Özer, 2017: 14). Çünkü işletmelerin ve dolayısıyla işletmelerin bulunduğu ülkelerin rekabet gücü verimlilik ile artırılır (Tutkavul, 2019: 52).

Verimlilik, bütüncül ele alış gerektirmektedir ve bir kurumdaki tüm fonksiyonlarla ilgilidir. Kurumların verimlilik seviyesi; yönetici bakış açısı, çalışan kalitesi, organizasyon kalitesi, kurum kültürü gibi birçok etmenle şekillenmektedir. Bir işletmenin rekabet gücünü önemli derecede

etkileyen verimlilik üzerinde özenle durulması gereken bir konudur (Metec ve Azizoglu, 2011: 4). Kıt kaynaklardan üst düzeyde fayda elde edilmek isteniyorsa verimlilik ilkesi göz ardı edilmemelidir (Dikmetaş, 2008: 16; Çalışkan, 2020: 170).

Verimlilik ve Sayısal İkiz:

Teknolojinin sanayi ve günlük yaşantıya dair büyük kolaylıklar getirdiği gerçeği reddedilemez (Güler, 1996: 190). Robot, İnternet ve bilgisayar gibi bilgi teknoloji aygıtlarının verimlilik konusundaki olumlu katkısı ekonomi literatürü açısından genel kabul görmüş bir olgudur (Serin ve İşcan, 2019: 52; Benli, 2011:222; Yetiz ve diğerleri, 2021: 78).

Sayısal İkiz, sayısal dönüşümün temel taşlarından biri olma yolundadır. Sayısal İkiz, gerçek sistemlerin sayısal kopyasını oluşturarak gerçek zamanlı izleme, artan verimlilik ve artan üretkenlik sağlamaktadır (Mashaly, 2021: 6). Sayısal İkiz kullanılarak gerçekleştirilen iş süreçleri daha verimli hale gelmektedir. Çünkü Sayısal İkiz ile ürünlerin ve kullanılan teçhizatın durumları gerçek zamanlı olarak takip edilebilir ve oluşması muhtemel arızalar tahmin edilebilir (He ve Bai, 2021: 15).

2. Yöntem

Sistemik Literatür Taraması (SLT) mevcut bilimsel literatürü analiz etmek için geçerli bir tekniktir (Amaral, 2022: 14). Birçok araştırmanın temelini oluşturması açısından literatür taramaları önem taşımaktadır. Bu yöntem ile bilginin gelişimi görülebilir ve politika önerilerinde bulunulabilir. Gelecekteki araştırmalara yön vererek teoriyi oluşturmak bağlamında da önem taşımaktadır (Snyder, 2019: 339). SLT çalışmalarında mevcut yayınlar incelenir ve konu ile ilgili veriler üzerinde analizler yapılır. Çalışmalar makalenin kapsamı ve coğrafi konumu gibi farklı kriterler altında ayrıntılandırılır (Athanasidou, 2021: 17).

SLT, akademik yayınlarda kullanılan yöntemler arasındadır. Shahzamanian ve diğerleri (2021), Eylül 2020'de Google Scholar veri tabanını SLT için kullanmışlardır. Google Arama Motoru üzerinde anahtar kelimeler kullanarak arama yapmışlardır. Elde ettikleri yayınlar üzerinde analizler gerçekleştirmişlerdir. Forcina ve Falcone (2021), tarafından yapılan SLT çalışmasında olduğu gibi anahtar kelimeler arasında "AND" ve "OR" mantıksal operatörleri kullanılabilir. Yazarlar elde ettikleri yayınları; yayının yapıldığı ülke, yayın yılı, yayının yapıldığı dergi başlıkları altında incelemiş ve sonuçları yorumlamışlardır. Sayısal ikiz ve verimlilik konulu yayınların SLT yöntemi kullanılarak sayısal verilerle açıklanması

araştırmacıların konunun yönelimini kolayca görmeleri açısından önem arz etmektedir. Bu nedenle çalışmada SLT yöntemi seçilmiştir.

SLT yoluyla temel süreçler ve ilgili terminoloji dâhil olmak üzere Sayısal İkiz karakterize edilebilir (Jones ve diğerleri 2021: 37). Bu bağlamda 08.07.2021 tarihinde Web of Science (WoS) veri tabanı tarandı. Tarama 1975-2021 tarihleri arasını kapsamaktadır. Tarama ile yayınların yıllara göre sayısı, yayımlandığı dergi, kategorilerine göre yayınların dağılımı, yayınlarda tercih edilen türler, yazarın bağlı bulunduğu kurum, yayını destekleyen kuruluşlar, yayınlarda sık kullanılan kelimeler ve kelimeler arasındaki ilişkilere yönelik veriler elde edilmiştir. Elde edilen veriler tablo olarak kullanıldı. Tablo dışında kümeleme analizi ile yayınlarda sık kullanılan kelimeler ve kelimeler arasındaki ilişkiler belirlendi

Verimlilik anlamında “efficiency” veya “productivity” kelimeleri kullanılabilir (Cavlak, 2021: 105). Bundan dolayı WoS veri tabanı “digital twin” anahtar kelimesi “efficiency”/“productivity” kelimeleri ile birlikte tarandı (Sorgu bağlantısı: <https://www.webofscience.com/wos/woscc/summary/787ae03b-5a54-47a5-9f51-0da72b7a59f9-00365ccc/relevance/1>). Sorgu ““digital twin” (Topic) and “productivity” or “efficiency” (Topic)” şeklindedir. Sorgu sonucu 300 adet yayına ulaşıldı. Elde edilen yayınların kelime analizi VOSviewer programı ile yapıldı.

3. Bulgular

Sorgu sonucu elde edilen 300 adet yayın içerisindeki kelimeler kümelirken; “Bağlantı (Association)” yöntemi ile normalize edilmiş, “Kümeleme/Çözünürlük (Clustering/Resolution)” değeri 1 ve en küçük küme değeri 1 olarak alınmıştır. Kümeleme sonucunda elde edilen 89 kelimenin dört ayrı gruba yerleştiği görülmektedir. Birinci küme 32, ikinci küme 24, üçüncü küme 18 ve dördüncü küme 15 elemanlı olarak şekillenmiştir.

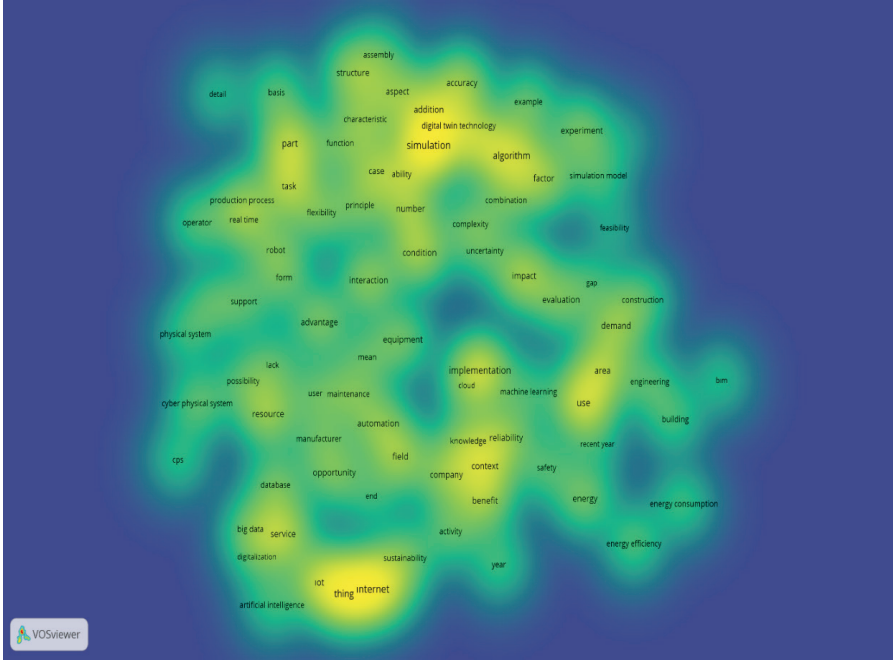
Şekil 1 ile Sayısal İkiz ve verimlilik konulu yayınlardaki sık kullanılan kelimelerin kendi arasında oluşturduğu bağ verilmektedir. Yeşil grupta oluşturduğu noktaların büyüklüğüne göre “internet”, “thing/nesne” ve “service/servis” kelimelerinin sık kullanıldığı belirlenmiştir. Kırmızı grupta en sık kullanılan ve diğer kelimelerle güçlü bağlara sahip olan “simulation/benzetim” kelimesi bulunmaktadır. Mavi grupta; “use/kullanım”, “energy/enerji” ve “area/alan” kelimeleri öne çıkmaktadır. Sarı grupta; “company/şirket”, “opportunity/fırsat”, “database/veri tabanı” gibi kelimelerin diğerlerinden fazla tercih edildiği görülmektedir. Kırmızı grupta yer alan benzetim ve Sayısal İkiz kavramlarının oluşturduğu bağlar incelendiğinde

benzetim kelimesinin diğer kelimeler ile daha kuvvetli bağlar oluşturduğu bulunmuştur.



Şekil 1: Sayısal İkiz ve Verimlilik Konulu Yayınların Ağ Yapısı.

Şekil 2 ile kümeleme sonucu elde edilen kelimelerin kullanım sıklığı verilmektedir. Kelimeler sarı noktalara yaklaştıkça ve yazı büyüklüğü arttıkça kullanım sıklığı ve diğer kelimelerle kurdukları bağlantı seviyesi artmaktadır. En sık kullanılan kelime olarak “benzetim” öne çıkmaktadır. “Benzetim” kelimesi “Sayısal İkiz Teknolojileri” kelimesinde daha fazla tekrarlanmıştır. Aynı zamanda diğer kelimelerle çok kuvvetli bağlar oluşturduğu görülmektedir. Bu noktada; benzetim konusunun Sayısal İkiz konusu ile yakından ilişkili olduğu düşünülebilir. Sayısal İkiz ve verimlilik konulu yayınlarda Şekil 2 ile verilen yoğunluk grafiğindeki kelimeler sıklıkla kullanılmaktadır.



Şekil 2: Sayısal İkiz ve Verimlilik Konulu Yayınlarında Kullanılan Kelimelerin Yoğunluk Haritası

Tablo 1 ile WoS kategorisine göre ilk 10 yayın verilmektedir. WoS kategorisinde Sayısal İkiz ve verimlilik konularında en fazla yayın 88 adet ile imalat mühendisliği alanında gerçekleşti. İkinci sırada endüstri mühendisliği kategorisi 58 adet yayın ile yer almaktadır. Üçüncü sıradaki otomasyon kontrol sistemleri 44 yayına sahiptir. Bu bölümde bazı yayınlar multidisipliner oldukları için birden fazla yayın gibi gözükmemektedir.

Tablo 1: WoS Kategorilerine Göre İlk On Yayın

Web of Science Kategorileri	Sayı
Mühendislik İmalat	88
Mühendislik Endüstriyel	58
Otomasyon Kontrol Sistemleri	44
Mühendislik Elektrik Elektronik	36
Bilgisayar Bilimleri Disiplinlerarası Uygulamalar	35
Yönetim Araştırması Yönetim Bilimi	35
Bilgisayar Bilimi Bilgi Sistemleri	28
Mühendislik Mekanik	22
Mühendislik Multidisipliner	20
Yeşil Sürdürülebilir Bilim Teknolojisi	20

Kaynak: WoS

Tablo 2 ile yayınların yıllara göre dağılımı verilmektedir. 01.01.2021-08.07.2021 tarihleri arasında 94 yayın yapılmıştır. 2021 yılında tüm yılı kapsayan bir istatistik olmadığından dolayı yayın sayısında azalma var gibi gözükmektedir. 2020 yılına ait 99 yayın bulunmaktadır ve 2019 yılına ait 71 adet yayın gözükmektedir. 2018 yılına ait 32 ve 2017 yılına ait 4 yayın bulunmaktadır. Konu ile ilgili çalışmalar WoS platformunda 2017 yılında yayımlanmaya başlandı ve her geçen yıl daha fazla sayıda yayın yapılmaktadır.

Tablo 2: Yayınların Yıllara Göre Dağılımı

Yayın Yılı	Sayı
2021	94
2020	99
2019	71
2018	32
2017	4

Kaynak: WoS

Tablo 3 ile belge türlerine göre akademik yayınların sıralaması verilmektedir. Belge türlerine göre sıralama; makale, bildiri belgesi, erken erişim, makale inceleme, kitap bölümü ve editoryal materyal belgesi olarak sıralanmaktadır. Tablo 3'te WoS politikası gereği bazı yayınların birden fazla alanda listelendiği görülmektedir. Bu durum bazı istatistikleri etkilemektedir.

Tablo 3: Belge Türüne Göre Yayınlar

Belge Türleri	Sayı
Makale	203
Bildiri Belgesi	82
Erken erişim	20
Makale İnceleme	15
Kitap Bölümü	3
Editoryal Materyaller	2

Kaynak: WoS

Tablo 4 ile yazarların bağlantılı olduğu kuruluşlar verilmektedir. İlk sırada 16 yayın ile "Beihan Üniversitesi" bulunmaktadır. İkinci sırada "Kuzeybatı Politeknik Üniversitesi" 8 yayın ile yer almaktadır. Üçüncü sırada yer alan "Birmingham Üniversitesi" 7 yayına sahiptir. "Pekin Teknoloji Enstitüsü" ve "Auckland Üniversitesi" 6 adet yayına sahiptir. "Çin Bilimler Akademisi",

“Dalian Teknoloji Üniversitesi”, “Fraunhofer Gesellschaft”, “Huazhong Bilim Teknoloji Üniversitesi” ve “Singapur Ulusal Üniversitesi” 5 adet yayına sahiptir.

Tablo 4: Yazar ile Bağlantılı Üniversitelere Göre İlk On Kurum

Bağlantılı Kuruluş	Sayı
Beihan Üniversitesi	16
Kuzeybatı Politeknik Üniversitesi	8
Birmingham Üniversitesi	7
Pekin Teknoloji Enstitüsü	6
Auckland Üniversitesi	6
Çin Bilimler Akademisi	5
Dalian Teknoloji Üniversitesi	5
Fraunhofer Gesellschaft	5
Huazhong Bilim Teknoloji Üniversitesi	5
Singapur Ulusal Üniversitesi	5

Kaynak: WoS

Tablo 5 ile en fazla yayın yapan dergiler sıralanmaktadır. İlk sırada 15 adet yayın ile “Journal of Manufacturing Systems” yer almaktadır. İkinci sırada 13 adet yayın ile “Procedia Cirp” bulunmaktadır. Üçüncü ve dördüncü sıradaki “Applied Sciences Basel” /” International Journal of Advanced Manufacturing Technology” isimli dergilere ait 12 yayın bulunmaktadır. “Sustainability” adındaki derginin 9 yayını bulunmaktadır. “IEEE Transactions on Industrial Informatics”, “IFAC Papersonline”, “International Journal of Computer Integrated Manufacturing” ve “Sensors” isimli dergilerin 7 adet yayını bulunmaktadır. “IEEE Access” ise 6 adet yayına sahiptir.

Tablo 5: Yayımların Yapıldığı Dergiye Göre İlk On

Dergi Adı	Sayı
Journal of Manufacturing Systems	15
Procedia Cirp	13
Applied Sciences Basel	12
International Journal of Advanced Manufacturing Technology	12
Sustainability	9
IEEE Transactions on Industrial Informatics	7
IFAC Papersonline	7
International Journal of Computer Integrated Manufacturing	7
Sensors	7
IEEE Access	6

Kaynak: WoS

Tablo 6 ile yayınları destekleyen finansal kuruluşlarda ilk 10 sıra verilmektedir. İlk sırada 64 yayın desteği Çin merkezli “NSFC” isimli kuruluş bulunmaktadır. İkinci sırada “Avrupa komisyonu” 14 yayın desteği ile yer almaktadır. Üçüncü sırada 13 yayın desteği ile Çin merkezli “Çin Ulusal Anahtar Araştırma ve Geliştirme Programı” isimli kuruluş yer almaktadır. “Çin Ulusal Anahtar Ar-Ge Programı” 10 yayına desteğine sahiptir. “Merkez Üniversiteler İçin Temel Araştırma Fonları” 7, “Avrupa Komisyonu Ortak Araştırma Merkezi” 6, “Ulusal Bilim Vakfı NSF” 6, “Mühendislik Fizik Bilimleri Araştırma Konseyi EPSRC” 5, “İngiltere Araştırma İnovasyonu UKRI” 5 ve “Çin Doktora Sonrası Bilim Vakfı” 4 yayın desteğine sahiptir.

Tablo 6: Yayını Destekleyen Finansal Kuruluşlara Göre İlk On

Finansman Kuruluşları	Sayı
Çin Ulusal Doğa Bilimleri Vakfı NSFC	64
Avrupa Komisyonu	14
Çin Ulusal Anahtar Araştırma ve Geliştirme Programı	13
Çin Ulusal Anahtar Ar-Ge Programı	10
Merkez Üniversiteler İçin Temel Araştırma Fonları	7
Avrupa Komisyonu Ortak Araştırma Merkezi	6
Ulusal Bilim Vakfı NSF	6
Mühendislik Fizik Bilimleri Araştırma Konseyi EPSRC	5
İngiltere Araştırma İnovasyonu UKRI	5
Çin Doktora Sonrası Bilim Vakfı	4

Kaynak: WoS

Tablo 6 ile yayınları destekleyen finansal kuruluşlarda ilk 10 sıra verilmektedir. İlk sırada 64 yayın desteği Çin merkezli “NSFC” isimli kuruluş bulunmaktadır. İkinci sırada “Avrupa komisyonu” 14 yayın desteği ile yer almaktadır. Üçüncü sırada 13 yayın desteği ile Çin merkezli “Çin Ulusal Anahtar Araştırma ve Geliştirme Programı” isimli kuruluş yer almaktadır. “Çin Ulusal Anahtar Ar-Ge Programı” 10 yayına desteğine sahiptir. “Merkez Üniversiteler İçin Temel Araştırma Fonları” 7, “Avrupa Komisyonu Ortak Araştırma Merkezi” 6, “Ulusal Bilim Vakfı NSF” 6, “Mühendislik Fizik Bilimleri Araştırma Konseyi EPSRC” 5, “İngiltere Araştırma İnovasyonu UKRI” 5 ve “Çin Doktora Sonrası Bilim Vakfı” 4 yayın desteğine sahiptir.

Sonuç

Bu çalışma, Sayısal İkiz ve verimlilik konusuna yoğunlaşmaktadır ve Sayısal İkiz ve verimlilik konusunu birlikte ele alan akademik yayınların eğilimlerini göstermeyi amaçlamaktadır. Çalışmanın başında Sayısal İkiz, Endüstri 4.0 ve verimlilik kavramları incelendi. Sonraki bölümler WoS veri tabanında Sayısal İkiz ve verimlilik konulu sorgulama sonucu elde edilen verileri içermektedir. WoS verilerini kullanan çalışmayla Endüstri 4.0 ile adı daha sık duyulmaya başlayan Sayısal İkiz ve verimlilik konusuna olan akademik ilginin seviyesi ortaya konarak konuyla ilgili araştırmacılara yol göstermek mümkün olmaktadır. Çalışma ile Sayısal İkiz ve verimlilik literatürüne katkıda bulunmak amaçlanmaktadır.

Veri tabanı taraması sonucu elde edilen veriler; WoS kategorisine göre Sayısal İkiz ve verimlilik alanındaki yayınların en fazla mühendislik alanından geldiğini göstermektedir. Sayısal İkiz ve verimlilik çalışma alanı yeni olmasına karşın 2017 yılından itibaren her yıl daha fazla sayıda yayın yapıldığı görülmektedir. Yayınlarda en fazla makale türü tercih edilmektedir. Üniversiteler arasında en fazla “Beihan Üniversitesi” konuya ilgi göstermektedir. “Journal of Manufacturing Systems” isimli dergi en fazla yayın sayısına sahiptir. Çin ve Avrupa komisyonunun bu tür yayınlara en fazla finansal destek veren kuruluşlar olduğu görülmektedir.

Sayısal İkiz ve verimlilik konulu yayınlarda sık kullanılan 89 kelime öne çıkmaktadır (Şekil 1). Bu kelimeler arasında ise benzetim, internet, Sayısal İkiz, nesne, servis, algoritma gibi kelimeler diğerlerinden daha fazla kullanıma sahiptirler. Bu alanda çalışma yapmak isteyen araştırmacıların Şekil 1 ve Şekil 2 ile verilen kelimeleri dikkate almaları çalışmaları açısından yol gösterici olacaktır. Konuyla ilgili yapılacak uygulamalarda sık kullanılan kelimelere göre oluşan bir yoğunlaşma yeni çalışmaların verimliliği açısından önemlidir.

Dünya ekonomisindeki sıkıntılar ülkeleri çözüm arayışına sevk etmesine karşın verimlilik karnesi kötü olan Türkiye (Algan, 2018: 23; Şengök ve Suiçmez, 2007: 2); Sayısal İkiz ve verimlilik konulu yayınlarda herhangi bir üniversitesi, dergisi ve yayın desteği yapan kuruluşuyla WoS veri tabanında ilk 10 sırada yer almamaktadır. Bu Türkiye açısından çözülmesi gereken bir problem olarak görülmelidir. Verimlilik artışı vaat eden Sayısal İkiz konusunda Türkiye kaynaklı araştırmacıların ve kuruluşların artması ülkenin faydasına olacaktır. Sayısal İkiz teknolojisi oluşabilecek bir problemi önceden tahmin ederek iş süreçlerinde verimlilik vaat etmektedir. Bu vaadin teknolojiye yön veren politika yapıcılar, üniversite yöneticileri ve işletme yöneticileri tarafından göz ardı edilmemesi ülke yararına olacaktır.

Konuya yönelik yapılacak yeni çalışmalarda sayısal ikiz konusuna yönelik uygulamalar geliştirilebilir. Bu alana yönelik yazılım çalışmalarına hız verilebilir. Sayısal ikiz, oluşacak problemleri önceden tahmin edebilmenin hayati olduğu birçok alanda kendisine kullanım alanı bulabilmektedir. Endüstri 4.0 sürecinin ilerleyişi sonucu oluşan büyük veri ve bu verileri ulaşımda hayati role sahip olan nesnelerin interneti teknolojileri sayısal ikiz paradigmasının önünü açmaktadır. Bu alanlara yapılacak yazılım geliştirme odaklı yayınların sanayiye katkıda bulunması mümkündür.

Kaynakça

- Akgül, B. (2021), Endüstri 4.0 Sürecinde Dijital Medyada Kültürel Dönüşüm, İktisadi İdari ve Siyasal Araştırmalar Dergisi, 6 (15), 206-224. DOI: 10.25204/iktisad.914933.
- Algan, F. (2018), Küresel Verimlilik İçin Ticaretin Kolaylaştırılması Anlaşması, Verimlilik Dergisi, (4), 185-218.
- Amaral J.V.S.D., Miranda J.A.B.M.R.D.C., Junior W.T.D.S, (2022), Metamodel-based simulation optimization: A systematic literature review, Simulation Modelling Practice and Theory, 114, 102403, ISSN 1569-190X, doi.org/10.1016/j.simpat.2021.102403.
- Ashtari Talkhestani, B., Jung, T., Lindemann, B., Sahlab, N., Jazdi, N., Schlogl, W. Ve Weyrich, M. (2019), An architecture of an Intelligent Digital Twin in a Cyber-Physical Production System. at- Automatisierungstechnik, 67(9), 762-782, doi.org/10.1515/auto-2019-0039.
- Athanasiadou C. ve Theriou G., (2021), Telework: systematic literature review and future research agenda, Heliyon, 7 (10), e08165, ISSN 2405-8440, doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e08165.
- Aynacı, İ. (2020), Dijital İkiz ve Sağlık Uygulamaları, İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 3(1), 70-79.
- Benli, A. (2011), Sendikalar, Bilgi Teknolojileri ve İnternet, İstanbul Üniversitesi İktisat Fakültesi Mecmuası, 55(1), 221-248.
- Bevilacqua, M., Bottani, E., Ciarapica, F. E., Costantino, F., Di Donato, L., Ferraro, A., MAZZUTO, G., ve diğerleri (2020), Digital Twin Reference Model Development to Prevent Operators' Risk in Process Plants. Sustainability, 12(3), 1088. MDPI AG, http://dx.doi.org/10.3390/su12031088.
- Botkina D., Hedlind M., Olsson B., Henser J., Lundholm T., (2018), Digital Twin of a Cutting Tool, Procedia CIRP, Volume 72, Pages 215-218, ISSN 2212-8271, https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.03.178.
- Cavlak, H. (2021), Etkinlik, Etkililik, Verimlilik, Kârlılık, Performans: Kavramsal Bir Çerçeve ve Karşılaştırma, Journal of Research in Business, 6 (1), 99-126.
- Ceylan, E. Z. (2019), Dijital İkizler ve İnşaat Sektöründeki Yeri, Yapı Bilgi Modelleme, 1 (2), 53-61.
- Çalışkan, H. (2020), Kamu Hastane Birliklerinin Verimlilik Düzeylerinin Veri Zarflama Analizi ile Değerlendirilmesi, Verimlilik Dergisi, (2), 157-178.
- Çetin, A. (2004), Finansal Gelişme, Teknoloji ve Verimlilik. Verimlilik Dergisi, (1).
- Dikmetaş, E. (2008), Sağlık Kurumlarında Verimlilik ve Veri Zarflama Analizi, Verimlilik Dergisi, (1), 55-77.

- Dinç, Ö., Kılıçaslan, Y. (2021), Hizmet Sektöründe Rekabet Edebilirlik ve Verimlilik, Cumhuriyet Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi, 22 (1), 135-162. DOI: 10.37880/cumuiibf.868337.
- Dli, M., Puchkov, A., Meshalkin, V., Abdeev, I., Saitov, R., ve Abdeev, R. (2020), Energy and Resource Efficiency in Apatite-Nepheline Ore Waste Processing Using the Digital Twin Approach. *Energies*, 13(21), 5829, MDPI AG, dx.doi.org/10.3390/en13215829.
- Duan H., Tian F., (2020), The development of standardized models of digital twin, *IFAC-PapersOnLine*, Volume 53, Issue 5, Pages 726-731, ISSN 2405-8963, doi.org/10.1016/j.ifacol.2021.04.164.
- Ediz, Ç. (2021), Metin Madenciliği ile Endüstri 4.0'da Yeni Eğilimler, *Uluslararası Politik Araştırmalar Dergisi*, 7 (1), 1-14, DOI: 10.25272/j.2149-8539.2021.7.1.01.
- Erturan, İ. ve Ergin, E. (2018), Dijital Denetim ve Dijital İkiz Yöntemi, *Muhasebe Bilim Dünyası Dergisi*, 20 (4), 810-830, DOI: 10.31460/mbdd.395261.
- Fathy, Y.; Jaber, M.; Nadeem, Z. (2021), Digital Twin-Driven Decision Making and Planning for Energy Consumption, *J. Sens. Actuator Netw.* 10, 37, doi.org/10.3390/jsan10020037.
- Forcina Antonio, FALCONE Domenico, (2021), The role of Industry 4.0 enabling technologies for safety management: A systematic literature review, *Procedia Computer Science*, Volume 180, Pages 436-445, ISSN 1877-0509, doi.org/10.1016/j.procs.2021.01.260.
- Gopinath V., Srija A. ve Sravanthi C Neethu, (2019), Re-design of smart homes with digital twins, *International conference on computer vision and machine learning*, IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series 1228 (2019) 012031 IOP Publishing doi:10.1088/1742-6596/1228/1/012031.
- Göçen, S. (2020), Açık ve uzaktan öğrenmede dijital ikiz teknolojisinin kullanımına ilişkin bir değerlendirme. *Açıköğretim Uygulamaları ve Araştırmaları Dergisi*, 6 (4) , 155-173.
- Gülcü, A. (2004), Özel Hastanelerin 1998-1999 Yıllarına Ait Veri Zarflama Analizi Yöntemiyle Görece Verimlilik Analizi. *Verimlilik Dergisi*, (3) .
- Güler, M. (1996), İşçi Moralinin Önemi ve Verimlilik. *Hacettepe Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 14 (1) , s.189-199.
- He, B., Bai, KJ. (2021), Digital twin-based sustainable intelligent manufacturing: a review. *Adv. Manuf.* 9, 1–21, doi.org/10.1007/s40436-020-00302-5
- Heo, E., ve YOO, N. (2021), Numerical Control Machine Optimization Technologies through Analysis of Machining History Data Using Digital Twin. *Applied Sciences*, 11(7), 3259. MDPI AG, dx.doi.org/10.3390/app11073259

- İleri, Y. (2014), Verimlilik, Verimlilik ile İlgili Kavramlar ve İşletmeler Açısından Verimliliğin Önemi. Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Meslek Yüksekokulu Dergisi, 1 (2), 9-24.
- Jones D., Snider C., Nassehi A., Yon J., Hicks B., (2021), Characterising the Digital Twin: A systematic literature review, CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology, Volume 29, Part A, Pages 36-52, ISSN 1755-5817, doi.org/10.1016/j.cirpj.2020.02.002.
- Kara, S, Döğeroğlu, T. (1994), Verimlilik ve Çevre. Anatolia: Turizm Araştırmaları Dergisi, 5 (1), 33-35.
- Kousi, N., Gkournelos, C., Aivaliotis, S., Lotsaris, K., Bavelos, A. C., Baris, P., Michalos, G., ve diğerleri (2021), Digital Twin for Designing and Reconfiguring Human-Robot Collaborative Assembly Lines. Applied Sciences, 11(10), 4620, MDPI AG, dx.doi.org/10.3390/app11104620.
- Kumaş, E. ve Erol, S. (2021), Endüstri 4.0'da Anahtar Teknoloji Olarak Dijital İkizler, Politeknik Dergisi, 24 (2), 691-701.
- Liu Z., Meyendorf N. ve Mrad N. (2018), The Role of Data Fusion in Predictive Maintenance Using Digital Twin, 44th Annual Conference on Review of Progress in Quantitative Nondestructive Evaluation (QNDE), DOI 10.1063/1.5031520.
- Liu J., Zhou H., Liu X., ve diğerleri (2019), Dynamic Evaluation Method of Machining Process Planning Based on Digital Twin, IEEE Access, vol. 7, pp. 19312-19323, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2893309.
- Liu, Z., Meng, X., Xing, Z., ve Jiang, A. (2021), Digital Twin-Based Safety Risk Coupling of Prefabricated Building Hoisting. Sensors, 21(11), 3583, MDPI AG, dx.doi.org/10.3390/s21113583.
- Lydon G.P., Caranovic S., Hischier I., Schlueter A., (2019), Coupled simulation of thermally active building systems to support a digital twin, Energy and Buildings, Volume 202, 109298, ISSN 0378-7788, doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.07.015.
- Ma X., Tao F, Zhang M., Wang T., Zuo Y., (2019), Digital twin enhanced human-machine interaction in product lifecycle, Procedia CIRP, Volume 83, Pages 789-793, ISSN 2212-8271, https://doi.org/10.1016/j.procir.2019.04.330
- Mashaly Maggie, (2021), Connecting the Twins: A Review on Digital Twin Technology ve its Networking Requirements, Procedia Computer Science, Volume 184, Pages 299-305, ISSN 1877-0509, doi.org/10.1016/j.procs.2021.03.039.
- Metec, M. ve Azizoğlu, Ö. (2011), İmalat Sanayi İşletmelerinde Verimlilik Yönetimi ve Denizli İlinde Karşılaştırmalı Bir Alan Çalışması. Verimlilik Dergisi, (3), 27-50.

- Nguyen H. X., Trestian R., TO D. ve Tatipamula M., (2021), Digital Twin for 5G and Beyond, in IEEE Communications Magazine, vol. 59, no. 2, pp. 10-15, doi: 10.1109/MCOM.001.2000343.
- Oyekan, J., Farnsworth, M., Hutabarat, W., Miller, D., ve Tiwari, A. (2020), Applying a 6 DoF Robotic Arm and Digital Twin to Automate Fan-Blade Reconditioning for Aerospace Maintenance, Repair, and Overhaul. Sensors, 20(16), 4637. MDPI AG, dx.doi.org/10.3390/s20164637.
- Özen, A. ve Gürel, F. N. (2020), Kamu Denetiminde Dijital Dönüşüm: Dijital İkiz Yöntemi. İzmir Sosyal Bilimler Dergisi, 2 (1), 16-23.
- Özer, M. (2017), Örgütsel Verimlilik Yolunda “Mükemmelliği” Arayan İşletmeler. Verimlilik Dergisi, (3), s.7-28.
- Padovano A., Longo F., Nicoletti L., Mirabelli G., (2018), A Digital Twin based Service Oriented Application for a 4.0 Knowledge Navigation in the Smart Factory, IFAC-PapersOnLine, Volume 51, Issue 11, Pages 631-636, ISSN 2405-8963, doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.08.389.
- Papacharalampopoulos A., Stavropoulos P., (2019), Towards a Digital Twin for Thermal Processes: Control-centric approach, Procedia CIRP, Volume 86, Pages 110-115, ISSN 2212-8271, doi.org/10.1016/j.procir.2020.01.015.
- Qi Q., Tao F., Zuo Y., Zhao D., (2018), Digital Twin Service towards Smart Manufacturing, Procedia CIRP, Volume 72, Pages 237-242, ISSN 2212-8271, doi.org/10.1016/j.procir.2018.03.103.
- Qiao Q., Wang J., Ye L., Gao X. R., (2019), Digital Twin for Machining Tool Condition Prediction, Procedia CIRP, Volume 81, Pages 1388-1393, ISSN 2212-8271, doi.org/10.1016/j.procir.2019.04.049.
- Seghezzi, E., Locatelli, M., Pellegrini, L., Pattini, G., Di Giuda, G. M., Tagliabue, L. C., ve Boella, G. (2021), Towards an Occupancy-Oriented Digital Twin for Facility Management: Test Campaign and Sensors Assessment. Applied Sciences, 11(7), 3108, MDPI AG, dx.doi.org/10.3390/app11073108.
- Serin, D, İşcan, E. (2019), Bilgi ve İletişim Teknolojilerinin Verimlilik Üzerine Etkisi: Türkiye Örneği. Verimlilik Dergisi, (3), 41-55.
- Shahzamanian M.M., Lin Meng, Kanat Muntaseer, Yoosef-Ghodsi Nader, Adeeb Samer, (2021), Systematic literature review of the application of extended finite element method in failure prediction of pipelines, Journal of Pipeline Science and Engineering, Volume 1, Issue 2, Pages 241-251, ISSN 2667-1433, doi.org/10.1016/j.jpse.2021.02.003.
- Shao, G., ve HELU, M. (2020), Framework for a Digital Twin in Manufacturing: Scope and Requirements. Manufacturing letters, 24, 10.1016/j.mfglet.2020.04.004.

- Snyder H., (2019), Literature review as a research methodology: An overview and guidelines, *Journal of Business Research*,104, 333-339, ISSN 0148-2963, doi.org/10.1016/j.jbusres.2019.07.039.
- Sommer M., Stjepandić J., Stobrawa S. ve Von Soden M., (2020), Improvement of Factory Planning by Automated Generation of a Digital Twin, *Transdisciplinary Engineering for Complex Socio-technical Systems*, 453-462, doi:10.3233/ATDE200105.
- Suiçmez, H. (2015), Verimlilik Ekonomisi ve Politika Arayışları. *Verimlilik Dergisi*, (4), 33-77.
- Şengök, N, Suiçmez, H. (2007), Kayıt Dışı Ekonomi ve Verimlilik. *Verimlilik Dergisi*, (1), 9-30.
- Tutkavul, K. (2019). Malmquist Toplam Faktör Verimlilik Endeksini Kullanarak Finansal Etkinlik ve Verimlilik Ölçümü: Borsa İstanbul Sınai Endeksi'nde Bir Uygulama, *Verimlilik Dergisi*, (2), 49-93.
- Vosviewer, VOSviewer is a software tool for constructing and visualizing bibliometric networks, <https://www.vosviewer.com>, (Erişim: 08.07.2021).
- WoS, Web of Science, <https://www.webofscience.com>, (Erişim: 08.07.2021).
- Yetiz, F, Turan, Y., ve Canpolat, İ. (2021), Bankacılık Sektöründe Robotik Süreç Otomasyonu ve Verimlilik İlişkisi: Bir Banka Örneği, *Verimlilik Dergisi*, (2), 65-80, DOI: 10.51551/verimlilik.765336.
- Yukcu, S. ve Aydın, Ö. (2020), Maliyet Düşürme Yöntemi Olarak Dijital İkiz, *Muhasebe Bilim Dünyası Dergisi*, 22 (3), 563-579, DOI: 10.31460/mbdd.694571.