

## Dijital İkiz

Dijital İkiz kavramı ilk olarak NASA'nın Apollo programına dayanmaktadır. Uzaya gönderilen uzay aracının içinde bulunacağı koşulların yansıtılmasını sağlamak için özdeş bir uzay aracı daha üretilmiştir. Dünyada kalan uzay aracına da ikiz denmiştir. İkiz, uçuş hazırlığı sırasında eğitim için yaygın bir şekilde kullanılmıştır.

Uçuş görevlerinden elde edilen veriler kullanılarak, astronotlara beklenmedik durumlarda aksiyon almalarını kolaylaştıracak eğitimler dünyadaki ikiz aracılığıyla verilmiştir. Bu kapsamda, gerçek zamanlı durumların simülasyonunu yapan her prototipe ikiz denebileceği yargısı oluşmuştur. İkizin bir diğer tanımı da uçak endüstrisi tarafından oluşturulmuştur. Uçak sistemlerini birleştirmek, optimize etmek ve doğrulamak için demir kuş isimli ikiz kullanılmıştır.

Gelişen simülasyon teknolojileri ve kabiliyetlerinden dolayı fiziksel demir kuşların yerini sanal modeller almıştır. Uçakların bazı bileşenleri fiziki olarak mevcut olmasa bile, sanal modeller sayesinde bunların kullanım yerlerine uygulanabilir ve test edilebilir olması sağlanmıştır. Ürünün bütün bileşenlerine bu fikrin uygulanması ile fiziksel sistemin tam bir dijital modeli oluşturulmuştur. Oluşturulan bu dijital model, dijital ikizdir.

NASA'ya göre dijital ikizin dört ana işlevi şu şekilde özetlenmiştir;

- Tahmin; dijital ikiz, fiziksel ürünün gelecekteki durumu ve performansını tahmin etmek için kullanılmaktadır. Tahmin edilebilirlik işletmelerin belirsizliklerini azaltır.

Örneğin, Uber taksinin varış saatinin belirsizliğini ortadan kaldırarak müşterilerin tatminini arttırmaktadır.

Yine Singapur Kara Trafik Kurumu'nda geçmiş trafik verileri ve gerçek zamanlı anlık veriler kullanılarak yöneticiler trafik akışlarını kolaylıkla tahmin etmektedir. Tahminlerin kesinliği ise %85'in üzerindedir. Bu sayede yöneticiler trafik tıkanıklığını önleyebilmekte, toplu taşıma araçlarını uzaktan izleyebilmekte ve araçların doluluk oranını görüp, paydaşları ile verileri paylaşabilmektedir.

- Güvenlik; dijital ikiz teknolojisi ile sistemin sürekli olarak izlenmesi, güvenilirliği de arttırmaktadır.

Dijital ikiz teknolojisi, ürün yaşam döngüsü boyunca farklı işlemleri optimize etmek ve iyileştirmek için olağanüstü bir potansiyel sunmaktadır.

- Teşhis; dijital ikiz, yaşam döngüsü boyunca fiziksel varlık hakkında bilgi edinme ve tüm proje süreçlerini sürekli olarak izleme fırsatı sunar.

Bu nedenle dijital ikiz, olası arızaları doğru bir şekilde tahmin edebilir, bilgileri sisteme geri besleyebilir ve uyarıcı bilgilere göre tepki verebilir.

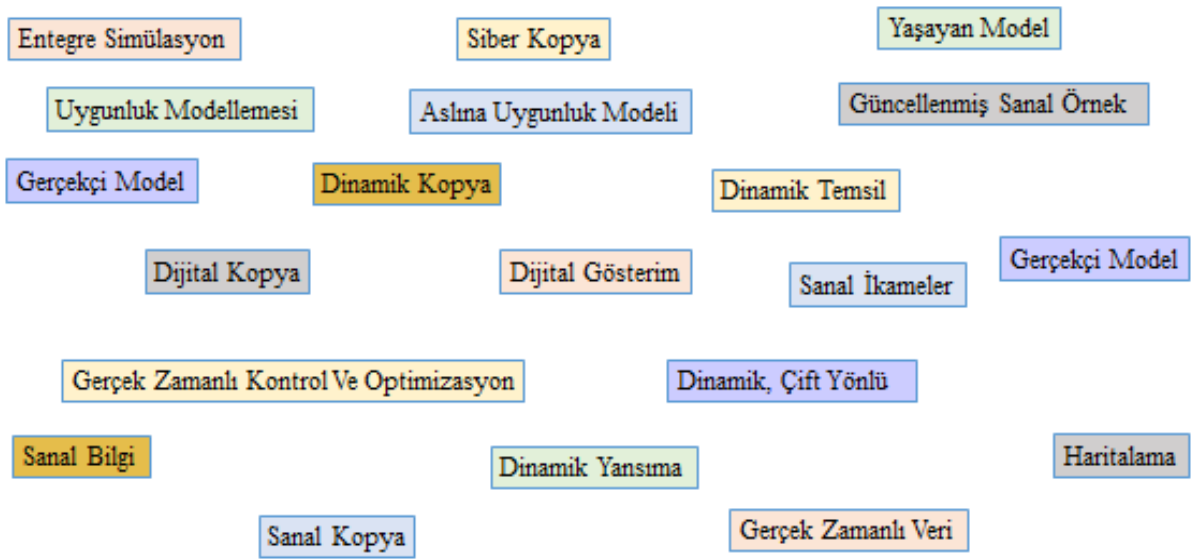
- Sorgulama; dijital ikiz mevcut ve geçmiş veriler için sorgulanabilir. Fiziksel bir ürüne dair başka işletmelerde olan benzer süreçler ve örnekler sorgulanabilir ve kıyaslanabilir.

Örneğin, ürünün içindekileri, ürünün yapısı ve standartları gibi.

NASA ve ABD hava kuvvetleri araçları için ilk kez kullanılan dijital ikiz, güvenlik veya güvenilirlikle ilgili olası sorunları belirlemek için aracın yerleşik sisteminden, bakım geçmişinden ve mevcut tüm geçmişe ve filo verilerine ilişkin verileri kullanarak ultra yüksek doğrulukta simülasyona olanak tanımıştır.

O zamandan beri, dijital ikiz ürünün kullanım ömrü boyunca farklı aşamalarda sanal ve fiziksel alan arasındaki boşluğu kapatabildikleri için farklı üretim süreçlerine dâhil edilmiştir. Bu nedenle dijital ikiz, tasarımın uygulanabilir, güvenli, verimli ve güvenilir olmasını sağlamak için ürünün tasarım sürecinin tüm aşamalarında test edilmesini sağlamaya çalışmaktadır.

Dijital ikizin hala standartlaştırılmış bir tanımı yoktur. Bir dijital ikiz için, amaca ve kapsamına bağlı olarak değişen birçok farklı açıklama vardır. Akademik yayınlarda Dijital İkiz'de dair yapılmış tanımların ana noktaları şu şekildedir:



Dijital ikiz, eşsiz bir fiziksel üretimin sanal bir temsili olarak tanımlanabilir. Yine, dijital ikiz farklı modellerin, verilerin ve bilgilerin bir kombinasyonu olarak ifade edilebilir. Dijital ikiz, bir ürünün tüm yaşam döngüsü boyunca yürütülen verilerden ve farklı türde modellerden oluşan bir model olarak ta tanımlanmaktadır.

Dijital ikiz kavramı aşağıdaki özellikleri kapsamaludur,

- Fiziksel nesnelerin mikro düzeyden makro düzeye tüm verilerini birleştirir.
- Yaşam döngüsü boyunca fiziksel üründe var olur, gelişir ve sürekli bilgi biriktirir.
- Fiziksel nesnelerin tanımlanması ve optimize edilmesini sağlar.

Özellikleri çerçevesinde dijital ikiz, dijital temsiller oluşturmak için üç boyutlu modelleme ve sensörler kullanan varlıkların dijital kopyaları olarak da ifade edilebilir. Üretim sektörü açısından dijital ikiz tanımlanacak olursak, fiziksel bir ürünün daha kaliteli, daha ekonomik, daha esnek ve daha inovatif olarak tasarlanması, üretilmesi, müşterilerin beklentilerine ve rekabet koşullarına en uygun hale getirilmesi için sanal sistemde ikizinin oluşturulmasına dair bir teknoloji olarak tanımlayabiliriz.

Dijital İkizin öne çıkan tanım ve özellik birlikteliğine bakacak olursak:

- Sanal dünyadaki, gerçek dünyadaki karşılık gelen fiziksel varlığıyla tamamen tutarlı olan ve fiziksel karşılığının özelliklerini, davranışını, yaşamını ve performansını zamanında simüle edebilen sanal, dinamik bir modeldir.
- Davranışını yansıttığı ve sanal bir alanda ömrü boyunca ifade ettiği gerçek hayattaki bir nesnenin dijital eşdeğeridir.
- Gerçek dünya ürünlerinin veya sistemlerinin dijital temsilini veya kopyasını ifade eder.
- Fiziksel varlığın davranış kuralını yansıtan ve tüm yaşam döngüsü boyunca güncellenmeye devam eden dijital bir varlıktır.
- Yer, zaman ve insan gözlemiyle ilgili temel kısıtlamaları ortadan kaldırır.
- İnsan duyuları tarafından gözlemlenemeyen (veya doğru olmayan) bilgiler (örn. Sensör ve uydu verileri) veya diğer bilgi sahipleri tarafından sağlanan verilerle zenginleştirilebilir.
- Çok önemli bir yönü, gelişmiş analitiği kullanarak zekâ ekleyebilmesidir.

Bu nedenle, Dijital İkizler yalnızca gerçek durumları temsil etmekle kalmaz, aynı zamanda tarihsel durumları analiz edebilir ve gelecekteki davranışları simüle edebilir.

- Gerçek zamanlıdır ve gerçek nesnelere uzaktan bağlanırlar ve bu nesnelere ve bağlamının zengin temsillerini sağlarlar.
- Dinamik doğası, gerçek hayattaki nesnelere mevcut davranışının temsilini, aynı zamanda gelecekteki davranışların simülasyonunu veya tahminini ve geçmiş davranışların hatırlanmasını içerebilir.

Akıllı üretim sistemlerinde ürünün yaşam döngüsü boyunca gerçek zamanlı veri aktarımı ve analizi yapılır. Ürün temelli simülasyon, optimizasyonla birlikte üretimin tüm yönleri için verimliliği artırıcı analizlerin yapıldığı bir yapı oluşturulur. Siber fiziksel sistemler ve dijital ikiz önde gelen akıllı üretim sistemleri örnekleridir. Bu yapılar fiziksel aktiviteleri sanal dünya ile senkronize etmek için yeni bir yol açtığından, popüler araştırma konularıdır.

Dijital ikiz; ürün tasarımı, üretim hattı tasarımı, dijital ikiz atölye katları, üretim süreci optimizasyonu ve sağlık yönetimi gibi çeşitli sektörlerde de kullanılmaktadır. Dijital ikiz ürün performanslarını, üretim esnekliklerini göstermek ve verimliliklerini artırmak için kullanan birçok büyük işletmede mevcuttur.

Üretim alanlarında ve fabrikalarda akıllı makineler daha çok görev almaya başlamıştır. Bu akıllı makineler insan kontrolü olmadan, üst düzey görevleri yerine getirebilmekte, detay programlamalar ve planlamalar yapabilmektedir. Bu makineler kendi kapasitelerini ve durumlarını da bilmektedir. Bir dizi alternatif eylem arasından karar verebilir, becerilerini yönetebilir ve uygulayabilirler. Bu becerileri gerçekleştirebilmek için de içinde buldukları durumun çok gerçekçi modellerine ve gerçek dünyadaki çevreleriyle etkileşime girmeye ihtiyaç duyarlar.

Dijital ikiz bu modelleme ve gerçek dünya ile etkileşime girebilme kabiliyetidir. Dijital ikiz şirketlerin fiziksel sorunlarını daha erken ve daha doğru şekilde tahmin ve tespit etmelerini, üretim süreçlerini optimize etmelerini ve daha iyi ürünler üretmelerini sağlar. Ürünlerden elde edilen verilerden dolayı, model tabanlı sistem mühendisliği dijital ikizin temelinde yatar.

Dijital ikiz, en küçük parçasından en büyük parçasına kadar fiziksel olarak üretilmiş bir ürünü temsil etmekte, sanal varlıkları zenginleştirmek ve iyileştirmek için donanım, yazılım ve nesnelerin interneti teknolojilerini derinden bütünleştirmektedir. Buna göre, dijital ikiz üç önemli bölümden oluşmaktadır: Fiziksel ürünler, sanal ürünler ve bunları birbirine bağlayan bağlantılar. Dijital ikizin bu bölümlerine ait tanımlamalar aşağıdaki gibidir.

#### Dijital ikiz bileşenlerinin özet tanımlamaları

Bileşen	Tanımı
<i>Fiziksel Gerçeklik</i>	
Fiziksel sistem	Dijital ikizi kurulması için seçilen fiziksel gerçekliğin parçası.
Fiziksel çevre	Seçilen fiziksel sistemin dışındaki her şeyin bu sistemi etkileyen yönleri.
Fiziksel süreç	Fiziksel sistemin üretim süreci ve sistemde durum değişikliğine neden olan işlevler.
<i>Sanal Temsil</i>	
Sanal sistem	Fiziksel sistemin verileri ve hesaplama modelleri.
Sanal çevre	Fiziksel sistem için fiziksel ortamın sanal temsilinin oluşturulması.
Sanal süreç	Fiziksel süreçlerin fiziksel ortamı nasıl etkileyeceğine dair simülasyonların kullanılması, hedeflenen sonuçlar için tahminlerin elde edilmesi.
<i>Bilgi Bağlantısı</i>	
Fizikselden sanal bağlantıya	Fiziksel sistemden gelen tüm bilgilerin elde edildiği, analiz edildiği, anlamlandırıldığı ve sanal temsile yansıtıldığı araçlardır.
Sanaldan fiziksel bağlantıya	Sanal sistemden gelen tahmin ve teşhislerin fiziksel sistemi etkileyecek eylemlere ve kararlara dönüştürülmesine dair araçlardır.

Dijital ikiz simülasyonun bir sonraki/ileri seviyesidir. Birçok endüstriyel alanda büyük potansiyele sahip bu simülasyon tabanlı planlama ve optimizasyon kavramlarından biri de dijital ikizdir. Bir dijital ikiz, çeşitli amaçları simüle etmek için kullanılabilir, alan seviyesinden kaynaklanan algılanan verilerin gerçek zamanlı senkronizasyonundan yararlanır.

Mimarisi ile de tüm üretim sistemini düzenlemeye ve yürütmeye odaklanan bir dizi eylem arasında karar verebilir. Bu sonuçlar ise üretimde daha yüksek verimlilik, doğruluk ve ekonomik kazançlar sağlamaktadır.

#### Dijital ikiz kavramsal mimarisi

Oluşturma		İletişim	Toplama	Analiz
Fiziksel İşlem Alanı		İletişim Araçları	Dijital İkiz	Erişim Cihazları
Bağlamsal Veriler (Hava, sıcaklık vb.)	ERP Sistemi & CAD Modelleri & Üretim Yürütme Yazılımı	Duyargalar (Sensör) ve Fiziksel Cihaz Yönetim Donanımları	Makine Öğrenmesi, Yapay Zekâ, İdrak ve Karar Verme ile İlgili Sistemler	Uyarı Sistemleri Görüntüleme Sistemleri Arayüzler
İşlem Yapma				Anlamlandırma ve Karar Verme

Dijital İkiz'in mimarisinde üst kısımda yer alan oluşturma, iletişim, toplama, analiz işlem adımları, fiziksel işlem alanından dijital ortama doğru işlem aşamalarını göstermektedir. Alt kısımda yer alan anlamlandırma ve kavrama ile işlem yapma adımları ise dijital ikiz tarafından fiziksel ortama doğru gerçekleşen işlem adımlarını göstermektedir. Bu adımlar ile dijital ikizin uygulaması ile dijital platforma ulaşım sağlanabilir. Dijital platform, üretim ekipmanı, veri depolama sistemleri ve hesaplama yeteneklerinden oluşan bir ağdır. Bu ağ ile dijital ikiz için tasarım, simülasyon, baskı sonrası işleme ve karakterizasyon dâhil tüm üretim sürecinin elde edilmesi beklenir. Bu nedenle dijital iş akışı fiziksel üretim süreci, teknisyenler ve mühendisler ile dijital platform arasındaki etkileşim olarak karşımıza çıkmaktadır.

## Dijital ikiz uygulamaları

**Bazı dijital ikiz uygulamaları**

<i>İşletme/Kurum</i>	<i>Ana Dijital İkiz Değeri</i>	<i>Ana Ürün/Hizmet</i>
ANSYS	Daha iyi tahmin yapmak için analitikle birleştirilmiş simülasyon.	Analiz yazılımı.
Dassault Systemes	Sanal bir fabrikanın tasarımı ve simülasyonu.	3D tasarım ve ürün yaşam döngüsü yönetimi yazılımında uzmanlaşma.
Bosch	Nİ cihazları için dijital ikizlerin envanter yönetimi ve üretim süreçlerinin analiz edilmesi.	Otomotiv parçaları, elektrikli el aletleri, güvenlik sistemleri, ev aletleri, mühendislik, elektronik, bulut.
GE	Performans iyileştirme ve tahmin.	Aletler, güç, yenilenebilir enerji, havacılık ve sağlık.
IBM	Ekipman arızasının tahmin edilmesi; bakım programlarının optimize edilmesi.	Bulut bilişim, AI, Nİ, veri analitiği, dijital çalışma alanı.
Microsoft	İnsanlar, yerler ve cihazlar arasındaki etkileşimlerin modellenmesi.	Bilgisayar yazılımı, tüketici elektroniği, kişisel bilgisayarlar.
PTC	Üretim esnekliği ve rekabet gücünün artırılması.	Nİ ve AR içeren bilgisayar yazılım ve hizmetleri.
Siemens	Plan, tasarım ve üretim sistemleri için dijital ikiz.	Enerji üretimi, iletim, telekomünikasyon, tıbbi teşhis, kontrol sistemleri.
Tesla	Her araç kimlik numarası ile fabrika arasındaki senkronize veriler.	Temiz enerji ve elektrikli araç.
Dassault Systemes ABD Gıda ve İlaç Dairesi (FDA)	İnsan kalbinin simüle edilerek dijital ikizin oluşturulması.	Yaşayan kalp projesi.
Myontec	İnsan kaslarındaki aktiviteyi ve egzersizlere karşı verdiği tepkileri vücudun genel sağlık durumuna göre analiz edip dijital bir ortama aktararak bu verilerin ışığında daha etkili egzersizlere karar verme.	Giyilebilir teknolojiler ve dijital ikiz entegrasyonu.
Mater Özel Hastaneleri	MPH ve Siemens Healthineers, MPH radyoloji bölümü iş birliği.	Radyoloji departmanının 3D bilgisayar modeli, nicel raporlar, farklı operasyonel senaryolar deneyebilme ve yeni düzenekleri test edebilmek için dijital ikiz.
University College London, Empirica İletişim ve Teknoloji Araştırma Şirketi Sheffield Üniversitesi, Rizzoli Ortopedi Enstitüsü ve Pompeu Fabra Üniversitesi	İnsan vücudunun dijital ikizinin yaratılması, özellikle sağlık alanında dijital hastaların oluşturularak, tıbbi kararları desteklemek için hastaya özel yapılan modelleme.	Dijital Hasta Yol Haritası Projesi.
Türkiye Çevre ve Şehircilik Bakanlığı	Akıllı şehir uygulamaları.	Akıllı binalar, akıllı hastaneler, akıllı belediyeler
Türkiye Cumhurbaşkanlığı Dijital Dönüşüm Ofisi Başkanlığı ve Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı	Sanayi ve Teknoloji Bakanı ve DDO Başkanı'nın Bilge ve Bilgin adında kendi yapay zekâ karakterleri ve dijital ikizleri ile sohbeti.	Türkiye'nin İlk Ulusal Yapay Zekâ Stratejisi

## Dijital İkiz Olgunluk Süreci

İşletmelerin dijital ikiz teknolojisine geçişleri için standart bir süreç bulunmamaktadır. Çünkü her işletme birbirinden farklıdır. Başka bir deyişle, her işletme benzersiz olduğundan ve kendine özgü varlıklar, süreçler ve etkileşimlerden oluştuğu için, dijital ikize geçiş için ana hatları sağlayacak tek bir standart yoktur. Bu nedenle işletmelere dijital ikiz teknolojisine geçişte, sadece dikkat edecekleri ilkeler olduğu söylenebilir. Buna göre dijital ikiz oluştururken beş ilkenin dikkate alınması gerekmektedir.

**1. Mevcut kaynakların değerlendirilmesi:** İşletmenin elindeki mevcut dijital teknolojileri değerlendirmesi gerekmektedir. Bunun için işletmeler kullandıkları dijital teknolojilere ilişkin kapsamlı bir araştırma yapmalıdır.

**2. Verilerin serbest bırakılması:** İşletmelerin verileri genelde bilgi arşivlerinde ve depolama alanlarında saklıdır. Verilerin dijital ikize entegre edilebilmesi için bilgi depolarından kurtarılması gerekir.

Veriler, başka verilerle daha fazla bağlantılı hale geldikçe değerleri artacaktır ve başka verileri de kendilerine çekecektir. Böylece veriler ne kadar serbest bırakılırsa, dijital ikizin potansiyel kapsamı o kadar büyük olacaktır.

**3. Dijitalleşme sınırlarının zorlanması:** İşletmelerin sürekli olarak dijitalleşme fırsatlarını kollaması, işletmesini dönüştürmesi, yeni teknolojiler konusunda kendini zorlaması gerekmektedir.

**4. Yeni dijital fırsatlar aranması:** İşletme içinde daha fazla yapı, süreç ve etkileşim dijitalleştirildikçe ve dijital ikiz içinde temsil edildikçe, yeni dijital fırsatlar giderek daha uygulanabilir hale gelmektedir.

**5. Modellerin artırılması:** Son ilke, dijital ikizin ilk bilgi, bağlam ve etki modellerinden evrimini dikkate almaktadır. İşletmelerin bu aşamada dijital ikize geçişi için modellere sahip olması gereklidir.

Yeni bağlantıların, yeni verilerin, yeni süreçlerin ve yeni etkileşimlerin doğru bir şekilde modellenmesini sağlamak için dijital ikizi oluşturan bilgi, bağlam ve etki modellerinin sürekli olarak güncellenmesi ve yeniden yapılandırılması gerekir. Dijitalleştirme sınırı sürekli olarak genişletildiğinden yeni sensörler, varlıklar, süreçler ve etkileşimler sayısallaştıkça bilgi modelinin güncellenmesi gerekecektir.

Bu ilkelerin doğru bir şekilde kullanılması, dijital ikizin ortaya çıkmasını ve büyümesini sağlayabilecek dinamik bir evrim süreci ile sonuçlanabilir. Dijital ikiz işletmeler için oldukça önemlidir, çünkü dijital ikiz, Endüstri 4.0 için ana destekleyici teknolojiler olarak hizmet veren akıllı üretimi mümkün kılmaktadır.

Dijital ikiz, bazı kaynaklarda dijital ikizin veri entegrasyon düzeyine ve olgunluğuna göre “Dijital Model”, “Dijital Gölge” olarak da karşımıza çıkmaktadır. Araştırmacılar geçiş sürecine dair, dijital ikizin işletmelerde olgunluğunu, aşağıda yer alan tablodaki gibi, dijital ikiz öncesi, dijital ikiz, uyarlanabilir dijital ikiz ve akıllı dijital ikiz olmak üzere dört seviyeye ayrılabilceğini belirtmişlerdir.

### Dijital ikizler için olgunluk seviyeleri

Seviye	Dijital İkiz Öncesi Dijital Gölge	Dijital İkiz Dijital Gölge	Uyarlanabilir Dijital İkiz	Zeki Dijital İkiz
Yaşam döngüsü	Tasarım	Tasarım ve kullanım	Kullanım	Kullanım ve evrim
Fiziksel ve Dijital İkiz Bağlantısı	Hiçbiri	Tek taraflı	İki taraflı	Çok taraflı
Uygulama Senaryoları	Kavramsal tasarım, risk değerlendirme	Detaylı tasarım, Fonksiyonel test	Operasyon optimizasyonu	Otonom kontrol
Model Geliştirme	Manuel	Ayrık	Sürekli	Otonom

Tablo incelendiğinde şu sonuçlar çıkarılabilir; fiziksel nesne ile dijital nesne arasında tek yönlü bir veri akışı, manuel bir model geliştirme süreci varsa dijital gölge aşamasında olduğu söylenebilir. Bu seviyede fiziksel nesnenin durumundaki bir değişiklik, dijital nesnede bir durum değişikliğine yol açar, ancak bunun tersi olmaz.

Bununla birlikte, fiziksel nesne ile dijital bir nesne arasındaki veri akışı her iki yönde de tamamen entegre ve otonom model/uygulamaya sahip ise bu seviyeye dijital ikiz denilebilir. Böyle bir olgunlukta, dijital nesne aynı zamanda fiziksel nesnenin kontrol örneğidir. Fiziksel nesnenin durumundaki bir değişiklik, doğrudan dijital nesnenin durumunda bir değişikliğe yol açar ve bunun tersi de geçerlidir.

Dijital ikizin işletmelerde kurulabilmesi için gereken teknolojiler seti büyük ölçüde farklılık göstermektedir. Genel olarak bakıldığında, sıklıkla kullanılan teknolojiler simülasyon yöntemlerini içermektedir. Bununla birlikte, dijital ikiz, iletişim protokollerine ve yaygın olarak Endüstri 4.0 teknoloji bileşenleri olarak tanımlanan diğer teknolojilere (nesnelerin interneti, bulut bilişim, büyük veri vb.) ihtiyaç duymaktadır.

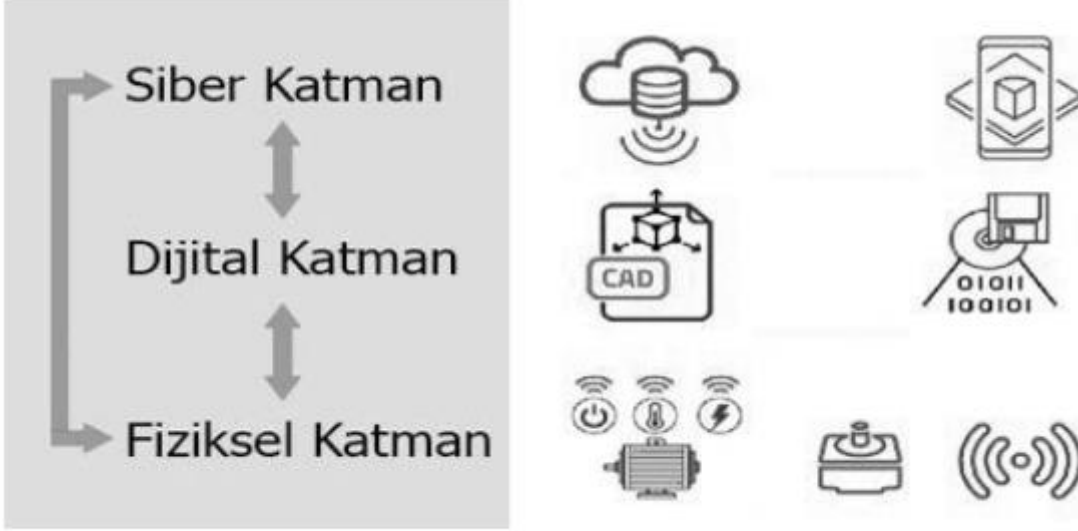
Bu açıdan işletmelerin neler yapması gerektiğine dair incelenen çalışmalarda şu ifadelerle rastlanmıştır: Dijital ikiz, doğru ve farklı küçük tipte sensörler gerektirir. Bu sensörleri değişen koşullarda yönetmek ve bakımını yapmak zorlu ve karmaşık bir süreçtir.

Dijital ikizin kullanılan tüm teknolojileri ve platformları uzun ömürlü olmalıdır. Bu teknolojiler tasarım, simülasyon ve analitik yazılımlara sahip olmalıdır. Bu nedenle doğru teknolojilerin seçilmesi uzun vadede bir başarı göstergesidir. Yine önemli başarı göstergelerinden biriside çalışanların dijital ikiz teknolojilerine göre eğitilmesidir.

Dijital ikiz bir dizi beceriye ihtiyaç duymaktadır. Yine daha etkin bir dijital ikiz için veri yönetim sistemlerinin güvenliğini sağlamak hayati önem taşımaktadır. Son olarak, diğer teknolojiler gibi, bu büyük dijital dönüşümü kabul etmek için işletmelerin ve paydaşlarının kültür değişikliklerine ihtiyacı bulunmaktadır.

İşletmelerin dijital ikiz modelini kurarken teknoloji, yazılım, çalışan, örgüt yapısı ve örgüt kültürü ile birlikte ortak bir dönüşüm geçirmesi gerekmektedir. İşletmenin mevcut teknolojilerinin dönüşümü, dijital ikiz modeline geçişi aşamalı bir süreci karşımıza çıkarmaktadır. Özellikle kurulan modeller, yol haritaları ve her araştırma bu konuda uygulayıcılara yol göstermektedir. Kavramsal olarak bir dijital ikiz modeli aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.





### Kavramsal dijital ikiz referans modeli

Dijital ikiz modeli fiziksel katman, dijital katman, siber katman ve bu katmanlar arasında veri alışverişi için gerekli iletişim olmak üzere dört bölüm şeklinde kurulmaktadır.

Fiziksel katmanın görevi, nesnelere, varlıklar, ürünler, personel, ekipman, tesisler, sistemler, süreçler, çevre veya kaynaklar gibi gerçek nitelikleri temsil etmektir.

Dijital katman, statik veya dinamik verilerin oluşturulmasını değiştirilmesini, analizini, optimizasyonunu veya tahminini desteklemek için verilerin bilgisayar destekli tasarım (CAD) veya bilgisayar destekli üretim (CAM) gibi ham haliyle veya farklı dosya formatlarında kaydedilmesini sağlamaktadır. Tasarlanmış ve geliştirilmiş dosyaları içerir.

Siber katman, buluta işleme ve depolamayı içerir. Bu katmanda teknolojilerden elde edilen veriler kullanıma hazır bilgiye dönüştürülür. Siber katman sayesinde, büyük veri, nesnelere interneti, makine öğrenme ve blockchain ile ilişkili gelişmiş özellikler nedeniyle en karmaşık üretim paradigmasını elde etme becerisine sahip güçlü teknolojiler ortaya çıkabilir.

Üretimde ciddi bir katma değer yaratılabilir. Bu nedenle işletmelere, karmaşık bir ürün montaj atölyesi için dijital ikiz tabanlı bir akıllı üretim yönetimi ve kontrol çerçevesi önerilmektedir. Siber katman özellikle Endüstri 4.0 ile popüler olan ve bugün müşterilerin de isteklerine en uygun olan, veri gizliliği, şeffaflık, ölçeklenebilirlik ve kişiselleştirme dâhil olmak üzere çeşitli rekabet avantajları sağlamaktadır. İşletmeler açısından potansiyel faydalar sağlayan bu teknolojiye dair araştırma sonuçları ise aşağıdaki gibi özetlenebilir.

Dijital ikiz işletmelerde yenilik ve iyileştirme olanaklarını artırmaktadır. Bu nedenle, maliyeti azaltmak ve fiziksel, siber ve sosyal alan arasında iş birliğini sağlamak için dijital bir ikizin gerekli olduğu ortaya çıkmıştır. Dijital ikiz ayrıca işletmelere karar desteği sağlamaktadır.

Dijital ikiz, rekabet edebilirliği, üretkenliği ve verimliliği artırmakta ve bunlara ilaveten dijital ikiz güvenilir, gerçek zamanlı, şeffaf ve dijital raporlar sağlayarak işletmeler için birçok fayda sağlamaktadır. Tüm bu faydalar şu şekilde özetlenebilir

- Gerçek zamanlı izleme, kontrol ve veri toplama; dijital ikiz aracılığıyla, fiziksel ve sanal sistem arasındaki güncellemeler gerçek zamanlı olarak takip edilebilir, bu durum iş



kararları için gerekli tüm verilerin alınmasına ve gerektiğinde fiziksel sistem üzerinde kontrolüne olanak tanır.

- Yüksek kalitede tasarımlar oluşturma; tasarım sürecine modelleme ve görselleştirme aşamasında dijital ikiz diğer teknolojiler ile birleşerek (XR gibi) yüksek kaliteli bir tasarım elde edilebilir.

Bu sayede dijital ikiz müşteriler, yöneticiler gibi tüm paydaşların proje modelini adım adım takip etmesine, sorunları bulmasına ve kıyaslamasına imkân tanır.

- Uzaktan erişim ile iş sürekliliği; dijital ikize istenilen her yerden ulaşılabilir.

İşletmede olmasalar dahi dijital ikiz, ilgili tüm tarafların sisteme dâhil edilmesini ve iş birliğini garanti eder.

- Artan verimlilik; üretim sürecinde senaryoların ve vakaların test sürecini kolaylaştırarak, zaman ve maliyet tasarrufu sağlar.

Dijital ikiz ayrıca, ekipman ve varlıkların ömrünü uzatabilir. Özellikle, fiziksel prototip ihtiyacı ve hata oranını azaltarak, zamandan tasarruf edilmesini sağlamaktadır.

- Yüksek karar destek sistemi; anlık verilerin toplanması, veri analizinin yapılması ve kolayca erişilebilir olması daha hızlı, daha bilgili ve daha verimli iş kararlarının alınmasını sağlar.

Dijital ikiz bilgi boşluğunu azaltır. Simülasyon araçları ve sanal gerçeklik araçları aracılığıyla dijital ikiz, operatörün karmaşık fiziksel varlıklar ve süreçler hakkındaki anlayışını derinleştirerek, sağlıklı kararlar almasına yardımcı olur.

- Önleyici bakım ve optimize edilmiş zamanlama: Dijital ikiz ile yapay zekâ ve makine öğrenme teknolojilerinin entegrasyonu ile kesintiler önceden tahmin edilebilir.

Bu durum çalışanların farkındalığını artırarak, değişebilen koşullarla ilgili çalışmalarını iyileştirip, geleneksel çalışma yaklaşımlarına değer katabilir.

Ayrıca, dijital ikiz arızaların ortaya çıkmadan önlenmesinde ve tespit edilmesinde, sistemin ya da ürünün uzaktan izlenmesinde, oluşan problemlerin uzaktan çözüme ulaştırılmasında ve uyarı sistemlerinin geliştirilmesinde önemli faydalar sağlayabilir.

- Gelişmiş risk değerlendirme; dijital ikiz, fiziksel sistemi etkilemeden problemler ortaya çıkmadan çeşitli çözümlerin sanal olarak test edilmesine olanak tanır.

Duyusal veri toplama, büyük veri analitiği, yapay zekâ ve makine öğrenimi ile birlikte dijital ikiz, izleme, teşhis, prognostik ve optimizasyon için kullanılabilir.

- Dijital ikiz, çalışanların, operatörlerin, bakımçıların ve hizmet sağlayıcıların eğitimi için kullanılabilir.

Bu açıdan dijital ikiz, eğitim yöntemlerini daha yaratıcı ve gerçeğe yakın hale getirebilir. Örneğin, Türkiye'nin ilk Ulusal Yapay Zekâ Stratejisi açıklanırken konuşmacıların dijital ikizi ile sohbetine yer verilmiştir.

Dijital ikiz uygulamalarının faydaları arasında azaltılmış üretim süreleri ve maliyetleri, farklı teknolojileri kullanma karmaşıklığını ortadan kaldırma, daha güvenli çalışma ortamları yaratma ve çevresel açıdan daha sürdürülebilir operasyonlar oluşturma da sayılabilir. Dijital ikiz, Siemens gibi birçok önde gelen işletme ve kuruluş tarafından bu potansiyel faydaları için kullanılmaktadır.

Tabi her yenilik ve dönüşümde olduğu gibi, işletmelerin dijital ikiz teknolojisi konusunda çeşitli zorluklarla karşı karşıya olduğu açıktır. Her şeyden önce işletmeler dijital ikizi etkili bir şekilde kullanabilmek için veri yönetimi ve nesnelerin interneti kullanımını kolaylaştıran bir altyapıya ihtiyaç duymaktadır. Dijital ikiz ile ilgili bir sonraki zorluk, veri gereksinimleridir.

Dijital ikiz sabit, kesintisiz bir veri akışı için, veri kalitesi gerektirir. Veriler tutarsız ve eksik olduğunda, dijital ikiz risk taşıyabilir ve yanlış tahmin yapabilir. Bir diğer zorluk ise güvenlik ve gizliliklerdir.

Bu zorluğu ortadan kaldırmak için işletmeler, dijital ikiz, nesnelerin interneti ve veri analitiğini kolaylaştıran teknolojilerin gizlilik ve güvenlik düzenlemeleri ile çeşitli uygulamaları ve güncellemeleri takip etmesi gerekmektedir. Dijital ikiz uygulama zorlukları ve fırsatları şu şekilde sınıflandırmıştır.

- Terminoloji: İşletme içinde ve dışında daha etkili bir iletişim sağlamak ve ortak bir anlayışı kolaylaştırmak için açık ve tutarlı bir terminoloji tanımlanmalıdır.

Aksi takdirde amaçlar ve yapılması gerekenler yanlış anlaşılabilir.

- Standardizasyon: Veri elde etmeden tahmin etmeye ve sonucunda karar vermeye kadar tüm teknolojilerin standartlaştırılması gerekir.

Uygulamalara bakıldığında, standart geliştirme süreci genellikle yavaştır ve bu da dijital ikizin geniş ölçekte benimsenmesinin yavaşlamasına neden olmaktadır.

- Organizasyon kültürü: Çalışanların, ortakların ve diğer paydaşların arasında ortak bir iş birliği gereklidir.

Paydaşlar arasında gerçeğe uygun değer, veri güvenliği ve fikri mülkiyet hakları sağlanmalıdır. İşletmelerde dijital dönüşümü kolaylaştıran bir kültür olmalıdır.

- Teknoloji olgunluğu: Dijital ikiz farklı teknolojilerin bir araya gelmesi ile ortaya çıkmaktadır.

Bu nedenle işletmelerin en ideal olgunluk için mevcut teknolojilerinin olgunluğunu göz önünde bulundurarak, verimlilik ve etkinlikte en anlamlı artışları sunan teknolojilere öncelik vermesi gerekmektedir.

- Doğrulama ve geçerlilik: Dijital ikiz, farklı teknoloji ve süreçlerin entegrasyonundan oluşur.

Her işletmenin kaynakları, çalışanları ve teknolojileri birbirinden farklı olduğu için tek bir örnek, tam sistem modelini doğrulamak mümkün olmayabilir.

- Otomasyon: Dijital ikiz otomasyonu artırarak manuel emeği azaltır. Amaç yüksek otomasyondur, fakat üretim sürecindeki insana dair hala güçlü bir güven vardır.

## **Dijital İkiz Örneği: Dijital Rüzgâr Çiftliği**

Türkiye’de dijital ikiz teknolojisinin en güzel örneği 2017 yılında Afyon Dinar’da kurulan Dijital Rüzgâr Çiftliği. Burada kurulan santral bugünlerde 72 binden fazla ailenin tüm elektrik enerjisi ihtiyacını karşılıyor.

### **Peki, bu santral nasıl çalışıyor?**

Buradaki rüzgâr tribünleri cep telefonlarımız gibi akıllı cihazlar. Sahadaki her bir tribün, oluşturulan sanal bir platform aracılığı ile dijital ikizi ile konuşuyor. Her bir tribün, kendisine gelen rüzgâr koşullarına göre zorlanacağı durumları dijital ikizine söylüyor, bu rüzgâr koşullarına göre kendisinde oluşabilecek arızaları haber veriyor ve bu konuda destek istiyor. Tribünlerin kanatlarında binlerce sensör var, bu sensörler aracılığı ile anlık büyük veri üretiyor. Tribünler bu verileri dijital ikizine yolluyor. Dijital ikizi bu verileri eş zamanlı olarak, çok hızlı bir şekilde alıyor, analiz ediyor ve modelliyor.

Sahada fiziksel olarak bulunan bir rüzgâr tribünü ile dijital sistemde bulunan ikizi sensörler aracılığı ile konuşuyor. Bu şekilde sahadaki tribün mevcut koşullarda üretebileceği maximum güce göre ayarlanıyor. Koşullar değiştiği zaman, bu değişikliklere uyum sağlamak için dijital ikizine gönderdiği sensör verilerini kullanıyor. Dijital ikizi bu verileri ve diğer ilişkili verileri analiz ederek onun ne yapması gerektiği konusunda bir karar veriyor.

Karar aşamasında dijital ikizi öncelikle tribünün o andaki mevcut çevre koşullarındaki (hava durumu) verilerini ve daha önce bu tribüne yapılan bakım raporlarından elde ettiği verileri, globalde diğer örnekleri ile yani dünya üzerinde kurulu kendi benzeri tüm rüzgâr tribünlerinin verileri ile karşılaştırıyor. Dijital ikizin bu noktada hedefi bu tribünü orijinal olarak tasarlandığı ilk duruma optimum (en iyi) performansla getirebilmek. Bunlar o kadar hızlı oluyor ki her bir tribün kendi dijital ikizi ile anlık olarak ve hiç insan müdahalesi olmadan konuşuyor.

## **Kaynaklar**

Çalış Duman, M. (2021). İşletmeler İçin Yeni Bir Verimlilik Teknolojisi: Dijital İkiz.

Kocabay, İ. V. (2019). Dijital ikizler gömülü gerçek zamanlı üretim yürütme sistemi tasarımı: kitlesel özelleştirme ile üretim yapan bir firmada uygulama.

Bengü, H., & Fidancan, C. Maliyet düşürme yöntemi olarak dijital ikiz ve otomotiv endüstrisindeki yeri. Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 3(2), 205-221