

## 23. BÖLÜM / CHAPTER 23

# DİJİTAL İKİZ VE TIBBİ SİSTEMLERİN MODELLEMESİ

## DIGITAL TWINS AND MODELING OF MEDICAL SYSTEMS

Zerrin AYVAZ REİS\*, Nilgün BOZBUĞA\*\*

\*Dr. Öğr. Üyesi, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Hasan Ali Yücel Eğitim Fakültesi, Bilgisayar ve Öğretim Teknolojileri Eğitimi Bölümü, İstanbul, Türkiye

E-posta: ayvazzer@iuc.edu.tr

\*\*Prof. Dr., İstanbul Üniversitesi, İstanbul Tıp Fakültesi, Kalp ve Damar Cerrahisi Anabilim Dalı, İstanbul, Türkiye

E-posta: nilgun.bozbuga@istanbul.edu.tr

DOI: 10.26650/B/ET07.2022.0023

### ÖZ

Tıp bilimlerinde sağlık kayıtlarının dijitalleşmesi ve giyilebilir teknolojiler yoluyla kişilerin sağlık verilerinin anlık olarak izlenebilmektedir ve sağlığın korunması ve önleyici sağlık hizmetlerinin gelişmesi kapsamında bütünsel çözümlerde kullanılmaktadır. Sağlıkta dijitalleşme süreci tek yönlü olmayıp, yeni teknolojilerle, otomasyonla etkileşimle kullanımı daha verimli olmaktadır. Sağlık hizmetlerindeki dijital teknoloji kullanımı ile elde edilen deneyim sürekli iyileştirilebilmektedir. Dijital ikiz teknolojisi de sağlık hizmetlerinin iyileştirilmesi konusunda önemli bir rol oynamaktadır. Dijital ikiz, bir ürünün, sürecin veya hizmetin sanal bir modelidir. Bir dijital ikiz, gerçek hayattaki bir nesne veya sistem hakkında gerçek verileri girdi olarak kullanır. Sonrasında bu girdilerden yola çıkarak, gerçek nesnenin veya sistemin nasıl tepki vereceğine dair tahminleri veya simülasyonları üretir. Tıp bilişiminin sağlık kuruluşları ve genel sağlık sistemi içinde sistem modellemesi ile sağlık alanında sonuçları ağır olabilecek risklere ve etik sorunlara yol açmaksızın hasta güvenliğinin sağlanması mümkün olmaktadır. Dünyada ve ülkemizde sağlık bilişimi alanında mevcut dijital ikiz teknolojisi kullanılan sistemler ve uygulamalar genel bir bakış açısı ile incelenerek, pilot vaka çalışması yapılmıştır. Vaka çalışmasına konu olan modelleme Sağlık Profil Sisteminin genel ve detaylı tasarımı için planlanmıştır. Modelleme esnasında otomasyon sistemine dahil edilmesi gereken bilişim teknolojisi araçları olarak giyilebilir (akıllı) teknolojik cihazlar, sisteme özel bir karar destek sistemi ve teletıp uygulaması kullanılması düşünülmüştür. Çalışma kapsamında pilot uygulama otomasyon sisteminin analiz ve tasarım aşamalarında nesneye yönelik yazılım geliştirmek için kullanılan UML metodolojisinden yararlanılmıştır. Otomasyon sistemini modellemek için Violet 2.1.0 CASE aracı kullanılmıştır. Sistemin genel ve detay modellenmesi use case (kullanım durumu) diyagramları ile gerçekleştirilmiş ve çalışmada sunulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Yönetim bilişim sistemleri, sağlıkta nesnelerin interneti (IoHT), tıbbi nesnelerin interneti (IoMT), dijital ikiz, dijital hasta, sağlık yazılım projeleri yönetimi, yazılım modelleme, UML

**ABSTRACT**

In medical sciences, people's health data can be monitored instantly through digitalization of health records and wearable technologies, and these data are used for holistic solutions within the scope of health protection and the development of preventive health services. The digitalization process in health is not one-sided, but its use has become more efficient through its interactions with new technologies and automation. The experience gained with the use of digital technology in health services can be continuously improved. Digital twin technology also plays an important role in improving healthcare. A digital twin is a virtual model of a product, process, or service. A digital twin uses real data about a real-life object or system as input, then generates predictions or simulations of how the real object or system will react based on these inputs. This system of modeling medical informatics in health institutions and in the health system in general allow patient safety to be ensured without causing risks or ethical problems that may have serious consequences in the field of health. This research conducts a pilot case study by examining the systems and applications that use digital twin technology in the field of health informatics in the world and in Turkey. As the subject of the case study, the modeling has been planned for general and detailed modeling, and wearable (i.e., smart) technological devices, a system-specific decision support system, and telemedicine application were taken into consideration as the information technology tools that should be included in the automation system. The study uses within its scope the unified modeling language (UML) methodology, which helps develop object-oriented software, in the analysis and design stages of the pilot application of the automation system. The study uses the Violet UML Editor 2.1.0 to model the automation system, conducting and presenting a general and detailed modeling of the system with use-case diagrams.

**Keywords:** management information systems, Internet of Healthcare Things (IoHT), Internet of Medical Things (IoMT), digital twins, digital patient, health software project management, software modeling, UML

**1. Sağlıkta Dijital Dönüşüm**

Tıpta sağlık kayıtlarının dijitalleşmesi ve giyilebilir teknolojiler yoluyla kişilerin sağlık verilerinin anlık olarak izlenebilmesi, sağlığı koruma sürecinden, önleyici sağlık hizmetlerinin gelişmesine kadar sağlığın korunması kapsamında bütünsel çözümler sunmaktadır. Sağlık alanında artan maliyetlerle birlikte, kalite, erişim ve kaynak yükü sorunlarının yanı sıra sağlık alanında üretilen devasa büyüklükte ve çeşitlilikteki veri nedeniyle, dijital dönüşüm kaçınılmaz hale gelmiştir. Dijitalleşme sürecinde kendi kendini yönetebilen, denetleyen ve optimize edebilen otonom sistemlerin yerleşmesi ile dijital dönüşüm başlamıştır. Dijitalizasyon, dijital teknolojilerin iş modellerini değiştirilerek gelir ve değer üreten yeni iş süreçleri yaratmasıdır. Dijitalizasyon, sağlık hizmetleri süreçlerinde, iş akışı ve işlemlerinde, hasta ve çalışan güvenliği, kalite, etkinlik ve verimlilik artışının sağlandığı, hızlı ve etkili hizmet sunabilen çağdaş işletim modelidir.

Dünyada ve Türkiye'de dijital dönüşümün öneminin kavranmaya başladığı ilk dönemlerde, stok kontrol, muhasebe ve hasta kayıt birimlerinde kullanılmaya başlanmıştır. Teknolojide yaşanan hızlı gelişmeler, masaüstü bilgisayarların kullanımı ve bilgisayar destekli uygulama alanının genişlemesiyle hastane otomasyonları da yaygınlaşmaya başlamıştır ve dönüşüm

yoluyla bu sürece uyumu zorunlu hale getirmiştir, Diğer yandan bilişim ve iletişimdeki gelişmelerin neticesinde bilgiye ulaşım kolaylaşmış; bu gelişme de sağlık sektöründe bireylerin kendi sağlıklarının yönetiminde etkin olmasını sağlamıştır.

Dijital dönüşüm sadece basit bir teknolojik gelişme değil, sağlık endüstrisi de dahil olmak üzere yaşamın her alanında, işletim sistemlerinde köklü değişikliğe yol açan çok boyutlu, çok katmanlı bir dönüşümdür (Bozbuğa, Kurtulmuş Kosif & Öncül, 2021). Dijital dönüşüm dört aşamada gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada üretim üzerinden işletimsel etkililiklerle başlamış, ikinci aşamada kullanıcı üzerinden ileri düzey işletimsel etkililiklerle gelişmiştir. Dijital dönüşümün üçüncü aşamasında, değer zincirleriyle bütünleşik veri güdümlü hizmetler devreye girmiştir. Dördüncü aşamada, dijital platformlarla bütünleşik veri güdümlü hizmetlerle sürmektedir.

Sağlıkta dijitalleşme süreci tek yönlü olmayıp, yeni teknolojilerle daha verimli kılınabilmekte ve sağlık hizmetlerindeki dijital değişim deneyimi iyileştirilebilmektedir (Büyükgöze & Dereli, 2019). Tıp bilişiminin sağlık kuruluşları ve genel sağlık sistemi içinde sistem modellemesi ile sağlık alanında sonuçları ağır olabilecek risklere ve etik sorunlara yol açmadan, hasta güvenliğinin sağlanması önem taşımaktadır. Dijital ikiz teknolojisi de sağlık hizmetlerinin iyileştirilmesi konusunda önemli bir rol oynayabilecek yeni bir bilişim kavramı olarak gündeme gelmiştir (Qi et al 2018; Tao et al, 2018; Tao et al, 2019,). Bu çalışmamızda; dünyada ve ülkemizde dijital dönüşüm alanında mevcut sistemler ve uygulamalar bu bakış açısı ile incelenerek, örnek bir vaka çalışması yapılmıştır.

## 2. Dijital İkiz

Dijital ikiz çalışmaları ilk eşleştirme teknolojisi olarak NASA'nın uzay araştırmalarının (hemen görme, izleme ve çok uzağa seyahat eden ürünleri tasarlama zorunluluğu içeren araştırmalar) ilk günlerinde test edilmiştir (Houten, 2018). Dijital ikiz; fiziksel dünyadaki bir cihazın, kişinin veya tesisin dijital dünyadaki simülasyonu olarak da ifade edilmektedir (CyberMag, 2020).

Dijital ikiz teknolojisi herhangi bir nesnenin, cihazın, hizmetin fiziksel olarak yapılmadan dahi dijital ortamda bire bir kopyasının oluşturulmasıdır (STM Thinktech, 2019). Fiziksel nesnelerin üzerine yerleştirilmiş nesnelerin interneti olarak (IoT) bilinen akıllı cihazların sensörleri vasıtasıyla sensörlerin izlediği tüm verileri tam zamanlı alıp işleyen bulut tabanlı bir sistem gerçek zamanlı verileri kullanmaktadır. Dijital ikizin işlediği veriler sayesinde maliyet ve zaman kaybı olmadan sorunlar önceden tespit edilip, üstesinden gelmek mümkün olmaktadır. Dijital ikizin sağladığı sonuçlar gerçek zamanlıdır. Üç boyutlu bilgisayar destekli

(CAD-Computer Aided Design) modelleriyle başlayan dijital ikiz kullanımı artırılmış gerçeklik ve sanal gerçeklik alanındaki gelişmelerle evrilmeye devam etmektedir.

Dijital ikizin kullanıldığı alanlardan biri olan sağlık alanındaki uygulamaları incelendiğinde yeni gelişmekte olan bir teknoloji olduğu anlaşılmaktadır ve birçok dijital ikiz türünün birden fazla kullanımı olduğu ve kategoriyi kapsadığı görülmektedir. Sağlık alanındaki araştırma ve geliştirilen dijital ikiz uygulamaları incelendiğinde bunların temelde hastane tasarımında maliyetleri düşürmek ve hastalık takibi ile önlem amaçlı olarak üç türde olduğu görülmektedir (Aynacı, 2020). İlk türü bir hastanenin ölçüm yapılması istenilen bölümlerine yerleştirilen sensörler ile dijital ikizinin tasarlanmasıdır. İkincisi, bir insanın genel sağlık takibini oluşturabilmek için sağlık verileri ile oluşturulan yaşayan bir dijital ikiz oluşturulmasıdır. Üçüncüsü ise, hastalıklı bir bölgenin hem takibini sağlamak için hem de yapılacak bir operasyon veya ilaç uygulamasının denemelerini test etmek için oluşturulan dijital ikizlerdir.

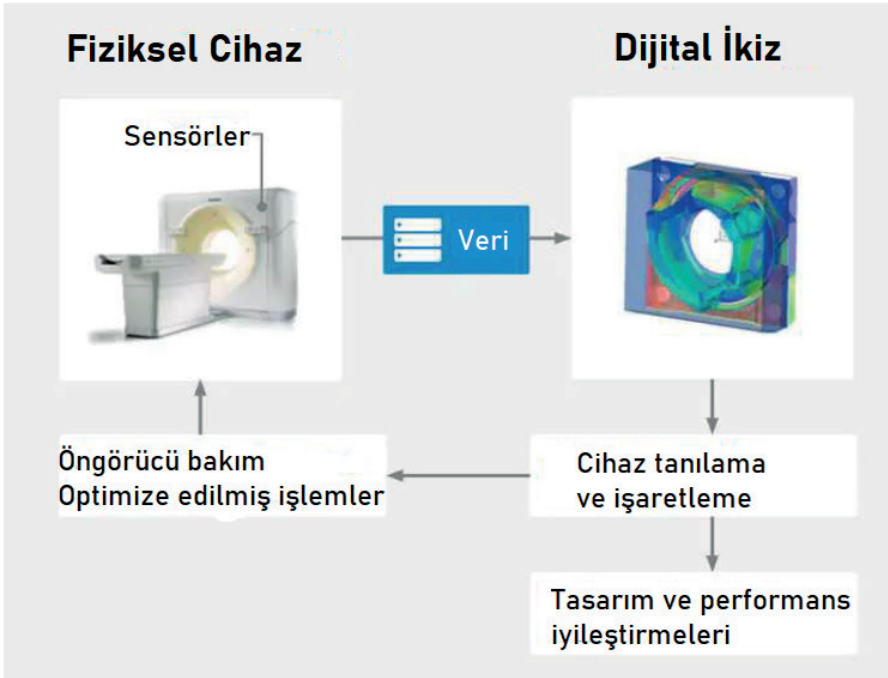
## 2.1. Sağlık Alanında Dijital İkiz

Sağlıkta dijital ikiz teknolojisi, bireylerin ya da bir sağlık kurumları veya tıbbi sistemlerin dijital verilerinin gerçek zamanlı veya zaman etiketli aktarımı ile sanal ortamda temsilidir. Fiziksel ortamdaki sensörler, sağlıkta nesnelere interneti (IoHT) ve tıbbi nesnelere interneti (IoMT) aracılığıyla düzenli olarak bulut tabanlı bir sisteme aktarılan verilerin sanal ortamda izlenmesidir. Endüstri 4.0, Toplum 5.0, akıllı toplum kurgusunda “Dijital İkiz” teknolojisi, nesnelere interneti (IoT) ve yapay zeka alt yapısı ile desteklenmektedir (Goossens, 2019).

Sağlıkta dijital ikiz teknolojisi dijital üç boyutlu temsil sağlamanın yanı sıra karar verme, değerlendirme ve benzetim uygulamalarıyla öngördürücüdür. Yeni ilaç molekülleri ve yeni tıbbi cihaz geliştirme aşamalarında dijital hasta kullanılması yaygınlaşmaktadır. Dijital ikiz teknolojisi, genomik, radyomik araştırmalar için kaynak sağlayarak kişiselleştirilmiş tıp uygulamaları için teknolojik alt yapı desteği sunmaktadır (Aynacı, 2020). Dijital ikiz teknolojisi, genetik yapıları milyarlarca farklı genom içeren bireylerin tıbbi tedavilerinin kişiye özel uyarlanmasında kolaylaştırıcı olanaklar vermektedir. Genomik bağışıklık özelliklerini kişiselleştirilmiş sağlık bilgisiyle birleştirilmesi, tedavi planlaması ve takibinde kullanılmaktadır. Dijital ikiz platform üzerinden görüntüleme verileri cerrahi tedavi planlamasında ve sonuçların değerlendirilmesinde gelecek vaat etmektedir.

Literatür incelendiğinde tıbbi dijital ikizlerin sağlık kuruluşlarının iyileştirilmesi kategorisinde; sağlık kurumlarının bakım sağlama biçimlerine katkı vermek amacıyla bakıcı deneyimini geliştirmek, operasyonel kararların test edilmesi, tedarik zinciri esnekliği sağlamak için modelleme yapmak, hastanelerin inşaa süresini kısaltmak ve hastanelerin çağrı merkezi

hizmetlerini iyileştirmek amaçlı kullanılmakta olduğu görülmektedir. Philips kurumsal blog yazısında (2018) Dijital ikiz, Şekil 1’de görüldüğü gibi gömülü sensörler ve yazılımlardan gelen verilerle sürekli beslenen bir cihazın dinamik sanal gösterimi olarak ifade edilmiştir. Dijital ikizlerin hastane hizmetlerini proaktif uzaktan izleme ile yaklaşan sorunları uzaktan çözmeye ve gerektiğinde bir servis mühendisi tarafından bakım planlaması yapma olanağı verdiği belirtilmiştir. Dijital ikiz teknolojisi sağlık kuruluşlarının yönetim karmaşık sistemlerin ve süreçlerin izlenmesinde, denetlenmesinde, acil müdahale gereksinimlerinin karşılanmasında ve iletişim ağının iyileştirilmesinde katkı sağlayacaktır. Dijital ikiz teknolojisi, dijital hastane yapılanması içinde sağlık kurumlarında varlık ve tedarik yönetimi, maliyet ve etkinlik yönetimi, toplam kalite yönetimi süreçlerinde sağlık hizmetleri kapasitesinin daha verimli kullanılmasında yardımcı bir teknik olarak yerini almaktadır (Kurtulmuş Kosif & Bozbuğa, 2021). Gelecekte dijital ikiz teknolojileri, sağlıkta blok zincir teknolojileri ve davranışların interneti (IoB, *internet of behaviors*) teknolojileri ile entegre edilerek daha yaygın kullanım alanına ulaşabilir.



Şekil 1: Sağlıkta hastane hizmetlerini iyileştirmede dijital ikiz modeli (Kaynak: Philips, 2018)

Dijital ikizlerin kişiselleştirilmiş tıp kategorisinde de; hastalara göre özelleştirilebilen sanal organlarla hastalığın ileri safhalarda nasıl bir yol izleyeceği tedavi ve cerrahi müdahalelere

nasıl tepki vereceği araştırılmaktadır. Bu alanda sağlık sektöründeki Siemens Healthineers, Dassault Systemes ve FEops gibi pek çok kuruluşun girişimleri bulunmaktadır (Infina, 2021). Genomik araştırmalarda haritalama çalışmalarında, hasta bölgenin taranmasında, kişiselleştirilmiş sağlık bilgilerinin yapay zeka uygulamalarıyla yeniden değerlendirilmesinde, hastaya özel ilaç tedavisi uygulanması ve riskli ameliyatların nasıl yapılabileceğinin planlanmasında kullanılmaktadır. Dijital ikizle birlikte dijital hasta kavramı da ön plana çıkmıştır. Dijital hasta; tıbbi kararları desteklemek için hastaya özel yapılan modelledir. Diğer bir ifadeyle dijital hasta, hasta avatarı olarak da tanımlanabilir. Dijital hasta kavramı Avrupa Komisyonu'nun fonladığı bir AR-GE projesi kapsamında ortaya konulmuştur. Dijital Hasta Yol Haritası (Roadmap for the Digital Patient) raporu Avrupa Komisyonu tarafından finanse edilen Koordinasyon ve Destek Eylem Planı'nın bir parçası olan DISCIPULUS projesi ile hazırlanmıştır (Bulut, 2020).

İlaç ve tıbbi cihazların geliştirilmesi kategorisinde ise dijital ikizlerin kullanımının geliştirme aşamasının testlerini ve izlemi gerçekleştirmekte kullanıldığını görmekteyiz. Bunun yanı sıra ilaç risklerinin sınıflandırılmasında, ilaç teslimatlarının gerçekleştirilmesinde, tıbbi cihazların kullanımında büyük önemi olan yazılımların sertifikalandırılmasında, cihazların kullanım sürelerinin uzatılmasında, insan bedenindeki değişkenliğin simüle edilmesinde ve laboratuvarların iş süreçlerinin otomatikleştirilmesinde dijital ikizlerin kullanılabileceği öngörülmektedir.

## 2.2. Dünyada Sağlık Alanında Dijital İkiz

Sağlık alanında pek çok dijital ikiz modelleri önerileri ve çalışmaları olmakla birlikte gerçekleştirilmiş çalışmaların çoğunlukla hastane ve laboratuvar tasarımı ve performans iyileştirme amaçlı kullanıldığı görülmektedir. Aynacı (2020) hastane tasarımındaki dijital ikiz örneği olarak İrlanda'daki Mater Özel Hastanelerini (Mater Private Hospital - MPH) vermektedir. MPH ve Siemens Healthineers işbirliği yaparak radyoloji departmanının üç boyutlu bilgisayar modelini oluşturmuş ve farklı operasyonel senaryoları deneyebilecekleri, yeni düzenekleri test edebilecekleri bir dijital ikiz bir haftada oluşturulmuştur.

Dassault Systemes ile ABD Gıda ve İlaç Dairesi (FDA:Food and Drug Administration) 2014 yılında 5 yıllık bir anlaşma imzalayarak Yaşayan Kalp isimli projeyi yürütmeye başlamıştır. Böylece ilk defa bir organın tamamının simüle edilmesi gerçekleştirilip, ilaç etkileşimlerini görebilmek için kullanılmıştır. SIMULIA adı verilen Yaşayan Kalp projesi çok çeşitli klinik ölçümlere göre onaylanmış ve bir insan kalbinin simüle edilerek oluşturulan bir dijital ikizidir. Proje ortaklarının katkılarıyla modele kalp pili elektrotları ve diğer kardiyovasküler

cihazların yerleştirilmesi ile başlayan test paradigmaları değerlendirilmekte ve Yaşayan Kalp Projesi kişiselleştirilmiş, girişimsel kalp-hasta bakımı sağlamaya daha da yaklaşmaktadır (Dassault Systemes, n.d.).

Philips'in genel müdür yardımcısı Henkvan Houten'in Kasım 2018'de yayınladığı bir yazısında geliştirdikleri "Heart Model" ile kalbin genel olarak bilinen modelinin nasıl kişiselleştirilmiş hale getirildiğini açıklamıştır. Modelin asıl amacı, bir cihazın dijital ikizinin nasıl çalışacağını göstererek veri analizi ve modelleme teknikleriyle birlikte gerçekleştirildiğini anlatmaktadır (Aynacı, 2020).

### 2.3. Türkiye’de Sağlık Alanında Dijital İkiz

Aydın ve Karaarslan (2020), CONCOVID konferansında "COVID-19 Belirtilerinin Tespiti İçin Dijital İkiz Tabanlı Bir Sağlık Bilgi Sistemi" başlıklı çalışmalarında COVID-19'un bazı belirtilerini takip etmek için mobil araçlarla da kullanılacak sistemler önermişlerdir. Bu sistem önerisi içinde, her bireyin tüm tıbbi geçmişine sahip olan ve bulut üzerinde yer alacak dijital bir kopyasının oluşturulduğu dijital ikiz tabanlı bir sistem de önerilmiştir. Bu sistem ile sağlıkta nesnelere interneti veya doktor raporlarından yapılan herhangi bir ölçümden elde edilebilecek ve karar verme süreçleriyle analiz edilecek olan, bireyin sağlık durumuyla ilgili veriler dijital ikizinin analiziyle bireyin mobil cihazında görülebilecektir.

## 3. Sistem Modelleme

Sistem modellemesi; mevcut problemin çözümü için gerekli analizlerin yapılmasından sonra çözüm tasarımının simgesel olarak gösterimidir.

Sistem modellemenin tanımını yapmak için öncelikle sistem kavramına ve etimolojisine bakmak gerekir. Sistem kavramının farklı tanımları olmakla birlikte Ataman (2009) sistemi "genel olarak düzenli bir biçimde birbirini etkileyen ve birbirine bağlı birimlerden, değişik bölümlerden oluşan, genel bir plana göre kurulan ve belirli bir sonuca ulaşmak için amaca yönelmiş bir bütün" olarak tanımlamaktadır. Etimolojisine baktığımızda sistem 'birleşme', 'oluşma', 'bir araya gelme' anlamını taşıyan Latince "Systema" kelimesinden türemiştir. Bilgisayar bilimleri disiplinde ise sistem; problemin çözümünü gerçekleştirmek için kullanılan donanım, bu donanımın çalışmasını ve problemin bilgisayarlar kullanılarak çözülmesini sağlayan yazılımlar ile bu donanım ve yazılımları kullanan insanlardan oluşan bütün olarak tanımlanmaktadır.

Burada söz konusu edilen bilişim teknolojisiyle çözümü istenen yazılım sistemlerinin modellenmesidir. Yazılım Geliştirme Yaşam Döngüsü kavramı bir döngü yaklaşımıdır. Sistem

modellemesi; mevcut problemin çözümü için gerekli analizlerin yapılmasından sonra çözüm tasarımının simgesel olarak gösterimidir. Simgelerle gösterim sayesinde çözüm süreçleri ortak bir görsel yapıya kavuşmuş olur. Çözüm sürecinin kontrolü de modelleme sayesinde kolaylaşır.

#### 4. Sağlıkta Sistem Modelleme

Tıbbi modelleme dijital dönüşüm ve akıllı sağlık kapsamında sağlık yönetimi merkezi yönetimden kişiselleştirilmiş yönetime, hastalık yönetimi merkezli bakım hizmetinden hasta merkezli bakıma, tedavi yöntemi ise hastalık tedavisine odaklanmaktan koruyucu sağlık hizmetini güçlendirmeye evrilmiştir. Bu dönüşüm ile tıbbi modellemede de değişimler gerçekleşmiştir.

Sistemin doğru modellenmesi ve yönetilmesi, sağlık alanında kaynak israfının önüne geçilmesinde büyük önem taşımaktadır Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Örgütü'nün (OECD, *Organisation for Economic Co-operation and Development*) 2018 yılı verilerine dayanarak yayınladığı rapora göre sağlık harcamalarının yaklaşık % 20'si israf edilmektedir (Bernart & Akpakwu, 2018). Sağlık hizmetinden yararlanan kişi sayısı ve kişi başına düşen sağlık hizmeti maliyeti her geçen gün artmaktadır. Sistemin doğru modellenmesi ve yönetilmesi, sağlık alanında kaynak israfının önüne geçilmesinde büyük önem taşımaktadır. Dijital dönüşüm ile tıbbi modellemede de değişimler gerçekleşmiştir.

Akıllı sağlık kavramına uygun sistem modellemesi, optimizasyonu ve otomatik süreçlere dayanan bilgi ve iletişim teknolojisi tabanlı ortamlar geliştirir. Bu bağlamda akıllı sağlık kavramına uygun sistem modellemesinde kişisel sağlık ve hasta bakımına yönelik hizmetler, sağlık profesyonellerine yönelik hizmetler ve sağlık yönetimine yönelik hizmetler söz konusudur (Fraggetta & Pantanowitz, 2018). Akıllı sağlık hizmetlerinin paydaşları; hekimler ve diğer sağlık çalışanları, hastalar ve yakınları, hastaneler ve diğer sağlık kurumları, sigorta kuruluşları, araştırma kurumları, ilaç ve tıbbi malzeme üreticileri ve tedarikçiler, vb. oluşmaktadır. Sağlık kurumlarında algılama teknolojilerindeki gelişmeler ile nesnelere ve insanlardan sürekli olarak veri elde edilmesi ve izlenmesinde etkili sağlık sistemi altyapısını sağlayan akıllı bir bağlantı ağı kurulmaktadır (Burkoski et al, 2019).

Sağlık kayıtlarının dijitalleşmesi ve giyilebilir teknolojiler sayesinde kişilerin sağlık verilerinin anlık olarak izlenebildiği görülmektedir (Piette et al, 2016). Bilgisayar destekli anatomik modelleme, 3 boyutlu baskı ve biyobaskı sistemleri, günümüzde tıpta, özellikle kişiselleştirilmiş tıp (*personalized medicine, precision medicine*) uygulamalarında oldukça yaygın olarak kullanılan ve büyük bir destek sağlayan tıp bilişiminin alt alanı olarak iler-



leme kaydetmiştir (Sikdar & Guha, 2020). Biyobankalar, insan genomu ile ilgili biyolojik veri setlerinin depolanmasına, postgenomik analizine, biyoinformatik yönetimi ve küresel bir işbirliğiyle ağ yapılanmasına olanak tanımaktadır. Biyobankalar, biyomedikal araştırmalar için yeterli sayıda örneğin elde edilmesine, yeniden örnek alınmaksızın, aynı örnekte çeşitli testlerin uygulanabilirliğine ve yıllar boyunca gerektiğinde analizlerin tekrarlanabilmesine olanak sağlamaktadır. Sağlık alanında kullanılan klinik karar destek sistemleri (KKDS) özellikle karar verici pozisyonda bulunan sağlık personeline güncel bilgiyi sunarak en uygun kararı vermesi için yardımcı olmaktadır.

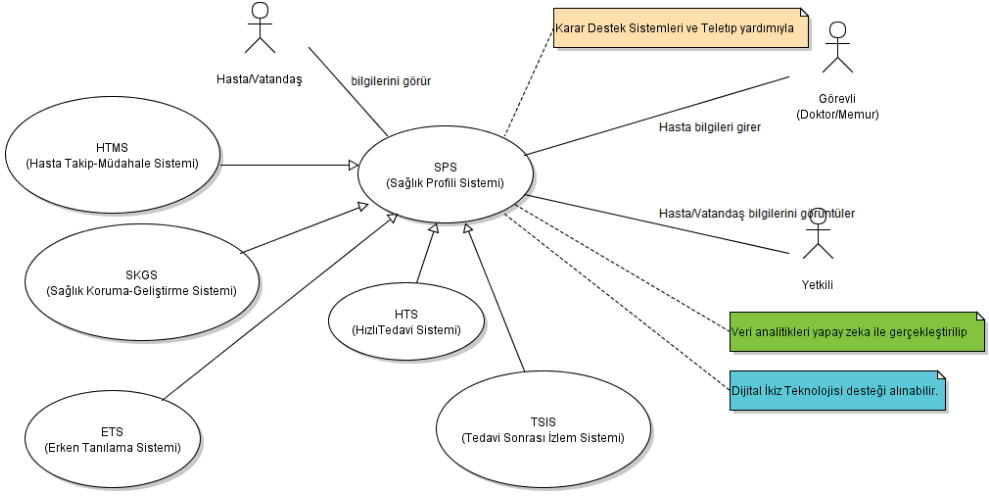
Akıllı sağlık tesisi yönetiminde, nesnelerin internetine dayalı çoklu dijital sistemleri entegre eden bilgi platformu, dijital cihazlar, akıllı binalar ve sağlık personeli teknosistem oluşturur (Botkina et al, 2018, Legner et al., 2017). Akıllı sağlık hizmetlerinde tedarik yönetiminde, ilaç ve tıbbi malzeme temini ve dolaşımı, envanter yönetimi, sahteciliğe karşı mücadele ve süreçlerin etkili ve verimli yönetimiyle doğru zamanda, doğru yerde, doğru miktarda doğru kişiye ulaşması kullanılmalıdır.

### **Vaka Çalışması:**

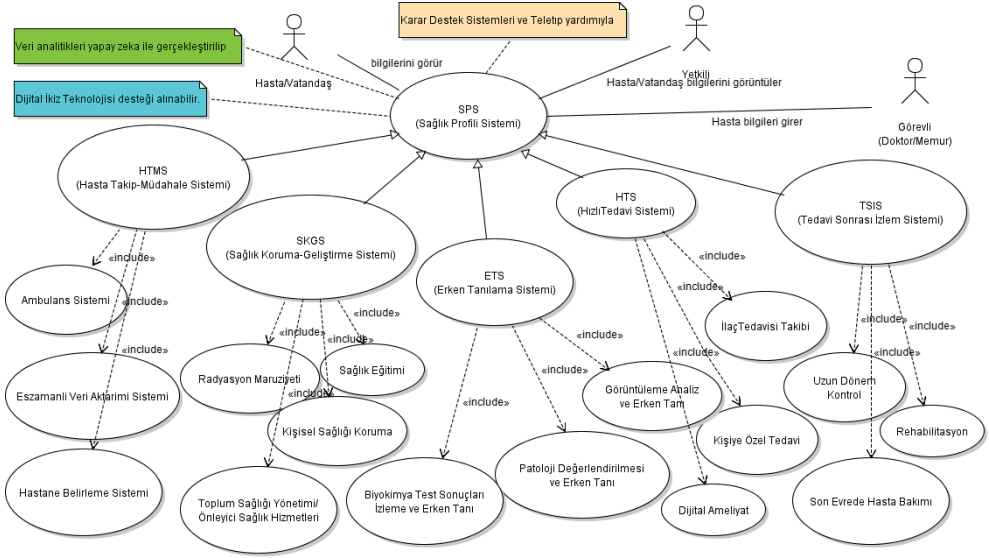
Bu çalışmamızdaki vaka modellemesi, Tıbbi Sistemlerin Modellenmesi (2021) çalışmasında gerçekleştirilmiş modeli genişletmek üzere kurgulanmıştır. Modül ve alt modüllerin gösterildiği sistemler, bu sistemlerde rol alan kullanıcılar ve kullanıcılarla sistemler arasındaki ilişkiler, genel ve detaylı tasarımı gösteren kullanım durumu (*use case*) modelleme aşaması Violet *CASE* aracı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Sağlık profil sistemi (SPS); Karar Destek Sistemi (KDS) ve teletıp yardımıyla çalışacak şekilde tasarlanmıştır. Sistemin bu özelliği kalıtım yoluyla ona bağlı olan Sağlık Koruma-Geliştirme Sistemi (SKGS), Hasta Takip-Müdahale Sistemi (HTMS), Erken Tanılama Sistemi (ETS), Hızlı Tedavi Sistemi (HTS) ve Tedavi Sonrası İzlem Sistemi (TSİS) alt sistemlerine de geçmektedir. Ana sistem ile alt modüller arasındaki ilişkiler kalıt ilişkisi genel tasarım olarak Şekil 2’de, detaylı tasarım olarak Şekil 3’te gösterilmektedir.

SPS’ne bağlı tüm sistemler için dijital ikiz modeli oluşturulabilir. Giyilebilir teknolojiler ve sensörler yardımıyla edinilen veriler yapay zeka uygulamaları ile işlenerek elde edilen analitikler ileriye yönelik tahmin ve gerekli önlemlerin alınmasına katkı verebilecektir.



Şekil 2: Sağlık Profil Sistemi Use Case genel tasarım diyagramı



Şekil 3: Sağlık Profil Sistemi Use Case detaylı tasarım diyagramı

HTMS modülünde dijital ikiz hasta için izlem amaçlı kullanılabilir. Acil durumda yapılması öngörülen müdahalenin olası sonuçları için yine dijital ikiz modelinden yararlanılabilir. ETS modülü için hastanın olası meydana çıkabilecek rahatsızlıkları dijital ikiz ile erken tanılanabilir. SKGS modülünde yine dijital ikiz modeli kullanılarak, hastadan elde edilen verilerle dijital ikiz model üzerinde olası tedavi uygulamaları deneysel olarak gerçekleştirilebilir.

## 5. Sonuç

Sağlık sektörü ve tıbbi bilimler, bilişim teknolojilerinin önemli bir ilham kaynağı ve kullanım alanı olarak yeniliğe en açık ve en dinamik sektörlerin başında gelmektedir. Ancak sağlık sektörü karmaşık, dinamik ve yüksek düzeyde teknolojik entegrasyon gerektiren bir sektördür. Akıllı sağlık sistemleri, kurumsal sürdürülebilirliği sağlamada sağlık sektörünün gelecekte en önemli açılımı olacaktır (Cheng et al, 2018).

Dijital İkiz kavramı henüz sınırlı alanlarda kullanılmakla birlikte yakın gelecekte hayatımızın her alanında kullanılıyor olması muhtemeldir. Sağlık alanında dijital ikiz uygulamalarının dünyada ve Türkiye’deki kullanımının hastane yönetim süreçlerinde kullanımı ile sınırlı olmakla birlikte sağlık hizmetlerinin gelişimine ve optimizasyonuna önemli katkılar sağladığı görülmektedir. Gelişen teknolojinin uzantısı olarak dijital ikiz teknolojisinin sağlık alanında kullanım alanı ve sayısının da büyük artış göstereceği öngörülmektedir.

## Kaynakça / References

- Ataman, G. (2009). İşletme Yönetimi Temel Kavramlar ve Yeni Yaklaşımlar, İstanbul, Türkmen Kitabevi, ISBN: 9756812402
- Aydın Ö, Karaarslan E. (2020). Covid-19 Belirtilerinin Tespiti İçin Dijital İkiz Tabanlı Bir Sağlık Bilgi Sistemi. Online International Conference of COVID-19 (CONCOVID). 12-14 June 2020, İstanbul, Türkiye
- Ayvaz Reis, Z., Bozbuğa, N. (2021). Tıbbi Sistemlerin Modellenmesi. Bozbuğa N, Gülseçen S (eds). Tıp Bilişimi. İstanbul, İstanbul Üniversitesi Yayınevi. 273-297. E-ISBN 978-605-07-0773-1
- Aynacı, İ. (2020). Dijital İkiz Ve Sağlık Uygulamaları. İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi. 3(1). 70- 82. <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/1095385>[Erişim: 10 09.2021]
- x. Bernaert, A., Akpakwu, E. (2018). Four ways AI can make healthcare more efficient and affordable. In World Economic Forum. 2018; [org/agenda/2018/05/four-ways-ai-is-bringing-down-the-cost-ofhealthcare](http://org/agenda/2018/05/four-ways-ai-is-bringing-down-the-cost-ofhealthcare).
- Botkina D, Hedlind M, Olsson B, Henser J, Lundholm T. Digital twin of a cutting tool. *Procedia CIRP* 2018;72:215–8.
- Bozbuğa, N., Kurtulmuş Kosif., F. & Öncül, M.O. (2021). Sağlıkta Dijital Dönüşüm. Bozbuğa N, Gülseçen S (eds). Tıp Bilişimi. İstanbul, İstanbul Üniversitesi Yayınevi.: 523-551. E-ISBN 978-605-07-0773-1
- Bulut, T. (5 Temmuz 2020). İnsanın Dijital İkizi Oluşturulabilir mi? <https://www.winally.com/2020/07/insanin-dijital-ikizi-olusturulabilir-mi/>[Erişim: 31.10.2021]
- Burkoski, V., Yoon, J., Hutchinson, D., Solomon, S. & Collins, B.E. (2019). Experiences of Nurses Working in a Fully Digital Hospital: A Phenomenological Study. *Nursing Leadership*.32(SP):72-85.
- Büyükgöze, S., Dereli, E. (2019). Dijital Sağlık Uygulamalarında Yapay Zeka. VI. Uluslararası Bilimsel ve Mesleki Çalışmalar Kongresi-Fen ve Sağlık 2019; 07-10.
- Cheng, Y., Zhang, Y., Ji, P., Xu, W., Zhou, Z., & Tao, F. (2018). Cyber-physical integration for moving digital factories forward towards smart manufacturing: a survey. *Int J Adv Manuf Technol* 2018;97(1–4):1209–21. *CyberMag*. (09.01.2020). Dijital İkiz Nedir, Faydaları Nelerdir? *CyberMag*. <https://www.cybermagonline.com/dijital-ikiz-nedir-faydalari-nelerdir> . [Erişim: 20 08.2021]
- Dassault Systemes. (n.d.). The Living Heart Project-A Translational Research Initiative To Revolutionize Cardiovascular Science Through Realistic Simulation. <https://www.3ds.com/press-releases/single/dassaultsystemes>

- mes-living-heart-project-reaches-next-milestones-in-mission-to-improve-patient-care/ [Erişim: 31.10.2021]
- Fraggetta F., Pantanowitz, L. (2018). Going fully digital: utopia or reality? *Pathologica-Journal of the Italian Society*;110:1-2.
- Goossens P. (2019). Industry 4.0 and the power of the digital twin. Available:<https://www.maplesoft.com/ns/manufacturing/industry-4-0-power-of-the-digital-twin.aspx> Accessed: 2019-09-24.
- Houten, H.V. (30 Ağustos, 2018). The rise of the digital twin: how healthcare can benefit. Philips. <https://www.philips.com/a-w/about/news/archive/blogs/innovation-matters/20180830-the-rise-of-the-digital-twin-how-healthcare-can-benefit.html> [Erişim: 20 08.2021]
- Infinia. (14 Temmuz 2021). Medikal Dijital İkizlerin Sağlık Hizmetlerini Geliştirmesinin 21 Yolu. Medikal Dijital İkizlerin Sağlık Hizmetlerini Geliştirmesinin 21 Yolu - INFINIA. [Erişim: 20 10.2021]
- Kurtulmuş Kosif, F., Bozbuğa, N. (2021). Dijital Hastane. Bozbuğa N, Gülseçen S (eds). Tıp Bilişimi. İstanbul, İstanbul Üniversitesi Yayınevi, 2021: 553-568. E-ISBN 978-605-07-0773-1
- Legner, C., Eymann, T., Hess, T., Matt, C., Böhmman, T., Drews P., Madche, A., Urbach, N. & Ahlemann, F. (2017). Digitalization: opportunity and challenge for the business and information systems engineering community. *Bus Inf Syst Eng*;59(4):301–8.
- Piette, J.D., Krein, S.L., Striplin, D., Marinec, N., Kerns, R.D., Farris, K.B., Singh, S., An, L. & Heapy, A.A. . (2016). Patient-centered pain care using artificial intelligence and mobile health tools: protocol for a randomized study funded by the US Department of Veterans Affairs Health Services Research and Development Program. *JMIR Research Potocols*. 5(2),53.
- Philips. (2018). The rise of the digital twin: how healthcare can benefit. <https://www.philips.com/a-w/about/news/archive/blogs/innovation-matters/20180830-the-rise-of-digital-twin-how-healthcare-can-benefit.html> [Erişim: 31 10.2021]
- Qi, Q., Tao, F., Zuo, Y. & Zhao, D. (2018). Digital twin service towards smart manufacturing. *Procedia CIRP*;72:237–42.
- Sikdar, S., Guha, S.. (2020). Advancements of Healthcare Technologies: Paradigm Towards Smart Healthcare Systems. In *Recent Trends in Image and Signal Processing in Computer Vision* Springer, Singapore; 113-132.
- STM ThinkTech. (14.05.2019.). Dijital İkiz Teknolojileri ve Üretime Faydaları, <https://thinktech.stm.com.tr/tr/dijital-ikiz-teknolojileri-ve-uretime-faydaları>. [Erişim: 20 08.2021]
- Tao, F., Zhang, H., Liu, A. & Nee, A.Y.C. (2018). Digital twin in industry: state-of-the-art. *IEEE Trans Industr Inform*;15(4):2405–15.
- Tao, F., Qi, Q., Wang, L. & Nee, A. (2019). Digital twins and cyber–physical systems towards smart manufacturing and industry 4.0: correlation and comparison. *Engineering*;5:653–61.
- World Health Organization. (2019). Draft global strategy on digital health 2020–2024. Geneva, 2019.