



## Πανεπιστήμιο Πειραιώς – Τμήμα Πληροφορικής

Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών

«Ψηφιακός Πολιτισμός, Έξυπνες Πόλεις, IoT και Προηγμένες Ψηφιακές Τεχνολογίες»

### Μεταπτυχιακή Διατριβή

Τίτλος Διατριβής	<b>Ψηφιακά Δίδυμα - Εφαρμογές στην Υγεία</b> <b>Digital Twins - Healthcare Applications</b>
Όνοματεπώνυμο Φοιτητή	<b>Μαυρίδου Ελισάβετ</b>
Πατρώνυμο	<b>Μαυρίδης Σάββας</b>
Αριθμός Μητρώου	<b>ΨΠΟΛ/20050</b>
Επιβλέπων	<b>Σταύρος Ι. Παπαπαναγιώτου</b>

**Μάιος 2024**

**Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή**

(υπογραφή)

Σταύρος Ι. Παπαπαναγιώτου

Διδάσκων

(υπογραφή)

Δημήτριος Δ. Βέργαδος

Καθηγητής

(υπογραφή)

Επαμεινώνδας

Τσίγκας

Διδάσκων



## Ευχαριστίες

Θα ήθελα να εκφράσω τις ειλικρινείς μου ευχαριστίες προς όλους όσους συνέβαλαν στην ολοκλήρωση αυτής της εργασίας.

Καταρχάς, θέλω να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή μου, Σταύρο Παπαπαναγιώτου, για την καθοδήγηση, τη στήριξη και την εμπιστοσύνη που παρείχε καθ' όλη τη διάρκεια αυτής της προσπάθειας. Η εμπειρία μου υπήρξε εξαιρετική.

Έπειτα Θα ήθελα να εκφράσω τις ειλικρινείς μου ευχαριστίες προς τον κ. Νικόλαο Τσώλη για τον χρόνο που διέθεσε και τις πολύτιμες συμβουλές που μου παρείχε μέσω της εμπειρίας του στον τομέα της Ιατρικής Πληροφορικής.

Επίσης, θέλω να εκφράσω βαθιά ευγνωμοσύνη προς τον σύζυγό μου, Κωνσταντίνο, που με στήριξε αμέριστα καθ' όλη τη διάρκεια αυτής της πορείας. Η υποστήριξή του και η κατανόησή του ήταν καθοριστικές για την επίτευξη αυτού του στόχου.

Η βαθύτερη αγάπη κι εκτίμησή μου επεκτείνεται και στα δύο παιδιά μου, Νικόλα και Σάββα. Η υπομονή και η χαρά που φέρνουν στη ζωή μου ήταν το κίνητρό μου. Η κατανόησή τους κατά τη διάρκεια των απαιτητικών χρόνων της εργασίας αυτής έχει κάνει αυτό το ταξίδι πιο ουσιαστικό.

Επιπλέον, θα ήθελα να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου προς τους γονείς μου και τα αδέρφια μου για την αμέριστη στήριξη και την αγάπη που μου παρείχαν πάντα και με κινητοποιούν να επιτυγχάνω τα όνειρά μου.

Τέλος, μια ιδιαίτερη αναγνώριση πηγαινει στη μητέρα μου, που η συνεχής επιθυμία της για γνώση και διαβίου μάθηση, αποτελεί πηγή έμπνευσης για μένα. Η αφοσίωση, η δύναμη και η αγάπη που μου προσφέρει καθημερινά με καθοδηγούν και με κάνουν καλύτερο άνθρωπο.

## Περίληψη

Τα ψηφιακά δίδυμα, ακρογωνιαίος λίθος της βιομηχανίας 4.0, έχουν αναδειχθεί ως επαναστατικό παράδειγμα, που ξεπερνά τα παραδοσιακά όρια και αναδιαμορφώνει τις βιομηχανίες. Η παρούσα εργασία εμβαθύνει στις ποικίλες εφαρμογές των ψηφιακών διδύμων σε διάφορους τομείς και ιδιαίτερα στους τομείς της υγειονομικής περίθαλψης, όπου η ενσωμάτωσή τους με μεγάλα δεδομένα καταλύει μεταμορφωτικές αλλαγές.

Στην υγειονομική περίθαλψη, τα ψηφιακά δίδυμα χρησιμεύουν ως δυναμικά αντίγραφα των ασθενών, επιτρέποντας εξατομικευμένη και ακριβή ιατρική. Η απρόσκοπτη ενσωμάτωση δεδομένων ασθενών, πληροφοριών αισθητήρων και ιατρικών αρχείων διευκολύνει την παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο, την προγνωστική διάγνωση και τις προσαρμοσμένες στρατηγικές θεραπείας. Αυτή η συμβίωση ψηφιακών διδύμων και υγειονομικής περίθαλψης αποτελεί παράδειγμα της δυνατότητας για βελτιωμένα αποτελέσματα ασθενών και πιο αποτελεσματική παροχή εξ αποστάσεως υγειονομικής περίθαλψης και χειρουργικής.

Ταυτόχρονα, στην κατασκευή, στην αυτοκινητοβιομηχανία, στην αεροδιαστημική βιομηχανία και σε άλλους κλάδους, τα ψηφιακά δίδυμα είναι ζωτικής σημασίας για τη βελτίωση της επιχειρησιακής απόδοσης, της πρόβλεψης συντήρησης και της συνολικής διαχείρισης του κύκλου ζωής σύνθετων συστημάτων. Δημιουργώντας εικονικά αντίστοιχα, οι μηχανικοί μπορούν να βελτιστοποιήσουν την απόδοση, να εντοπίσουν πιθανά προβλήματα προληπτικά και να εξορθολογίσουν τις διαδικασίες συντήρησης, διασφαλίζοντας έτσι τόσο την ασφάλεια όσο και τη σχέση κόστους-αποτελεσματικότητας.

Η ενσωμάτωση μεγάλων δεδομένων ενισχύει περαιτέρω τις δυνατότητες των ψηφιακών διδύμων τόσο στην υγειονομική περίθαλψη όσο και σε άλλου τομείς. Η συγχώνευση τεράστιων συνόλων δεδομένων με ψηφιακά δίδυμα επιτρέπει την προηγμένη ανάλυση, την προγνωστική μοντελοποίηση και τη λήψη αποφάσεων βάσει δεδομένων. Αυτή η συνέργεια όχι μόνο ενισχύει την ακρίβεια των διαγνωστικών και προγνωστικών στην υγειονομική περίθαλψη, αλλά συμβάλλει επίσης στη βελτιωμένη διαχείριση των πόρων και στην επιχειρησιακή αριστεία σε όλους τους κλάδους εφαρμογής των ψηφιακών διδύμων.

Καθώς πλοηγούμαστε στην εποχή της βιομηχανίας 4.0, η αλληλεπίδραση μεταξύ ψηφιακών διδύμων, μεγάλων δεδομένων και τεχνολογιών αιχμής εγκαινιάζει μια νέα εποχή καινοτομίας και αποτελεσματικότητας.

**Λέξεις κλειδιά:** Ψηφιακά Δίδυμα, Ιατρική περίθαλψη, Βιομηχανία 4.0, Αεροδιαστημική, Μεγάλα Δεδομένα

**Abstract**

Digital twins, cornerstone of Industry 4.0, have emerged as a revolutionary paradigm transcending traditional boundaries and reshaping industries. This paper delves into the diverse applications of digital twins across various sectors, with a particular focus on healthcare, where their integration with big data is catalyzing transformative changes.

In healthcare, digital twins serve as dynamic replicas of patients, enabling personalized and precise medical interventions. Seamless integration of patient data, sensor information, and medical records facilitates real-time monitoring, predictive diagnosis, and tailored treatment strategies. The synergy between digital twins and healthcare exemplifies the potential for improved patient outcomes and more efficient delivery of remote healthcare and surgery.

Simultaneously, in construction, automotive, aerospace, and other industries, digital twins are crucial for enhancing operational performance, predictive maintenance, and overall lifecycle management of complex systems. Creating virtual counterparts, engineers can optimize performance, proactively identify potential issues, and streamline maintenance processes, ensuring both safety and cost-effectiveness.

The integration of big data further amplifies the capabilities of digital twins in both healthcare and other sectors. Merging vast datasets with digital twins allows for advanced analysis, predictive modeling, and data-driven decision-making. This synergy not only enhances the accuracy of diagnostics and predictions in healthcare but also contributes to improved resource management and operational excellence across all sectors employing digital twins.

As we navigate the era of Industry 4.0, the interaction between digital twins, big data, and cutting-edge technologies heralds a new age of innovation and efficiency.

**Keywords:** Digital Twins, Healthcare, Industry 4.0, Aerospace, Big Data

**Περιεχόμενα**

<b>Ευχαριστίες .....</b>	<b>4</b>
<b>Περίληψη.....</b>	<b>5</b>
<b>Abstract .....</b>	<b>6</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Εισαγωγή</b>	<b>11</b>
<b>1.1 Εισαγωγή.....</b>	<b>11</b>
<b>1.2 Σκοπός και Στόχοι .....</b>	<b>11</b>
<b>1.3 Δομή.....</b>	<b>11</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Μέθοδος Βιβλιογραφικής Ανασκόπησης</b>	<b>14</b>
<b>2.1 Εισαγωγή.....</b>	<b>14</b>
<b>2.2 Βήμα 1: Ορισμός του Θέματος.....</b>	<b>14</b>
<b>2.3 Βήμα 2: Αναζήτηση Βιβλιογραφίας .....</b>	<b>14</b>
<b>2.4 Βήμα 3: Αξιολόγηση και επιλογή της Βιβλιογραφίας.....</b>	<b>15</b>
<b>2.5 Βήμα 4: Σύνταξη της Βιβλιογραφικής Ανασκόπησης.....</b>	<b>15</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 : Ψηφιακά δίδυμα</b>	<b>17</b>
<b>3.1 Εισαγωγή.....</b>	<b>17</b>
<b>3.2 Ορισμός .....</b>	<b>17</b>
<b>3.3 Ιστορικό υπόβαθρο .....</b>	<b>18</b>
<b>3.3.1 Πρώιμες καταβολές.....</b>	<b>18</b>
<b>3.3.2 Αεροδιαστημική και Επिरροή της NASA.....</b>	<b>18</b>
<b>3.3.3 Βιομηχανία 4.0 (Industry 4.0).....</b>	<b>19</b>
<b>3.4 Εφαρμογές ψηφιακών διδύμων .....</b>	<b>19</b>
<b>3.4.1 Κατασκευές και Κτηριακή Ανάπτυξη:.....</b>	<b>19</b>
<b>3.4.2 Αεροναυπηγική και Αεροδιαστημική:.....</b>	<b>20</b>
<b>3.4.3 Έξυπνες πόλεις:.....</b>	<b>20</b>
<b>3.4.4 Κυβερνητικές υπηρεσίες: .....</b>	<b>20</b>
<b>3.4.5 Μηχανική και σχεδιασμός:.....</b>	<b>20</b>
<b>3.4.6 Αυτοκινητοβιομηχανία: .....</b>	<b>21</b>
<b>3.4.7 Υγειονομική περίθαλψη: .....</b>	<b>21</b>

<b>3.5 Λειτουργία ψηφιακού διδύμου .....</b>	<b>21</b>
<b>3.5.1 Συλλογή δεδομένων (Data Collection) : .....</b>	<b>21</b>
<b>3.5.2 Ενοποίηση δεδομένων (Data Fusion) : .....</b>	<b>22</b>
<b>3.5.3 Υπολογιστική Μοντελοποίηση (Computational Modeling) : .....</b>	<b>22</b>
<b>3.5.4 Ανάλυση και παρακολούθηση (Analysis and Monitoring) : .....</b>	<b>22</b>
<b>3.5.5 Δυνατότητες πρόβλεψης (Predictive Capabilities) : .....</b>	<b>22</b>
<b>3.5.6 Ανατροφοδότηση σχολίων (Feedback Loop) : .....</b>	<b>22</b>
<b>3.6 Προκλήσεις του ψηφιακού διδύμου .....</b>	<b>23</b>
<b>3.6.1 Προκλήσεις του ψηφιακού διδύμου.....</b>	<b>23</b>
<b>3.6.2 Χρήσιμα δεδομένα .....</b>	<b>23</b>
<b>3.6.3 Απόρρητο και ασφάλεια.....</b>	<b>23</b>
<b>3.6.4 Εμπιστοσύνη.....</b>	<b>23</b>
<b>3.6.5 Προσδοκίες.....</b>	<b>23</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Ψηφιακά δίδυμα στην Υγεία και την Ιατρική Περίθαλψη</b>	<b>24</b>
<b>4.1 Εισαγωγή.....</b>	<b>24</b>
<b>4.2 Ορισμός των Ψηφιακών Διδύμων στην Υγεία .....</b>	<b>25</b>
<b>4.3 Ιστορικό πλαίσιο και εξέλιξη .....</b>	<b>25</b>
<b>4.3.1 Πρώιμη εξερεύνηση στην ιατρική απεικόνιση:.....</b>	<b>26</b>
<b>4.3.2 Άνοδος Υπολογιστικής Ισχύος:.....</b>	<b>26</b>
<b>4.3.3. Ενσωμάτωση με Ηλεκτρονικά Μητρώα Υγείας (EHR):.....</b>	<b>26</b>
<b>4.3.4 Εμφάνιση φορητών συσκευών και IoT:.....</b>	<b>26</b>
<b>4.3.5 Big Data και Μηχανική μάθηση: .....</b>	<b>26</b>
<b>4.3.6 Προόδους στην παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο:.....</b>	<b>26</b>
<b>4.4 Εφαρμογές των ψηφιακών διδύμων στην Υγειονομική Περίθαλψη ...</b>	<b>27</b>
<b>4.4.1 Ανθρώπινα ψηφιακά δίδυμα και Σχεδιασμός θεραπείας για συγκεκριμένο ασθενή.....</b>	<b>27</b>
<b>4.4.2 Ανάπτυξη φαρμάκων θεραπείας ασθενών .....</b>	<b>27</b>
<b>4.4.3 Αποκατάσταση και Φυσικοθεραπεία.....</b>	<b>28</b>
<b>4.4.4 Κατάρτιση και Εκπαίδευση.....</b>	<b>28</b>
<b>4.4.5 Νοσοκομεία .....</b>	<b>28</b>



<b>4.5 Ηθικά ζητήματα και Προκλήσεις .....</b>	<b>30</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: Ψηφιακά Δίδυμα και εξ αποστάσεως Χειρουργική και Παρακολούθηση (Remote Surgery &amp; Homecare) <u>32</u></b>	
<b>5.1 Εξ αποστάσεως Χειρουργική (Remote Surgery) .....</b>	<b>32</b>
<b>5.1.1 Εξ αποστάσεως Χειρουργική (Remote Surgery) και Ψηφιακά Δίδυμα (DT) .....</b>	<b>32</b>
<b>5.1.2 Παράδειγμα μελέτης εφαρμογής Ψηφιακού Διδύμου στην τηλεχειρουργική .....</b>	<b>33</b>
<b>5.2 Εξ αποστάσεως Παρακολούθηση ασθενών ( Homecare).....</b>	<b>35</b>
<b>5.2.1 Χρήσεις των Ψηφιακών Διδύμων στην υγειονομική περίθαλψη και παρακολούθηση στο σπίτι .....</b>	<b>35</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: Συμπέρασμα – Συζήτηση <u>39</u></b>	
<b>6.1 Συμπέρασμα .....</b>	<b>39</b>
<b>6.2 Μελλοντικές κατευθύνσεις έρευνας .....</b>	<b>41</b>
<b>6.2.1 Ενοποίηση με Αναδυόμενες Τεχνολογίες.....</b>	<b>41</b>
<b>6.2.2 Ανάλυση δεδομένων και τεχνητή νοημοσύνη σε πραγματικό χρόνο</b>	<b>41</b>
<b>6.2.3 Συνεργασία ανθρώπου-μηχανής.....</b>	<b>41</b>
<b>6.2.4 Ηθικά και Νομικά Πλαίσια .....</b>	<b>41</b>
<b>6.2.5 Διαχρονικές Μελέτες και Αποτελέσματα .....</b>	<b>41</b>
<b>6.2.6 Δέσμευση και Ενδυνάμωση Ασθενούς.....</b>	<b>42</b>
<b>6.2.7 Κατανομή πόρων και αποδοτικότητα κόστους.....</b>	<b>42</b>
<b>6.2.8 Παγκόσμιες Εφαρμογές Υγείας.....</b>	<b>42</b>
<b>6.2.9 Διαθεματική Συνεργασία.....</b>	<b>42</b>
<b>6.2.10 Βελτιώσεις ασφάλειας και απορρήτου.....</b>	<b>42</b>
<b>6.3 Επίλογος.....</b>	<b>43</b>
<b>Βιβλιογραφία <u>44</u></b>	

### **Πίνακας Εικόνων**

Εικόνα 1. Διάγραμμα ρύθμισης δικτύου του πρωτότυπου συστήματος. (Laaki et al., 2019). .....	33
Εικόνα 2. Απεικόνιση της ροής δεδομένων βρόχου ελέγχου. (Laaki et al., 2019). .....	34

Εικόνα 3. Δομή Ανθρώπινου Ψηφιακού Διδύμου (HDT). (Thamotharan et al., 2023). .....	36
Εικόνα 4. Δομή IoMT. (Thamotharan et al., 2023).....	37

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Εισαγωγή

### 1.1 Εισαγωγή

Στην εποχή της ραγδαίας τεχνολογικής προόδου, τα ψηφιακά δίδυμα αναδεικνύονται ως κρίσιμος παράγοντας που διαμορφώνει το μέλλον της ανθρωπότητας (Adjei & Montasari, 2020). Αυτά τα ψηφιακά αντίγραφα του πραγματικού κόσμου, συχνά αναφερόμενα ως "ψηφιακά δίδυμα," αντιπροσωπεύουν έναν εντυπωσιακό συνδυασμό της φυσικής και της ψηφιακής πραγματικότητας. Σε αυτό το πλαίσιο, η παρούσα εργασία αναλύει τη λειτουργία των ψηφιακών διδύμων, εξετάζοντας πώς αυτά τα ψηφιακά αντίγραφα αντικατοπτρίζουν και αλληλεπιδρούν με τον πραγματικό κόσμο.

Οι ψηφιακοί δίδυμοι έχουν εφαρμογές σε πολλούς τομείς, επηρεάζοντας σημαντικά την καθημερινότητά μας. Από την κατασκευή μέχρι τη βιομηχανία, τα ψηφιακά δίδυμα προσφέρουν νέες δυνατότητες και προοπτικές. Οι τομείς αυτοί είναι αντικείμενο έντονης έρευνας και ανάπτυξης, με την τεχνολογία να διαμορφώνει τον τρόπο που αλληλεπιδρούμε και λειτουργούμε σε αυτούς (Cimino et al., 2019).

Ειδικότερα, στον τομέα της υγείας, τα ψηφιακά δίδυμα προωθούν επαναστατικές αλλαγές. Η ψηφιακή αντιγραφή του ανθρώπινου σώματος και οι εξελίξεις στην ιατρική τεχνολογία επιτρέπουν την προσαρμογή των θεραπειών σε κάθε ασθενή, την ανάπτυξη νέων φαρμάκων και την παροχή περισσότερο εξατομικευμένης και αποτελεσματικής ιατρικής φροντίδας (Croatti et al., 2020).

Με τον σκοπό αυτό, η παρούσα εργασία εξετάζει εκτενώς τον τρόπο με τον οποίο τα ψηφιακά δίδυμα διαμορφώνουν τον σύγχρονο κόσμο, εστιάζοντας ιδιαίτερα στις καινοτόμες εφαρμογές τους στον κρίσιμο τομέα της υγείας. Με αυξημένη δυναμική και προοπτική, τα ψηφιακά δίδυμα σηματοδοτούν μια νέα εποχή στην ιατρική και την παροχή υγειονομικής περίθαλψης.

### 1.2 Σκοπός και Στόχοι

Οι γενικοί σκοποί μιας έρευνας πάνω στη λειτουργία και τις εφαρμογές των ψηφιακών διδύμων αντικατοπτρίζουν τη σημασία της εξέτασης αυτού του καινοτόμου πεδίου και των προοπτικών του. Καταρχάς, η παρούσα εργασία αποσκοπεί στον προσδιορισμό των γενικών αρχών και της βάσης που υποστηρίζουν τη λειτουργία των ψηφιακών διδύμων. Διερευνά την εξέλιξη του τομέα και τις τεχνολογικές και ηθικές προκλήσεις που προκύπτουν. Επιπλέον, αναζητά την εφαρμογή αυτών των αρχών σε διάφορους τομείς της κοινωνίας.

Σε συνέχεια, οι ειδικοί στόχοι της έρευνας επικεντρώνονται στην εφαρμογή των ψηφιακών διδύμων στον τομέα της υγείας. Αναζητεί τους τρόπους με τους οποίους η τεχνολογία αυτή μπορεί να ενισχύσει την ιατρική πρακτική, προσφέροντας προσαρμοσμένες λύσεις για την παρακολούθηση της υγείας, τη θεραπεία ασθενών, και την ενίσχυση των ιατρικών επιδόσεων. Εξετάζει πώς οι ψηφιακοί δίδυμοι μπορούν να εφαρμοστούν στη διαχείριση ηλεκτρονικών μητρώων υγείας, στην ανάπτυξη νέων φαρμάκων, και στην εξ αποστάσεως παρακολούθηση ασθενών. Επιπλέον, εστιάζει στον σχεδιασμό θεραπειών ειδικά προσαρμοσμένων σε κάθε ατομική περίπτωση, καθώς και στην εκπαίδευση και κατάρτιση των επαγγελματιών της υγείας για την αποτελεσματική χρήση τέτοιων τεχνολογιών.

Συνολικά, η παρούσα εργασία συνδυάζει τη γενική κατανόηση των ψηφιακών διδύμων με την πρακτική εφαρμογή τους σε διάφορους τομείς με έμφαση στον τομέα της υγείας, προσφέροντας έτσι ένα περιεκτικό πλαίσιο για τη συνολική κατανόηση και αξιοποίηση αυτής της καινοτομίας στον κλάδο της ιατρικής.

### 1.3 Δομή

Στο πρώτο κεφάλαιο της εργασίας παρουσιάζεται η εισαγωγή, όπου γίνεται μια συνοπτική αναφορά στο θέμα που θα εξεταστεί και δίνεται μια επεξήγηση των κύριων πτυχών της εργασίας, αναδεικνύοντας τον σκοπό και τους στόχους της. Η παρουσίαση των σκοπών αποσκοπεί στον καθορισμό του εύρους της έρευνας,

ενώ οι στόχοι θεσπίζουν τα επιδιωκόμενα αποτελέσματα. Στο παρό υποκεφάλιο, δομή της εργασίας, προσφέρεται μια επισκόπηση των κεφαλαίων και των κύριων θεμάτων που θα αναπτυχθούν, προετοιμάζοντας τον αναγνώστη για το περιεχόμενο που ακολουθεί. Με αυτόν τον τρόπο, η εισαγωγή θέτει το θεμέλιο για την κατανόηση του περιεχομένου της εργασίας και προετοιμάζει το έδαφος για την ανάπτυξη των επόμενων κεφαλαίων.

Το δεύτερο κεφάλαιο της εργασίας, εστιάζεται στη μέθοδο της βιβλιογραφικής ανασκόπησης ως ουσιώδες μέσο για την κατανόηση και ανάλυση του επιλεγέντος θέματος. Παρουσιάζεται η σημασία της βιβλιογραφικής ανασκόπησης ως βάση για την επόμενη φάση έρευνας και στη συνέχεια, ο ορισμός του θέματος, καθορίζοντας τα βασικά στοιχεία που θα διαπραγματευτούν στην ανασκόπηση. Έπειτα επισημαίνεται η σημασία της αναζήτησης βιβλιογραφίας, αναλύοντας τις πηγές που θα εξεταστούν για την απόκτηση συνολικής εικόνας και της αξιολόγησης και της επιλογής της βιβλιογραφίας, εντοπίζοντας τις πιο κατάλληλες πηγές για την κατεύθυνση της έρευνας. Τέλος, στο βήμα της σύνταξης της βιβλιογραφικής ανασκόπησης, παρουσιάζονται η δομή και τα βήματα που θα ακολουθηθούν για τη συστηματική και συνολική ανάπτυξη του κειμένου. Με αυτόν τον τρόπο, το κεφάλαιο αποτελεί μια οργανωμένη και συνεκτική δομή για την εφαρμογή μιας αποτελεσματικής μεθοδολογίας βιβλιογραφικής έρευνας.

Στο Κεφάλαιο 3 εξετάζεται η εξέλιξη και η σημασία των ψηφιακών διδύμων. Αναπτύσσεται μια εισαγωγή στο θέμα και ο ορισμός και εξετάζεται το ιστορικό υπόβαθρο των ψηφιακών διδύμων, αναλύοντας πρώιμες καταβολές, την επίδραση της NASA στον τομέα της αεροναυπηγικής και τον ρόλο της βιομηχανίας 4.0. Στη συνέχεια, παρουσιάζονται διάφορες εφαρμογές των ψηφιακών διδύμων σε τομείς όπως οι κατασκευές, η αεροναυπηγική, οι έξυπνες πόλεις, ο σχεδιασμός και η υγειονομική περίθαλψη.

Η επόμενη ενότητα εστιάζει στη λειτουργία των ψηφιακών διδύμων, αναλύοντας τη συλλογή δεδομένων, την ενοποίηση δεδομένων, την υπολογιστική μοντελοποίηση, την ανάλυση και παρακολούθηση, τις δυνατότητες πρόβλεψης και την ανατροφοδότηση σχολίων. Τέλος, εξετάζονται οι προκλήσεις που συναντώνται στον τομέα των ψηφιακών διδύμων, όπως η χρήση χρήσιμων δεδομένων, το απόρρητο και η ασφάλεια, η εμπιστοσύνη και οι προσδοκίες που σχετίζονται με αυτήν την τεχνολογία. Σε κάθε υποενότητα γίνεται προσπάθεια να προσφερθεί βαθιά κατανόηση του θέματος, ενισχύοντας έτσι την κατανόηση του αναγνώστη σχετικά με τη σημασία και τις προκλήσεις που σχετίζονται με τα ψηφιακά δίδυμα.

Το κεφάλαιο 4 αναλύει τον ρόλο των Ψηφιακών Διδύμων στον τομέα της Υγείας. Ξεκινώντας με την ενότητα της εισαγωγής, παρουσιάζεται η συνολική θεματολογία του κεφαλαίου. Στη συνέχεια προσδιορίζονται τα Ψηφιακά Δίδυμα στον τομέα της υγείας και προσφέρεται ένα ιστορικό πλαίσιο και η εξέλιξη της έρευνας. Οι επόμενες ενότητες εξετάζουν την πρώιμη εξερεύνηση στην ιατρική απεικόνιση, την άνοδο της υπολογιστικής ισχύος, την ενσωμάτωση με Ηλεκτρονικά Μητρώα Υγείας (EHR), την εμφάνιση φορητών συσκευών και IoT, καθώς και τη σημασία του Big Data και της Μηχανικής Μάθησης. Στη συνέχεια, η εργασία επικεντρώνεται στις εφαρμογές των ψηφιακών διδύμων στην Υγειονομική Περίθαλψη, καλύπτοντας θέματα όπως ο σχεδιασμός θεραπείας για συγκεκριμένο ασθενή, η ανάπτυξη φαρμάκων θεραπείας, η εξ αποστάσεως παρακολούθηση και χειρουργική, η αποκατάσταση και η φυσικοθεραπεία, η κατάρτιση και η εκπαίδευση, καθώς και η ψηφιακή εξέλιξη στα νοσοκομεία. Το κεφάλαιο ολοκληρώνεται με τα ηθικά ζητήματα και τις προκλήσεις που αντιμετωπίζονται στον τομέα αυτόν, προσφέροντας μια συνολική εικόνα των ηθικών διλημμάτων που προκύπτουν με την υιοθέτηση των ψηφιακών διδύμων στην ιατρική πρακτική.

Το πέμπτο κεφάλαιο πραγματεύεται τη χρήση των ψηφιακών διδύμων στο πλαίσιο της εξ αποστάσεως χειρουργικής και παρακολούθησης στο σπίτι (Remote Surgery & Homecare). Πιο συγκεκριμένα, εξετάζει πώς οι τεχνολογίες αυτές μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να διεξαχθούν ιατρικές επεμβάσεις από απόσταση, καθώς και για την παρακολούθηση και φροντίδα ασθενών στο περιβάλλον τους παραθέτοντας δύο παραδείγματα εφαρμογής των Ψηφιακών Διδύμων στην εξ αποστάσεως χειρουργική και στην εξ αποστάσεως παρακολούθηση ασθενών αντίστοιχα.

Το έκτο κεφάλαιο αποτελεί το κεντρικό κομμάτι της συνολικής εργασίας, καταλήγοντας σε συμπεράσματα που αναδεικνύουν τη σημασία και τα αποτελέσματα της έρευνας. Παρουσιάζονται τα κυριότερα συμπεράσματα καθώς και οι μελλοντικές κατευθύνσεις έρευνας και ειδικότερα προσδιορίζονται οι διάφορες πτυχές που μπορούν να αποτελέσουν αντικείμενο μελλοντικών ερευνών. Η ενοποίηση με αναδυόμενες τεχνολογίες, η ανάλυση δεδομένων και η τεχνητή νοημοσύνη σε πραγματικό χρόνο, καθώς και η συνεργασία ανθρώπου-μηχανής, αναδεικνύονται ως σημαντικές πτυχές της εξέλιξης του τομέα. Παράλληλα, ηθικά και

Μεταπτυχιακή Διατριβή

Μαυρίδου Ελισάβετ

νομικά πλαίσια, διαχρονικές μελέτες, δέσμευση και ενδυνάμωση του ασθενούς, καθώς και η κατανομή πόρων και παγκόσμιες εφαρμογές υγείας προσδίδουν ολοκληρωμένη προοπτική στο πεδίο της έρευνας. Το κεφάλαιο ολοκληρώνεται με τον επίλογο, όπου αναδεικνύονται οι συνολικές σημασίες της έρευνας και προτείνονται πιθανοί τρόποι εφαρμογής των ευρημάτων στην πράξη.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Μέθοδος Βιβλιογραφικής Ανασκόπησης**

### **2.1 Εισαγωγή**

Στην παρούσα εργασία η μέθοδος που εφαρμόστηκε είναι η βιβλιογραφική ανασκόπηση. Η βιβλιογραφική ανασκόπηση αποτελεί μια συστηματική προσέγγιση για τη συλλογή, επισκόπηση και αξιολόγηση της υπάρχουσας γνώσης σχετικά με ένα συγκεκριμένο θέμα (Dunne, 2011). Οι ερευνητές χρησιμοποιούν αυτήν τη μέθοδο για να κατανοήσουν την εξέλιξη των ερευνητικών επιστημών, να εντοπίσουν κενά στη γνώση και να προσφέρουν συστάσεις για μελλοντικές έρευνες. Κατά τη διάρκεια της διαδικασίας της βιβλιογραφικής ανασκόπησης, οι ερευνητές συλλέγουν και αναλύουν επιστημονικές πηγές, εξετάζουν την ποιότητα και τη σημασία των εργασιών, και παρουσιάζουν ένα συνολικό έργο που συνοψίζει την κατάσταση του γνωστικού πεδίου. Αυτή η μέθοδος είναι ζωτικής σημασίας για την ανάπτυξη της επιστήμης.

Ως αποτέλεσμα, η διαδικασία αυτή απαιτεί σύστημα, προσεκτική προετοιμασία και διεξοδική ανάλυση της βιβλιογραφίας (Snyder, 2019). Οι ερευνητές πρέπει να είναι ικανοί να εντοπίζουν και να αξιολογούν διάφορες πηγές, να οργανώνουν τα ευρήματά τους με σαφήνεια και να παρουσιάζουν την ανασκόπησή τους με λογική και δομημένο τρόπο. Έτσι, η βιβλιογραφική ανασκόπηση συμβάλλει στην προώθηση της γνώσης και στην ανάδειξη των τάσεων και προκλήσεων στον τομέα της έρευνας. Αυτό το κεφάλαιο περιγράφει τα βήματα που ακολουθήθηκαν στη διεξαγωγή της βιβλιογραφικής ανασκόπησης.

### **2.2 Βήμα 1: Ορισμός του Θέματος**

Το πρώτο βήμα για τη διεξαγωγή βιβλιογραφικής ανασκόπησης είναι ο ορισμός του θέματος. Περιγράφεται ξεκάθαρα το ερευνητικό ερώτημα ή το θέμα που διερευνάται, κάτι που βοηθάει να τεθούν συγκεκριμένα όρια για την κριτική και να αποφευχθεί η παραπλάνηση σε άσχετους τομείς (Dunne, 2011; Snyder, 2019). Στην παρούσα περίπτωση τα ψηφιακά δίδυμα με έμφαση στην εφαρμογή τους στον τομέα της υγείας, είναι ουσιαστικά ο καθορισμός του ερευνητικού πεδίου.

Η έναρξη του ταξιδιού της δημιουργίας μιας βιβλιογραφικής ανασκόπησης σχετικά με τα ψηφιακά δίδυμα γενικότερα και την εφαρμογή αυτών στην υγειονομική περίθαλψη απαιτεί την ακριβή οριοθέτηση των βασικών αρχών και των τρόπων με τους οποίους αυτή η νέα τεχνολογία μπορεί να αξιοποιηθεί για τη βελτίωση της επιστήμης, της τεχνολογίας και της υγείας των ανθρώπων.

Ορίζοντας το θέμα με έμφαση στα ψηφιακά δίδυμα, στοχεύεται η κατανόηση του πλήρους φάσματος των δυνατοτήτων και των περιορισμών που προσφέρει αυτή η τεχνολογία και κυρίως στον τομέα της υγείας. Οι επιπτώσεις των ψηφιακών διδύμων στην υγειονομική περίθαλψη περιλαμβάνουν την ανάπτυξη σχεδίων θεραπείας ειδικά για τον ασθενή, την παρακολούθηση χρόνιων καταστάσεων, την έγκαιρη ανίχνευση ασθενειών, την απομακρυσμένη χειρουργική και την ανάπτυξη φαρμάκων. Καθορίζοντας το θέμα των ψηφιακών διδύμων και την εφαρμογή αυτών στην υγειονομική περίθαλψη, τίθεται το έδαφος για μια ολοκληρωμένη εξέταση αυτού του καινοτόμου παραδείγματος και των δυνατοτήτων που φέρει επανάσταση στον τρόπο με τον οποίο ασκείται η υγειονομική περίθαλψη, ενισχύοντας τελικά την ευημερία των ατόμων και των πληθυσμών.

### **2. 3 Βήμα 2: Αναζήτηση Βιβλιογραφίας**

Το δεύτερο βήμα στη διαδικασία ανασκόπησης της βιβλιογραφίας περιλαμβάνει τη διεξαγωγή ενδεδειγμένης βιβλιογραφικής αναζήτησης με επίκεντρο το επιλεγμένο θέμα (Grant & Booth, 2009; Dunne, 2011), που στην προκειμένη περίπτωση είναι τα ψηφιακά δίδυμα, με ιδιαίτερη έμφαση στις εφαρμογές τους στον τομέα της υγείας. Αυτό το βήμα είναι θεμελιώδες για τη συγκέντρωση μιας ποικιλίας επιστημονικών πόρων, συμπεριλαμβανομένων ερευνητικών εργασιών, βιβλίων, πρακτικών συνεδρίων και σχετικών διαδικτυακών πηγών. Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκαν διάφορες βάσεις δεδομένων και μηχανές αναζήτησης όπως οι PubMed, Google Scholar και ScienceDirect για τη συστηματική συλλογή βιβλιογραφίας σχετικής με τα

ψηφιακά δίδυμα. Προκειμένου να περιοριστεί η αναζήτηση χρησιμοποιήθηκαν λέξεις-κλειδιά όπως ψηφιακά δίδυμα, ιατρική περίθαλψη, Βιομηχανία 4.0, αεροδιαστημική και μεγάλα δεδομένα .

Στο πλαίσιο των ψηφιακών διδύμων και της υγειονομικής περίθαλψης, η αναζήτηση βιβλιογραφίας αποκαλύπτει μια πλούσια συλλογή επιστημονικών άρθρων, προσφέροντας πληροφορίες για τις δυνατότητες και τις προκλήσεις της χρήσης ψηφιακών διδύμων. Με την επιμέλεια μιας ολοκληρωμένης βιβλιογραφίας, το δεύτερο βήμα διευκολύνει την κριτική αξιολόγηση των επιλεγμένων πηγών, διασφαλίζοντας ότι μόνο το πιο σχετικό και υψηλής ποιότητας υλικό ενσωματώνεται στις επόμενες φάσεις της βιβλιογραφικής ανασκόπησης.

## **2.4 Βήμα 3: Αξιολόγηση και επιλογή της Βιβλιογραφίας**

Το τρίτο βήμα στη διαδικασία ανασκόπησης της βιβλιογραφίας περιλαμβάνει την κριτική αξιολόγηση και επιλογή της βιβλιογραφίας που συγκεντρώθηκε στο προηγούμενο βήμα (Dzioba & Ahern, 2011). Οι ερευνητές πρέπει να εξετάσουν την ισορροπία μεταξύ των διαφόρων προοπτικών και να εξασφαλίσουν ότι αντιπροσωπεύεται μια ποικιλία απόψεων. Ηθικά ζητήματα, πιθανά μειονεκτήματα και προκλήσεις που σχετίζονται με την εφαρμογή των ψηφιακών διδύμων στην υγειονομική περίθαλψη πρέπει επίσης να διερευνηθούν στην επιλεγμένη βιβλιογραφία. Στόχος είναι η επιμέλεια μιας εκλεπτυσμένης και εστιασμένης βιβλιογραφίας που αποτελεί τη βάση για τις επόμενες φάσεις της βιβλιογραφικής ανασκόπησης, επιτρέποντας μια ολοκληρωμένη και καλά ενημερωμένη ανάλυση του θέματος.

Για το θέμα των ψηφιακών διδύμων και την εφαρμογή τους στην υγειονομική περίθαλψη, αυτή η φάση είναι ιδιαίτερα ζωτικής σημασίας για τη διασφάλιση ότι στην ανασκόπηση περιλαμβάνονται μόνο πηγές κατάλληλες και υψηλής ποιότητας. Τα ψηφιακά δίδυμα αντιπροσωπεύουν ένα ταχέως εξελισσόμενο πεδίο και η αξιολόγηση της βιβλιογραφίας θα πρέπει να λαμβάνει υπόψη τόσο την επικαιρότητα όσο και τη αξία των πηγών. Στο παρόν βήμα αξιολογήθηκε η συνάφεια, και η αξιοπιστία κάθε πηγής με εστίαση στις πιο πρόσφατες έρευνες για να αντικατοπτριστούν οι τελευταίες εξελίξεις στον τομέα των ψηφιακών διδύμων και στην ενσωμάτωσή τους στην υγειονομική περίθαλψη. Αναγνώστηκαν 60 δημοσιευμένα άρθρα κι επιλέχθηκαν κυρίως όσα χρονολογούνται απο το 2011 κι έπειτα.

## **2.5 Βήμα 4: Σύνταξη της Βιβλιογραφικής Ανασκόπησης**

Το τέταρτο βήμα στη διαδικασία ανασκόπησης της βιβλιογραφίας είναι η πραγματική συγγραφή της βιβλιογραφικής ανασκόπησης, όπου οι ερευνητές συνθέτουν και παρουσιάζουν τις γνώσεις που συγκεντρώθηκαν από τις επιλεγμένες πηγές σχετικά με το θέμα (Grant & Booth, 2009). Αυτή η φάση περιλαμβάνει τη δημιουργία μιας καλά δομημένης και συνεκτικής αφήγησης που όχι μόνο συνοψίζει τα βασικά ευρήματα από τη βιβλιογραφία, αλλά τα ενσωματώνει επίσης στο ευρύτερο ερευνητικό τοπίο. Οι ερευνητές θα πρέπει να παρουσιάσουν μια σαφή εισαγωγή που να περιγράφει το εύρος της ανασκόπησης και να καθορίζει τα ερευνητικά ερωτήματα ή τους στόχους. Στη συνέχεια, η ανασκόπηση θα πρέπει να οργανωθεί με λογικό τρόπο, ακολουθώντας μια θεματική, χρονολογική ή μεθοδολογική προσέγγιση για να διασφαλιστεί ότι το περιεχόμενο ρέει ομαλά και συνεκτικά.

Στο πλαίσιο των ψηφιακών διδύμων και στην εφαρμογή τους στην υγειονομική περίθαλψη, η φάση της συγγραφής είναι μια κρίσιμη ευκαιρία για την παροχή μιας ολοκληρωμένης επισκόπησης της τρέχουσας κατάστασης της γνώσης. Στην παρούσα εργασία επιδιώχθηκε να διευκρινιστούν οι λειτουργίες κι οι διάφορες εφαρμογές των ψηφιακών διδύμων σε όλους τους τομείς κι αναλυτικότερα στον τομέα της υγειονομικής περίθαλψης. Επιπλέον, έγινε προσπάθεια να αντιμετωπιστούν τυχόν κενά ή ασυνέπειες στην υπάρχουσα βιβλιογραφία και να εντοπιστούν τομείς όπου απαιτείται περαιτέρω έρευνα. Η συγγραφή της βιβλιογραφικής ανασκόπησης είναι ένα κρίσιμο βήμα, καθώς όχι μόνο διαχέει τη γνώση, αλλά συμβάλλει επίσης στην πρόοδο του πεδίου, προσφέροντας μια σύνθεση γνώσεων που μπορούν να ενημερώσουν τη μελλοντική έρευνα και τη λήψη αποφάσεων.

## **Συμπέρασμα**

Συμπερασματικά, μια συστηματική και αυστηρή μέθοδος για τη διεξαγωγή βιβλιογραφικής ανασκόπησης είναι απαραίτητη για να διασφαλιστεί ότι η έρευνά σας βασίζεται σε μια ισχυρή βάση της υπάρχουσας γνώσης. Καθορίζοντας το εύρος, διενεργώντας μια ενδελεχή αναζήτηση, εφαρμόζοντας κριτήρια ένταξης και αποκλεισμού και αξιολογώντας κριτικά τις πηγές, μπορείτε να συνθέσετε και να παρουσιάσετε τη σχετική βιβλιογραφία αποτελεσματικά. Αυτό το κεφάλαιο παρέχει μια δομημένη προσέγγιση στη διαδικασία ανασκόπησης της βιβλιογραφίας, η οποία είναι θεμελιώδης για την παραγωγή υψηλής ποιότητας ακαδημαϊκής και ερευνητικής εργασίας.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 : Ψηφιακά δίδυμα

### 3.1 Εισαγωγή

Τα τελευταία χρόνια, η έννοια των ψηφιακών διδύμων έχει αποκτήσει σημαντική θέση σε διάφορους κλάδους, φέρνοντας επανάσταση στον τρόπο με τον οποίο κατανοούμε, παρακολουθούμε και αλληλεπιδρούμε με φυσικά συστήματα και διαδικασίες. Ένα ψηφιακό δίδυμο, στην ουσία, είναι μια δυναμική, βασισμένη σε δεδομένα αναπαράσταση μιας φυσικής οντότητας, συστήματος ή διαδικασίας. Ενσωματώνει δεδομένα σε πραγματικό χρόνο, με προηγμένη μοντελοποίηση και προσομοίωση για να δημιουργήσει ένα εικονικό αντίστοιχο που αντικατοπτρίζει τις συμπεριφορές, τα χαρακτηριστικά και την κατάσταση του φυσικού του αντίστοιχου σε ένα ψηφιακό περιβάλλον (Glaessgen & Stargel, 2012).

Τα ψηφιακά δίδυμα δεν είναι απλά αντίγραφα αλλά δυναμικές προσομοιώσεις που αποτυπώνουν την ουσία των φυσικών ομολόγων τους. Αυτά τα ψηφιακά αντίστοιχα καθιστούν δυνατή τη βαθύτερη κατανόηση, ανάλυση και χειρισμό οντοτήτων του πραγματικού κόσμου. Η πιστότητα αυτών των αναπαραστάσεων εκτείνεται πέρα από τα στατικά τρισδιάστατα μοντέλα, ενσωματώνοντας δεδομένα σε πραγματικό χρόνο, αλγόριθμους συμπεριφοράς και την ικανότητα να εξελίσσονται ως απόκριση σε αλλαγές στο φυσικό σύστημα (Grieves & Vickers, 2016).

Αυτό το κεφάλαιο εμβαθύνει στους ορισμούς, το ιστορικό υπόβαθρο, τη λειτουργία και τις προκλήσεις των ψηφιακών διδύμων, θέτοντας τα θεμέλια για μια ολοκληρωμένη κατανόηση της εξέλιξης και των εφαρμογών τους.

### 3.2 Ορισμός

Υπάρχουν ορισμοί και αναφορές που παρέχουν διαφορετικές προοπτικές για τα ψηφιακά δίδυμα, υπογραμμίζοντας τον ρόλο τους σε διάφορους κλάδους και την ικανότητά τους να γεφυρώνουν το χάσμα μεταξύ του φυσικού και του ψηφιακού κόσμου για βελτιωμένη λήψη αποφάσεων και αποτελεσματικότητα.

Οι πρώτοι ορισμοί που δόθηκαν για το μοντέλο του ψηφιακού διδύμου εμφανίστηκαν στις αρχές της δεκαετίας του 2000 (Qi et al., 2021). Το 2012 η NASA δημοσίευσε ένα άρθρο με τίτλο "The Digital Twin Paradigm for Future NASA and U.S. Air Force Vehicles", όπου πρώτη φορά ανέφερε το ψηφιακό δίδυμο ως μια ολοκληρωμένη προσομοίωση ενός οχήματος ή ενός συστήματος η οποία χρησιμοποιεί τα καλύτερα διαθέσιμα μοντέλα και περιλαμβάνει τις ενημερώσεις αισθητήρων για τον βέλτιστο αντικατοπτρισμό του αντίστοιχου διδύμου (Glaessgen & Stargel, 2012).

Το 2018 στον αρχικό ορισμό προστέθηκε ότι το ψηφιακό δίδυμο μπορεί να προσαρμοστεί στις λειτουργικές αλλαγές με βάση τα δεδομένα και τις πληροφορίες που έχει συλλέξει με αποτέλεσμα να είναι σε θέση να προβλέψει και το μέλλον του αντίστοιχου αντιγράφου του (Liu et al., 2018). Οι πληροφορίες και τα δεδομένα που συλλέγει το ψηφιακό δίδυμο ενημερώνονται συνεχώς και συμβάλουν στη σωστή λήψη μελλοντικών αποφάσεων τόσο σε επίπεδο σχεδιασμού όσο και σε επίπεδο λειτουργίας (Vrabic et al., 2018).

Θα μπορούσε να αναφερθεί πως είναι κάτι περισσότερο από ένα υψηλής τεχνολογίας ομοίωμα. Δεν πρέπει να συγχέεται η έννοια του ψηφιακού διδύμου με το ψηφιακό μοντέλο αλλά ούτε και με την ψηφιακή σκιά. Από τη στιγμή που θα δημιουργηθεί το ψηφιακό μοντέλο, μια αλλαγή που θα γίνει στο φυσικό αντικείμενο δε θα έχει καμία επίπτωση στο ψηφιακό μοντέλο. Η ψηφιακή σκιά είναι μια ψηφιακή αναπαράσταση ενός αντικειμένου που έχει μονόδρομη ροή μεταξύ του φυσικού και του ψηφιακού αντικειμένου. Μια αλλαγή στην κατάσταση του φυσικού αντικειμένου οδηγεί σε αλλαγή στο ψηφιακό αντικείμενο και όχι αντίστροφα. Ενώ στο ψηφιακό δίδυμο οι πληροφορίες και τα δεδομένα ρέουν προς τις δύο κατευθύνσεις με αποτέλεσμα μια αλλαγή που γίνεται στο φυσικό αντικείμενο να οδηγεί αυτόματα σε αλλαγή στο ψηφιακό αντικείμενο και αντίστροφα.

Συμπερασματικά ο πιο ευρέως αποδεκτός ορισμός αναφέρει πως το ψηφιακό δίδυμο είναι μια εικονική αναπαράσταση ή ψηφιακό αντίστοιχο ενός φυσικού αντικειμένου, συστήματος ή διαδικασίας. Δημιουργείται συλλέγοντας και ενσωματώνοντας δεδομένα σε πραγματικό χρόνο από διάφορους αισθητήρες, συσκευές και άλλες πηγές για να μιμηθεί τη συμπεριφορά, τα χαρακτηριστικά και την κατάσταση του αντίστοιχου φυσικού

του. Αυτή η ψηφιακή αναπαράσταση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για παρακολούθηση, ανάλυση, προσομοίωση και βελτιστοποίηση, επιτρέποντας καλύτερη λήψη αποφάσεων, προγνωστική συντήρηση και βελτιωμένη απόδοση σε διάφορους κλάδους όπως η κατασκευή, η υγειονομική περίθαλψη, οι μεταφορές και άλλα (Glaessgen & Stargel, 2012).

### 3.3 Ιστορικό υπόβαθρο

Η ιδέα του ψηφιακού δίδυμου έχει τις ρίζες της σε διάφορους τομείς, όπως η μηχανική, η κατασκευή και η αεροδιαστημική. Ενώ ο όρος "ψηφιακό δίδυμο" είναι σχετικά πρόσφατος, η ιδέα της δημιουργίας εικονικών αναπαραστάσεων φυσικών αντικειμένων ή συστημάτων για ανάλυση και προσομοίωση χρονολογείται από αρκετές δεκαετίες. Η έννοια των ψηφιακών διδύμων εξελίχθηκε με την πάροδο του χρόνου για να γίνει βασικό συστατικό της σύγχρονης τεχνολογίας και βιομηχανίας.

#### 3.3.1 Πρώιμες καταβολές

Ο όρος "ψηφιακό δίδυμο" μπορεί να εισήχθη για πρώτη φορά στις αρχές της δεκαετίας του 2000, αλλά οι βασικές αρχές του μπορούν να συνδεθούν με παλαιότερες θεωρητικές έννοιες. Μία από τις θεμελιώδεις ιδέες είναι η ιδέα του Alan Turing για μια «καθολική μηχανή», όπως περιγράφεται στην εργασία του το 1936 «On Computable Numbers, with a Application to the Entscheidungsproblem». Το έργο του Turing έθεσε τις θεωρητικές βάσεις για την ψηφιακή επεξεργασία και αναπαραγωγή συστημάτων του πραγματικού κόσμου (Turing, 1936).

Η ανάπτυξη συστημάτων σχεδίασης με τη βοήθεια υπολογιστή (CAD) τις δεκαετίες του 1960 και του 1970 σηματοδότησε ένα σημαντικό ορόσημο στην εξέλιξη των ψηφιακών διδύμων. Τα συστήματα CAD επέτρεψαν στους μηχανικούς να δημιουργήσουν ψηφιακές αναπαραστάσεις φυσικών αντικειμένων, επιτρέποντας καλύτερη οπτικοποίηση και ανάλυση. Αυτά τα ψηφιακά μοντέλα έθεσαν τα θεμέλια για πιο ολοκληρωμένα ψηφιακά δίδυμα (Barnard & McCann, 1983). Ωστόσο, αυτές οι πρώιμες ψηφιακές αναπαραστάσεις ήταν στατικές και δεν είχαν την ενοποίηση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο που χαρακτηρίζει τα σύγχρονα ψηφιακά δίδυμα (Grieves & Vickers, 2016).

Ο Δρ. Grieves έπαιξε καθοριστικό ρόλο στη διαμόρφωση της αρχικής ιδέας για τα ψηφιακά δίδυμα, παρουσιάζοντας την έννοια για πρώτη φορά σε μια παρουσίαση στο Πανεπιστήμιο του Μίσιγκαν το 2002 που αφορούσε τη Διαχείριση του Κύκλου Ζωής Προϊόντος ("Product Lifecycle Management" – PLM). Το συγκεκριμένο εννοιολογικό μοντέλο αναγνωρίστηκε, αργότερα, με την ονομασία «Μοντέλο Κατοπτρικών Χώρων» ("Mirrored Spaces Model") από τον ίδιο τον Grieves (Grieves, 2005).

#### 3.3.2 Αεροδιαστημική και Επιρροή της NASA

Η αεροδιαστημική βιομηχανία έπαιξε, επίσης, σημαντικό ρόλο στην εξέλιξη των ψηφιακών διδύμων. Η NASA, ειδικότερα, πρωτοστάτησε στη χρήση ψηφιακών διδύμων στην εξερεύνηση του διαστήματος και στην ανάπτυξη οχημάτων.

Πρώτη φορά που χρησιμοποιήθηκε η έννοια του ψηφιακού δίδυμου από τη NASA ήταν το 1970 κατά τη διάρκεια του προγράμματος Apollo 13, όπου δημιουργήθηκαν προσομοιωτές ώστε να επιτευχθεί η διάσωση των επιβατών του οχήματος (Rosen et al., 2015). Φυσικά, από μόνος του, ένας προσομοιωτής δεν είναι ψηφιακό δίδυμο αλλά αυτό το μεγάλο επίτευγμα βοήθησε στη γέννηση της βασικής ιδέας του.

Ο όρος "ψηφιακό δίδυμο", όπως προαναφέρθηκε, κέρδισε το ενδιαφέρον στις αρχές της δεκαετίας του 2000, όταν η NASA τον χρησιμοποίησε για να περιγράψει μια εικονική αναπαράσταση ενός διαστημικού σκάφους, συμπεριλαμβανομένων των αισθητήρων και των συστημάτων ελέγχου του. Ως πρωτοπόρος στον τομέα της αεροδιαστημικής βιομηχανίας, έχει υιοθετήσει ενεργά την έννοια των ψηφιακών διδύμων για να βελτιώσει τον σχεδιασμό της αποστολής, το σχεδιασμό διαστημικών σκαφών και την επιχειρησιακή απόδοση (NASA, 2016). Συγκεκριμένα, ο οργανισμός έχει αξιοποιήσει ψηφιακά δίδυμα για να δημιουργήσει εικονικά αντίγραφα διαστημικών σκαφών, επιτρέποντας στους μηχανικούς να διεξάγουν εκτενείς προσομοιώσεις και

να επιλύουν πιθανά προβλήματα προτού προκύψουν σε πραγματικές αποστολές. Αυτή η προληπτική προσέγγιση έχει αυξήσει σημαντικά τα ποσοστά ασφάλειας και επιτυχίας της αποστολής, ελαχιστοποιώντας τον κίνδυνο αποτυχιών που μπορεί να έχουν εκτεταμένες συνέπειες στην εξερεύνηση του διαστήματος (Glaessgen & Stargel, 2012).

Επιπλέον, η συνεργασία της NASA με την αεροδιαστημική βιομηχανία και ερευνητικά ιδρύματα έχει επιταχύνει την εξέλιξη των ψηφιακών διδύμων στις αεροδιαστημικές εφαρμογές. Αυτές οι συνεργασίες οδήγησαν σε καινοτομίες αιχμής που όχι μόνο ωφελούν τις διαστημικές αποστολές αλλά και βρίσκουν εφαρμογές σε διάφορους επίγειους τομείς. Η ψηφιακή δίδυμη τεχνολογία έχει τη δυνατότητα να φέρει επανάσταση στον τρόπο με τον οποίο σχεδιάζονται, παρακολουθούνται και συντηρούνται πολύπλοκα συστήματα στην αεροδιαστημική και πέραν αυτής, υποσχόμενη μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα και αξιοπιστία (NASA, 2018).

### **3.3.3 Βιομηχανία 4.0 (Industry 4.0)**

Η έλευση του Industry 4.0, που χαρακτηρίζεται από την ενσωμάτωση των ψηφιακών τεχνολογιών στις διαδικασίες παραγωγής, ώθησε την ιδέα των ψηφιακών διδύμων σε νέα ύψη. Έγιναν αναπόσπαστο μέρος της έξυπνης κατασκευής, επιτρέποντας την προγνωστική συντήρηση, τη βελτιστοποίηση διαδικασιών και τη δημιουργία εξαιρετικά αποδοτικών κυβερνοφυσικών συστημάτων (Tao et al., 2019).

Στο πλαίσιο του Industry 4.0, τα ψηφιακά δίδυμα αντιπροσωπεύουν μια τεχνολογία μετασχηματισμού που αναδιαμορφώνει την κατασκευή και τις βιομηχανικές διαδικασίες. Τα ψηφιακά δίδυμα επιτρέπουν τη δημιουργία εικονικών αντιγράφων φυσικών συστημάτων, όπως γραμμές παραγωγής, μηχανές ή ακόμα και ολόκληρα εργοστάσια. Αυτές οι ψηφιακές αναπαραστάσεις συνδέονται με αντίστοιχες του πραγματικού κόσμου μέσω του Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT) και αισθητήρων, επιτρέποντας ανταλλαγή και παρακολούθηση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο. Οι γνώσεις που προέρχονται από τα ψηφιακά δίδυμα δίνουν τη δυνατότητα στις βιομηχανίες να βελτιστοποιούν τις λειτουργίες, να προβλέπουν τις ανάγκες συντήρησης και να βελτιώνουν την ποιότητα των προϊόντων. Αυτή η τεχνολογία διευκολύνει μια πιο ευέλικτη και βασισμένη στα δεδομένα προσέγγιση στη λήψη αποφάσεων, οδηγώντας τελικά σε αυξημένη αποδοτικότητα και παραγωγικότητα στις διαδικασίες παραγωγής (Tao et al., 2018).

## **3.4 Εφαρμογές ψηφιακών διδύμων**

Η εφαρμογή των ψηφιακών διδύμων πραγματοποιείται από διάφορους φορείς σε διαφορετικούς κλάδους, συμπεριλαμβανομένης της κατασκευής, της αεροδιαστημικής, της υγειονομικής περίθαλψης και άλλων. Ακολουθεί μια ανάλυση εφαρμογών των ψηφιακών διδύμων που αποτελούν μόνο μερικές περιπτώσεις, καθώς η τεχνολογία των ψηφιακών διδύμων συνεχώς εξελίσσεται και επεκτείνεται σε νέους τομείς εφαρμογής:

### **3.4.1 Κατασκευές και Κτηριακή Ανάπτυξη**

Η εφαρμογή των ψηφιακών διδύμων στην κατασκευή ανοίγει νέους ορίζοντες στη βιομηχανία, επιφέροντας επαναστατικές αλλαγές σε διάφορους τομείς. Ένα από τα κύρια πλεονεκτήματα της ψηφιακής διαδικασίας είναι η δυνατότητα ρεαλιστικής προσομοίωσης με τη χρήση προηγμένων τεχνολογιών όπως το Building Information Modeling (BIM). Η BIM επιτρέπει τη δημιουργία ενός ψηφιακού μοντέλου του έργου, ενσωματώνοντας πληροφορίες για τα υλικά, το χρονοδιάγραμμα και το κόστος. Στη συνέχεια, τα ψηφιακά δίδυμα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εκτέλεση πολύπλοκων αναλύσεων και προσομοιώσεων, προβλέποντας προκλήσεις και βελτιώνοντας την αποδοτικότητα κατά τη διάρκεια της κατασκευαστικής διαδικασίας (Eastman et al., 2011). Η συνολική αποτελεσματικότητα και η μείωση των κόστων που προκύπτουν από την ψηφιακή διαδικασία συμβάλλουν στη δημιουργία πιο βιώσιμων και προηγμένων κατασκευαστικών έργων.

### **3.4.2 Αεροναυπηγική και Αεροδιαστημική**

Όπως ήδη αναφέρθηκε η εφαρμογή των ψηφιακών διδύμων στην αεροναυπηγική και αεροδιαστημική έχει καταστεί καθοριστική για τη βελτιστοποίηση διαφόρων πτυχών του κλάδου, που κυμαίνονται από την ανάπτυξη προϊόντων έως τη συντήρηση και τη λειτουργική αποτελεσματικότητα. Μεγάλες εταιρείες, όπως η Boeing και η Airbus, χρησιμοποιούν ψηφιακά δίδυμα. Τα ψηφιακά δίδυμα, σε αυτό το πλαίσιο, περιλαμβάνουν τη δημιουργία εικονικών αντιγράφων αεροσκαφών, οχημάτων και συστημάτων, προσφέροντας μια δυναμική και σε πραγματικό χρόνο αναπαράσταση. Αυτή η τεχνολογία επιτρέπει στους οργανισμούς να προσομοιώνουν και να αναλύουν την απόδοση σύνθετων αεροδιαστημικών συστημάτων καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής τους.

Για παράδειγμα, τα ψηφιακά δίδυμα διευκολύνουν την πιο αποτελεσματική δημιουργία πρωτοτύπων και δοκιμές κατά τη φάση του σχεδιασμού, βοηθώντας στον εντοπισμό πιθανών ζητημάτων πριν από τη φυσική παραγωγή. Επιπλέον, τα ψηφιακά δίδυμα διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο στην προγνωστική συντήρηση, επιτρέποντας στους οργανισμούς να παρακολουθούν την κατάσταση των εξαρτημάτων σε πραγματικό χρόνο και να προβλέπουν πότε απαιτείται συντήρηση, μειώνοντας το χρόνο διακοπής λειτουργίας και ενισχύοντας τη συνολική λειτουργική αξιοπιστία (Tao et al., 2018). Η ενσωμάτωση των ψηφιακών διδύμων στην Αεροδιαστημική ευθυγραμμίζεται με την ευρύτερη τάση του Industry 4.0, προωθώντας την πιο έξυπνη λήψη αποφάσεων βάσει δεδομένων σε έναν τομέα όπου η ακρίβεια και η αξιοπιστία είναι πρωταρχικής σημασίας.

### **3.4.3 Έξυπνες πόλεις**

Η εφαρμογή των ψηφιακών διδύμων στις Έξυπνες Πόλεις ανοίγει νέες προοπτικές για τη βελτίωση της ζωής των πολιτών και την αποδοτικότητα των αστικών περιβαλλόντων. Τα ψηφιακά δίδυμα επιτρέπουν τη δημιουργία εικονικών αντιγράφων των πόλεων, συνδυάζοντας δεδομένα από αισθητήρες, δίκτυα IoT και πληροφορίες από τους κατοίκους. Αυτή η τεχνολογία επιτρέπει την προσομοίωση και την προβλεπτική ανάλυση για τη βελτιστοποίηση της κυκλοφορίας, της ενέργειας, και των υπηρεσιών πόλης. Τα ψηφιακά δίδυμα συνδέονται με τη δημιουργία έξυπνων υποδομών, όπου οι τεχνολογίες όπως οι αισθητήρες και τα δίκτυα επικοινωνίας βοηθούν στην παρακολούθηση και τη διαχείριση των υποδομών με στόχο την εξοικονόμηση πόρων και την ενίσχυση της βιωσιμότητας (Caragliu et al., 2011). Συνολικά, η ψηφιακή διασύνδεση των πόλεων ενισχύει την αστική διακυβέρνηση, προάγοντας μια πιο έξυπνη, βιώσιμη, και καινοτόμο πόλη.

### **3.4.4 Κυβερνητικές υπηρεσίες**

Η εφαρμογή των ψηφιακών διδύμων στις Κυβερνητικές Υπηρεσίες αποτελεί μια καινοτόμο προσέγγιση που συμβάλλει στην εξέλιξη των δημόσιων υπηρεσιών προς πιο αποτελεσματικές και διαφανείς πρακτικές. Τα ψηφιακά δίδυμα επιτρέπουν τη δημιουργία εικονικών αντιγράφων των διαδικασιών και των υπηρεσιών της κυβέρνησης, βασισμένων σε πολλαπλά σενάρια και αλληλεπιδράσεις. Με αυτόν τον τρόπο, δημιουργείται ένα περιβάλλον που επιτρέπει την προσομοίωση των διαδικασιών λήψης αποφάσεων και τη βελτιστοποίηση των υπηρεσιών που παρέχονται στους πολίτες. Σύμφωνα με έρευνες, η εφαρμογή των ψηφιακών διδύμων στον τομέα των κυβερνητικών υπηρεσιών ενισχύει τη διαφάνεια, την αποτελεσματικότητα, και την ενεργό συμμετοχή των πολιτών στις διαδικασίες λήψης αποφάσεων (Gil-Garcia et al., 2016). Η ψηφιακή μεταμόρφωση των κυβερνητικών υπηρεσιών διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην προώθηση μιας πιο σύγχρονης και ανοιχτής δημόσιας διοίκησης.

### **3.4.5 Μηχανική και σχεδιασμός**

Η ενσωμάτωση των ψηφιακών διδύμων σε εταιρείες μηχανολογίας και σχεδιασμού αντιπροσωπεύει ένα μεταμορφωτικό άλμα στον τρόπο με τον οποίο συλλαμβάνονται, αναπτύσσονται και βελτιστοποιούνται τα προϊόντα και τα συστήματα. Τα ψηφιακά δίδυμα δίνουν τη δυνατότητα στους επαγγελματίες της μηχανικής και του σχεδιασμού να προσομοιώνουν και να αναλύουν τις δημιουργίες τους σε έναν εικονικό χώρο προτού

κατασκευαστούν φυσικά. Αυτή η προσέγγιση βελτιώνει την κατανόηση περιπλοκών συστημάτων, εξορθολογίζει τη διαδικασία σχεδιασμού και μειώνει τον κίνδυνο σφαλμάτων. Οι ερευνητές υπογραμμίζουν την ικανότητα των ψηφιακών διδύμων να βελτιώνουν τη συνεργασία μεταξύ διεπιστημονικών ομάδων, οδηγώντας σε πιο αποτελεσματικές επαναλήψεις σχεδιασμού. Ως αποτέλεσμα, η ενσωμάτωση των ψηφιακών διδύμων σε εταιρείες μηχανολογίας και σχεδιασμού όχι μόνο ενισχύει την παραγωγικότητα και την ακρίβεια σχεδιασμού, αλλά συμβάλλει επίσης στη συνολική ανταγωνιστικότητα αυτών των εταιρειών στη σύγχρονη αγορά (Grieves & Vickers, 2016).

### 3.4.6 Αυτοκινητοβιομηχανία

Η εφαρμογή των ψηφιακών διδύμων στην αυτοκινητοβιομηχανία είναι μια σημαντική εξέλιξη που επηρεάζει κρίσιμους τομείς όπως ο σχεδιασμός, η παραγωγή, η συντήρηση και η ασφάλεια των οχημάτων. Οι επιστημονικές πηγές υπογραμμίζουν τη σημασία αυτής της τεχνολογικής προσέγγισης (Fang et al. 2022). Οι τρόποι εφαρμογής των ψηφιακών διδύμων στον κλάδο της αυτοκινητοβιομηχανίας ποικίλουν. Το Ψηφιακό Δίδυμο Προϊόντος (DTP) για Σχεδιασμό και Προσομοίωση επιτρέπει τη δημιουργία ενός ψηφιακού αντίγραφου του αυτοκινήτου από τη φάση του σχεδιασμού, βοηθώντας στην ανίχνευση προβλημάτων και τη βελτιστοποίηση του σχεδιασμού πριν από την πραγματική κατασκευή. Το Ψηφιακό Δίδυμο Εγκατάστασης (DTO) για Παρακολούθηση και Συντήρηση συλλέγει συνεχώς δεδομένα από τα πραγματικά αυτοκίνητα σε λειτουργία και τα αντιστοιχίζει με το ψηφιακό τους αντίγραφο, προβλέποντας προβλήματα και επιτρέποντας την προληπτική συντήρηση. Επίσης τα ψηφιακά δίδυμα χρησιμοποιούνται για τη συλλογή και ανάλυση δεδομένων από αισθητήρες, βοηθώντας στην ανάπτυξη συστημάτων αυτόνομης οδήγησης (Zoltán Magosi et al 2022).

### 3.4.7 Υγειονομική περίθαλψη

Η εφαρμογή των ψηφιακών διδύμων στην υγειονομική περίθαλψη ανοίγει νέους ορίζοντες στην προσαρμοστική και εξειδικευμένη παροχή υγειονομικής φροντίδας. Τα ψηφιακά δίδυμα επιτρέπουν τη δημιουργία εικονικών αντιγράφων των ασθενών, συνδυάζοντας δεδομένα από ηλεκτρονικά ιατρικά αρχεία, εικονογραφικούς χάρτες και φορητούς αισθητήρες. Αυτή η τεχνολογία επιτρέπει την εξατομικευμένη παρακολούθηση της υγείας του ασθενούς, βοηθώντας στην πρόληψη, τον εντοπισμό νόσων και την προσαρμογή του σχεδίου θεραπείας. Στον τομέα της τηλεϊατρικής, τα ψηφιακά δίδυμα επιτρέπουν την εξ' αποστάσεως παρακολούθηση και διαχείριση των ασθενών, βελτιώνοντας την αποτελεσματικότητα της φροντίδας (Torol, 2015). Επιπλέον, όπως παρουσιάζεται αναλυτικότερα σε επόμενο κεφάλαιο, η ψηφιακή τεχνολογία συνδέεται με την επιταχυνόμενη έρευνα στον τομέα της ιατρικής, προσφέροντας νέες δυνατότητες για την κατανόηση των ασθενειών και την ανάπτυξη εξατομικευμένων θεραπευτικών προσεγγίσεων.

## 3.5 Λειτουργία ψηφιακού διδύμου

Ένα ψηφιακό δίδυμο είναι ένα δυναμικό εικονικό αντίγραφο ενός φυσικού αντικείμενου, συστήματος ή διαδικασίας που βασίζεται σε δεδομένα. Λειτουργεί μέσω μιας σειράς διασυνδεδεμένων βημάτων που περιλαμβάνουν συλλογή δεδομένων, ολοκλήρωση, μοντελοποίηση, ανάλυση και ανατροφοδότηση. Ακολουθεί μια λεπτομερής ανάλυση του πώς λειτουργεί ένα ψηφιακό δίδυμο, όπως την έχουν παρουσιάσει οι Glaessgen & Stargel (2012) και Tao et al. (2019):

### 3.5.1 Συλλογή δεδομένων (Data Collection) :

*Δεδομένα αισθητήρα:* Η διαδικασία ξεκινά με τη συλλογή δεδομένων σε πραγματικό χρόνο από αισθητήρες, συσκευές IoT ή άλλες πηγές δεδομένων που είναι εγκατεστημένες πάνω ή γύρω από το φυσικό αντικείμενο ή σύστημα. Αυτοί οι αισθητήρες καταγράφουν ένα ευρύ φάσμα πληροφοριών, όπως θερμοκρασία, πίεση, υγρασία, θέση, κραδασμούς και άλλα.

*Μετάδοση δεδομένων:* Τα δεδομένα που συλλέγονται μεταδίδονται σε μια κεντρική ψηφιακή δίδυμη πλατφόρμα. Αυτή η πλατφόρμα λειτουργεί ως αποθήκη για αποθήκευση και ανάλυση δεδομένων, διασφαλίζοντας ότι το ψηφιακό δίδυμο έχει πρόσβαση στις πιο πρόσφατες πληροφορίες σχετικά με το φυσικό του αντίστοιχο.

### **3.5.2 Ενοποίηση δεδομένων (Data Fusion)**

Η ψηφιακή δίδυμη πλατφόρμα ενσωματώνει τα εισερχόμενα δεδομένα από διάφορους αισθητήρες και πηγές. Συνδυάζει ροές δεδομένων για να δημιουργήσει μια ενοποιημένη, σε πραγματικό χρόνο αναπαράσταση του φυσικού αντικειμένου ή συστήματος.

*Γεωμετρική μοντελοποίηση:* Εκτός από τα δεδομένα αισθητήρων, μπορούν να χρησιμοποιηθούν γεωμετρικά μοντέλα για την αναπαράσταση του σχήματος, της δομής και των διαστάσεων του φυσικού αντικειμένου. Αυτή η τρισδιάστατη αναπαράσταση είναι ενσωματωμένη με τα δεδομένα του αισθητήρα για να παρέχει μια ολοκληρωμένη άποψη του αντικειμένου.

### **3.5.3 Υπολογιστική Μοντελοποίηση (Computational Modeling)**

*Προσομοίωση:* Χρησιμοποιούνται υπολογιστικά μοντέλα και αλγόριθμοι για την προσομοίωση της συμπεριφοράς, της απόδοσης και των αλληλεπιδράσεων του φυσικού αντικειμένου ή συστήματος. Αυτά τα μοντέλα χρησιμοποιούν τα ενσωματωμένα δεδομένα για να δημιουργήσουν μια δυναμική εικονική αναπαράσταση που αντικατοπτρίζει το αντίστοιχο του πραγματικού κόσμου.

*Μοντελοποίηση συμπεριφοράς:* Το ψηφιακό δίδυμο μπορεί να ενσωματώνει μοντέλα συμπεριφοράς που μιμούνται τις λειτουργίες και τις διαδικασίες της φυσικής οντότητας. Αυτά τα μοντέλα επιτρέπουν στο ψηφιακό δίδυμο να ανταποκρίνεται σε διάφορες εισόδους και συνθήκες με τρόπο που αντικατοπτρίζει την πραγματικότητα.

### **3.5.4 Ανάλυση και παρακολούθηση (Analysis and Monitoring)**

*Ανάλυση σε πραγματικό χρόνο:* Οι προηγμένοι αλγόριθμοι ανάλυσης, μηχανικής μάθησης και τεχνητής νοημοσύνης αναλύουν τα δεδομένα από το ψηφιακό δίδυμο για να εντοπίσουν μοτίβα, ανωμαλίες και τάσεις. Αυτή η ανάλυση μπορεί να παρέχει πληροφορίες για την απόδοση και την υγεία του φυσικού συστήματος.

*Οπτικοποίηση:* Οι μηχανικοί, οι χειριστές και οι υπεύθυνοι λήψης αποφάσεων μπορούν να έχουν πρόσβαση στο ψηφιακό δίδυμο μέσω εργαλείων οπτικοποίησης και πινάκων εργαλείων. Αυτό τους επιτρέπει να παρακολουθούν την κατάσταση και τη συμπεριφορά του φυσικού συστήματος σε πραγματικό χρόνο.

### **3.5.5 Δυνατότητες πρόβλεψης (Predictive Capabilities)**

*Προγνωστική Συντήρηση:* Με τη συνεχή ανάλυση ιστορικών δεδομένων και δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, το ψηφιακό δίδυμο μπορεί να προβλέψει πότε χρειάζονται συντήρηση ή επισκευές. Η προγνωστική συντήρηση βοηθά στην αποφυγή αστοχιών του εξοπλισμού και στη μείωση του χρόνου διακοπής λειτουργίας.

*Βελτιστοποίηση απόδοσης:* Οι πληροφορίες από το ψηφιακό δίδυμο μπορούν να λάβουν αποφάσεις για τη βελτιστοποίηση της απόδοσης, της ενεργειακής απόδοσης και της χρήσης πόρων του φυσικού συστήματος.

### **3.5.6 Ανατροφοδότηση σχολίων (Feedback Loop)**

*Υποστήριξη αποφάσεων:* Οι γνώσεις που αποκτήθηκαν από το ψηφιακό δίδυμο μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη λήψη τεκμηριωμένων αποφάσεων και την ανάληψη δράσης στον φυσικό κόσμο. Για

παράδειγμα, εάν το ψηφιακό δίδυμο προβλέπει μια επικείμενη βλάβη του εξοπλισμού, η συντήρηση μπορεί να προγραμματιστεί προληπτικά.

*Συνεχής βελτίωση:* Αυτό δημιουργεί έναν βρόχο ανατροφοδότησης όπου οι ενέργειες στον φυσικό κόσμο ενημερώνονται από πληροφορίες από το ψηφιακό δίδυμο, οδηγώντας σε πιο αποτελεσματικές και βελτιστοποιημένες λειτουργίες.

### **3.6 Προκλήσεις του ψηφιακού διδύμου**

Οι προκλήσεις των ψηφιακών διδύμων είναι πολύπλοκες και ποικίλες, καθώς η υλοποίησή τους συνδέεται με πολλούς τομείς, όπως η τεχνολογία, η ασφάλεια, η ιδιωτικότητα, και η διαχείριση δεδομένων. Ορισμένες από αυτές τις προκλήσεις, όπως έχουν αναφέρει οι Grieves et al. (2016) και Selamat et al. (2012), περιλαμβάνουν:

#### **3.6.1 Προκλήσεις του ψηφιακού διδύμου**

Το ψηφιακό δίδυμο χρειάζεται υποδομές που επιτρέπουν την επιτυχία του IoT και της ανάλυσης δεδομένων. Αυτές θα διευκολύνουν την αποτελεσματική λειτουργία ενός ψηφιακού διδύμου. Χωρίς μια συνδεδεμένη και καλά μελετημένη υποδομή ΤΠ, ο ψηφιακός δίδυμος δε θα είναι αποτελεσματικός στην επίτευξη των στόχων που έχει θέσει.

#### **3.6.2 Χρήσιμα δεδομένα**

Η επόμενη πρόκληση αφορά τα δεδομένα που απαιτούνται για ένα ψηφιακό δίδυμο. Πρέπει να είναι ποιοτικά δεδομένα με συνεχή, αδιάκοπη ροή δεδομένων. Εάν τα δεδομένα είναι φτωχά και ασυνεχή, υπάρχει κίνδυνος το ψηφιακό δίδυμο να υπολειτουργεί, καθώς ενεργεί με ελλιπή δεδομένα.

#### **3.6.3 Απόρρητο και ασφάλεια**

Σε ένα βιομηχανικό περιβάλλον, είναι σαφές ότι η προστασία της ιδιωτικής ζωής και η ασφάλεια που σχετίζονται με τα ψηφιακά δίδυμα αποτελούν πρόκληση. Πρώτον, λόγω του τεράστιου όγκου δεδομένων που χρησιμοποιούν και, δεύτερον, λόγω του κινδύνου που ενέχει αυτό για τα ευαίσθητα δεδομένα του συστήματος. Για να ξεπεραστεί αυτή η πρόκληση, οι βασικές τεχνολογίες για τα ψηφιακά δίδυμα - ανάλυση δεδομένων και IoT - πρέπει να ακολουθούν κανονισμούς ασφάλειας και προστασίας της ιδιωτικής ζωής.

#### **3.6.4 Εμπιστοσύνη**

Οι προκλήσεις που σχετίζονται με την εμπιστοσύνη είναι τόσο από την πλευρά του οργανισμού όσο και από την πλευρά του χρήστη. Η τεχνολογία των ψηφιακών διδύμων πρέπει να διασφαλίζει ότι οι τελικοί χρήστες και οι οργανισμοί γνωρίζουν τα οφέλη ενός ψηφιακού διδύμου, το οποίο θα έχει ως στόχο να ξεπεράσει την πρόκληση της εμπιστοσύνης.

#### **3.6.5 Προσδοκίες**

Παρά την επιτάχυνση της υιοθέτησης των ψηφιακών διδύμων από τους ηγέτες του κλάδου χρειάζεται προσοχή για να τονιστούν οι προκλήσεις που υπάρχουν για τις προσδοκίες των ψηφιακών διδύμων και η ανάγκη για περισσότερη κατανόηση.

### **Συμπέρασμα**

Συμπερασματικά, καθώς διασχίζουμε το ψηφιακό τοπίο, είναι σημαντικό να εκτιμηθεί η πολύπλευρη φύση των ψηφιακών διδύμων, που περιλαμβάνει τον ορισμό τους, το ιστορικό υπόβαθρο, τις εφαρμογές και τις προκλήσεις που φέρνουν στο προσκήνιο.

Τα ψηφιακά δίδυμα μπορούν να οριστούν ως δυναμικά, εικονικά αντίγραφα οντοτήτων του πραγματικού κόσμου, είτε πρόκειται για φυσικά αντικείμενα, συστήματα ή διαδικασίες. Αυτός ο ορισμός υπογραμμίζει την ικανότητά τους να εξελίσσονται συνεχώς και να αντικατοπτρίζουν τις αλλαγές που συμβαίνουν στα φυσικά τους αντίστοιχα. Οι ρίζες των ψηφιακών διδύμων μπορούν να αναζητηθούν στις πρώτες μέρες του σχεδιασμού με τη βοήθεια υπολογιστή (CAD) και της προσομοίωσης, εξελίσσοντας σταδιακά σε ένα ολοκληρωμένο πλαίσιο που ενσωματώνει δεδομένα, αναλυτικά στοιχεία και συνδεσιμότητα (Barnard & McCann, 1983).

Η ιστορική τροχιά των ψηφιακών διδύμων χαρακτηρίζεται από σημαντικά ορόσημα, που αντανακλούν τις συνεχώς διευρυνόμενες δυνατότητες της τεχνολογίας. Από τις πρώιμες προσομοιώσεις στην αεροδιαστημική και την κατασκευή έως τα σημερινά εξελιγμένα ψηφιακά αντίγραφα στην υγειονομική περίθαλψη, τον πολεοδομικό σχεδιασμό και όχι μόνο, το ταξίδι των ψηφιακών διδύμων είναι εμβληματικό της αδιάκοπης επιδίωξης για βελτιωμένη κατανόηση, έλεγχο και βελτιστοποίηση.

Οι εφαρμογές των ψηφιακών διδύμων είναι τόσο διαφορετικές όσο και οι τομείς που απαντώνται. Στην υγειονομική περίθαλψη, τα ψηφιακά δίδυμα διευκολύνουν εξατομικευμένα σχέδια θεραπείας διαμορφώνοντας τα φυσιολογικά συστήματα μεμονωμένων ασθενών. Στην κατασκευή, βελτιστοποιούν τις διαδικασίες παραγωγής και προβλέπουν τις ανάγκες συντήρησης, ενισχύοντας την απόδοση και μειώνοντας το χρόνο διακοπής λειτουργίας (Caragliu et al., 2011). Ο αστικός σχεδιασμός επωφελείται από τα ψηφιακά δίδυμα προσομοιώνοντας τη δυναμική της πόλης, βοηθώντας στη βιώσιμη ανάπτυξη και τη διαχείριση των πόρων (Gil-Garcia et al., 2016). Αυτές οι εφαρμογές υπογραμμίζουν τις δυνατότητες μετασχηματισμού των ψηφιακών διδύμων σε όλες τις βιομηχανίες (Fang et al. 2022).

Ωστόσο, η ενσωμάτωση των ψηφιακών διδύμων στην καθημερινότητά μας δεν είναι χωρίς προκλήσεις. Οι ανησυχίες για την ασφάλεια των δεδομένων και το απόρρητο είναι μεγάλες, ειδικά καθώς αυξάνεται η κλίμακα και το εύρος των ψηφιακών διπλών αναπτύξεων. Η απόλυτη πολυπλοκότητα της δημιουργίας και της διατήρησης ακριβών ψηφιακών αντιγράφων θέτει τεχνικές προκλήσεις, που απαιτούν εξελιγμένους αλγόριθμους και ισχυρή υποδομή δεδομένων. Τα ζητήματα διαλειτουργικότητας, τόσο εντός όσο και μεταξύ των βιομηχανιών, περιπλέκουν περαιτέρω την απρόσκοπτη ενσωμάτωση των ψηφιακών διδύμων σε ευρύτερα συστήματα (Grieves et al., 2016; Selamat et al., 2012).

Στην ουσία, το ταξίδι με τα ψηφιακά δίδυμα είναι μια συνεχής εξερεύνηση, που χαρακτηρίζεται από τεχνολογικές εξελίξεις, καινοτόμες εφαρμογές και επίμονες προκλήσεις. Καθώς πλοηγούμαστε σε αυτό το τοπίο, είναι επιτακτική ανάγκη να καλλιεργήσουμε μια ολιστική κατανόηση των ψηφιακών διδύμων, αναγνωρίζοντας τις δυνατότητές τους ενώ αντιμετωπίζουμε τις ηθικές, τεχνικές και κοινωνικές επιπτώσεις που φέρνουν στο προσκήνιο. Μέσω συνεργατικών προσπαθειών, διεπιστημονικής έρευνας και δέσμευσης για υπεύθυνη καινοτομία, μπορούν να εκμεταλλευθούν πλήρως οι δυνατότητες των ψηφιακών διδύμων για να ξεκινήσει μια νέα εποχή διορατικότητας, αποτελεσματικότητας και βιωσιμότητας.

Τα ψηφιακά δίδυμα, λοιπόν, έχουν εξελιχθεί σε ισχυρά εργαλεία με ποικίλες εφαρμογές σε όλους τους κλάδους, συμπεριλαμβανομένης της υγειονομικής περίθαλψης η οποία θα παρουσιαστεί αναλυτικότερα στο επόμενο κεφάλαιο της παρούσας εργασίας.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Ψηφιακά δίδυμα στην Υγεία και την Ιατρική Περίθαλψη**

### **4.1 Εισαγωγή**

Η ενσωμάτωση της ψηφιακής δίδυμης τεχνολογίας στην υγειονομική περίθαλψη φέρνει επανάσταση στον τρόπο με τον οποίο οι επαγγελματίες του ιατρικού τομέα προσεγγίζουν τη φροντίδα και τη θεραπεία ασθενών. Τα ψηφιακά δίδυμα στην υγειονομική περίθαλψη αναφέρονται σε εικονικές αναπαραστάσεις μεμονωμένων ασθενών, οργάνων ή ακόμα και ολόκληρων συστημάτων υγειονομικής περίθαλψης. Έχουν



αναδειχθεί ως μετασχηματιστικά εργαλεία στην υγειονομική περίθαλψη, προσφέροντας μια αλλαγή στον τρόπο με τον οποίο εννοιολογείται και παρέχεται η φροντίδα των ασθενών (Erol et al., 2020).

Η συγχώνευση της ψηφιακής διδύμης τεχνολογίας με την υγειονομική περίθαλψη έχει εγκαινιάσει μια νέα εποχή εξατομικευμένης ιατρικής και προηγμένης φροντίδας ασθενών. Σε αυτό το κεφάλαιο, διερευνάται η βαθιά επίδραση των ψηφιακών διδύμων στο τοπίο της υγειονομικής περίθαλψης, τις εφαρμογές τους και τις μετασχηματιστικές δυνατότητες που διαθέτουν, αντλώντας πληροφορίες από διάφορες επιστημονικές πηγές. Από εικονικά αντίγραφα οργάνων για διαγνωστικά ακριβείας έως δυναμικά μοντέλα συμπεριφοράς ασθενών για βελτιστοποίηση της θεραπείας, τα ψηφιακά δίδυμα αναδιαμορφώνουν τον τρόπο με τον οποίο προσεγγίζεται η υγειονομική περίθαλψη.

## 4.2 Ορισμός των Ψηφιακών Διδύμων στην Υγεία

Τα ψηφιακά δίδυμα στον τομέα της υγειονομικής περίθαλψης αντιπροσωπεύουν ένα μεταμορφωτικό άλμα στον τρόπο με τον οποίο κατανοούμε, παρακολουθούμε και αντιμετωπίζουμε τις ιατρικές καταστάσεις. Αυτή η ενότητα παρέχει συνοπτικούς ορισμούς για τα ψηφιακά δίδυμα στην υγεία, αντλώντας γνώσεις από επιστημονικές πηγές που έχουν συμβάλει στην εννοιολόγηση αυτής της καινοτόμου προσέγγισης.

Ένας ορισμός για τα ψηφιακά δίδυμα στην υγειονομική περίθαλψη αναφέρει ότι είναι δυναμικά, εικονικά αντίγραφα βιολογικών οντοτήτων, όπως όργανα ή φυσιολογικά συστήματα, εμπλουτισμένα με ενσωμάτωση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο και προσομοίωση συμπεριφοράς. Αυτά τα δίδυμα λειτουργούν ως εξατομικευμένα, προσαρμόσιμα μοντέλα που προσφέρουν πληροφορίες για τις συνθήκες υγείας, επιτρέποντας ακριβή διαγνωστικά και προσαρμοσμένες στρατηγικές θεραπείας (Sun & Li, 2023).

Ένας παρόμοιος ορισμός των ψηφιακών διδύμων στο πλαίσιο της υγειονομικής περίθαλψης, ορίζει τα ψηφιακά δίδυμα ως ζωντανά, προσαρμοστικά μοντέλα που ενσωματώνουν δεδομένα ασθενών από τον πραγματικό κόσμο, γενετικές πληροφορίες και πρότυπα συμπεριφοράς. Αυτές οι εικονικές αναπαραστάσεις εξελίσσονται με την κατάσταση της υγείας του ασθενούς, παρέχοντας στους κλινικούς ιατρούς μια ολιστική κατανόηση των εξατομικευμένων απαντήσεων στη θεραπεία και βοηθώντας στη βελτιστοποίηση των σχεδίων φροντίδας (Bruynseels et al., 2018).

Επίσης τα ψηφιακά δίδυμα στον χώρο της υγείας αναφέρονται ως υπολογιστικά μοντέλα που γεφυρώνουν τη φυσική και ψηφιακή σφαίρα, δημιουργώντας αναπαραστάσεις ανατομικών δομών ή φυσιολογικών διεργασιών. Αυτά τα δίδυμα χρησιμοποιούν ένα φάσμα δεδομένων, που κυμαίνονται από μοριακές λεπτομέρειες έως τον τρόπο ζωής του ασθενούς, προσφέροντας μια ολοκληρωμένη άποψη στους επαγγελματίες του ιατρικού τομέα ώστε να λαμβάνουν τεκμηριωμένες αποφάσεις σχετικά με τη διάγνωση, τη θεραπεία και τη συνεχή φροντίδα (Croatti et al., 2020).

Οι παραπάνω ορισμοί υπογραμμίζουν συλλογικά τη δυναμική και προσαρμοστική φύση των ψηφιακών διδύμων στην υγειονομική περίθαλψη, τονίζοντας τον ρόλο τους στην εξατομίκευση, την ενσωμάτωση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο και τη βελτιστοποίηση των ιατρικών παρεμβάσεων. Καθώς εμβαθύνουμε στις εφαρμογές, αυτοί οι θεμελιώδεις ορισμοί παρέχουν μια πυξίδα για την πλοήγηση στο περίπλοκο τοπίο των ψηφιακών διδύμων στην υγεία.

## 4.3 Ιστορικό πλαίσιο και εξέλιξη

Οι ρίζες των ψηφιακών διδύμων στην υγειονομική περίθαλψη μπορούν να αναχθούν στη σύγκλιση των τεχνολογικών προόδων, στις καινοτομίες στην ιατρική απεικόνιση και στη διαρκώς αυξανόμενη ανάγκη για πιο εξατομικευμένες και αποτελεσματικές λύσεις υγειονομικής περίθαλψης. Η κατανόηση του ιστορικού πλαισίου και της εξέλιξης των ψηφιακών διδύμων στην υγειονομική περίθαλψη παρέχει πολύτιμες γνώσεις για την τροχιά αυτής της μετασχηματιστικής τεχνολογίας.

### **4.3.1 Πρώιμη εξερεύνηση στην ιατρική απεικόνιση:**

Οι πρώτοι σπόροι των ψηφιακών διδύμων στην υγειονομική περίθαλψη σπάρθηκαν με την έλευση των τεχνολογιών ιατρικής απεικόνισης. Οι ακτινογραφίες στα τέλη του 19ου αιώνα και οι επακόλουθες εξελίξεις, όπως η αξονική τομογραφία και η μαγνητική τομογραφία, έθεσαν τις βάσεις για την απεικόνιση των εσωτερικών δομών του ανθρώπινου σώματος (Peyman et al., 2012).

### **4.3 2. Άνοδος Υπολογιστικής Ισχύος:**

Η υπολογιστική επανάσταση στα τέλη του 20ου αιώνα έπαιξε καθοριστικό ρόλο. Η αυξημένη επεξεργαστική ισχύς και οι προηγμένοι αλγόριθμοι επέτρεψαν τη δημιουργία πιο εξελιγμένων ψηφιακών μοντέλων, ανοίγοντας το δρόμο για τις δυναμικές προσομοιώσεις που χαρακτηρίζουν τα σύγχρονα ψηφιακά δίδυμα (Huynh et al., 2020).

### **4.3.3. Ενσωμάτωση με Ηλεκτρονικά Μητρώα Υγείας (EHR):**

Η ψηφιοποίηση των αρχείων υγειονομικής περίθαλψης στα τέλη του 20ού αιώνα σηματοδότησε ένα σημαντικό βήμα. Η ενσωμάτωση αυτών των ψηφιακών εγγραφών με δεδομένα απεικόνισης επέτρεψε τη δημιουργία πιο ολοκληρωμένων ψηφιακών αναπαραστάσεων, θέτοντας τις βάσεις για την ολιστική προσέγγιση των ψηφιακών διδύμων (Dash et al., 2019; Peyman et al., 2012).

### **4.3.4 Εμφάνιση φορητών συσκευών και IoT:**

Ο 21ος αιώνας γνώρισε τον πολλαπλασιασμό των φορητών συσκευών και του Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT) στην υγειονομική περίθαλψη. Αυτές οι τεχνολογίες συνέβαλαν σε πληθώρα δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, διευκολύνοντας τη δυναμική και προσαρμοστική φύση των ψηφιακών διδύμων (Peyman et al., 2012; Huynh et al., 2020).

### **4.3.5 Big Data και Μηχανική μάθηση:**

Κάθε στοιχείο του τομέα της υγειονομικής περίθαλψης έχει την ευθύνη πολλών διαφορετικών ειδών πληροφοριών. Η εφαρμογή των μεγάλων δεδομένων στην υγειονομική περίθαλψη ξεκινά με την ψηφιοποίηση κλινικών εξετάσεων και ιατρικών αρχείων (Dash et al., 2019). Τα τελευταία χρόνια, η ενσωμάτωση των ψηφιακών διδύμων με ανάλυση μεγάλων δεδομένων και μηχανική μάθηση έχει επεκτείνει περαιτέρω τις δυνατότητές τους. Αυτή η σύγκλιση επιτρέπει πιο ακριβείς προβλέψεις, βαθύτερες γνώσεις και την ανάπτυξη μοντέλων για συγκεκριμένους ασθενείς (Dash et al., 2019; Mazhar Rathore et al., 2021).

### **4.3.6 Προόδους στην παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο:**

Οι συνεχείς εξελίξεις στους αισθητήρες και τις τεχνολογίες παρακολούθησης σε πραγματικό χρόνο έχουν αυξήσει την ακρίβεια και τη συνάφεια των ψηφιακών διδύμων. Αυτή η εξέλιξη δίνει τη δυνατότητα στους επαγγελματίες υγείας να παρακολουθούν τους ασθενείς εξ αποστάσεως και σε πραγματικό χρόνο, προωθώντας προληπτικές παρεμβάσεις (Huynh et al., 2020).

Η κατανόηση του ιστορικού πλαισίου και της εξέλιξης των ψηφιακών διδύμων στην υγειονομική περίθαλψη είναι ζωτικής σημασίας για την εκτίμηση της τροχιάς της τεχνολογίας. Καθώς τα ψηφιακά δίδυμα συνεχίζουν να εξελίσσονται, η σύνθεση ιστορικών ορόσημων με τις σύγχρονες τεχνολογικές τάσεις αποτελεί τη βάση για τις τρέχουσες και μελλοντικές εφαρμογές τους στον τομέα της υγειονομικής περίθαλψης.

#### **4.4 Εφαρμογές των ψηφιακών διδύμων στην Υγειονομική Περιθαλψη**

Τα ψηφιακά δίδυμα προσφέρουν τη δυνατότητα επανάστασης στην υγειονομική περίθαλψη δημιουργώντας εικονικά αντίγραφα φυσικών οντοτήτων, επιτρέποντας τη λήψη αποφάσεων βάσει δεδομένων και ενισχύοντας τη φροντίδα και την περίθαλψη των ασθενών (Laaki et al., 2019).

Οι εφαρμογές των ψηφιακών διδύμων στην υγειονομική περίθαλψη εκτείνονται σε ένα ευρύ φάσμα, αξιοποιώντας τη δυναμική και εξατομικευμένη φύση αυτών των εικονικών αναπαραστάσεων για να ενισχύσουν διάφορες πτυχές της ιατρικής πρακτικής. Από τη διάγνωση έως τη βελτιστοποίηση της θεραπείας, τα ψηφιακά δίδυμα εγκαινιάζουν μια νέα εποχή ιατρικής ακριβείας και φροντίδας με επίκεντρο τον ασθενή (Callista & Hendra, 2022; Laaki et al., 2019).

##### **4.4.1 Ανθρώπινα ψηφιακά δίδυμα και Σχεδιασμός Θεραπείας για συγκεκριμένο ασθενή**

Η έννοια των ψηφιακών διδύμων δεν περιορίζεται μόνο σε άψυχα αντικείμενα ή εξωτερικά συστήματα, επεκτείνεται επίσης στα ανθρώπινα όντα και τα όργανά τους, δημιουργώντας αυτά που είναι γνωστά ως «ανθρώπινα ψηφιακά δίδυμα».

Τα ανθρώπινα ψηφιακά δίδυμα διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο στην επανάσταση του σχεδιασμού θεραπείας για συγκεκριμένους ασθενείς στην υγειονομική περίθαλψη. Αυτά τα ψηφιακά αντίγραφα της ανατομίας ενός ασθενούς επιτρέπουν ένα επίπεδο ακρίβειας που προηγουμένως ήταν ανέφικτο. Δημιουργώντας ακριβή τρισδιάστατα μοντέλα της μοναδικής ανατομίας ενός ασθενούς, οι επαγγελματίες του ιατρικού τομέα μπορούν να σχεδιάσουν σχολαστικά τις χειρουργικές επεμβάσεις και την ακτινοθεραπεία (Laaki et al., 2019). Αυτή η προσέγγιση ελαχιστοποιεί τον κίνδυνο σφαλμάτων και επιπλοκών κατά τη διάρκεια των θεραπειών, βελτιώνοντας τελικά τα αποτελέσματα των ασθενών. Τα ψηφιακά δίδυμα επιτρέπουν ένα επίπεδο εξατομίκευσης στον σχεδιασμό θεραπείας που υπόσχεται πολλά για το μέλλον της υγειονομικής περίθαλψης (Guo et al., 2020).

Η έρευνα στον τομέα του σχεδιασμού θεραπείας για συγκεκριμένο ασθενή με χρήση ψηφιακών διδύμων είναι εκτεταμένη. Μια αξιοσημείωτη αναφορά είναι η μελέτη των Ballard et al. (2018), με τίτλο "Clinical Applications of 3D Printing: Primer for Radiologists." Αυτή η έρευνα εμβαθύνει στις πρακτικές εφαρμογές των ψηφιακών διδύμων και της τρισδιάστατης εκτύπωσης στην υγειονομική περίθαλψη, δείχνοντας πώς αυτές οι τεχνολογίες αναδιαμορφώνουν τον σχεδιασμό θεραπείας και την εξατομικευμένη φροντίδα των ασθενών. Επιπλέον, τονίζει τον αντίκτυπο των μοντέλων που αφορούν τον ασθενή στις χειρουργικές επεμβάσεις και τονίζει τις δυνατότητές τους να βελτιστοποιούν τα αποτελέσματα της υγειονομικής περίθαλψης.

##### **4.4.2 Ανάπτυξη φαρμάκων Θεραπείας ασθενών**

Τα ψηφιακά δίδυμα διαδραματίζουν μετασχηματιστικό ρόλο στην ανάπτυξη φαρμάκων, προσφέροντας μια πολλά υποσχόμενη οδό για την επιτάχυνση της ανακάλυψης και της ανάπτυξης νέων θεραπειών. Αυτές οι εικονικές αναπαραστάσεις βιολογικών συστημάτων επιτρέπουν στους ερευνητές να προσομοιώνουν την εξέλιξη της νόσου και τις αλληλεπιδράσεις με τα φάρμακα, παρέχοντας πολύτιμες γνώσεις για πιθανές θεραπείες. Δημιουργώντας ψηφιακά αντίγραφα ασθενών και ασθενειών, οι επιστήμονες μπορούν να δοκιμάσουν και να βελτιστοποιήσουν γρήγορα τα υποψήφια φάρμακα, οδηγώντας σε πιο αποτελεσματικές διαδικασίες ανάπτυξης φαρμάκων.

Οι Cellina et al. (2023) διερεύνησαν αυτήν την περιοχή στην εργασία τους "Digital Twins: The New Frontier for Personalized Medicine?". Η μελέτη συζητά πώς τα ψηφιακά δίδυμα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την προσομοίωση αλληλεπιδράσεων φαρμάκων μέσα στη μοναδική φυσιολογία ενός ασθενούς. Προσαρμόζοντας τις φαρμακευτικές θεραπείες στα μεμονωμένα χαρακτηριστικά, οι πάροχοι υγειονομικής περίθαλψης μπορούν να ενισχύσουν τη θεραπευτική αποτελεσματικότητα ελαχιστοποιώντας παράλληλα τις παρενέργειες. Αυτές οι αναφορές υπογραμμίζουν την αυξανόμενη σημασία των ψηφιακών διδύμων στην υγειονομική περίθαλψη, ιδιαίτερα στη σφαίρα του σχεδιασμού θεραπείας ειδικά για τον ασθενή, και τα βαθιά οφέλη που προσφέρουν τόσο στους κλινικούς ιατρούς όσο και στους ασθενείς.

### 4.4.3 Αποκατάσταση και Φυσικοθεραπεία

Τα ψηφιακά δίδυμα έχουν αναδειχθεί ως μια πολλά υποσχόμενη τεχνολογική καινοτομία και στον τομέα της Αποκατάστασης και της Φυσικοθεραπείας. Τα ψηφιακά αντίγραφα του μυοσκελετικού συστήματος ενός ασθενούς μπορούν να δημιουργηθούν ενσωματώνοντας δεδομένα από διάφορες πηγές, όπως ιατρική απεικόνιση, φορητούς αισθητήρες και πληροφορίες για τον ασθενή. Το ψηφιακό δίδυμο χρησιμεύει ως ένα δυναμικό μοντέλο που επιτρέπει την ανάλυση σε πραγματικό χρόνο της κίνησης και των φυσιολογικών παραμέτρων ενός ατόμου, προσφέροντας μια ολοκληρωμένη κατανόηση της φυσικής του κατάστασης. Αυτή η τεχνολογία επιτρέπει στους φυσιοθεραπευτές να προσαρμόζουν τις ασκήσεις αποκατάστασης στις συγκεκριμένες ανάγκες του ασθενούς, παρακολουθώντας την πρόοδο με την πάροδο του χρόνου και προσαρμόζοντας τα σχέδια θεραπείας όπως απαιτείται (Saxby et al., 2023).

Τα ψηφιακά δίδυμα στην αποκατάσταση διευκολύνουν την έγκαιρη ανίχνευση προβλημάτων, βελτιστοποιώντας τα θεραπευτικά αποτελέσματα και ενισχύοντας τη συνολική εμπειρία του ασθενούς. Μια έρευνα που ασχολήθηκε με το συγκεκριμένο θέμα είναι αυτή των Méndez & García, (2023) "Robotic digital twin as a training platform for rehabilitation health personnel" στην οποία παρουσιάζεται ένα εικονικό εργαλείο εκπαίδευσης για το υγειονομικό προσωπικό, το οποίο βασίζεται στο πρωτότυπο ενός ψηφιακού δίδυμου εξωσκελετού για την αποκατάσταση των άνω άκρων. Αξιολογείται η λειτουργικότητα της εικονικής συσκευής μέσω της εφαρμογής διαφορετικών θεραπευτικών ρουτινών, οι οποίες βοηθούν τον φυσικοθεραπευτή να σχεδιάσει και να αξιολογήσει την απόδοση της θεραπείας κάθε ασθενή. Βασιζόμενοι σε δεδομένα σε πραγματικό χρόνο, οι επαγγελματίες υγείας μπορούν να κάνουν έγκαιρες προσαρμογές στα σχέδια θεραπείας, προωθώντας την ταχύτερη ανάρρωση και ελαχιστοποιώντας τον κίνδυνο επιπλοκών.

### 4.4.4 Κατάρτιση και Εκπαίδευση

Τα ψηφιακά δίδυμα έχουν επηρεάσει σημαντικά το τοπίο της κατάρτισης και της εκπαίδευσης στον τομέα της υγειονομικής περίθαλψης. Οι επαγγελματίες υγείας, συμπεριλαμβανομένων των φοιτητών ιατρικής, των νοσοκόμων και των ιατρών, έχουν πλέον πρόσβαση σε καθηλωτική και ρεαλιστική εκπαίδευση που βασίζεται σε προσομοίωση μέσω ψηφιακών διδύμων. Αυτά τα ψηφιακά αντίγραφα επιτρέπουν στους μαθητές να αλληλεπιδρούν με ρεαλιστικές ανατομικές δομές, ιατρικά σενάρια και περιπτώσεις ασθενών, παρέχοντας ένα δυναμικό και ακίνδυνο περιβάλλον για να βελτιώσουν τις δεξιότητές τους (Peshkova et al., 2023).

Για παράδειγμα, οι φοιτητές ιατρικής μπορούν να εξασκηθούν σε χειρουργικές επεμβάσεις ή να διαγνώσουν πολύπλοκες ιατρικές καταστάσεις σε εικονικούς ασθενείς, αποκτώντας πολύτιμη πρακτική εμπειρία πριν εργαστούν με πραγματικούς ασθενείς. Τα ψηφιακά δίδυμα στην εκπαίδευση στον τομέα της υγειονομικής περίθαλψης προσφέρουν μια γέφυρα μεταξύ θεωρίας και πράξης, ενισχύοντας την ικανότητα και την εμπιστοσύνη των μελλοντικών παρόχων υγειονομικής περίθαλψης (Ricci et al., 2021).

### 4.4.5 Νοσοκομεία

Τα ψηφιακά δίδυμα έχουν αναδειχθεί ως ένας παράγοντας που αλλάζει το παιχνίδι για τη διαχείριση και τη λειτουργία του νοσοκομείου. Προσφέρουν έναν εικονικό καθρέφτη του φυσικού νοσοκομειακού περιβάλλοντος, ενσωματώνοντας δεδομένα σε πραγματικό χρόνο από διάφορες πηγές, όπως αρχεία ασθενών, αισθητήρες IoT και συστήματα κτιρίων. Αυτή η ψηφιακή αναπαράσταση επιτρέπει στους διαχειριστές και το προσωπικό των νοσοκομείων να αποκτήσουν βαθιές γνώσεις για τις λειτουργίες της εγκατάστασης, βελτιστοποιώντας τις διαδικασίες και την κατανομή των πόρων. Για παράδειγμα, τα ψηφιακά δίδυμα μπορούν να προσομοιώσουν τις ροές ασθενών, βοηθώντας τα νοσοκομεία να προγραμματίσουν καλύτερα τα επίπεδα προσωπικού, να μειώσουν τους χρόνους αναμονής και να βελτιώσουν τη συνολική εμπειρία του ασθενούς. Ένα άρθρο με τίτλο "Pervasive Computing Integrated Discrete Event Simulation for a Hospital Digital Twin" από τους Karakra et al. το 2018, προτείνει μια νέα μεθοδολογία που χρησιμοποιεί την έννοια του ψηφιακού δίδυμου των νοσοκομειακών υπηρεσιών που βασίζεται σε Προσομοίωση Διακριτού Συμβάντος (DES) ενσωματωμένη με συστήματα πληροφοριών υγείας και συσκευές Internet of things (IoT). Αναπτύσσει ένα μοντέλο υποστήριξης προγνωστικών αποφάσεων που χρησιμοποιεί δεδομένα υπηρεσιών σε

πραγματικό χρόνο που προέρχονται από αυτά τα συστήματα και τις συσκευές. Αυτό το μοντέλο επιτρέπει την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας των υφιστάμενων συστημάτων παροχής υγειονομικής περίθαλψης και την αξιολόγηση του αντίκτυπου των αλλαγών στις υπηρεσίες χωρίς να διαταράσσονται οι καθημερινές δραστηριότητες του νοσοκομείου. Το μοντέλο που αναπτύχθηκε, ένα ψηφιακό δίδυμο (ή ένα εικονικό αντίγραφο του νοσοκομείου), προσομοιώνει μια σειρά από βασικές υπηρεσίες παροχής υγείας στο νοσοκομείο, με βάση σχετικά δεδομένα που ανακτώνται σε πραγματικό χρόνο.

Επιπλέον, τα ψηφιακά δίδυμα διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο στην προγνωστική συντήρηση και τη διαχείριση της υποδομής. Οι εγκαταστάσεις του νοσοκομείου απαιτούν τακτική συντήρηση για να διασφαλίζεται η ασφάλεια και η άνεση των ασθενών και του προσωπικού. Με τη συνεχή παρακολούθηση της κατάστασης του εξοπλισμού, των συστημάτων HVAC και των ηλεκτρικών συστημάτων μέσω ψηφιακών δίδυμων, τα νοσοκομεία μπορούν να προβλέψουν και να αποτρέψουν πιθανές βλάβες, ελαχιστοποιώντας το χρόνο διακοπής λειτουργίας και μειώνοντας το κόστος συντήρησης. Σε ένα άρθρο με τίτλο " Digital Twin Hospital Buildings: An Exemplary Case Study through Continuous Lifecycle Integration" από τους Peng et al., το 2020 που δημοσιεύτηκε στο " Advances in Civil Engineering ", οι συγγραφείς, μέσω μιας παραδειγματικής μελέτης περίπτωσης σε μεγάλο νοσοκομείο της Κίνας, παρέχουν μια εις βάθος εξερεύνηση του τρόπου με τον οποίο τα ψηφιακά δίδυμα μπορούν να βελτιώσουν τη διαχείριση εγκαταστάσεων στην υγειονομική περίθαλψη, ενισχύοντας τη συνολική αποτελεσματικότητα των λειτουργιών του νοσοκομείου. Αυτές οι αναφορές υπογραμμίζουν τις δυνατότητες των ψηφιακών διδύμων στα νοσοκομεία, ρίχνοντας φως στον ρόλο τους στον εξορθολογισμό της διαχείρισης των εγκαταστάσεων υγειονομικής περίθαλψης και στη διασφάλιση της βέλτιστης φροντίδας των ασθενών.

#### 4.4.6 Εξ αποστάσεως Παρακολούθηση και Χειρουργική

Τα ψηφιακά δίδυμα έχουν κάνει σημαντικά βήματα στον τομέα της απομακρυσμένης παρακολούθησης και της χειρουργικής. Η δυνατότητα δημιουργίας εικονικών αντιγράφων ασθενών και ιατρικών διαδικασιών προσφέρει μια σειρά πλεονεκτημάτων, ιδιαίτερα στο πλαίσιο της εξ αποστάσεως φροντίδας ασθενών και των χειρουργικών εξελίξεων (Ascone & Vanderhaegen, 2022). Η απομακρυσμένη παρακολούθηση περιλαμβάνει τη συνεχή συλλογή δεδομένων ασθενών μέσω φορητών συσκευών και αισθητήρων, τα οποία στη συνέχεια χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία ψηφιακών διδύμων. Αυτά τα ψηφιακά αντίγραφα παρέχουν πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο για την υγεία του ασθενούς, επιτρέποντας στους παρόχους υγειονομικής περίθαλψης να παρακολουθούν εξ αποστάσεως κρίσιμες μετρήσεις όπως ο καρδιακός ρυθμός, η αρτηριακή πίεση και τα επίπεδα οξυγόνου. Αυτή η ικανότητα είναι ιδιαίτερα πολύτιμη για ασθενείς με χρόνιες παθήσεις ή για όσους αναρρώνουν από χειρουργικές επεμβάσεις, καθώς επιτρέπει την έγκαιρη παρέμβαση σε περίπτωση τυχόν ανωμαλιών. Μια μελέτη των Laaki et al., (2019) με τίτλο " Prototyping a Digital Twin for Real Time Remote Control Over Mobile Networks: Application of Remote Surgery", η οποία παρουσιάζεται αναλυτικότερα στο επόμενο κεφάλαιο, διερευνά τον ρόλο των ψηφιακών διδύμων στην απομακρυσμένη παρακολούθηση και χειρουργική και υπογραμμίζει τις δυνατότητες για πιο προληπτική και ασθενοκεντρική υγειονομική περίθαλψη.

Στον τομέα της χειρουργικής, τα ψηφιακά δίδυμα προσφέρουν μια μοναδική ευκαιρία για προεγχειρητικό σχεδιασμό και εκπαίδευση. Οι χειρουργοί μπορούν να χρησιμοποιήσουν αυτά τα ψηφιακά αντίγραφα για να προσομοιώσουν πολύπλοκες χειρουργικές επεμβάσεις πριν τις εκτελέσουν σε πραγματικούς ασθενείς (Laaki & Tammi, 2019). Αυτή η εικονική πρόβα βοηθά στην τελειοποίηση των χειρουργικών τεχνικών και διασφαλίζει ότι ο χειρουργός είναι καλά προετοιμασμένος για την επέμβαση. Μια αξιοσημείωτη αναφορά των ψηφιακών διδύμων στην τηλεχειρουργική είναι το έργο των Bonne et al., (2022) στο "A Digital Twin Framework for Telesurgery in the Presence of Varying Network Quality of Service", το οποίο υπογραμμίζει την επίδραση των ψηφιακών διδύμων στην εξατομικευμένη χειρουργική. Στην έρευνα γίνεται μια προσπάθεια να παρουσιαστεί πως τα ψηφιακά δίδυμα μπορούν να ενισχύσουν την ακρίβεια και την ασφάλεια των χειρουργικών επεμβάσεων επιτρέποντας στους χειρουργούς να οπτικοποιούν και να ασκούν περίπλοκες χειρουργικές επεμβάσεις σε ένα περιβάλλον χωρίς κινδύνους. Στην παραπάνω μελέτη, αναφέρεται επίσης πως η αστάθεια του δικτύου και οι καθυστερήσεις εμποδίζουν την επικοινωνία σε μεγάλες αποστάσεις και παρουσιάζεται το πως θα μπορούσε να αντιμετωπιστεί το πρόβλημα αυτό χρησιμοποιώντας τα ψηφιακά

δίδυμα. Η ενσωμάτωση των ψηφιακών διδύμων στη χειρουργική επέμβαση όχι μόνο μπορεί να βελτιώσει τα αποτελέσματα των ασθενών αλλά να μειώσει επίσης την πιθανότητα για χειρουργικά λάθη.

## Συμπέρασμα

Συμπερασματικά, οι εφαρμογές των ψηφιακών διδύμων στον τομέα της υγείας είναι καινοτόμες και μεταμορφωτικές. Αυτά τα εικονικά αντίγραφα φυσικών συστημάτων και ασθενών έχουν επαναπροσδιορίσει τον τρόπο παροχής της υγειονομικής περίθαλψης, από την εξατομικευμένη ιατρική και τον σχεδιασμό θεραπείας έως την απομακρυσμένη παρακολούθηση ασθενών και την ανάπτυξη ιατρικών φαρμάκων. Η δύναμη των ψηφιακών διδύμων έγκειται στην ικανότητά τους να αξιοποιούν δεδομένα, τεχνολογία και αναλύσεις για να βελτιώσουν τη φροντίδα των ασθενών, να εξορθολογίσουν τις διαδικασίες υγειονομικής περίθαλψης και να οδηγήσουν στην πρόοδο και εκπαίδευση. Καθώς ο κλάδος της υγειονομικής περίθαλψης συνεχίζει να αγκαλιάζει αυτήν την τεχνολογία, είναι προφανές ότι τα ψηφιακά δίδυμα έχουν τη δυνατότητα να βελτιώσουν τα αποτελέσματα των ασθενών, να αυξήσουν τη λειτουργική αποτελεσματικότητα στα νοσοκομεία και να επιταχύνουν τις ιατρικές εξελίξεις. Ωστόσο, πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στα ηθικά ζητήματα, την ασφάλεια των δεδομένων και τη διαλειτουργικότητα, καθώς επαγγελματίες υγείας και ιδρύματα ενσωματώνουν ψηφιακά δίδυμα στις πρακτικές τους. Το μέλλον της υγειονομικής περίθαλψης υπόσχεται να διαμορφωθεί σημαντικά από τη συνεχή ανάπτυξη και εφαρμογή των ψηφιακών διδύμων, καθώς συμβάλλουν σε ένα πιο εξατομικευμένο, αποδοτικό και αποτελεσματικό οικοσύστημα υγειονομικής περίθαλψης.

## 4.5 Ηθικά ζητήματα και Προκλήσεις

Η εφαρμογή των ψηφιακών διδύμων σε όλους τους κλάδους και κυρίως στην υγειονομική περίθαλψη φέρνει μαζί της μια σειρά από ηθικά ζητήματα, πιθανά μειονεκτήματα και προκλήσεις που πρέπει να εξεταστούν προσεκτικά (Botín-Sanabria et al., 2022). Οι ηθικές ανησυχίες προκύπτουν κυρίως στη σφαίρα του απορρήτου και της ασφάλειας των δεδομένων όπως αναφέρθηκε και στο δεύτερο κεφάλαιο της παρούσας εργασίας. Τα δεδομένα υγείας των ασθενών, τα οποία αποτελούν αναπόσπαστο κομμάτι της δημιουργίας και της διατήρησης ψηφιακών διδύμων, πρέπει να προστατεύονται αυστηρά για να διασφαλίζεται η εμπιστευτικότητα και η συναίνεση των ατόμων. Η διασφάλιση της ενημερωμένης συγκατάθεσης, της ιδιοκτησίας δεδομένων και της ασφαλούς αποθήκευσης και μετάδοσης ευαίσθητων πληροφοριών υγειονομικής περίθαλψης είναι πρωταρχικής σημασίας για την αποφυγή παραβιάσεων απορρήτου.

Ένα από τα πιθανά μειονεκτήματα της εφαρμογής ψηφιακών διδύμων στην υγειονομική περίθαλψη είναι ο κίνδυνος υπερβολικής εξάρτησης από την τεχνολογία και η πιθανή υποτίμηση της ανθρώπινης επαφής στη φροντίδα των ασθενών. Η χρήση ψηφιακών διδύμων μπορεί να απλοποιήσει τη διάγνωση και τη θεραπεία, αλλά δεν θα πρέπει να αντικαταστήσει τον ουσιαστικό ρόλο των επαγγελματιών υγείας. Υπάρχει ανάγκη να επιτευχθεί μια ισορροπία μεταξύ της τεχνολογικής καινοτομίας και της διατήρησης της ανθρώπινης πτυχής της υγειονομικής περίθαλψης. Ένα άρθρο του Topol, που δημοσιεύθηκε το 2019 στο "Nature Medicine" με τίτλο "High-performance medicine: the convergence of human and artificial intelligence" υπογραμμίζει τη σημασία της διατήρησης μιας προσέγγισης με επίκεντρο τον ασθενή στην ψηφιακή δίδυμη εποχή και την αντίσταση στον πειρασμό να αποπροσωποποιηθούν οι αλληλεπιδράσεις στον τομέα της υγειονομικής περίθαλψης.

Οι προκλήσεις στην εφαρμογή ψηφιακών διδύμων στην υγειονομική περίθαλψη περιλαμβάνουν ζητήματα διαλειτουργικότητας, ενοποίηση δεδομένων σε διάφορα συστήματα και τυποποίηση ψηφιακών διδύμων μοντέλων (Fuller et al., 2020). Η επίτευξη απρόσκοπτης επικοινωνίας μεταξύ διαφορετικών συστημάτων υγειονομικής περίθαλψης, ιατρικών συσκευών και αρχείων ασθενών μπορεί να είναι ένα τρομερό έργο. Οι ερευνητές αντιμετωπίζουν επίσης προκλήσεις όσον αφορά τη διασφάλιση της ακρίβειας και της αξιοπιστίας των ψηφιακών διδύμων μοντέλων, τα οποία μπορούν να επηρεαστούν από την ποιότητα και την πληρότητα των δεδομένων που χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία τους. Επιπλέον, οι οργανισμοί υγειονομικής περίθαλψης ενδέχεται να αντιμετωπίσουν αντίσταση από μέλη του προσωπικού που δεν είναι εξοικειωμένοι

Μεταπτυχιακή Διατριβή

Μαυρίδου Ελισάβετ

με αυτές τις τεχνολογίες και να απαιτούν εκτενή εκπαίδευση για την αποτελεσματική ενσωμάτωση των ψηφιακών διδύμων στις πρακτικές τους.

Συμπερασματικά, η εφαρμογή των ψηφιακών διδύμων στην υγειονομική περίθαλψη είναι μια πολλά υποσχόμενη αλλά πολύπλοκη προσπάθεια. Οι ηθικοί προβληματισμοί, τα πιθανά μειονεκτήματα και οι προκλήσεις πρέπει να αντιμετωπίζονται επιμελώς για να διασφαλιστεί ότι αξιοποιούνται τα οφέλη αυτής της τεχνολογίας, ενώ παράλληλα προστατεύεται το απόρρητο των ασθενών, διατηρείται μια προσέγγιση με επίκεντρο τον ασθενή και ξεπερνιούνται τεχνικά και οργανωτικά εμπόδια. Πηγές και συζητήσεις του πραγματικού κόσμου σε έγκριτα ιατρικά περιοδικά παρέχουν πληροφορίες σχετικά με αυτές τις κρίσιμες πτυχές της εφαρμογής ψηφιακών διδύμων στην υγειονομική περίθαλψη.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: Ψηφιακά Δίδυμα και εξ αποστάσεως Χειρουργική και Παρακολούθηση (Remote Surgery & Homecare)**

Η εξ αποστάσεως παρακολούθηση και χειρουργική αναφέρεται σε ιατρικές πρακτικές που επιτρέπουν στους ιατρούς και στους ασθενείς να αλληλεπιδρούν και να παρέχουν φροντίδα από απόσταση, χρησιμοποιώντας τεχνολογίες όπως η τηλεϊατρική, οι αισθητήρες υγείας, η επικοινωνία διαδικτυακά και η χειρουργική ρομποτική (Laaki & Tammi, 2019).

Η εξ αποστάσεως παρακολούθηση έχει ευρύτατες εφαρμογές, από την παρακολούθηση της υγείας του ατόμου στο σπίτι μέχρι τη διαχείριση χρόνιων ασθενειών. Οι αισθητήρες υγείας μπορούν να μετρούν παραμέτρους όπως η αρτηριακή πίεση, ο παλμός, η θερμοκρασία και άλλες σημαντικές παραμέτρους υγείας και να τις μεταδίδουν ασύρματα σε ιατρούς ή σε πλατφόρμες παρακολούθησης υγείας.

Η εξ αποστάσεως χειρουργική αναφέρεται επίσης στη δυνατότητα εκτέλεσης χειρουργικών επεμβάσεων με τη χρήση ρομποτικών συστημάτων, ενώ ο χειρουργός βρίσκεται σε διαφορετική τοποθεσία από τον ασθενή. Αυτό επιτρέπει σε ειδικούς χειρουργούς να εκτελούν επεμβάσεις ακόμα και σε ασθενείς που βρίσκονται σε απομακρυσμένες περιοχές, μειώνοντας τον χρόνο ανάκτησης και τους κινδύνους που συνδέονται με τη χειρουργική επέμβαση (Bonne et al., 2022).

Και οι δύο αυτές τεχνολογίες συμβάλλουν στη βελτίωση της ποιότητας της φροντίδας υγείας, τη μείωση του κόστους και την αύξηση της προσβασιμότητας στην υγειονομική περίθαλψη.

### **5.1 Εξ αποστάσεως Χειρουργική (Remote Surgery)**

Η Εξ αποστάσεως Χειρουργική (Remote Surgery), γνωστή επίσης ως τηλεχειρουργική ή τηλεπαρουσία χειρουργείου (telesurgery ή telepresence surgery), περιλαμβάνει την εκτέλεση χειρουργικών επεμβάσεων σε έναν ασθενή που δε βρίσκεται στην ίδια φυσική τοποθεσία με τον χειρουργό (Cai et al., 2023). Αυτό γίνεται δυνατό μέσω προηγμένων ρομποτικών συστημάτων και δικτύων επικοινωνίας υψηλής ταχύτητας. Κύρια στοιχεία της απομακρυσμένης χειρουργικής περιλαμβάνουν:

*Ρομποτική:* Χειρουργικά ρομπότ εξοπλισμένα με προηγμένους αισθητήρες και εργαλεία χρησιμοποιούνται για να πραγματοποιούν ακριβείς κινήσεις που ελέγχονται από έναν χειρουργό από απόσταση.

*Τηλεπικοινωνία:* Δίκτυα υψηλής ταχύτητας και τεχνολογίες επικοινωνίας χαμηλής καθυστέρησης επιτρέπουν την πραγματικού χρόνου μετάδοση βίντεο, ήχου και άλλων δεδομένων μεταξύ του χειρουργικού τόπου και της τοποθεσίας του χειρουργού.

*Εικονική Πραγματικότητα (VR):* Η τεχνολογία VR μπορεί να παρέχει στον χειρουργό μια εμβαθυμένη εμπειρία, επιτρέποντάς του να νιώσει ότι βρίσκεται φυσικά παρών στο χειρουργείο παρά την απόσταση που τον χωρίζει.

Η απομακρυσμένη χειρουργική προσφέρει αρκετά δυνητικά οφέλη, συμπεριλαμβανομένης της αυξημένης πρόσβασης σε εξειδικευμένη φροντίδα, τη μείωση των χειρουργικών λαθών και τη δυνατότητα εκτέλεσης πολύπλοκων επεμβάσεων σε απομακρυσμένες ή μειονεκτικές περιοχές όπου εξειδικευμένοι χειρουργοί μπορεί να μην είναι εύκολα διαθέσιμοι (Laaki et al., 2019; Bonne et al., 2022; Cai et al., 2023).

#### **5.1.1 Εξ αποστάσεως Χειρουργική (Remote Surgery) και Ψηφιακά Δίδυμα (DT)**

Στο πλαίσιο της χειρουργικής, τα ψηφιακά δίδυμα μπορούν να δημιουργηθούν για να προσομοιώσουν την ανατομία και τις φυσιολογικές αντιδράσεις ενός ασθενούς, παρέχοντας πολύτιμες πληροφορίες για το χειρουργικό σχεδιασμό και την εκπαίδευση (Cai et al., 2023). Βασικά στοιχεία των ψηφιακών διδύμων στη χειρουργική περιλαμβάνουν:

*Μοντελοποίηση Ανατομίας:* Χρησιμοποιώντας τεχνικές ιατρικής εικονοληψίας όπως MRI ή CT scans, τα ψηφιακά δίδυμα μπορούν να αναπαραστήσουν ακριβώς την ανατομία ενός ασθενούς σε ένα εικονικό περιβάλλον.



**Προσομοίωση Φυσιολογίας:** Τα ψηφιακά δίδυμα μπορούν να προσομοιώσουν τη δυναμική συμπεριφορά των οργάνων, των ιστών και άλλων φυσιολογικών παραγόντων κατά τη διάρκεια των χειρουργικών επεμβάσεων, βοηθώντας τους χειρουργούς να προβλέψουν πιθανές επιπλοκές και να βελτιστοποιήσουν την προσέγγισή τους.

**Χειρουργικός Σχεδιασμός και Εκπαίδευση:** Οι χειρουργοί μπορούν να χρησιμοποιήσουν τα ψηφιακά δίδυμα για να σχεδιάσουν και να εξασκηθούν σε πολύπλοκες επεμβάσεις σε ένα ασφαλές εικονικό περιβάλλον, βελτιώνοντας την ικανότητά τους και μειώνοντας τον κίνδυνο λαθών κατά τη διάρκεια των πραγματικών επεμβάσεων.

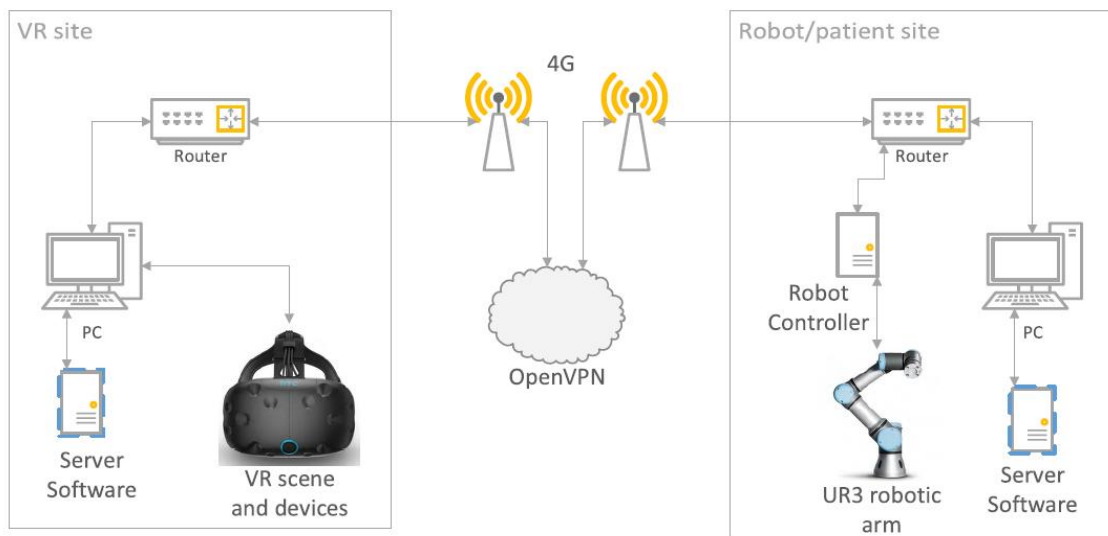
Τα ψηφιακά δίδυμα έχουν το δυναμικό να ενισχύσουν τη χειρουργική ακρίβεια, να βελτιώσουν τα αποτελέσματα των ασθενών και να διευκολύνουν την ανάπτυξη εξατομικευμένων στρατηγικών θεραπείας προσαρμοσμένων στην κάθε μοναδική ανατομία και χαρακτηριστικά του ασθενή (Maddahi & Chen, 2022).

Η συνδυασμένη χρήση απομακρυσμένης χειρουργικής με την τεχνολογία των ψηφιακών διδύμων κρύβει υποσχέσεις για την ώθηση των ορίων του τι είναι δυνατό στη σύγχρονη υγειονομική περίθαλψη, διευκολύνοντας ασφαλέστερες, πιο αποτελεσματικές και πιο προσβάσιμες χειρουργικές επεμβάσεις. Ωστόσο, είναι σημαντικό να αντιμετωπιστούν τεχνικές προκλήσεις, κανονιστικά θέματα και ηθικές ανησυχίες για να διασφαλιστεί η υπεύθυνη και αποτελεσματική εφαρμογή αυτών των καινοτομιών (Maddahi & Chen, 2022; Cai et al., 2023).

### 5.1.2 Παράδειγμα μελέτης εφαρμογής Ψηφιακού Διδύμου στην τηλεχειρουργική

Στη μελέτη των Laaki et al., (2019) με τίτλο “ Prototyping a Digital Twin for Real Time Remote Control Over Mobile Networks Application of Remote Surgery”, αναπτύχθηκε ένα πρωτότυπο Ψηφιακό Δίδυμο για την ανάλυση των απαιτήσεων επικοινωνίας σε μια εφαρμογή κρίσιμης σημασίας όπως η εξ αποστάσεως χειρουργική που υποστηρίζεται από δίκτυο κινητής τηλεπικοινωνίας. Οι επεμβάσεις αυτού του είδους απαιτούν χαμηλή καθυστέρηση και υψηλά επίπεδα ασφάλειας και αξιοπιστίας, καθιστώντας την ανάλυση της επικοινωνίας και της κυβερνοασφάλειας κρίσιμη.

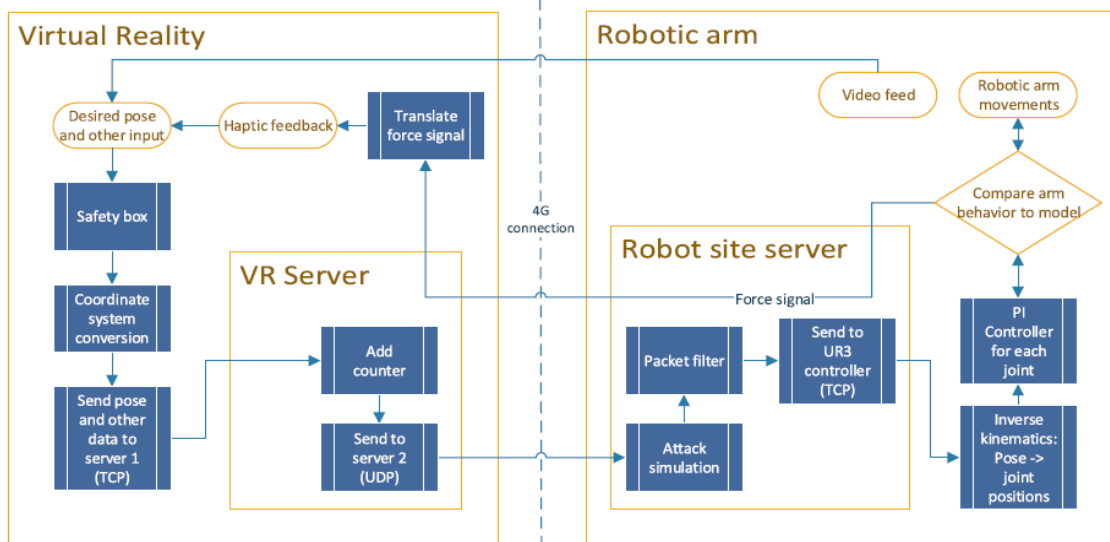
Το σύστημα, όπως φαίνεται και στην εικόνα 1, περιλάμβανε ένα ρομποτικό βραχίονα και ένα σύστημα εικονικής πραγματικότητας HTC Vive (VR) που συνδέονταν μέσω ενός δικτύου κινητής τηλεπικοινωνίας 4G. Η σύνδεση διαμορφώθηκε μέσω ενός διακομιστή OpenVPN που εκτελείται σε έναν νέφος διακομιστών (cloud server) στο Ελσίνκι, την πρωτεύουσα της Φινλανδίας. Περισσότεροι από 70 δοκιμαστές χρησιμοποιήθηκαν για την αξιολόγηση του συστήματος.



Εικόνα 1. Διάγραμμα ρύθμισης δικτύου του πρωτότυπου συστήματος. (Laaki et al., 2019).

Αφού ολοκληρώθηκε η εγκατάσταση του υλικού και του δικτύου, ξεκινήσαν τη δημιουργία της επικοινωνίας εντός του συστήματος, η οποία ολοκληρώνει το ψηφιακό δίδυμο (DT). Αυτό περιλαμβάνει φυσικά προϊόντα, ψηφιακά προϊόντα και τη συνδεσιμότητα μεταξύ τους. Όταν χρησιμοποιείται το σύστημα, ο χρήστης έπαιρνε το εικονικό όργανο χρησιμοποιώντας έναν ελεγκτή που κρατούσε στο χέρι του. Το υλικό VR παρακολουθούσε την κίνηση του ελεγκτή και μετέφερε τα δεδομένα θέσης και περιστροφής στη σκηνή VR. Τα δεδομένα αυτά ερμηνεύονταν στο επίπεδο λογισμικού OpenVR και το αποτέλεσμα ήταν δεδομένα θέσης και περιστροφής σχετικά με τη σκηνή VR.

Όπως φαίνεται και στην εικόνα 2 στην απεικόνιση της ροής δεδομένων, η ελεγκτική μονάδα του ρομπότ επεξεργαζόταν τα δεδομένα που σχετίζονταν στενά με το ρομποτικό χέρι. Οι δύο τοποθεσίες ήταν συνδεδεμένες μέσω της σύνδεσης δικτύου 4G. Τα συστήματα συντονισμού υπόκεινταν σε περιορισμούς και αντιμετωπίζονταν προβλήματα σχετικά με τις διαφορετικές συντεταγμένες και τους περιορισμούς χώρου. Για να αντιμετωπιστούν αυτά, εφαρμόστηκαν μεταφράσεις και μετατροπές, ενώ προστέθηκε μια απόκλιση στο κέντρο του συστήματος συντεταγμένων για βέλτιστη λειτουργία του ρομπότ. Τέλος, η προγραμματισμένη ελεγκτική μονάδα του ρομπότ ανταποκρίνονταν στα δεδομένα που λάμβανε και εκτελούσε τις απαραίτητες ενέργειες, παρέχοντας έτσι μια ολοκληρωμένη λύση για την τηλεχειρουργική.



Εικόνα

## 2. Απεικόνιση της ροής δεδομένων βρόχου ελέγχου. (Laaki et al., 2019).

Το πείραμα των Laaki et al., (2019), απέδειξε ότι το ρομπότ μπορούσε να αντιγράψει ακριβώς την κίνηση του ανθρώπινου χεριού με την αναπτυγμένη διαδικασία ελέγχου. Ωστόσο, σε περιπτώσεις πολύ γρήγορης κίνησης, το χέρι του ρομπότ έμενε πίσω από την επιθυμητή θέση. Οι χρήστες επίσης βοηθήθηκαν από λειτουργίες οπτικής ανάδρασης και ανάδραση δύναμης, αλλά αναγνώρισαν ότι υπάρχει ανάγκη για βελτιώσεις στον έλεγχο της δύναμης. Επιπλέον, παρατηρήθηκε ότι το σύστημα λειτουργούσε ομαλά και χωρίς καθυστερήσεις υπό βέλτιστες συνθήκες δικτύου, αλλά η απόδοσή του επηρεάστηκε αρνητικά από επίθεση καταμεμημένης άρνησης υπηρεσίας (DDoS), η οποία αύξησε τις καθυστερήσεις και προκάλεσε αστάθεια στην κίνηση του ρομπότ. Ωστόσο, με τη χρήση της μηχανικής εκμάθησης βασισμένη σε αντίμετρο ανίχνευσης και μετριάσμου, το σύστημα παρέμεινε λειτουργικό και η κίνηση του ρομπότ απαλείφθηκε από την αστάθεια.

## Συμπέρασμα

Από την παραπάνω μελέτη των Laaki, H., Miche, Y. και Tammi, K. του 2019 που εστίασε στη δημιουργία ενός Ψηφιακού Διδύμου (DT) βήμα προς βήμα, απορρέει η βασική υπόθεση ότι με την τεχνολογία των ψηφιακών διδύμων στο μέλλον, τα συστήματα θα μπορούν να εγκαθιδρύουν την επικοινωνία μεταξύ συσκευών και να επαληθεύουν αυτόματα το επίπεδο λειτουργικότητας, χωρίς την ανάγκη για ανθρώπινη γραφή κώδικα. Μελετώντας το πρωτότυπο Ψηφιακό Δίδυμο (DT), φάνηκε ότι απαιτείται γρήγορη σύνδεση ανάλογα με το

UDP ή κάποιο μελλοντικό πρωτόκολλο κατάλληλο για τέτοιο σκοπό. Στο μέλλον, ο ασθενής και ο χειρουργός ενδέχεται να διαθέτουν τα δικά τους Ψηφιακά Δίδυμα (DTs), τα οποία θα επιτρέπουν στο σύστημα να διαβάζει ιστορικά και πραγματικά δεδομένα υγείας και επίδοσης. Ακόμη και πριν ο χειρουργός εισέλθει στην αίθουσα επέμβασης, θς μπορεί να σχεδιάσει την επέμβαση και να ελέγξει τα ιατρικά αρχεία του ασθενούς. Μπορεί ακόμα να εκτελέσει κάποιες προσομοιώσεις για φαρμακευτικές αγωγές ή διαφορετικές στρατηγικές για την πραγματική επέμβαση. Ωστόσο όπως προκύπτει και από κι από τις έρευνες των Maddahi & Chen, (2022) και Cai et al., (2023) για να μπορεί κάποια μέρα τέτοιες επεμβάσεις να πραγματοποιούνται ως καθημερινές δραστηριότητες και όχι μόνο ως φιλόδοξα ερευνητικά έργα θα πρέπει να διεξαχθούν πολλή ανάπτυξη και έρευνα στις διεπαφές ανθρώπου-μηχανής, στους αισθητήρες ανάδρασης και στην οπτική ανάδραση και στην ασφάλεια δικτύου, καθώς φαίνεται να είναι κρίσιμο μέρος για την πραγματοποίηση τηλεχειρουργικής. Κάποιες μικρές ιατρικές επεμβάσεις, όπως η παρατήρηση και η διάγνωση, θα μπορούσαν να πραγματοποιηθούν με τις τρέχουσες δυνατότητες του συστήματος. Επιπλέον, οι απομακρυσμένες ιατρικές επεμβάσεις μπορούν να προσομοιωθούν και να ερευνηθούν με τον εξοπλισμό. Επίσης τεχνολογίες δικτύου, όπως το 5G, θα απαιτηθούν για την υλοποίηση της υψηλής ευκρίνειας οπτικής ανάδρασης και άλλων πιο απαιτητικών ροών δεδομένων που είναι απαραίτητες για πραγματικές απομακρυσμένες επεμβάσεις.

## 5.2 Εξ αποστάσεως Παρακολούθηση ασθενών ( Homecare)

Όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενο κεφάλαιο, τα ψηφιακά Δίδυμα αντιπροσωπεύουν μια καινοτόμα προσέγγιση στον τομέα της υγείας, επιτρέποντας στους ασθενείς να έχουν πρόσβαση σε προσαρμοσμένη περίθαλψη στο ίδιο τους το σπίτι. Μέσω της χρήσης αισθητήρων, φορητών συσκευών, και άλλων τεχνολογικών εφαρμογών, οι ασθενείς μπορούν να παρακολουθούν σε πραγματικό χρόνο την κατάσταση της υγείας τους από το σπίτι τους (Reyman et al., 2012; Ηυγηη et al., 2020). Στην πρακτική φροντίδα στο σπίτι, η εφαρμογή των ψηφιακών διδύμων μπορεί να επιτρέψει την παρακολούθηση της κατάστασης υγείας ασθενών από απόσταση, παρέχοντας πληροφορίες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη λήψη αποφάσεων σχετικά με τη φροντίδα και τη θεραπεία. Αυτό μπορεί να συμπεριλάβει την παρακολούθηση των φαρμάκων, τη μέτρηση βιομετρικών δεδομένων και την ανίχνευση πιθανών επιπλοκών ή αλλαγών στην υγεία του ασθενούς. Μέσω της συνεχούς προόδου στον τομέα των ψηφιακών διδύμων και της υγείας στο σπίτι, ανοίγονται νέες δυνατότητες για την προσφορά εξατομικευμένης, αποτελεσματικής και ασφαλούς φροντίδας στο πλαίσιο του οικιακού περιβάλλοντος (Zheng et al., 2021).

### 5.2.1 Χρήσεις των Ψηφιακών Διδύμων στην υγειονομική περίθαλψη και παρακολούθηση στο σπίτι

Οι διάφορες χρήσεις των ψηφιακών διδύμων στην υγεία στο σπίτι, όπως αναφέρουν οι Erol et al. (2020) και Callista & Tjahyadi, (2022) περιλαμβάνουν:

*Παρακολούθηση των βιολογικών παραμέτρων:* Με τη χρήση αισθητήρων φορητών συσκευών, οι ασθενείς μπορούν να μετρούν τα επίπεδα του αίματος, την πίεση του αίματος, τον παλμό και άλλες βιολογικές παραμέτρους από το σπίτι τους. Αυτή η παρακολούθηση μπορεί να βοηθήσει στην πρόληψη επιπλοκών και στη διαχείριση των χρόνιων παθήσεων.

*Διαχείριση του ιατρικού φαρμακευτικού:* Τα Ψηφιακά Δίδυμα μπορούν να βοηθήσουν στην παρακολούθηση του προγράμματος φαρμακευτικής αγωγής του ασθενούς και να παρέχουν υπενθυμίσεις για τη λήψη φαρμάκων.

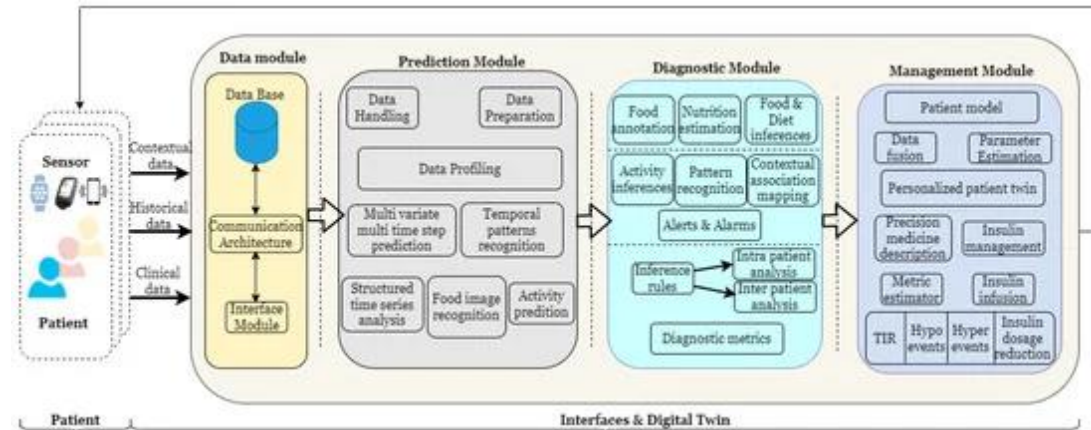
*Παροχή προσαρμοσμένης συμβουλευτικής:* Μέσω αλγορίθμων μηχανικής μάθησης, τα Ψηφιακά Δίδυμα μπορούν να προσφέρουν εξατομικευμένες συμβουλές για τη διατροφή, την άσκηση και άλλες πτυχές της υγιεινής ζωής, λαμβάνοντας υπόψη την κατάσταση της υγείας του ασθενούς.

*Παρακολούθηση της αντίδρασης στη θεραπεία:* Οι ασθενείς μπορούν να παρακολουθούν την αντίδρασή τους σε θεραπευτικές αγωγές ή σε ιατρικές επεμβάσεις από το σπίτι τους, βοηθώντας έτσι τους γιατρούς να προσαρμόσουν τη θεραπεία ανάλογα.

Αυτές οι εφαρμογές των ψηφιακών διδύμων στην υγειονομική περίθαλψη και παρακολούθηση στο σπίτι επιτρέπουν την παροχή πιο εξατομικευμένης και αποτελεσματικής φροντίδας, μειώνοντας τον αριθμό των επισκέψεων στο νοσοκομείο και βελτιώνοντας την ποιότητα ζωής των ασθενών.

### 5.2.2 Παράδειγμα μελέτης εφαρμογής Ψηφιακού Διδύμου στην εξ αποστάσεως υγειονομική περίθαλψη

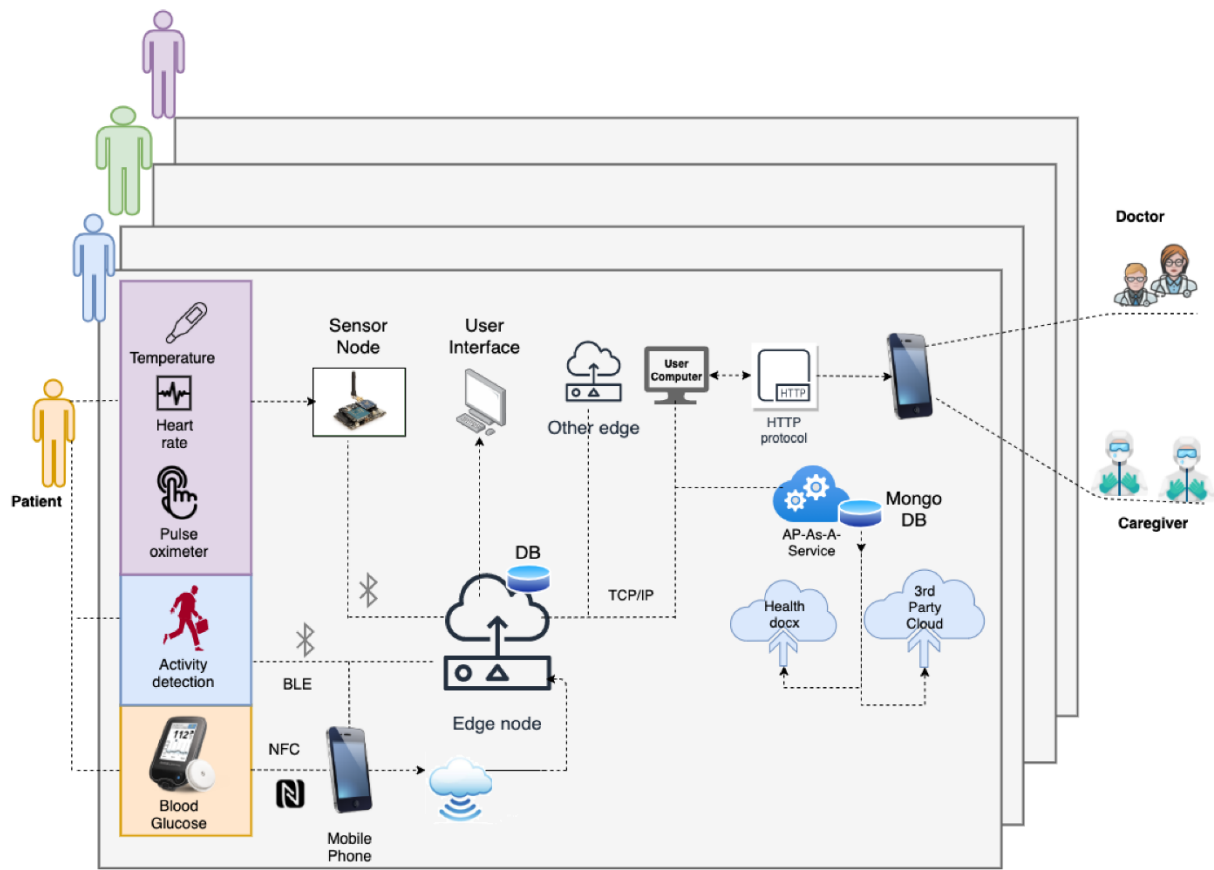
Σε μια πρόσφατη μελέτη των Thamothan et al., (2023) με τίτλο “Human Digital Twin for Personalized Elderly Type 2 Diabetes Management” παρουσιάστηκε ένα πλαίσιο Ανθρώπινου Ψηφιακού Διδύμου (HDT) για τη διαχείριση του διαβήτη τύπου 2 σε ηλικιωμένους με τη δομή που φαίνεται στην εικόνα 3.



Εικόνα 3.

**Δομή Ανθρώπινου Ψηφιακού Διδύμου (HDT). (Thamothan et al., 2023).**

Η διαχείριση του διαβήτη τύπου 2 σε ηλικιωμένους αποτελεί πρόκληση λόγω των συνθηκών του γήρατος, όπως η συννοσηρότητα και η λήψη πολλαπλών φαρμάκων, καθιστώντας την εξατομίκευση απαραίτητη για την ακριβή ιατρική πρακτική. Το προτεινόμενο πλαίσιο Ανθρώπινου Ψηφιακού Διδύμου (HDT) χρησιμοποιεί συσκευές IoT και αισθητήρες για να συγκεντρώσει δεδομένα από 15 ηλικιωμένους ασθενείς χρησιμοποιώντας μια δομή IoMT (internet of medical things) όπως φαίνεται και στην εικόνα 4. Το Ανθρώπινο Ψηφιακό Δίδυμο (HDT) μεταλλεύεται διάφορα δεδομένα ειδικά για τον ασθενή και κατασκευάζει ένα σύνολο μοντέλων για πρόβλεψη και διαχείριση προκειμένου να εξατομικεύσει τη θεραπεία του διαβήτη σε ασθενείς με διαβήτη τύπου 2. Μέσω μαθηματικών μοντέλων και μοντέλων βαθιάς μάθησης απανταίζονται διάφορες πτυχές του ασθενούς και το Ανθρώπινο Ψηφιακό Δίδυμο (HDT) αποκτά βαθύτερες γνώσεις για τον ασθενή επιτρέποντας την εξατομίκευση της θεραπείας και την ακριβή έγχυση ινσουλίνης.



Εικόνα 4. Δομή IoMT (Thamotharan et al., 2023).

Πιο συγκεκριμένα χρησιμοποιώντας την αρχιτεκτονική IoMT, λαμβάνονται στοιχεία βιολογικών σημάτων, επίπεδα γλυκόζης στο αίμα, σημειωμένες εικόνες τροφίμων, δραστηριότητα και άλλες αισθητήριες πληροφορίες. Επιπλέον, συλλέγονται δεδομένα σχετικά με τον ασθενή, όπως ιστορικό διαβήτη, οικογενειακό ιστορικό, συνοδούς παθήσεις, φάρμακα ή πολλαπλή κατανάλωση φαρμάκων, μέση κατανάλωση θερμίδων ανά ημέρα και άλλα δεδομένα.

Το Ανθρώπινο Ψηφιακό Δίδυμο (HDT) εφαρμόστηκε και δοκιμάστηκε σε 15 ασθενείς με διαβήτη τύπου 2 μέσω κλινικών δοκιμών και προσομοιώσεων. Τα αποτελέσματα υποδεικνύουν ότι η εξατομίκευση της αγωγής του διαβήτη μέσω του Ανθρώπινου Ψηφιακού Διδύμου (HDT) οδηγεί σε μια πιο σταθερή και ελεγχόμενη διαχείριση των επιπέδων γλυκόζης στο αίμα, βελτιώνοντας έτσι τον χρόνο που τα επίπεδα αυτά παραμένουν εντός επιθυμητών ορίων. Επιπλέον οι ασθενείς που χρησιμοποίησαν το Ανθρώπινο Ψηφιακό Δίδυμο (HDT) εμφάνισαν λιγότερα επεισόδια υπεργλυκαιμίας ή υπογλυκαιμίας, προσφέροντας μια πιο σταθερή και ασφαλή διαχείριση του διαβήτη τους. Το πιο σημαντικό είναι η παρατήρηση ότι η χρήση Ανθρώπινου Ψηφιακού Διδύμου (HDT) συνδέεται με μείωση της ανάγκης για έγχυση ινσουλίνης. Αυτό υποδεικνύει μια πιο αποτελεσματική διαχείριση της νόσου, μειώνοντας την εξάρτηση από φαρμακευτικές αγωγές.

## Συμπέρασμα

Συνολικά, τα συμπεράσματα υπογραμμίζουν ότι η εφαρμογή του Ανθρώπινου Ψηφιακού Διδύμου (HDT) αναδεικνύεται ως αποτελεσματική τεχνολογική λύση για τη βελτίωση της ποιότητας ζωής και της υγείας των ατόμων με διαβήτη τύπου 2. Αυτό δείχνει την υποσχόμενη δυνατότητα της τεχνολογίας στην υποστήριξη και βελτίωση της διαβητικής φροντίδας (Thamotharan et al., 2023).

Γενικά, η έρευνα για τα ψηφιακά δίδυμα και την εξ αποστάσεως παρακολούθηση αναδεικνύει τον τρόπο με τον οποίο η τεχνολογία συμβάλλει στην εξέλιξη της φροντίδας υγείας. Η επιτυχής εφαρμογή των ψηφιακών διδύμων στη διαχείριση του διαβήτη και η ευρύτερη χρήση της εξ αποστάσεως παρακολούθησης προσφέρουν νέες προοπτικές για την υγεία και την ποιότητα ζωής (Guo et al., 2020).

Τα ψηφιακά δίδυμα αντιπροσωπεύουν τη συμπραγματευτική σύνδεση μεταξύ της τεχνολογίας και της υγείας, προσφέροντας εξατομικευμένη, ακριβή και συνεχή φροντίδα. Μέσω της συλλογής, ανάλυσης και ερμηνείας δεδομένων από αισθητήρες και άλλες πηγές, τα ψηφιακά δίδυμα δίνουν τη δυνατότητα για πρόβλεψη, παρέμβαση και πρόληψη, βοηθώντας τους ασθενείς να διατηρούν ένα υγιές και ισορροπημένο τρόπο ζωής (Thamotharan et al., 2023).

Η εξ αποστάσεως παρακολούθηση επιτρέπει στους ασθενείς να λαμβάνουν φροντίδα υγείας ανεξάρτητα από την γεωγραφική τους θέση και την κινητικότητά τους. Με τη χρήση της τεχνολογίας επικοινωνιών και των φορητών συσκευών, οι ασθενείς μπορούν να συνδεθούν με τους γιατρούς τους και να λαμβάνουν οδηγίες, να παρακολουθούν την πρόοδό τους και να διαχειρίζονται την κατάστασή τους με αποτελεσματικό τρόπο.

Συνολικά, η εφαρμογή των ψηφιακών διδύμων, η εξ αποστάσεως χειρουργική και παρακολούθηση αντιπροσωπεύουν μια καινοτόμο και ευεργετική προσέγγιση στη φροντίδα της υγείας, που διευκολύνει την πρόσβαση, βελτιώνει την αποτελεσματικότητα και προωθεί την ευημερία των ασθενών. Αποτελούν ένα σημαντικό βήμα προς την εξατομίκευση και την ανθρωποκεντρική φροντίδα, δημιουργώντας ένα μέλλον υγείας που είναι πιο συνδεδεμένο, ενημερωμένο και αποτελεσματικό.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: Συμπέρασμα – Συζήτηση

### 6.1 Συμπέρασμα

Συμπερασματικά, τα ψηφιακά δίδυμα αντιπροσωπεύουν μια πρωτοποριακή ιδέα που έχει αποκτήσει εξέχουσα θέση τα τελευταία χρόνια, προσφέροντας μια νέα προοπτική για το πώς κατανοούμε και αλληλεπιδρούμε με τον φυσικό κόσμο. Το τρίτο κεφάλαιο της παρούσας εργασίας διερεύνησε τον ορισμό, τη λειτουργία, τις εφαρμογές και τις προκλήσεις που σχετίζονται με τα ψηφιακά δίδυμα, ρίχνοντας φως στην πολύπλευρη φύση αυτής της καινοτόμου τεχνολογίας.

Τα ψηφιακά δίδυμα, στον πυρήνα τους, είναι εικονικά αντίγραφα φυσικών περιουσιακών στοιχείων ή συστημάτων, παρέχοντας μια δυναμική και σε πραγματικό χρόνο αναπαράσταση της συμπεριφοράς τους. Επιτρέπουν τη βαθιά κατανόηση των πολύπλοκων συστημάτων, ενισχύοντας την καλύτερη λήψη αποφάσεων, την πρόβλεψη συντήρησης και τη βελτιωμένη συνολική απόδοση σε διάφορους κλάδους.

Οι εφαρμογές των ψηφιακών διδύμων, όπως παρουσιάστηκαν, είναι ποικίλες και συνεχίζουν να επεκτείνονται. Στην κατασκευή και την ανάπτυξη κτιρίων, βελτιστοποιούν τον σχεδιασμό και τη διαχείριση έργων. Στην αεροναυπηγική και το διάστημα, βελτιώνουν τη σχεδίαση, τις δοκιμές και τη λειτουργική αποτελεσματικότητα. Στις έξυπνες πόλεις, βελτιώνουν τον αστικό σχεδιασμό, τη βιωσιμότητα και τη συντήρηση των υποδομών. Οι κυβερνητικές υπηρεσίες επωφελούνται από τα ψηφιακά δίδυμα στη λήψη αποφάσεων βάσει δεδομένων και την παροχή δημόσιων υπηρεσιών. Οι διαδικασίες μηχανικής και σχεδιασμού γίνονται πιο αποτελεσματικές και καινοτόμες με την εφαρμογή τους. Στην αυτοκινητοβιομηχανία, τα ψηφιακά δίδυμα βελτιστοποιούν την παραγωγή και την απόδοση του οχήματος. Τέλος, στην υγειονομική περίθαλψη, επιτρέπουν την εξατομικευμένη θεραπεία και τη βελτίωση των αποτελεσμάτων των ασθενών. Η ευελιξία και η μετασχηματιστική δύναμη των ψηφιακών διδύμων συνεχίζουν να διαμορφώνουν και να φέρνουν επανάσταση σε αυτούς τους διαφορετικούς τομείς, υποσχόμενοι ένα πιο αποτελεσματικό, βιώσιμο και βασισμένο στα δεδομένα μέλλον.

Ωστόσο, η υιοθέτηση ψηφιακών διδύμων δεν είναι χωρίς προκλήσεις. Η διασφάλιση της ακρίβειας, της ασφάλειας και του απορρήτου των δεδομένων παραμένει μια ανησυχία, όπως και η διαλειτουργικότητα διαφόρων συστημάτων και προτύπων. Το κόστος υλοποίησης και η ανάγκη για εξαιρετικά εξειδικευμένες δεξιότητες παρουσιάζουν επίσης εμπόδια. Επιπλέον, οι ηθικές επιπτώσεις των ψηφιακών διδύμων, ειδικά όσον αφορά την ιδιωτικότητα και την επιτήρηση, απαιτούν προσεκτική εξέταση.

Τα ψηφιακά δίδυμα υπόσχονται να φέρουν επανάσταση στον τρόπο που αντιλαμβανόμαστε και αλληλεπιδρούμε με τον φυσικό κόσμο. Προσφέρουν άνευ προηγουμένου ευκαιρίες για καινοτομία, αποτελεσματικότητα και επίλυση προβλημάτων σε πολλούς τομείς. Ωστόσο, η αντιμετώπιση των προκλήσεων που θέτουν είναι απαραίτητη για την ευρεία και υπεύθυνη χρήση τους. Καθώς η τεχνολογία συνεχίζει να προοδεύει και η κατανόησή μας για τα ψηφιακά δίδυμα βαθύνει, είναι πιθανό να διαδραματίζουν ολοένα και πιο ζωτικό ρόλο στη διαμόρφωση του μέλλοντός μας και ο πιθανός αντίκτυπός τους δεν μπορεί να υπερεκτιμηθεί. Είναι επιτακτική ανάγκη να πλοηγηθούμε στις πολυπλοκότητες και τις ευκαιρίες των ψηφιακών διδύμων με σοφία και διορατικότητα, αξιοποιώντας τις μεταμορφωτικές τους δυνατότητες προς όφελος της κοινωνίας και του κόσμου γενικότερα.

Η έννοια των ψηφιακών διδύμων έχει αποδειχθεί ότι είναι μια μεταμορφωτική δύναμη στον τομέα της υγειονομικής περίθαλψης, προσφέροντας μια δυναμική και βασισμένη σε δεδομένα προσέγγιση για τη φροντίδα των ασθενών, την ιατρική έρευνα και τη διαχείριση του συστήματος υγειονομικής περίθαλψης. Το τέταρτο κεφάλαιο της παρούσας εργασίας, διερεύνησε τον ορισμό, τις εφαρμογές και τις προκλήσεις των ψηφιακών διδύμων ειδικά στον τομέα της υγειονομικής περίθαλψης, ρίχνοντας φως στον βαθύ αντίκτυπό τους.

Τα ψηφιακά δίδυμα στην υγειονομική περίθαλψη είναι εικονικές αναπαραστάσεις βιολογικών συστημάτων, ασθενών ή ιατρικών συσκευών, που επιτρέπουν την παρακολούθηση, την προσομοίωση και την ανάλυση σε πραγματικό χρόνο. Αυτή η τεχνολογία παρέχει μια μοναδική προοπτική για τη φροντίδα των ασθενών, την ιατρική έρευνα και τη βελτιστοποίηση του συστήματος υγειονομικής περίθαλψης.

Οι εφαρμογές των ψηφιακών διδύμων στην υγειονομική περίθαλψη, συμπεριλαμβανομένης της ανάπτυξης των ανθρωπίνων ψηφιακών διδύμων, του σχεδιασμού θεραπείας συγκεκριμένου ασθενούς, της ανάπτυξης φαρμάκων θεραπείας, της απομακρυσμένης παρακολούθησης και της χειρουργικής, της αποκατάστασης και της φυσικοθεραπείας, της κατάρτισης και της εκπαίδευσης και των νοσοκομειακών λειτουργιών, είναι έτοιμες να φέρουν επανάσταση στον τομέα της υγειονομικής περίθαλψης. Αυτές οι ποικίλες εφαρμογές αξιοποιούν τη δύναμη των ψηφιακών διδύμων για να παρέχουν εξατομικευμένες, βασισμένες σε δεδομένα λύσεις για καλύτερη φροντίδα των ασθενών, πιο αποτελεσματικές στρατηγικές θεραπείας, βελτιωμένες χειρουργικές διαδικασίες, βελτιωμένη αποκατάσταση και βελτιωμένη ιατρική εκπαίδευση. Καθώς τα ψηφιακά δίδυμα συνεχίζουν να προοδεύουν, έχουν την υπόσχεση να μετατρέψουν την υγειονομική περίθαλψη σε ένα πιο αποτελεσματικό, προσβάσιμο και με επίκεντρο τον ασθενή τομέα, συμβάλλοντας τελικά σε καλύτερα αποτελέσματα υγείας και βελτιωμένη συνολική ευημερία.

Ωστόσο, η υιοθέτηση ψηφιακών διδύμων στην υγειονομική περίθαλψη δεν είναι κι αυτή χωρίς προκλήσεις. Οι ανησυχίες για το απόρρητο και την ασφάλεια των δεδομένων είναι πρωταρχικής σημασίας, καθώς η ευαίσθητη φύση των δεδομένων υγειονομικής περίθαλψης απαιτεί αυστηρά μέτρα προστασίας. Η διαλειτουργικότητα μεταξύ των διαφόρων συστημάτων υγειονομικής περίθαλψης και η τυποποίηση των μορφών δεδομένων θέτουν εμπόδια στην απρόσκοπτη ενσωμάτωση των ψηφιακών διδύμων στην υπάρχουσα υποδομή υγειονομικής περίθαλψης. Επιπλέον, το υψηλό κόστος υλοποίησης και η ανάγκη για εξειδικευμένες δεξιότητες μπορεί να αποτελέσουν εμπόδια στην ευρεία υιοθέτηση. Οι ηθικοί προβληματισμοί σχετικά με τη συναίνεση του ασθενούς, την ιδιοκτησία των δεδομένων και τη διαφάνεια πρέπει να αντιμετωπίζονται προσεκτικά για να διατηρηθεί η εμπιστοσύνη και η συμμόρφωση με τους κανονισμούς.

Συνοπτικά, τα ψηφιακά δίδυμα στην υγειονομική περίθαλψη αντιπροσωπεύουν ένα πολλά υποσχόμενο σύνορο για τη βελτίωση των αποτελεσμάτων των ασθενών, την ενίσχυση της ιατρικής έρευνας και τη βελτιστοποίηση των συστημάτων υγειονομικής περίθαλψης. Η δυνατότητα δημιουργίας εικονικών αναπαραστάσεων ασθενών και ιατρικών διαδικασιών επιτρέπει πιο εξατομικευμένη και βασισμένη σε δεδομένα παροχή υγειονομικής περίθαλψης. Ενώ υπάρχουν προκλήσεις που πρέπει να ξεπεραστούν, τα πιθανά οφέλη από την άποψη της βελτιωμένης ποιότητας και αποτελεσματικότητας της υγειονομικής περίθαλψης είναι σημαντικά. Καθώς ο κλάδος της υγειονομικής περίθαλψης συνεχίζει να εξελίσσεται, η υπεύθυνη ενσωμάτωση των ψηφιακών διδύμων προσφέρει μια πορεία προς μια πιο προηγμένη και ασθενοκεντρική προσέγγιση στην υγειονομική περίθαλψη. Η αντιμετώπιση των προκλήσεων και των ηθικών ζητημάτων είναι ζωτικής σημασίας για την αξιοποίηση του πλήρους δυναμικού των ψηφιακών διδύμων στην υγειονομική περίθαλψη και, τελικά, για τη βελτίωση της ευημερίας των ατόμων και των κοινοτήτων.

Επιπλέον, τα ψηφιακά δίδυμα αποτελούν έναν ενθαρρυντικό παράγοντα για την εξέλιξη της εξ αποστάσεως χειρουργικής. Με τη χρήση τεχνολογιών όπως το ψηφιακό δίδυμο, οι χειρουργοί μπορούν να έχουν πρόσβαση σε πληροφορίες σχετικά με τους ασθενείς και τις επεμβάσεις ακόμα και πριν αυτές πραγματοποιηθούν. Αυτό δίνει τη δυνατότητα για προγραμματισμό, προσομοίωση και προετοιμασία επεμβάσεων, ενώ επιτρέπει την παρακολούθηση και την αντίδραση σε πραγματικό χρόνο κατά τη διάρκεια της επέμβασης. Η δυνατότητα αυτή μπορεί να βελτιώσει την ασφάλεια των επεμβάσεων και την ακρίβεια των ιατρικών πράξεων, μειώνοντας τους κινδύνους και βελτιώνοντας τα αποτελέσματα. Παράλληλα, παρέχει τη δυνατότητα για επικοινωνία και συνεργασία μεταξύ του ιατρικού προσωπικού και του ασθενούς ακόμα και από απόσταση, βελτιώνοντας έτσι την παροχή φροντίδας υγείας. Παράλληλα, ωστόσο, προκύπτει ότι η επιτυχή εφαρμογή των ψηφιακών διδυμάτων στην εξ αποστάσεως χειρουργική απαιτεί περαιτέρω έρευνα και ανάπτυξη σε πολλούς τομείς, συμπεριλαμβανομένων των τεχνολογιών δικτύου, της ασφάλειας δικτύου και των μεθόδων επικοινωνίας, προκειμένου να διασφαλιστεί η αξιοπιστία, η ασφάλεια και η αποτελεσματικότητα των επικοινωνιακών συστημάτων και των ψηφιακών διδυμάτων στο πλαίσιο της χειρουργικής πρακτικής.

Τέλος σχετικά με την εξ αποστάσεως παρακολούθηση ασθενών, τα Ψηφιακά Δίδυμα αποτελούν επίσης μια εξαιρετικά αποτελεσματική τεχνολογική προσέγγιση για τη διαχείριση του διαβήτη τύπου 2 σε ηλικιωμένους ασθενείς. Η χρήση του Ανθρώπινου Ψηφιακού Διδύμου (HDT) επιτρέπει τη συγκέντρωση και ανάλυση πληθώρας δεδομένων, τα οποία χρησιμοποιούνται για την εξατομίκευση της θεραπείας και την ακριβή έγκυση ινσουλίνης. Οι κλινικές δοκιμές και οι προσομοιώσεις επιβεβαιώνουν την αποτελεσματικότητα του



Ανθρώπινου Ψηφιακού Διδύμου (HDT) στη βελτίωση του χρόνου εντός εύρους, τη μείωση των επεισοδίων υπεργλυκαιμίας και υπογλυκαιμίας, και τη μείωση της έγχυσης ινσουλίνης. Κατά συνέπεια, τα Ψηφιακά Δίδυμα φαίνεται να αποτελούν μια αποτελεσματική λύση για τη βελτίωση της ποιότητας ζωής και της υγείας των ατόμων με διαβήτη τύπου 2.

## **6.2 Μελλοντικές κατευθύνσεις έρευνας**

Καθώς ο τομέας των ψηφιακών διδύμων σε όλους τους κλάδους και κυρίως στον τομέα της υγειονομικής περίθαλψης συνεχίζει να εξελίσσεται, υπάρχουν αρκετοί συναρπαστικοί δρόμοι για μελλοντική έρευνα που μπορούν να προωθήσουν περαιτέρω την κατανόησή μας και τη χρήση αυτής της μετασχηματιστικής τεχνολογίας. Αυτό το υποκεφάλαιο διερευνά πιθανές κατευθύνσεις έρευνας και τομείς καινοτομίας που μπορούν να διαμορφώσουν το μέλλον των ψηφιακών διδύμων στην υγειονομική περίθαλψη και όχι μόνο.

### **6.2.1 Ενοποίηση με Αναδυόμενες Τεχνολογίες**

Η ενσωμάτωση των ψηφιακών διδύμων με τις αναδυόμενες τεχνολογίες όπως το 5G, το edge computing και το blockchain προσφέρει συναρπαστικές ευκαιρίες. Η μελλοντική έρευνα μπορεί να διερευνήσει πώς αυτές οι τεχνολογίες μπορούν να βελτιώσουν τη μετάδοση δεδομένων, την επεξεργασία και την ασφάλεια σε ψηφιακές διπλές εφαρμογές, οδηγώντας τελικά σε πιο αποτελεσματικά και ασφαλή συστήματα υγειονομικής περίθαλψης.

### **6.2.2 Ανάλυση δεδομένων και τεχνητή νοημοσύνη σε πραγματικό χρόνο**

Οι εξελίξεις στην ανάλυση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο και στους αλγόριθμους τεχνητής νοημοσύνης (AI) έχουν τη δυνατότητα να βελτιώσουν σημαντικά τις προγνωστικές και διαγνωστικές ικανότητες των ψηφιακών διδύμων. Η μελλοντική έρευνα μπορεί να διερευνήσει πώς τα μοντέλα τεχνητής νοημοσύνης και μηχανικής μάθησης μπορούν να εφαρμοστούν σε ψηφιακά δίδυμα για πιο ακριβείς και έγκαιρες προβλέψεις και παρεμβάσεις στον τομέα της υγείας.

### **6.2.3 Συνεργασία ανθρώπου-μηχανής**

Η έρευνα για τη συνεργασία ανθρώπου-μηχανής σε ψηφιακά δίδυμα υγειονομικής περίθαλψης μπορεί να διερευνήσει πώς οι επαγγελματίες υγείας και τα ψηφιακά δίδυμα που οδηγούνται από τεχνητή νοημοσύνη μπορούν να συνεργαστούν αποτελεσματικά. Αυτό περιλαμβάνει την κατανόηση των βέλτιστων πρακτικών για την ερμηνεία και τη δράση βάσει ψηφιακών διδύμων πληροφοριών, καθώς και την ανάπτυξη φιλικών προς τον χρήστη διεπαφών για παρόχους υγειονομικής περίθαλψης.

### **6.2.4 Ηθικά και Νομικά Πλαίσια**

Με την αυξανόμενη υιοθέτηση των ψηφιακών διδύμων στην υγειονομική περίθαλψη, καθίσταται ζωτικής σημασίας να δημιουργηθούν ολοκληρωμένα ηθικά και νομικά πλαίσια. Η μελλοντική έρευνα μπορεί να επικεντρωθεί στην ανάπτυξη και τη βελτίωση αυτών των πλαισίων, την αντιμετώπιση ζητημάτων ιδιοκτησίας δεδομένων, τη συναίνεση του ασθενούς, το απόρρητο και τη διασφάλιση της ηθικής και κανονιστικής συμμόρφωσης.

### **6.2.5 Διαχρονικές Μελέτες και Αποτελέσματα**

Οι διαχρονικές μελέτες μπορούν να αξιολογήσουν τη μακροπρόθεσμη επίδραση των ψηφιακών διδύμων στην υγειονομική περίθαλψη, ειδικά στη διαχείριση χρόνιων ασθενειών και στη βελτιστοποίηση των σχεδίων θεραπείας. Οι ερευνητές μπορούν να παρακολουθούν τα αποτελέσματα των ασθενών και τις βελτιώσεις του

### **6.2.6 Δέσμευση και Ενδυνάμωση Ασθενούς**

Τα ψηφιακά δίδυμα έχουν τη δυνατότητα να ενδυναμώσουν τους ασθενείς παρέχοντάς τους εξατομικευμένες γνώσεις υγειονομικής περίθαλψης. Μελλοντική έρευνα μπορεί να διερευνήσει πώς τα ψηφιακά δίδυμα μπορούν να σχεδιαστούν για να εμπλέκουν τους ασθενείς στη δική τους φροντίδα, βελτιώνοντας την τήρηση των σχεδίων θεραπείας και τη συνολική ευημερία.

### **6.2.7 Κατανομή πόρων και αποδοτικότητα κόστους**

Η αποτελεσματικότητα στην κατανομή των πόρων της υγειονομικής περίθαλψης παραμένει κρίσιμη ανησυχία. Η μελλοντική έρευνα μπορεί να διερευνήσει πώς τα ψηφιακά δίδυμα μπορούν να βελτιστοποιήσουν την κατανομή των πόρων, μειώνοντας το κόστος υγειονομικής περίθαλψης διατηρώντας ή ακόμα και βελτιώνοντας την ποιότητα της περίθαλψης.

### **6.2.8 Παγκόσμιες Εφαρμογές Υγείας**

Η έρευνα μπορεί να επεκτείνει το εύρος των ψηφιακών διδύμων στην υγειονομική περίθαλψη για να αντιμετωπίσει παγκόσμιες προκλήσεις υγείας, όπως πανδημίες, ρυθμίσεις περιορισμένων πόρων και πρόσβαση στην υγειονομική περίθαλψη σε απομακρυσμένες περιοχές. Τα ψηφιακά δίδυμα μπορούν να διαδραματίσουν ζωτικό ρόλο στη βελτιστοποίηση της διανομής των πόρων και στη βελτίωση της παροχής υγειονομικής περίθαλψης παγκοσμίως.

### **6.2.9 Διαθεματική Συνεργασία**

Η διεπιστημονική συνεργασία μεταξύ επαγγελματιών υγείας, επιστημόνων δεδομένων, μηχανικών και επιστημόνων ηθικής είναι απαραίτητη για την επιτυχή ενσωμάτωση των ψηφιακών διδύμων στην υγειονομική περίθαλψη. Η μελλοντική έρευνα μπορεί να διερευνήσει τη δυναμική και τις βέλτιστες πρακτικές για την προώθηση της συνεργασίας σε αυτούς τους διαφορετικούς τομείς.

### **6.2.10 Βελτιώσεις ασφάλειας και απορρήτου**

Καθώς η ασφάλεια των δεδομένων υγειονομικής περίθαλψης γίνεται ολοένα και πιο κρίσιμη, η έρευνα μπορεί να επικεντρωθεί στην ανάπτυξη προηγμένων μηχανισμών ασφάλειας και απορρήτου ειδικά προσαρμοσμένων για ψηφιακές δίδυμες εφαρμογές στην υγειονομική περίθαλψη. Αυτό περιλαμβάνει πρωτόκολλα κρυπτογράφησης, ελέγχου ταυτότητας και ασφαλούς κοινής χρήσης δεδομένων.

Συμπερασματικά, το μέλλον των ψηφιακών διδύμων στην υγειονομική περίθαλψη είναι ένας πολλά υποσχόμενος και ταχέως εξελισσόμενος τομέας με πλήθος ερευνητικών ευκαιριών. Η διερεύνηση αυτών των προτεινόμενων κατευθύνσεων έρευνας όχι μόνο θα διευρύνει τις γνώσεις μας, αλλά θα οδηγήσει επίσης στην καινοτομία, οδηγώντας τελικά σε πιο αποτελεσματικά, αποδοτικά και με επίκεντρο τον ασθενή συστήματα υγειονομικής περίθαλψης. Καθώς η τεχνολογία και η υγειονομική περίθαλψη συνεχίζουν να διασταυρώνονται, οι δυνατότητες για πρωτοποριακές ανακαλύψεις και λύσεις είναι τεράστιες και οι ερευνητές είναι έτοιμοι να διαμορφώσουν το μέλλον της υγειονομικής περίθαλψης μέσω της εξέλιξης των ψηφιακών διδύμων.

### 6.3 Επίλογος

Στον επίλογο της παρούσας εργασίας, θα μπορούσε να γίνει μια ανασκόπηση με τα κύρια σημεία που έχουν αναδειχθεί σχετικά με τα ψηφιακά δίδυμα και να επισημανθεί η σημασία τους στη σύγχρονη κοινωνία. Τα ψηφιακά δίδυμα αντιπροσωπεύουν μια εξαιρετικά σημαντική έννοια στον κόσμο της τεχνολογίας και της βιομηχανίας.

Καταρχάς, έχει διερευνηθεί η έννοια των ψηφιακών διδύμων και η εξέλιξή τους από την αρχική ιδέα στην εφαρμογή τους σε διάφορους τομείς, όπως η κατασκευή, η βιομηχανία κι ειδικότερα η υγεία. Η ιδέα των ψηφιακών διδύμων ανοίγει νέες προοπτικές για τη σύνδεση του φυσικού κόσμου με τον ψηφιακό, δημιουργώντας ένα περιβάλλον στο οποίο οι δύο κόσμοι αλληλεπιδρούν συνεχώς.

Επιπλέον, αναδείχθηκαν οι προκλήσεις που προκύπτουν από την εφαρμογή των ψηφιακών διδύμων. Αν και υπάρχουν πολλές ευκαιρίες για τη βελτίωση της αποτελεσματικότητας και τη μείωση του κινδύνου σε διάφορους τομείς, πρέπει να αντιμετωπισθούν προσεκτικά τα θέματα της ιδιωτικότητας και της ασφάλειας δεδομένων. Είναι απαραίτητο να αναπτυχθούν αυστηροί κανονισμοί για τη διαχείριση και προστασία των ψηφιακών διδύμων.

Συνοψίζοντας, τα ψηφιακά δίδυμα αποτελούν έναν σημαντικό παράγοντα της ψηφιακής επανάστασης, προσφέροντας αμέτρητες ευκαιρίες και προκλήσεις. Η σωστή διαχείριση και αξιοποίησή τους θα έχει σημαντικές επιπτώσεις στον τρόπο με τον οποίο ζούμε, εργαζόμαστε και επικοινωνούμε. Είναι σημαντικό να διατηρούμε μια εποικοδομητική στάση ανοικτότητας και καινοτομίας, προκειμένου να αξιοποιήσουμε πλήρως το δυναμικό των ψηφιακών διδύμων και να δημιουργήσουμε έναν κόσμο που αντικατοπτρίζει τις τελευταίες εξελίξεις στην τεχνολογία και την επιστήμη.

## Βιβλιογραφία

Adjei, P. and Montasari, R. (2020). A Critical Overview of Digital Twins. *International Journal of Strategic Engineering*, 3(1), pp.51–61.

doi:<https://doi.org/10.4018/ijose.2020010104>.

Ascone, C. and Vanderhaegen, F. (2022). Towards a Holistic Framework for Digital Twins of Human-Machine Systems. *IFAC-PapersOnLine*, 55(29), pp.67–72.

doi:<https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2022.10.233>.

Ballard, D.H., Trace, A.P., Ali, S., Hodgdon, T., Zygmunt, M.E., DeBenedictis, C.M., Smith, S.E., Richardson, M.L., Patel, M.J., Decker, S.J. and Lenchik, L. (2018). Clinical Applications of 3D Printing. *Academic Radiology*, 25(1), pp.52–65.

doi:<https://doi.org/10.1016/j.acra.2017.08.004>.

Barnard, A., and McCann, J. (1983). *Computer-Aided Design and Computer-Aided Manufacture: The State of the Art*. Pergamon Press.

Bonne, S., Panitch, W., Karthik Dharmarajan, Srinivas, K., Kincade, J.-L., Low, T., Knoth, B., Cowan, C., Fer, D., Brijen Thananjeyan, Kerr, J., Ichnowski, J. and Goldberg, K. (2022). A Digital Twin Framework for Telesurgery in the Presence of Varying Network Quality of Service. 2022 IEEE 18th International Conference on Automation Science and Engineering (CASE).

doi:<https://doi.org/10.1109/case49997.2022.9926585>.

Botín-Sanabria, D.M., Mihaita, A.-S., Peimbert-García, R.E., Ramírez-Moreno, M.A., Ramírez-Mendoza, R.A. and Lozoya-Santos, J. de J. (2022). Digital Twin Technology Challenges and Applications: A Comprehensive Review. *Remote Sensing*, 14(6), p.1335. doi:<https://doi.org/10.3390/rs14061335>.

Bruynseels, K., Santoni de Sio, F. and van den Hoven, J. (2018). Digital Twins in Health Care: Ethical Implications of an Emerging Engineering Paradigm. *Frontiers in Genetics*, [online] 9, p.31. doi:<https://doi.org/10.3389/fgene.2018.00031>.

Cai, X., Wang, Z., Li, S., Pan, J., Li, C. and Tai, Y. (2023). Implementation of a Virtual Reality Based Digital-Twin Robotic Minimally Invasive Surgery Simulator. *Bioengineering*, [online] 10(11), p.1302. doi:<https://doi.org/10.3390/bioengineering10111302>.

Callista, M. and Hendra Tjahyadi (2022). Digital Twin and Big Data in Healthcare. doi:<https://doi.org/10.1109/ictia54654.2022.9935847>.

Caragliu, A., Del Bo, C. and Nijkamp, P. (2011). Smart Cities in Europe. *Journal of Urban Technology*, [online] 18(2), pp.65–82.

doi:<https://doi.org/10.1080/10630732.2011.601117>.

Cellina, Michaela, Maurizio Cè, Marco Ali, Giovanni Irmici, Simona Ibba, Elena Caloro, Deborah Fazzini, Giancarlo Oliva, and Sergio Papa. (2023). "Digital Twins: The New Frontier for Personalized Medicine?" *Applied Sciences* 13, no. 13: 7940.

doi:<https://doi.org/10.3390/app13137940>

Cimino, C., Negri, E. and Fumagalli, L. (2019). Review of digital twin applications in manufacturing. *Computers in Industry*, [online] 113, p.103130.

doi:<https://doi.org/10.1016/j.compind.2019.103130>.

Croatti, A., Gabellini, M., Montagna, S. and Ricci, A. (2020). On the Integration of Agents and Digital Twins in Healthcare. *Journal of Medical Systems*, 44(9). doi:<https://doi.org/10.1007/s10916-020-01623-5>.

Dash, S., Shakyawar, S.K., Sharma, M. and Kaushik, S. (2019). Big data in healthcare: management, analysis and future prospects. *Journal of Big Data*, 6(1), pp.1–25. doi:<https://doi.org/10.1186/s40537-019-0217-0>.

Dunne, C. (2011). The place of the literature review in grounded theory research. *International Journal of Social Research Methodology*, 14(2), pp.111–124.

doi:<https://doi.org/10.1080/13645579.2010.494930>.

Dziopa, F. and Ahern, K. (2011). A Systematic Literature Review of the Applications of Q-Technique and Its Methodology. *Methodology*, 7(2), pp.39–55. doi:<https://doi.org/10.1027/1614-2241/a000021>.

Eastman, C.M., Teicholz, P.M., Sacks, R. and Lee, G. (2011). *BIM handbook : A guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors*. Hoboken, New Jersey: Wiley.

Erol, T., Mendi, A.F. and Doğan, D. (2020). The Digital Twin Revolution in Healthcare. [online] *IEEE Xplore*. doi:<https://doi.org/10.1109/ISMSIT50672.2020.9255249>.

Fang, X., Li, H., Tettamanti, T., Eichberger, A. and Fellendorf, M. (2022). Effects of Automated Vehicle Models at the Mixed Traffic Situation on a Motorway Scenario. *Energies*, 15(6), p.2008. doi:<https://doi.org/10.3390/en15062008>.

Gil-Garcia, J.R., Zhang, J. and Puron-Cid, G. (2016). Conceptualizing smartness in government: An integrative and multi-dimensional view. *Government Information Quarterly*, 33(3), pp.524–534. doi:<https://doi.org/10.1016/j.giq.2016.03.002>.

Glaessgen, E. and Stargel, D. (2012). The Digital Twin Paradigm for Future NASA and U.S. Air Force Vehicles. [online] *Semantic Scholar*. doi:<https://doi.org/10.2514/6.2012-1818>.

Grant, M.J. and Booth, A. (2009). A Typology of reviews: an Analysis of 14 Review Types and Associated Methodologies. *Health Information & Libraries Journal*, 26(2), pp.91–108. doi:<https://doi.org/10.1111/j.1471-1842.2009.00848.x>.

Grieves, M. and Vickers, J. (2016). Digital Twin: Mitigating Unpredictable, Undesirable Emergent Behavior in Complex Systems. *Transdisciplinary Perspectives on Complex Systems*, pp.85–113. doi:[https://doi.org/10.1007/978-3-319-38756-7\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-319-38756-7_4).

Guo, J., Xu, L., Zhang, H. and Yang, Q. (2020). Clinical Analysis of Magnetic Nanoparticle Contrast Agent in the Diagnosis of Occult Fracture by Multislice Spiral CT and MRI. *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, 20(10), pp.6568–6576. doi:<https://doi.org/10.1166/jnn.2020.18565>.

Huynh, H.M., Nguyen, L.T.T., Vo, B., Yun, U., Oplatková, Z.K. and Hong, T.-P. (2020). Efficient algorithms for mining clickstream patterns using pseudo-IDLists. *Future Generation Computer Systems*, 107, pp.18–30. doi:<https://doi.org/10.1016/j.future.2020.01.034>.

Karakra, A., Fontanili, F., Lamine, E., Lamothe, J. and Taweel, A. (2018). Pervasive Computing Integrated Discrete Event Simulation for a Hospital Digital Twin. 2018 IEEE/ACS 15th International Conference on Computer Systems and Applications (AICCSA). doi:<https://doi.org/10.1109/aiccsa.2018.8612796>.

Laaki, H., Miche, Y. and Tammi, K. (2019). Prototyping a Digital Twin for Real Time Remote Control Over Mobile Networks: Application of Remote Surgery. *IEEE Access*, 7, pp.20325–20336. doi:<https://doi.org/10.1109/access.2019.2897018>.

Liu, C., Zoph, B., Neumann, M., Shlens, J., Hua, W., Li, L. J., ... and Murphy, K. (2018). Progressive neural architecture search. In *Proceedings of the European conference on computer vision (ECCV)* (pp. 19–34).

Maddahi, Y. and Chen, S. (2022). Applications of Digital Twins in the Healthcare Industry: Case Review of an IoT-Enabled Remote Technology in Dentistry. *Virtual Worlds*, 1(1), pp.20–41. doi:<https://doi.org/10.3390/virtualworlds1010003>.

Mazhar Rathore, M., Shah, S.A., Shukla, D., Bentafat, E. and Bakiras, S. (2021). The Role of AI, Machine Learning, and Big Data in Digital Twinning: A Systematic Literature Review, Challenges, and Opportunities. *IEEE Access*, 9, pp.1–1. doi:<https://doi.org/10.1109/access.2021.3060863>.

Méndez, D. and García, C.E. (2023). Robotic digital twin as a training platform for rehabilitation health personnel. *Enfoque*, 14(3), pp.19–26. doi:<https://doi.org/10.29019/enfoqueute.971>.

NASA. (2016). A New Dimension in Space Exploration: The Digital Twin. NASA Technical Report.

NASA. (2018). Digital Twins for Space Applications: A Collaborative Approach. NASA Technical Report.

Peng, Y., Zhang, M., Yu, F., Xu, J. and Gao, S. (2020). Digital Twin Hospital Buildings: An Exemplary Case Study through Continuous Lifecycle Integration. *Advances in Civil Engineering*, 2020, pp.1–13. doi:<https://doi.org/10.1155/2020/8846667>.

Peshkova, M.A., Yumasheva, V., Rudenko, E., Kretova, N., Timashev, P. and Demura, T. (2023). Digital twin concept: Healthcare, education, research. *Journal of Pathology Informatics*, 14, pp.100313–100313. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jpi.2023.100313>.

Peyman, R.H., Ahmadi, M., Aziz, R., Zahra, S., Farahnaz, S. and Nader, M. (2012). Clinical Care Improvement with Use of Health Information Technology Focusing on Evidence Based Medicine. *Healthcare Informatics Research*, [online] 18(3), pp.164–170.

doi:<https://doi.org/10.4258/hir.2012.18.3.164>.

Qi, Q., Tao, F., Hu, T., Anwer, N., Liu, A., Wei, Y., Wang, L. and Nee, A.Y.C. (2019). Enabling technologies and tools for digital twin. *Journal of Manufacturing Systems*, 58.

doi:<https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2019.10.001>.

Rosen, R., von Wichert, G., Lo, G., and Bettenhausen, K. D. (2015). About The Importance of Autonomy and Digital Twins for the Future of Manufacturing. *IFAC-PapersOnLine*, 48(3), 567–572. <https://doi.org/10.1016/J.IFACOL.2015.06.141>

Ricci, A., Croatti, A. and Montagna, S. (2021). Pervasive and Connected Digital Twins – A Vision for Digital Health. *IEEE Internet Computing*, [online] pp.1–1.

doi:<https://doi.org/10.1109/MIC.2021.3052039>.

Saxby, D.J., Pizzolato, C. and Diamond, L.E. (2023). A Digital Twin Framework for Precision Neuromusculoskeletal Health Care: Extension Upon Industrial Standards. *Journal of Applied Biomechanics*, 39(5), pp.347–354. doi:<https://doi.org/10.1123/jab.2023-0114>.

Selamat, M.H., Othman, M.S., Shamsuddin, N.H.M., Zukepli, N.I.M. and Hassan, A.F. (2012). A review on open source architecture in Geographical Information Systems. [online] *IEEE Xplore*. doi:<https://doi.org/10.1109/ICCIsci.2012.6297165>.

Snyder, H. (2019). Literature Review as a Research methodology: an Overview and Guidelines. *Journal of Business Research*, [online] 104(1), pp.333–339. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2019.07.039>.

Sun, T., He, X. and Li, Z. (2023). Digital twin in healthcare: Recent updates and challenges. *DIGITAL HEALTH*, 9, p.205520762211496. <https://doi.org/10.1177/20552076221149651>.

Tao, F. and Zhang, M. (2017). Digital Twin Shop-Floor: A New Shop-Floor Paradigm Towards Smart Manufacturing. *IEEE Access*, [online] 5, pp.20418–20427.

doi:<https://doi.org/10.1109/access.2017.2756069>.

Tao, F., Cheng, J., Qi, Q., Zhang, M., Zhang, H. and Sui, F. (2018). Digital twin-driven product design, manufacturing and service with big data. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, [online] 94(9-12), pp.3563–3576. doi:<https://doi.org/10.1007/s00170-017-0233-1>.

Tao, F., Zhang, H., Liu, A. and Nee, A.Y.C. (2019). Digital Twin in Industry: State-of-the-Art. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 15(4), pp.2405–2415.

doi:<https://doi.org/10.1109/tii.2018.2873186>.

Thamotharan, P., Srinivasan, S., Kesavadev, J., Krishnan, G., Mohan, V., Seshadhri, S., Bekiroglu, K. and Toffanin, C. (2023). Human Digital Twin for Personalized Elderly Type 2 Diabetes Management. *Journal of Clinical Medicine*, 12(6), p.2094. doi:<https://doi.org/10.3390/jcm12062094>.

Topol, E. J. (2015). *The patient will see you now: The future of medicine is in your hands*. Basic Books.

Topol, E.J. (2019). High-performance medicine: the convergence of human and artificial intelligence. *Nature Medicine*, 25(1), pp.44–56. doi:<https://doi.org/10.1038/s41591-018-0300-7>.

Turing, A. M. (1936). On Computable Numbers, with an Application to the Entscheidungsproblem. *Proceedings of the London Mathematical Society*, 42(1), 230-265.

Vrabič, R., Erkoyuncu, J.A., Butala, P. and Roy, R. (2018). Digital twins: Understanding the added value of integrated models for through-life engineering services. *Procedia Manufacturing*, 16, pp.139–146. doi:<https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.10.167>.

Zheng, Y., Lu, R., Guan, Y., Zhang, S. and Shao, J. (2021). Towards Private Similarity Query based Healthcare Monitoring over Digital Twin Cloud Platform.

doi:<https://doi.org/10.1109/iwqos52092.2021.9521351>.

Zoltán Ferenc Magosi, Christoph Wellershaus, Viktor Tihanyi, Luley, P. and Eichberger, A. (2022). Evaluation Methodology for Physical Radar Perception Sensor Models Based on On-Road Measurements for the Testing and Validation of Automated Driving. *Energies*, 15(7), pp.2545–2545.

doi:<https://doi.org/10.3390/en15072545>.