



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
Εθνικόν και Καποδιστριακόν
Πανεπιστήμιον Αθηνών

ΣΧΟΛΗ
ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΩΝ ΚΑΙ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΔΙΟΙΚΗΣΗ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΩΝ ΜΟΝΑΔΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΤΙΤΛΟΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

*«Προοπτικές Εφαρμογής της Τεχνολογίας Blockchain στο φάσμα της
Υγειονομικής Περίθαλψης»*

ΟΝΟΜΑ ΦΟΙΤΗΤΗ

ΕΥΑΓΓΕΛΟΣ ΤΡΙΑΝΤΑΦΥΛΛΟΣ

Α΄ ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΝΙΚΟΣ ΚΟΤΣΟΠΟΥΛΟΣ.....

Β΄ ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΙΩΑΝΝΗΣ ΥΦΑΝΤΟΠΟΥΛΟΣ.....

ΑΘΗΝΑ
ΙΟΥΛΙΟΣ, 2020

Περίληψη

Παρά τις όποιες διαφωνίες για το εάν η τεχνολογία blockchain είναι ριζοσπαστική η αποδιαρθρωτική καινοτομία, αυτό που όλοι συμφωνούν είναι ότι επιφέρει θεμελιώδεις αλλαγές σε διάφορους κλάδους, συμπεριλαμβανομένου και του τομέα της υγειονομικής περίθαλψης. Η αποκεντρωμένη της λειτουργία και η κατάργηση της απαίτησης ύπαρξης έμπιστης τρίτης οντότητας σε συνδυασμό με την διαφάνεια, το αμετάβλητο των δεδομένων, την ανθεκτικότητα, την αυτονομία και την ανωνυμία που προσφέρει στους συναλλασσόμενους, αποτελούν ιδιότητες που ο κλάδος της υγειονομικής περίθαλψης μπορεί να επωφεληθεί δίνοντας λύσεις σε χρόνια προβλήματα και παθογένειες. Η παρούσα διατριβή διερευνά τις δυνατότητες με τις οποίες μια νέα τεχνολογία όπως η blockchain μπορεί να επηρεάσει την ψηφιακή υγειονομική περίθαλψη της Ελλάδας. Ειδικότερα, ερευνάται πώς η τεχνολογία blockchain θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί στη μετάβαση προς μια νέα κατανόηση της θεσμικής εμπιστοσύνης και πώς μπορεί να συμβάλλει στο τομέα της Υγειονομικής Περίθαλψης. Η απάντηση στα ερευνητικά ερωτήματα για το εάν αυτό το σύνθετο οικοσύστημα της υγειονομικής περίθαλψης θα μπορούσε να επωφεληθεί από μια ισχυρή ψηφιακή πλατφόρμα για την ανταλλαγή δεδομένων σε πραγματικό χρόνο και για το εάν μπορεί να εξασφαλίσει την απαιτούμενη ασφάλεια στη διαχείριση των εμπιστευτικών δεδομένων με ταυτόχρονη διασφάλιση οικονομικών κλίμακος, δίνεται με την ανάλυση σε βάθος της δομής, της λειτουργίας, των τύπων, των μηχανισμών συναίνεσης, τον εντοπισμό των ωφελειών και των προκλήσεων από την ενσωμάτωση της blockchain και την αποτύπωση μιας σειράς από ενδεικτικές εφαρμογές στον κλάδο.

Abstract

Despite the controversy over whether blockchain technology is radical or disruptive innovation, what everyone agrees on is that it brings about fundamental change in a variety of industries, including healthcare. Its decentralized operation and the abolition of the requirement of a trusted third party in combination with the transparency, invariability of data, resilience, autonomy and anonymity it offers to traders, are qualities that the healthcare industry can benefit from by providing solid solutions in chronic problems and pathogens. This dissertation explores the possibilities with which a new technology such as blockchain can affect digital healthcare in Greece. In particular, it explores how blockchain technology could be used in the transition to a new understanding of institutional trust and how it can contribute to healthcare. The answer to research questions about whether this complex healthcare ecosystem could benefit from a robust digital platform for real-time data exchange and whether it can provide the required security in confidential data management while reassuring economies of scale, is given by in-depth analysis of the structure, operation, types, consensus mechanisms, identifying the benefits and challenges of blockchain integration and recording a range of indicative applications in the industry

Πίνακας περιεχομένων

Εισαγωγή.....	1
Κεφάλαιο 1: Περιγραφή διπλωματικής	5
1.1. Σκοπός και ερευνητικά ερωτήματα	5
1.2. Βιβλιογραφική επισκόπηση	5
Κεφάλαιο 2: Τεχνολογία blockchain	10
2.1. Ορισμός της blockchain	10
2.2. Λειτουργία της blockchain.....	11
2.3. Τύποι blockchain	14
2.4. Μηχανισμοί - Πρωτόκολλα Συναίνεσης.....	16
2.5. Οφέλη της blockchain.....	21
2.6. Προβλήματα και προκλήσεις στην εφαρμογή της blockchain	27
2.6.1. Προβλήματα και αξιολόγηση καταλληλότητας εφαρμογής	27
2.6.2. Προκλήσεις	34
2.7. Σύνοψη πλεονεκτημάτων - προκλήσεων	42
Κεφάλαιο 3: Αξιοποίηση τεχνολογίας blockchain στην υγειονομική περίθαλψη.....	46
3.1. Πιθανές εφαρμογές blockchain.....	46
3.1.1. Ηλεκτρονικά Ιατρικά Αρχεία – Ιατρικός φάκελος Ασθενή.....	47
3.1.2. Κλινική Έρευνα	49
3.1.3. Ανίχνευση ιατρικής απάτης	50
3.1.4. Φαρμακευτική βιομηχανία και έρευνα	51
3.1.5. Ασφάλιση	54
Κεφάλαιο 4: Συμπεράσματα – Προτάσεις.....	63
4.1. Συμπεράσματα	63
4.2. Προτάσεις	66
Βιβλιογραφία	68

Πίνακας σχημάτων

Σχήμα 1. Δαπάνες για την υγειονομική περίθαλψη ως ποσοστό του ακαθάριστου εγχώριου προϊόντος σε επιλεγμένες χώρες το 2018	1
Σχήμα 2. Συλλογή δεδομένων κατά τη διάρκεια ροής φαρμακευτικών προϊόντων στην αλυσίδα εφοδιασμού.	8
Σχήμα 3. Η διαδικασία της blockchain.	12
Σχήμα 4. Δομή blockchain	13
Σχήμα 5. Χαρακτηριστικά blockchain.	14
Σχήμα 6. Περίπτωση προβλήματος Βυζαντινών όπου ο διοικητής είναι προδότης ...	17
Σχήμα 7. Μηχανισμοί συναίνεσης των 50 κορυφαίων κρυπτονομισμάτων με βάση την κεφαλαιοποίηση της αγοράς το 2018.	21
Σχήμα 8. Γενικευμένη παρουσίαση μοντέλου υγειονομικής περίθαλψης με επίκεντρο τον ασθενή	25
Σχήμα 9. Χαρακτηριστικά/απαιτήσεις που επιτρέπουν/απαιτούν κάθε οικογένεια εφαρμογών blockchain. Το (✓) υποδηλώνει ότι η απαίτηση αυτή είναι υποχρεωτική.	31
Σχήμα 10. Διάγραμμα ροής για την λήψη απόφασης χρήσης ή όχι και του τύπου της blockchain.....	33
Σχήμα 11. Ευκαιρίες και προκλήσεις της τεχνολογίας Blockchain στον κλάδο της υγειονομικής περίθαλψης	34
Σχήμα 12. Διαγραμματική απεικόνιση συνεργασίας διαλειτουργικής blockchain με τρίτους.....	39
Σχήμα 13. Τομείς προτύπων που μπορούν να επηρεάσουν την πορεία των DLT/Blockchain και η προβολή τους στο χρόνο	40
Σχήμα 14. Μια απεικόνιση της αλληλεπίδρασης μεταξύ EHR, κινητών εφαρμογών υγείας, τεχνολογίας blockchain και προληπτικής φροντίδας.....	48
Σχήμα 15. Απεικόνιση της διαδικασίας πώς διαφορετικά μέρη του τομέα της υγειονομικής περίθαλψης μπορούν να αλληλεπιδρούν μεταξύ τους.....	49
Σχήμα 16. Απεικόνιση της διαδικασίας δημιουργίας ολοκληρωμένου ιστορικού υγείας	55

Πίνακας πινάκων

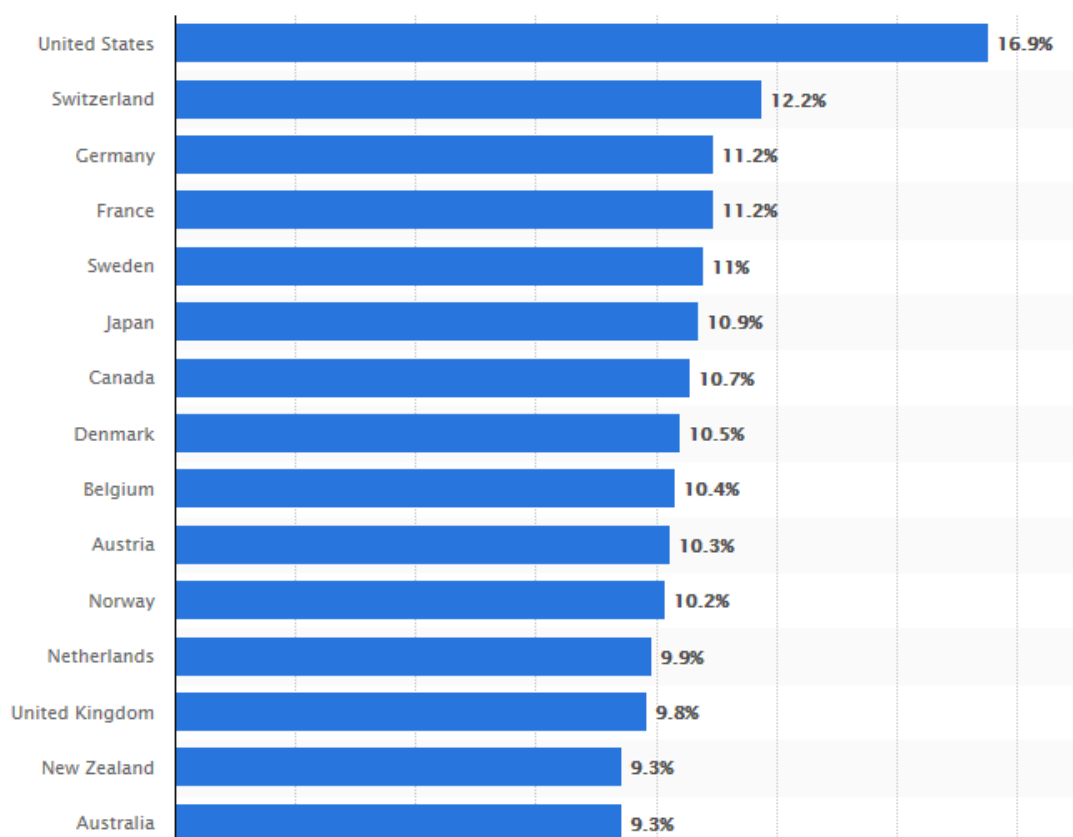
Πίνακας 1. Παραδείγματα τύπων blockchains.	15
Πίνακας 2. Τομείς ενδιαφέροντος για μια εφαρμογή αποκεντρωμένης διαδικασίας.	29
Πίνακας 3. Ανάλυση των χαρακτηριστικών και των προϋποθέσεων της blockchain σε σχέση με τις παραδοσιακές βάσεις δεδομένων.	32
Πίνακας 4. SWOT ανάλυση για την τεχνολογία blockchain στην υγειονομική περίθαλψη.	42
Πίνακας 5. Προκλήσεις και ευκαιρίες της τεχνολογίας blockchain στο τομέα της υγειονομικής περίθαλψης.	45
Πίνακας 6. Πιθανές εφαρμογές blockchain.	46

Εισαγωγή

Αυτή η μελέτη εξετάζει την υπάρχουσα βιβλιογραφία προκειμένου να εντοπιστούν τα σημαντικότερα ζητήματα των διαφόρων ενδιαφερόμενων φορέων υγειονομικής περίθαλψης και να διερευνηθούν τα χαρακτηριστικά της τεχνολογίας blockchain που θα μπορούσαν να επιλύσουν τα εντοπισθέντα ζητήματα. Ωστόσο, υπάρχουν ορισμένες προκλήσεις και περιορισμοί αυτής της τεχνολογίας που θα επισημανθούν και μπορεί να αποτελέσουν αντικείμενο έρευνας για την ανάπτυξη εφαρμογών και συστημάτων στο μέλλον.

Ο κλάδος της υγειονομικής περίθαλψης είναι μία από τις μεγαλύτερες βιομηχανίες του κόσμου, καταναλώνοντας πάνω από το 10% του ακαθάριστου εγχώριου προϊόντος (ΑΕΠ) σε πολλά ανεπτυγμένα κράτη (Statista, 2018)

Σχήμα 1. Δαπάνες για την υγειονομική περίθαλψη ως ποσοστό του ακαθάριστου εγχώριου προϊόντος σε επιλεγμένες χώρες το 2018



Πηγή: Statista (2018)

Με απλά λόγια, αυτή η βιομηχανία περιλαμβάνει την εμπορευματοποίηση των αγαθών και των υπηρεσιών για τη θεραπεία των ασθενών με θεραπευτική, προληπτική, παρηγορητική φροντίδα και αποκατάσταση. Όντας ένα πολύπλοκο σύστημα διασυνδεδεμένων οντοτήτων κάτω από στενά ρυθμιστικά πλαίσια, τα δεδομένα των ασθενών είναι εξαιρετικά κατακερματισμένα και το κόστος της παροχής υγειονομικής περίθαλψης αυξάνεται συνεχώς λόγω της αναποτελεσματικότητας του συστήματος και της εξάρτησης από διάφορους μεσάζοντες. Επιπλέον, η διαφάνεια σε όλη τη διαδικασία της διευκόλυνσης της ανταλλαγής δεδομένων μεταξύ πολλών μερών, αν και υποτίθεται ότι είναι επωφελής για τον ασθενή, εξακολουθεί να στερείται πλήρους διαφάνειας και ελέγχου από την πλευρά του ασθενούς. Η ανησυχία των ασθενών για ενδεχόμενη κερδοσκοπική εκμετάλλευση των προσωπικών τους δεδομένων είναι εμφανής σε όλες τις έρευνες για το εν λόγω θέμα (Kalkman et al., 2019).

Το γεγονός αυτό έχει εντείνει την ανάγκη για την υιοθέτηση συστημάτων πληροφορικής που να μπορούν να αφαιρέσουν τους μεσάζοντες και να μειώσει το κόστος διατηρώντας παράλληλα την εμπιστοσύνη και τη διαφάνεια.

Η blockchain είναι μια επαναστατική τεχνολογία που μπορεί να βοηθήσει στην επίλυση των προκλήσεων της υγειονομικής περίθαλψης, παρέχοντας αποκεντρωμένη εμπιστοσύνη. Η αποκέντρωση που προσφέρεται μέσω της τεχνολογίας blockchain υπόσχεται να ελαχιστοποιήσει το πρόβλημα της κλειστής αγοράς που έχει δημιουργηθεί από τους προμηθευτές και που μαστίζει την υγειονομική περίθαλψη.

Τα δεδομένα των ασθενών είναι διασκορπισμένα σε διάφορες οντότητες στην αλυσίδα αξίας του κλάδου της υγειονομικής περίθαλψης που συχνά αναφέρονται ως σιλό δεδομένων και η κοινή χρήση δεδομένων είναι επιρρεπής σε μια πολυεπίπεδη διαδικασία ελέγχου της άδειας. Για το λόγο αυτό, συχνά τα κρίσιμα δεδομένα δεν είναι προσβάσιμα και διαθέσιμα τη στιγμή της επείγουσας ανάγκης. Η τεχνολογία blockchain μπορεί να λύσει αυτό το ζήτημα της ανταλλαγής πληροφοριών για την υγεία (Health Information Exchange - HIE) λειτουργώντας ως πλατφόρμα για μια αξιόπιστη αποκεντρωμένη βάση δεδομένων. Μπορεί να επιτρέψει την “πρόσβαση μίας στάσης” στο ιατρικό ιστορικό ενός ασθενούς σε όλους τους παρόχους υγειονομικής περίθαλψης. (Katuwal et al., 2018).

Το σύστημα ελέγχου πρόσβασης, που βασίζεται στην εμπιστοσύνη που αναπτύσσεται μέσω της ανωνυμίας που παρέχεται από την blockchain, δίνει στους ασθενείς τον έλεγχο των δεδομένων τους και το δικαίωμα να μπορούν να χορηγούν τη συγκατάθεσή τους και να παρέχουν πρόσβαση σε εξωτερικά μέρη, όπως οι ερευνητές, σε όλα ή υποσύνολο των ιατρικών τους αρχείων. Αυτό το χαρακτηριστικό εναρμονίζεται με τα μοντέλα της υγειονομικής περίθαλψης, που θέτουν τον ασθενή στο επίκεντρο, με την blockchain να λειτουργεί ως καταλύτης διασφάλισης της εμπιστοσύνης.

Τα αρχεία που είναι γραμμένα στη blockchain είναι αμετάβλητα και δεν μπορούν να τροποποιηθούν ή να διαγραφούν. Αυτό το χαρακτηριστικό της blockchain παρέχει θεμελιώδεις δυνατότητες, όπως η ακεραιότητα των δεδομένων και η προέλευση που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανάπτυξη εφαρμογών και συστημάτων που θα δίνουν λύση στην πρόληψη της παραποίησης φαρμάκων, την διακίνηση ναρκωτικών και τις ιατρικές απάτες.

Επιπρόσθετα μπορεί να συνεισφέρει στην εξυγίανση του τομέα της κλινικής έρευνας, αποτρέποντας τα δόλια αποτελέσματα και την αφαίρεση δεδομένων σε κλινικές δοκιμές που δεν ευθυγραμμίζονται με την προκατάληψη ή την πηγή χρηματοδότησης του ερευνητή. Επίσης, επιτρέπει τη διατήρηση ενός αμετάβλητου αρχείου καταγραφής της συγκατάθεσης του υποκειμένου σε μια κλινική δοκιμή. Σε οικονομικό επίπεδο, η blockchain θα μπορούσε να εξοικονομήσει εκατοντάδες δισεκατομμύρια για τη φαρμακευτική βιομηχανία, καθορίζοντας μια αλυσίδα παρακολούθησης στην αλυσίδα εφοδιασμού (Bhatti, et al., 2018).

Η blockchain επιτρέπει την προσαρμογή κανόνων, που μπορεί να δεσμεύουν νομικά τα μέρη, οι οποίοι μπορούν να διαμορφώνουν συμβάσεις, ισοδύναμες με πραγματικές συμβάσεις. Οι συμβάσεις αυτές αναφέρονται ως έξυπνες συμβάσεις. Οι έξυπνες συμβάσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε διάφορες διαδικασίες στον τομέα της υγειονομικής περίθαλψης, συμπεριλαμβανομένης της τιμολόγησης και της ασφάλισης, γεγονός που βοηθά στην αυτοματοποίηση της διαδικασίας και στη μείωση του κόστους.

Η παρούσα διατριβή εξετάζει όλες τις παραπάνω ευεργετικές ιδιότητες της τεχνολογίας blockchain καθώς και τις προκλήσεις και τα προβλήματα που φέρνει μαζί της, σε ένα νευραλγικό τομέα της υγείας, όπως αυτό της υγειονομικής περίθαλψης.

Η δομή της εργασίας, έγινε με σκοπό να οδηγήσει τον αναγνώστη σταδιακά στην κατανόηση της τεχνολογίας, στο ρόλο που αυτή παίζει και μπορεί να διαδραματίσει στο μέλλον καθώς και τις επιπτώσεις που επιφέρει στο κλάδο της υγειονομικής περίθαλψης.

Στο πρώτο κεφάλαιο καθορίζονται ο σκοπός της μελέτης και τα ερευνητικά ερωτήματα που τίθενται και καλύπτονται από την έρευνα στην υφιστάμενη βιβλιογραφία και παρέχεται μια σύντομη βιβλιογραφική επισκόπηση.

Στο δεύτερο κεφάλαιο αναλύεται η δομή και η λειτουργία της blockchain, αναφέρονται οι κύριοι τύποι και οι μηχανισμοί συναίνεσης και παρουσιάζονται τα οφέλη που η νέα τεχνολογία μπορεί να προσφέρει στο φάσμα της υγειονομικής περίθαλψης. Επισημαίνονται επίσης τα προβλήματα και προκλήσεις στην εφαρμογή της blockchain τα οποία στο τέλος συνοψίζονται έναντι των πλεονεκτημάτων με στόχο να προσφέρουν μια συνοπτική και ξεκάθαρη εικόνα στον αναγνώστη. Τέλος γίνεται μια SWOT ανάλυση στην οποία αποτυπώνονται τα δυνατά και αδύνατα σημεία καθώς και οι ευκαιρίες και οι απειλές.

Στο τρίτο κεφάλαιο αποτυπώνονται υπάρχουσες, εν εξελίξει και σχεδιαζόμενες εφαρμογές που αξιοποιούν την τεχνολογία blockchain στο κλάδο της υγειονομικής περίθαλψης. Οι τομείς που εξετάζονται είναι ο ιατρικός φάκελος ασθενή και τα ηλεκτρονικά αρχεία, η κλινική έρευνα, η ανίχνευση ιατρικής απάτης, η φαρμακευτική βιομηχανία και η έρευνα, και γίνεται αναλυτική καταγραφή των προβλημάτων στο τομέα της ασφάλισης και των δυνατοτήτων της blockchain να δώσει λύσεις σε αυτά.

Στο τέταρτο κεφάλαιο καταγράφονται τα συμπεράσματα και τα ευρήματα που δίνουν απαντήσεις στα ερευνητικά ερωτήματα καθώς και οι προτάσεις που αφορούν την αξιοποίηση της blockchain στο κλάδο της υγειονομικής περίθαλψης στην Ελλάδα.

Τέλος παρατίθεται η βιβλιογραφία από όπου αντλήθηκαν τα δεδομένα και οι πληροφορίες για την σύνταξη της εν λόγω διατριβής.

Κεφάλαιο 1: Περιγραφή διπλωματικής

1.1. Σκοπός και ερευνητικά ερωτήματα

Διερευνώνται οι δυνατότητες για το πώς μια νέα τεχνολογία όπως η blockchain μπορεί να επηρεάσει την ψηφιακή υγειονομική περίθαλψη της Ελλάδας. Ειδικότερα, ερευνάτε πώς η τεχνολογία blockchain θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί στη μετάβαση προς μια νέα κατανόηση της θεσμικής εμπιστοσύνης.

Εξετάζεται εάν η τεχνολογία blockchain έχει τη δυνατότητα να αντικαταστήσει τις φυσικές έμπιστες τρίτες οντότητες, όπως για παράδειγμα το κράτος και να ενεργεί ως η αξιόπιστη τεχνολογία σε έναν παγκοσμιοποιημένο κόσμο.

Συγκεκριμένα εξετάζεται με ποιους τρόπους η τεχνολογία blockchain και η διασύνδεση της με άλλες τεχνολογίες πληροφορικής και τηλεπικοινωνιών θα μπορούσαν να επιφέρουν ριζικές αλλαγές στο σύστημα υγειονομικής περίθαλψης. Τα ερευνητικά ερωτήματα εξετάζουν:

- Πως η τεχνολογία blockchain μπορεί να συμβάλλει στο τομέα της Υγειονομικής Περίθαλψης;
- Αυτό το σύνθετο οικοσύστημα θα μπορούσε να επωφεληθεί από μια ισχυρή ψηφιακή πλατφόρμα για την ανταλλαγή δεδομένων σε πραγματικό χρόνο;
- Θα μπορούσε να εξασφαλίσει την απαιτούμενη ασφάλεια στη διαχείριση των εμπιστευτικών δεδομένων και ταυτόχρονα οικονομίες κλίμακος;

1.2. Βιβλιογραφική επισκόπηση

Η τεχνολογία blockchain όπως και άλλες τεχνολογίες κατακευματισμένου καθολικού (Distributed Ledger Technologies, DLTs) είναι τεχνολογίες που επιτρέπουν σε μέρη που δεν εμπιστεύονται ο ένας τον άλλον να ανταλλάσσουν οποιοδήποτε τύπο ψηφιακών δεδομένων σε ομότιμη βάση με λιγότερους ή καθόλου τρίτους ή μεσάζοντες. Τα δεδομένα θα μπορούσαν να αντιπροσωπεύουν, για παράδειγμα, χρήματα, ασφαλιστήρια συμβόλαια, συμβάσεις, τίτλους γης, ιατρικά αρχεία, πιστοποιητικά γέννησης και γάμου, αγορά και πώληση αγαθών και υπηρεσιών ή οποιοδήποτε άλλο είδος συναλλαγής ή περιουσιακού στοιχείου που μπορεί να μεταφραστεί σε ψηφιακή μορφή (Nascimento et al., 2019).

Η blockchain υπόσχεται θεμελιώδεις αλλαγές σε διάφορους κλάδους, συμπεριλαμβανομένων του χρηματοπιστωτικού, της δημόσιας διοίκησης, της εφοδιαστικής αλυσίδας και του τομέα της υγείας (Casino et al., 2019). Τα δυνητικά οφέλη της περιλαμβάνουν τη μείωση του κόστους και την πολυπλοκότητα των συναλλαγών μεταξύ των μερών, την ενίσχυση της ασφάλειας, τη βελτίωση της διαφάνειας και της ρύθμισης.

Η blockchain είναι ένα αναδυόμενο πεδίο που λειτουργεί με βάση την έννοια ενός ψηφιακά κατανεμημένου καθολικού και ενός αλγορίθμου συναίνεσης που καταργεί όλες τις απειλές που προέρχονται από τους μεσάζοντες. Οι πρώτες εφαρμογές της σχετίζονταν με τον χρηματοπιστωτικό τομέα, αλλά τώρα αυτή η έννοια έχει επεκταθεί σε όλους σχεδόν τους σημαντικούς τομείς της έρευνας, συμπεριλαμβανομένης της εκπαίδευσης, του διαδικτύου των αντικειμένων-πραγμάτων (Internet of things, IoT), των τραπεζών, της εφοδιαστικής αλυσίδας, της άμυνας, της διακυβέρνησης, της υγειονομικής περίθαλψης κ.λπ. Στον τομέα της υγειονομικής περίθαλψης, τα ενδιαφερόμενα μέρη (πάροχος, ασθενής, πληρωτής, ερευνητικοί οργανισμοί και φορείς εφοδιαστικής αλυσίδας) απαιτούν διαλειτουργικότητα, ασφάλεια, αυθεντικότητα, διαφάνεια και εξορθολογισμένες συναλλαγές.

Η τεχνολογία blockchain, δομημένη στο διαδίκτυο, έχει τη δυνατότητα να αξιοποιήσει τα τρέχοντα δεδομένα υγειονομικής περίθαλψης με τη χρήση διομότιμων δικτύων (Peer to Peer, P2P) και με διαλειτουργικούς τρόπους, που θέτουν τον ασθενή στο επίκεντρο εξαλείφοντας οποιοδήποτε τρίτο μέρος. Χρησιμοποιώντας αυτήν την τεχνολογία, οι εφαρμογές μπορούν να κατασκευαστούν για τη διαχείριση και την ανταλλαγή ασφαλών, διαφανών και αμετάβλητων ελεγκτικών ιχνών συμβάλλοντας στη μείωση της απάτης (Yaqoob et al., 2019). Στον τομέα της υγείας, οι ασθενείς, οι γιατροί, τα νοσοκομεία και άλλοι πάροχοι υγειονομικής περίθαλψης θα μπορούσαν να αποθηκεύουν ηλεκτρονικά αρχεία υγείας σε αποκεντρωμένα συστήματα διαχείρισης που βασίζονται στη blockchain, στα οποία μπορούν να κρυπτογραφούν προσωπικές ή/και ευαίσθητες πληροφορίες και να παρέχουν πρόσβαση σε αρχεία μόνο σε εξουσιοδοτημένα μέρη μέσω κατάλληλων διαπιστευτηρίων (Krawiec et al., 2016).

Η ικανότητα καταγραφής και επικύρωσης ιατρικών δεδομένων και προσαρμογής της χρήσης τους για χρήση από άλλα μέρη θα μπορούσε να αξιοποιήσει την ενημερωτική και οικονομική αξία των εν λόγω δεδομένων. Θα μπορούσε να ενθαρρύνει νέα επιχειρηματικά μοντέλα για λύσεις προάσπισης της ιδιωτικής ζωής, εξατομικευμένη ιατρική, ανταλλαγή δεδομένων με στόχο την έρευνα στην δημόσια υγεία, τα ναρκωτικά, ενδεχόμενες θεραπείες ή ακόμη και για την πώληση, αγορά και τοποθέτηση προϊόντων και υπηρεσιών από διάφορους ενδιαφερόμενους (stakeholders) (Nascimento et al., 2019). Για παράδειγμα, η blockchain θα μπορούσε να έχει αντίκτυπο στη λογοδοσία και τη διαφάνεια στις διαδικασίες αναφοράς και διαχείρισης κλινικών δοκιμών (Benchoufi & Ravaud, 2017).

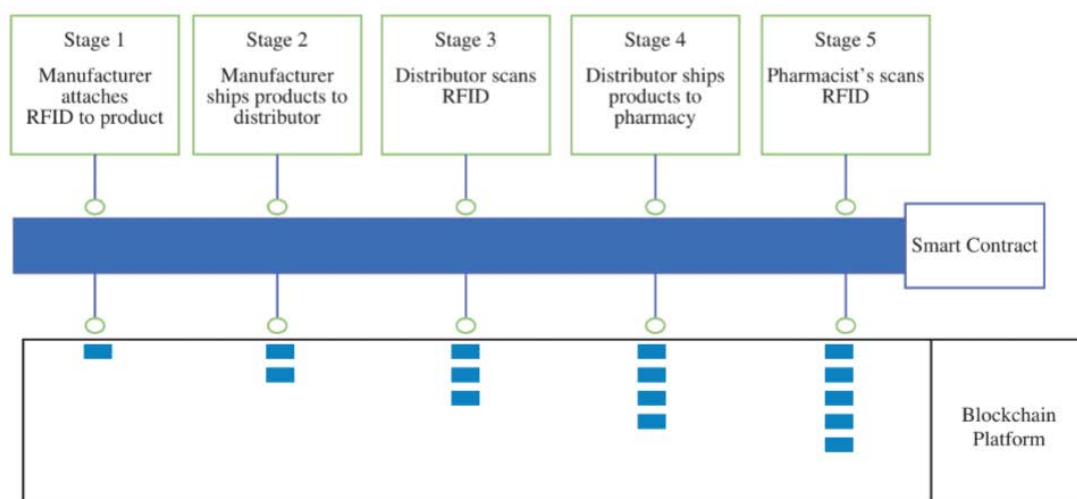
Δεδομένα και μεταδεδομένα που πρέπει να κυκλοφορούν σε μια κλινική δοκιμή μεταξύ πολλαπλών ενδιαφερομένων (χορηγοί, ερευνητές, ομάδες ασθενών, ρυθμιστικοί φορείς, μητρώα, στατιστικολόγοι, προμηθευτές φαρμάκων, ασθενείς, διαχειριστές δεδομένων, ελεγκτές δοκιμών κ.λπ.) σφραγίζονται χρονικά, κρυπτογραφούνται και αποθηκεύονται σε blockchain. Οι ερευνητές θα μπορούσαν να επωφεληθούν σημαντικά από την ανταλλαγή ανεπεξέργαστων δεδομένων που έχουν καταστεί ανώνυμα, συνόλων δεδομένων ή σχεδίων στατιστικής ανάλυσης σε κλινικές δοκιμές μέσω καταναμημένων και ασφαλών διαύλων. Οι έξυπνες συμβάσεις (smart contracts) θα μπορούσαν επίσης να χρησιμοποιηθούν για τον έλεγχο φάσης κλινικών δοκιμών. Οι ασθενείς θα μπορούσαν να δώσουν συγκεκριμένη και περιορισμένη συγκατάθεση για την ανάλυση δεδομένων, όπως για παράδειγμα, χρήση των δεδομένων υπό την προϋπόθεση ότι αυτά δεν κοινοποιούνται σε τρίτους ή/και δεν χρησιμοποιούνται για εμπορικούς σκοπούς (Jansen et al., 2019).

Η εμπιστευτικότητα και η ασφάλεια των δεδομένων αποτελούν μείζονες ανησυχίες σε αυτόν τον τομέα, επομένως οποιεσδήποτε λύσεις blockchain πρέπει να εφαρμόσουν ισχυρούς μηχανισμούς προστασίας προσωπικών δεδομένων σύμφωνα με τους διεθνείς κανονισμούς (General Data Protection Regulation, GDPR) όπως για παράδειγμα την ψευδωνυμοποίηση ή ανωνυμοποίηση των δεδομένων των ασθενών με τη χρήση ισχυρών μηχανισμών αποταυτοποίησης και κρυπτογράφησης (Lamprinos, 2019).

Οι ασθενείς θα μπορούσαν να εφαρμόσουν δυναμικές συναινέσεις μέσω έξυπνων συμβάσεων – δηλαδή, καθορίζοντας δικαιώματα πρόσβασης στα δεδομένα, αναφέροντας, για παράδειγμα, το είδος των δεδομένων που πρέπει να παρέχονται, τις προβλεπόμενες χρήσεις, τα εξουσιοδοτημένα τρίτα μέρη, τους όρους ανάκλησης ή τα όρια αποθήκευσης (Hylock & Zeng, 2019). Υπό αυτές τις συνθήκες, θα μπορούσαν πιο εύκολα να μοιραστούν τα αρχεία τους και να ζητήσουν από διαφορετικούς γιατρούς δεύτερες γνώμες, να βρουν άλλους ασθενείς με παρόμοια πάθηση ή να δώσουν τις πληροφορίες τους και να παρακολουθούν τα βιοφαρμακευτικά προϊόντα κατά μήκος των αλυσίδων εφοδιασμού τους (Modum, 2017).

Τα φάρμακα, τα ναρκωτικά και άλλα προϊόντα θα μπορούσαν να επισημανθούν με συσκευές IoT, να επικυρωθούν και να καταγραφούν σε ένα blockchain. Αυτό θα μπορούσε να αποτρέψει ή/και να επιτρέψει την ταχύτερη ανίχνευση πλαστών, κλοπών ή εσφαλμένων τοποθετήσεων κατά μήκος ενός σύνθετου και πολυμερούς δικτύου παραγωγών, κατασκευαστών, ρυθμιστικών οργανισμών, προμηθευτών, διανομέων και άλλων (Rejeb, et al., 2019). Θα μπορούσε να συμβάλει στην παρακολούθηση των περιβαλλοντικών συνθηκών που απαιτούνται για τη μεταφορά φαρμακευτικών προϊόντων και άλλων προϊόντων υγειονομικής περίθαλψης, όπως η θερμοκρασία και ο χρόνος (Chanchaichujit et al., 2019).

Σχήμα 2. Συλλογή δεδομένων κατά τη διάρκεια ροής φαρμακευτικών προϊόντων στην αλυσίδα εφοδιασμού.



Πηγή: Chanchaichujit et al. (2019).

Συνολικά, τα συστήματα που βασίζονται στη blockchain θα μπορούσαν να υποστηρίξουν τις εταιρείες να αποδείξουν τη συμμόρφωση με τους υποχρεωτικούς ποιοτικούς ελέγχους, να επιταχύνουν τις διαδικασίες μεταφοράς, διαχείρισης, αποθήκευσης και διανομής, να ελαχιστοποιήσουν τα σφάλματα και το κόστος και να βελτιώσουν τη διαφάνεια ολόκληρης της αλυσίδας εφοδιασμού (Litke et al., 2019).

Οι εφαρμογές τεχνολογίας blockchain έχουν τη δυνατότητα να μετασχηματίσουν την τρέχουσα χρήση της τεχνολογίας των πληροφοριών υγείας και της σχετικής υποδομής υλικού και λογισμικού. Η υποκείμενη τεχνολογία με την αποκεντρωμένη αρχιτεκτονική της φαίνεται ότι μπορεί να υποστηρίξει μια σειρά εφαρμογών που με τη σειρά τους μπορούν, να επιτύχουν εξοικονόμηση κόστους, αύξηση της αποτελεσματικότητας και αποδοτικότητας σε σχέση με τα παραδοσιακά υφιστάμενα συστήματα που χρησιμοποιούνται σήμερα στον ευρύτερο χώρο της υγειονομικής περίθαλψης, αλλά και σε συναφείς ενδιαφερόμενους στην ιδιωτική αγορά. Διαφαίνεται ότι υπάρχουν αρκετές εφαρμογές που μπορούν να εφαρμοστούν, στο σύστημα υγείας της Ελλάδας, στηριζόμενες στη τεχνολογία blockchain.

Η θεμελιώδης δυνατότητα της blockchain είναι η υποκείμενη αρχιτεκτονική της Τεχνολογίας Πληροφοριών (IT) και η "άθραυστη" αλυσίδα καταχωρήσεων δεδομένων που επιτρέπουν ασφαλείς και ανοικτές συναλλαγές, χωρίς την ανάγκη έμπιστης τρίτης οντότητας. Η διαφάνεια με την ταυτόχρονα υψηλού επιπέδου δυνατότητα διατήρησης της ανωνυμίας των χρηστών του συστήματος και η κατανεμημένη υπολογιστική ισχύ φαίνεται να αποτελούν μια καλή απάντηση για τα υπερφορτωμένα συστήματα, αρχειοθέτησης και συναλλαγών, των τομέων υγείας τόσο στο δημόσιο όσο και στον ιδιωτικό τομέα.

Τα πλεονεκτήματα της blockchain είναι προφανή, αλλά όπως και με κάθε νέα τεχνολογία υπάρχουν ερωτήματα σχετικά με την αποδοτικότητα και την αποτελεσματικότητα. Ως εκ τούτου στη παρούσα διατριβή γίνεται προσπάθεια να καταγραφούν και να δοθούν απαντήσεις σε ερωτήματα σχετικά, με την τεχνολογία, με ορισμένες από τις ανησυχίες για την προστασία των προσωπικών δεδομένων και των δεδομένων που σχετίζονται με την υγειονομική περίθαλψη, που είναι εγγενείς σε οποιοδήποτε σύστημα πληροφορικής υγείας, με ζητήματα διαλειτουργικότητας και με συγκεκριμένες εφαρμογές που σχετίζονται με το χώρο της υγειονομικής περίθαλψης.

Κεφάλαιο 2: Τεχνολογία blockchain

2.1. Ορισμός της blockchain

Η blockchain είναι ένα καθολικό που λειτουργεί ως βάση δεδομένων σε ένα κατακεντρωμένο δίκτυο πολλαπλών κόμβων ή υπολογιστών και παρακολουθεί τις ανταλλαγές δεδομένων (συναλλαγές) (Wright & De Filippi, 2015). Παρά την αδόμητη απλότητά του το δίκτυο είναι ισχυρό και οι κόμβοι λειτουργούν ταυτόχρονα με ελάχιστο συντονισμό (Nakamoto, 2009). Το καθολικό είναι δημόσιο αρχείο και το υψηλό επίπεδο ασφάλειας, που επιτυγχάνεται στη τεχνολογία blockchain, στηρίζεται στη λογική ότι είναι πολύ δύσκολο να κλέψεις από κάτι που βρίσκεται σε κοινή θέα και επιτηρείται από χιλιάδες ανθρώπους από ότι από κάποιο που φυλάσσεται σε κάποιο απομονωμένο μέρος (Singh, 2019).

Επί του παρόντος, η τεχνολογία blockchain είναι, ίσως, μια από τις πιο ελπιδοφόρες τεχνολογίες και διαθέτει πολύ μεγάλες δυνατότητες στο να αλλάξει τα σημερινά επιχειρηματικά μοντέλα. Είναι ουσιαστικά ένα δημόσιο καθολικό, μια απλοποιημένη μορφή που προσομοιάζει με κατακεντρωμένη βάση δεδομένων, όλων των συναλλαγών ή γεγονότων που έχουν εκτελεστεί και διαμοιραστεί από τα μέρη που συμμετέχουν (Kuan-Ching et al., 2019). Κάθε συναλλαγή, στο δημόσιο καθολικό, επαληθεύεται με τη συναίνεση, της πλειοψηφίας της υπολογιστικής ισχύος, των συμμετεχόντων σε ολόκληρο το σύστημα. Μόλις εισαχθούν, οι πληροφορίες δεν μπορούν ποτέ να σβηστούν. Η αλυσίδα των block (blockchain) περιέχει ένα συγκεκριμένο και επαληθεύσιμο αρχείο για κάθε συναλλαγή που έχει γίνει (Crosby et al., 2015).

Το βασικό της πλεονέκτημα είναι η χωρίς παραποίηση, μεταφορά δεδομένων σε P2P δίκτυα, η κατακεντρωμένη αποθήκευση, η διαφάνεια και η προστασία των προσωπικών δεδομένων. Αυτά τα χαρακτηριστικά εξασφαλίζουν ότι διαφορετικά άτομα μπορούν συναλλάσσονται ηλεκτρονικά χωρίς την ανάγκη να βασίζονται στην εμπιστοσύνη (Nakamoto, 2009), χωρίς την ύπαρξη έμπιστης τρίτης οντότητας, γεγονός που μειώνει σημαντικά το κόστος της διαμόρφωσης ή/και της διατήρησης εμπιστοσύνης (Zeng, et al., 2020). Με βάση τα προαναφερόμενα η τεχνολογία blockchain αναπτύσσεται περαιτέρω και σε άλλους τομείς εκτός από την παράδοση περιεχομένου (Herbaut & Negru, 2017), τη διαχείριση κλειδιών (Lei et al., 2017) και την αποκεντρωμένη

αποθήκευση (Cai et al., 2017a ; Cai et al., 2017b). Επίσης, λόγω του ελκυστικού χαρακτηριστικού της αποκέντρωσης, της αντοχής στις επιθέσεις, της ανωνυμίας, της διαφάνειας και της δυνατότητας ελέγχου, έχει περαιτέρω εκτεταμένες επιπτώσεις σε ένα ευρύ φάσμα βιομηχανιών, τομέων και εφαρμογών, όπως το IoT, η ιατρική, η υγειονομική περίθαλψη, οι έξυπνες συμβάσεις (smart contracts – SCs) κ.λπ. Ως αποτέλεσμα, η τεχνολογία blockchain έχει λάβει ιδιαίτερη προσοχή τόσο από τις ακαδημαϊκές όσο και στις βιομηχανικές και επιχειρηματικές κοινότητες (Kuan-Ching et al., 2019).

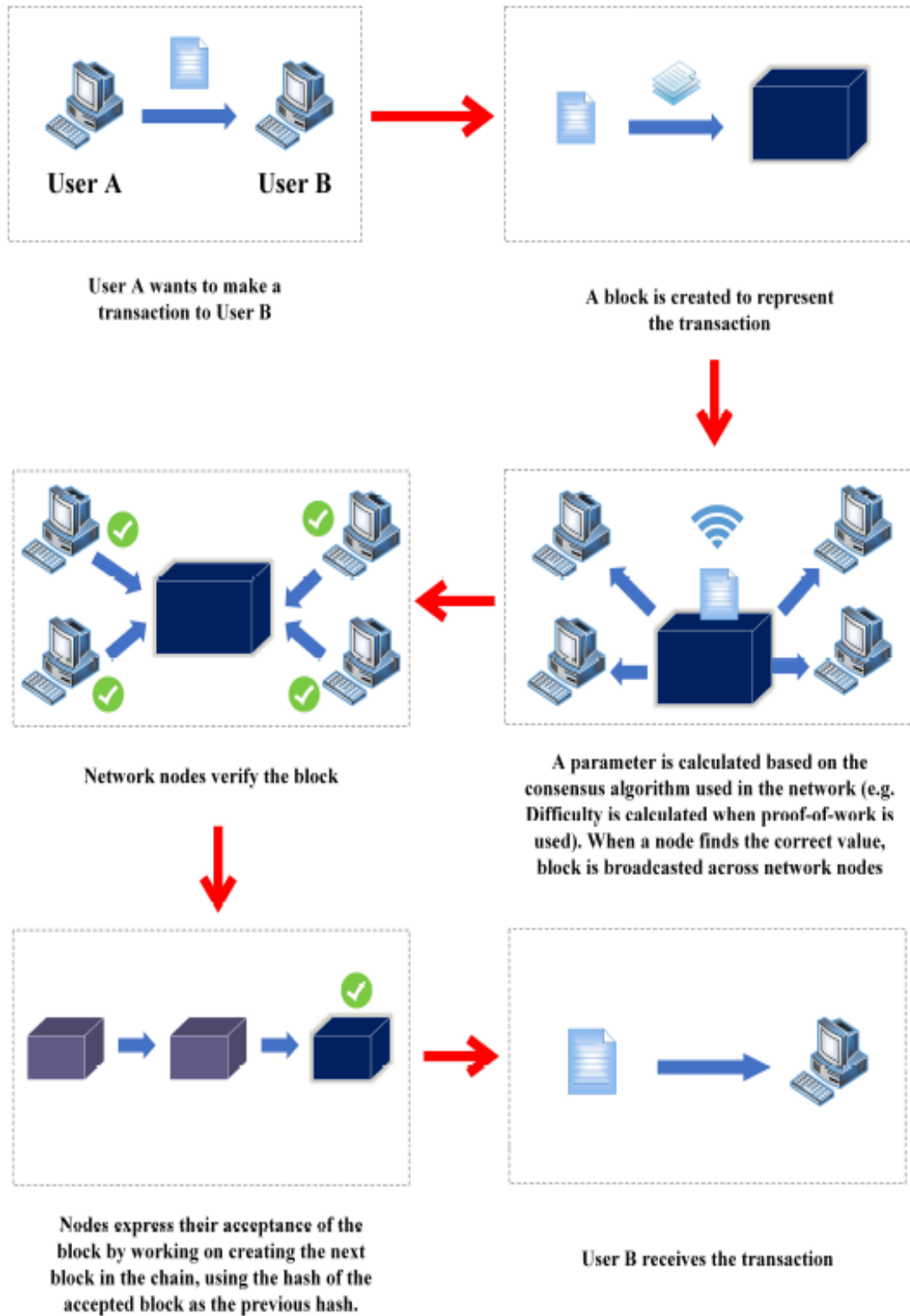
2.2. Λειτουργία της blockchain

Η blockchain πήρε το όνομα της λόγω του ιδιαίτερου τρόπου καταγραφής και επαλήθευσης των συναλλαγών μεταξύ των μερών. Μια συναλλαγή με το μέρος B ζητείται από το μέρος A, όπως για παράδειγμα η μεταφορά χρημάτων, η σύσταση σύμβασης ή η κοινή χρήση εγγραφών.

Η συναλλαγή αυτή μεταδίδεται σε ένα καταναμημένο δίκτυο κόμβων ή υπολογιστών που θα την επικυρώσουν σύμφωνα με ένα συμφωνημένο σύνολο κανόνων (μηχανισμός συναίνεσης). Όταν επικυρωθεί, αυτή η συναλλαγή θα συνδυαστεί με άλλους σε ένα νέο block και θα προστεθεί στη blockchain (Zubaydi et al., 2019). Παρά την εμφανιζόμενη πολυπλοκότητά της, μια blockchain είναι απλώς ένας άλλος τύπος βάσης δεδομένων για την καταγραφή συναλλαγών – ένας που αντιγράφεται σε όλους τους υπολογιστές ενός δικτύου που συμμετέχει. Αυτός είναι και ο λόγος που η blockchain αναφέρεται αρκετές φορές ως καταναμημένο καθολικό (Casino et al., 2019).

Διευκρινίζεται, έτσι ώστε να μην γίνεται σύγχυση με τις καταναμημένες βάσεις δεδομένων και τη σχετική ορολογία, ότι η blockchain αποτελεί μέρος της ευρύτερης οικογένειας των (Distributed Ledger Technology - DLT). Τα DLT είναι συγκεκριμένοι τύποι καθολικών στις οποίες τα δεδομένα καταγράφονται, κοινοποιούνται και συγχρονίζονται σε ένα καταναμημένο δίκτυο υπολογιστών ή συμμετεχόντων, με τη χρήση κρυπτογραφικών τεχνικών. Η τεχνολογία blockchain αποτελεί υποσύνολο των DLT και διαφέρει από άλλα λόγω του τρόπου διανομής, επαλήθευσης και καταχώρησης των δεδομένων (Welfare, 2019).

Σχήμα 3. Η διαδικασία της blockchain.

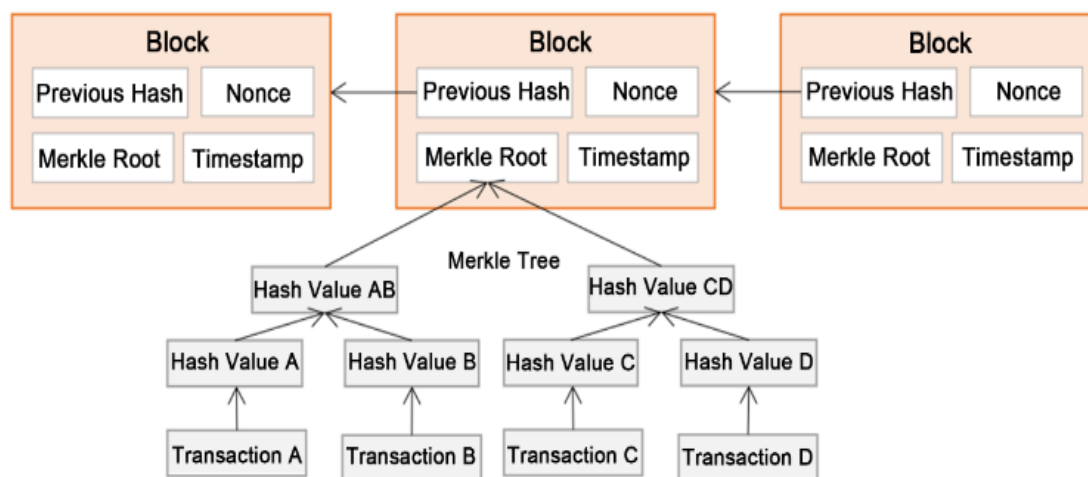


Πηγή: Zubaydi et al., (2019)

Τα δεδομένα σε ένα blockchain αποθηκεύονται σε σταθερές δομές που ονομάζονται block. Τα σημαντικά μέρη ενός block είναι (Deloitte, 2016):

- Η κεφαλίδα του, η οποία περιλαμβάνει μετα-δεδομένα, όπως ένας μοναδικός αριθμός αναφοράς block, η ώρα δημιουργίας του block και μια σύνδεση πίσω στο προηγούμενο block.
- Το περιεχόμενό του, το οποίο συνήθως περιλαμβάνει επικυρωμένο κατάλογο ψηφιακών στοιχείων και δηλώσεων οδηγιών, όπως συναλλαγές που πραγματοποιήθηκαν, τα ποσά τους και οι διευθύνσεις των μερών των εν λόγω συναλλαγών (Deloitte, 2016).

Σχήμα 4. Δομή blockchain



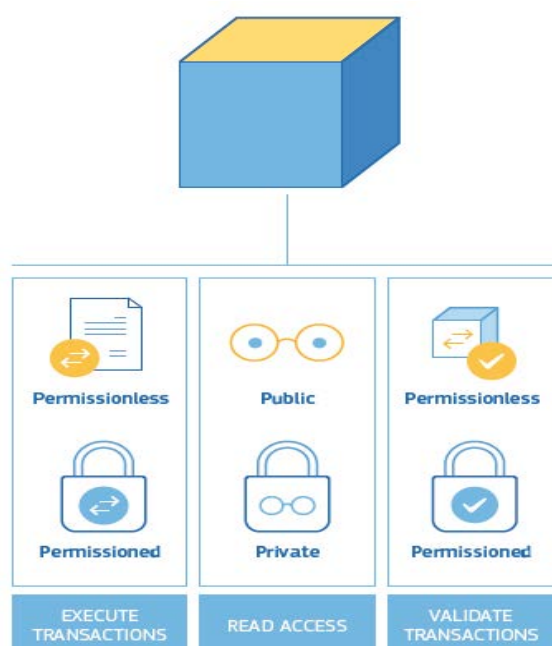
Πηγή: Bahga & Madisetti (2016).

Οι συναλλαγές χρονοσημαίνονται και ομαδοποιούνται σε block όπου κάθε block αναγνωρίζεται από τον κρυπτογραφικό κατακερματιστή του (hash). Τα block σχηματίζουν μια γραμμική ακολουθία όπου κάθε block αναφέρεται στο “hash” του προηγούμενου block, σχηματίζοντας μια αλυσίδα block. Μια blockchain διατηρείται από ένα δίκτυο κόμβων και κάθε κόμβος εκτελεί και καταγράφει τις ίδιες συναλλαγές. Η blockchain αναπαράγεται μεταξύ των κόμβων στο δίκτυο και οποιοσδήποτε κόμβος στο δίκτυο μπορεί να διαβάσει τις συναλλαγές (Bahga & Madisetti, 2016).

2.3. Τύποι blockchain

Υπάρχουν πολλοί διαφορετικοί τύποι blockchains με ξεχωριστές λειτουργίες και αρχιτεκτονικές και διακρίνονται ανάλογα με το ποιος μπορεί να διαβάσει, να εκτελέσει και να επικυρώσει τις συναλλαγές. Όταν ο καθένας μπορεί να διαβάσει και να έχει πρόσβαση σε ένα blockchain, κατηγοριοποιείται ως «δημόσια» ή «ανοιχτή», πράγμα που σημαίνει ότι ο καθένας μπορεί να έχει πρόσβαση σε μία ολόκληρη blockchain και να διαβάσει το περιεχόμενό της. Όταν έχουν πρόσβαση μόνο εξουσιοδοτημένες οντότητες, μια blockchain θεωρείται «κλειστή» ή «ιδιωτική».

Σχήμα 5. Χαρακτηριστικά blockchain.




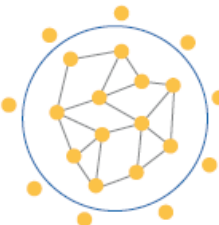


Πηγή: *Nascimento et al. (2019)*

Οι blockchains μπορούν να ταξινομηθούν περαιτέρω ως «χωρίς άδεια» ή «με άδεια» ανάλογα με το ποιος μπορεί να στέλνει συναλλαγές και ποιος μπορεί να τις επικυρώσει. Αν οποιοσδήποτε μπορεί να στείλει και να επικυρώσει συναλλαγές, η blockchain ονομάζεται χωρίς άδεια. Εάν οι οντότητες πρέπει να εξουσιοδοτηθούν για την εκτέλεση ή την επικύρωση συναλλαγών, ή και τα δύο, η blockchain ονομάζεται με άδεια.

Η διαρκής τεχνική ανάπτυξη και εξέλιξη, της τεχνολογίας blockchain, έχει αναδείξει και υβριδικά blockchains που συνδυάζουν διαφορετικές πτυχές κατά μήκος ενός συνεχούς (Danezis & Meiklejohn, 2015).

Πίνακας 1. Παραδείγματα τύπων *blockchains*.

Blockchain type	Explanation	Example	Visualisation
Public permissionless blockchains	In these blockchain systems, everyone can participate in the blockchain's consensus mechanism. Also, everyone worldwide with an internet connection can transact and see the full transaction log.	Bitcoin, Litecoin, Ethereum	
Public permissioned blockchains	These blockchain systems allow everyone with an internet connection to transact and see the blockchain's transaction log, although only a restricted number of nodes can participate in the consensus mechanism.	Ripple, private versions of Ethereum	
Private permissioned blockchains	These blockchain systems restrict both the ability to transact and view the transaction log to only the participating nodes in the system, and the architect or owner of the blockchain system is able to determine who can participate in the blockchain system and which nodes can participate in the consensus mechanism.	Rubix, Hyperledger	
Private permissionless blockchains	These blockchain systems are restricted in who can transact and see the transaction log, although the consensus mechanism is open to anyone.	(Partially) Exonum	

Πηγή: *Nascimento et al. (2019)*

Σε γενικές γραμμές, όπως παρουσιάζεται και στο παραπάνω σχήμα, μπορούν να διακριθούν τέσσερις βασικοί τύποι blockchain: δημόσιες με άδεια, δημόσιες χωρίς άδεια, ιδιωτικές με άδεια και ιδιωτικές χωρίς άδεια. Οι κίτρινες κουκκίδες είναι οι επικυρωτικοί κόμβοι, πράγμα που σημαίνει ότι είναι σε θέση να επικυρώσουν τις συναλλαγές στο σύστημα και να συμμετάσχουν στο μηχανισμό συναίνεσης (Nascimento et al., 2019).

Οι γαλάζιες κουκκίδες είναι συμμετέχοντες στο δίκτυο με την έννοια ότι μπορούν να συναλλάσσονται, αλλά δεν είναι σε θέση να συμμετάσχουν στο μηχανισμό επικύρωσης. Οι γαλάζιες κουκκίδες δεν συμμετέχουν στον μηχανισμό συναίνεσης. Ένας

μπλε κύκλος σημαίνει ότι μόνο οι κόμβοι μέσα στον κύκλο μπορούν να δουν το ιστορικό συναλλαγών. Οι εικόνες χωρίς κύκλο σημαίνουν ότι όλοι όσοι έχουν σύνδεση στο διαδίκτυο μπορούν να δουν το ιστορικό συναλλαγών της blockchain) (Nascimento et al., 2019).

Η επιλογή του τύπου blockchain που θα χρησιμοποιηθεί, από εφαρμογές που αφορούν τον τομέα της υγειονομικής περίθαλψης, μπορεί να διαφέρει ανάλογα με τις οντότητες, τους ρόλους, το πεδίο, τα δεδομένα και τις μεθόδους αξιοποίησης τους, τους επιδιωκόμενους στόχους και μια ακόμη σειρά παραμέτρων που επηρεάζουν την ασφάλεια, την εμπιστευτικότητα, την ταχύτητα των συστημάτων κ.λπ..

2.4. Μηχανισμοί - Πρωτόκολλα Συναίνεσης

Η συναίνεση είναι ένας τρόπος για να εξασφαλιστεί ότι οι κόμβοι στο δίκτυο επαληθεύουν τις συναλλαγές και συμφωνούν με την τάξη και την ύπαρξή τους στο καθολικό. Στην περίπτωση εφαρμογών όπως ένα κρυπτονομίσμα, αυτή η διαδικασία είναι ζωτικής σημασίας για να αποφευχθεί η εγγραφή διπλών δαπανών ή άλλων μη έγκυρων δεδομένων στο υποκείμενο καθολικό, το οποίο αποτελεί μια βάση δεδομένων όλων των συναλλαγών.

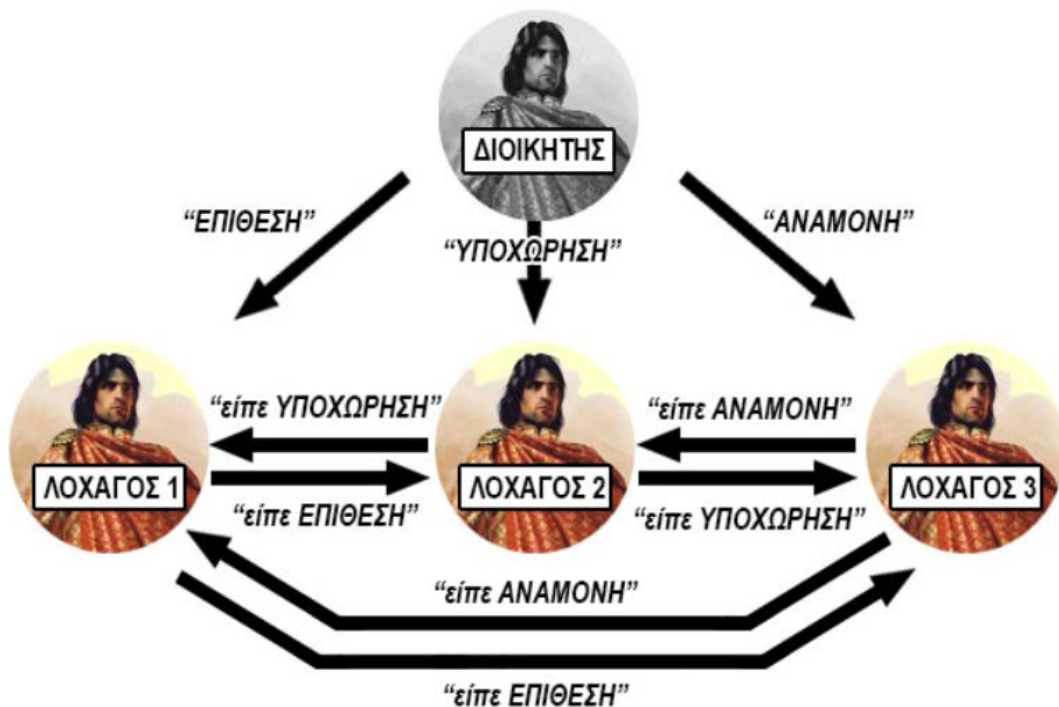
Η συναίνεση, υλοποιείται μέσω διαφορετικών αλγορίθμων, έτσι ώστε να καλύπτονται ανάλογα διαφορετικές εφαρμογές και καταστάσεις. Η απόφαση για την χρήση ενός συγκεκριμένου πρωτοκόλλου συναίνεσης, λαμβάνει υπόψη τις ανάγκες του συστήματος και των εφαρμογών, τον τύπο της blockchain και παραμέτρους όπως η ασφάλεια, η ταχύτητα κ.λπ. Η κύρια διαφορά μεταξύ των πρωτοκόλλων συναίνεσης είναι ο τρόπος με τον οποίο αναθέτουν και επιβραβεύουν την επαλήθευση των συναλλαγών (Farouk et al., 2020).

Ανάλογα με τον τύπο της blockchain που εφαρμόζεται υπάρχουν περισσότερες επιλογές πρωτοκόλλων συναίνεσης. Για παράδειγμα σε ιδιωτικές και κατόπιν άδειας εφαρμογές blockchain, υπάρχουν πιο αποτελεσματικές εναλλακτικές λύσεις πρωτοκόλλων συναίνεσης, όπως το Hyperledger, που δεν υπάρχει ανάγκη για μηχανισμούς συναίνεσης με εντατικούς υπολογισμούς (Androulaki et al., 2018).

Τα πιο διαδεδομένα πρωτόκολλα είναι το *Proof-of-work (PoW)* και το *Proof-of-Stake (PoS)*.

PoW. Το πρωτόκολλο PoW είναι το πλέον διαδεδομένο λόγω της χρήσης του στο σύστημα Bitcoin. Το πρωτόκολλο χρησιμοποιείται για την διασφάλιση της αρχιτεκτονικής Byzantine Fault Tolerance (BFT), η οποία επιτρέπει σε δύο κόμβους του δικτύου να επικοινωνούν με ασφάλεια, γνωρίζοντας ότι τα δεδομένα που απεικονίζουν είναι τα ίδια ακόμη και εάν η λειτουργία κάποιων άλλων κόμβων έχει αιφνίδια διακοπεί ή το δίκτυο έχει δεχτεί κακόβουλη επίθεση (Lin & Liao, 2017).

Σχήμα 6. Περίπτωση προβλήματος Βυζαντινών όπου ο διοικητής είναι προδότης



Πηγή: *bitcoinnews.gr* (2020)

Το Πρόβλημα των Βυζαντινών Στρατηγών, δηλαδή της υιοθέτησης μιας κοινής συμφωνίας από τους έντιμους παρά την ύπαρξη προδοτών, εξαρτάται απόλυτα από τα ποσοστά των τίμιων έναντι των προδοτών. Όσο αυξάνονται τα εμπλεκόμενα μέρη στο σύστημα, ο αριθμός των διόδων (καναλιών) επικοινωνίας αυξάνει εκθετικά.

Ως εκ τούτου η οικοδόμηση συναίνεσης (ομοφωνία) σε ένα πραγματικά αποκεντρωμένο σύστημα στο οποίο συμμετέχουν χιλιάδες ή και εκατομμύρια μέρη

καθίσταται ιδιαίτερα πολύπλοκη (bitcoinnews.gr, 2020). Οι παραδοχές για την επίλυση του προβλήματος των Βυζαντινών Στρατηγών και την επίτευξη συναίνεσης, απαιτούν ένα συγκεκριμένο ποσοστό του δικτύου, πάνω από το 67% να είναι τίμιο και το πολύ το 33% των χρηστών του δικτύου (των στρατηγών / κόμβων) να είναι κακόβουλοι (προδοτές).

Στο πρωτόκολλο συναίνεσης PoW, υπάρχουν κόμβοι που ανταγωνίζονται να λύσουν ένα πρόβλημα έτσι ώστε να επιτευχθεί η επικύρωση του block των δεδομένων. Οι κόμβοι ονομάζονται εξορύκτες (miners) και κάθε ένας από αυτούς προσπαθεί να μαντέψει ένα κομμάτι των δεδομένων που ονομάζεται "nonce" για να καταφέρει να επικυρώσει ένα block. Όλα τα δεδομένα του block συν την τρέχουσα εικασία (nonce) εκτελούνται μέσω ενός κρυπτογραφικού κατακερματισμού και εάν η προκύπτουσα έξοδος ταιριάζει με το τρέχον επίπεδο "δυσκολίας", τότε ο εξορύκτης θεωρείται ότι έχει μαντέψει τη σωστή απάντηση (Lin & Liao, 2017).

Η "δυσκολία" προσαρμόζεται από το δίκτυο για να διατηρηθεί ο μέσος χρόνος εξορύξης block σύμφωνα με το χρονοδιάγραμμα που καθορίζεται από την πλατφόρμα. Ένα nonce είναι τα τυχαία δεδομένα που, συνδυαζόμενα με τα δεδομένα του block, παράγουν μια έξοδο κατακερματισμού που ταιριάζει με το τρέχον επίπεδο δυσκολίας της blockchain.

Κάθε εξορύκτης που νομίζει ότι έχει τη σωστή απάντηση το μοιράζεται με όλους τους άλλους εξορύκτες. Εάν το 51% ή περισσότερο των εξορυκτών συμφωνήσει με την προτεινόμενη nonce, οι συναλλαγές στο block του νικητή θεωρούνται σωστές, και ο εξορύκτης με τη σωστή απάντηση ανταμείβεται. Στα κρυπτονομίσματα η ανταμοιβή είναι νομισματικές μονάδες της εκάστοτε πλατφόρμας (Cachin & Vukolić, 2017).

Οι κόμβοι που δεν έχουν τα σωστά δεδομένα του block θα συναινέσουν αντιγράφοντας το επικυρωμένο block από γειτονικούς κόμβους. Ο μηχανισμός συναίνεσης PoW παρέχει κίνητρα έτσι ώστε κάθε κόμβος να συμπεριφέρεται με ακρίβεια και ειλικρίνεια και αποδοκιμάζει επιφέροντας κόστος σε κάθε ανέντιμο συμμετέχοντα εξαλείφοντας την δυνατότητα του να ανταμειφθεί (Cachin & Vukolić, 2017).

PoS. Είναι ένα νεότερο πρωτόκολλο συναίνεσης της τεχνολογίας blockchain που έχει προταθεί ως εναλλακτική λύση έναντι του PoW, για να ξεπεραστούν οι ανησυχίες της επεκτασιμότητας και του κόστους ενέργειας. Το πρωτόκολλο PoS αφαιρεί από την επικύρωση των block, το παιχνίδι της “εικασίας” - nonce, μειώνοντας τις απαιτήσεις της εξόρυξης, σε ενέργεια και ισχυρό και εξειδικευμένο εξοπλισμό.

Ο μηχανισμός συναίνεσης PoS χρησιμοποιεί ένα σύστημα με κόμβους επικύρωσης "validators", η οποίοι πληρώνουν ή παρέχουν κάποιο μερίδιο, προκειμένου να τους επιτραπεί η επικύρωση συναλλαγών. Κάθε φορά που απαιτείται συναίνεση της ομάδας, όλοι όσοι επιθυμούν να συμμετάσχουν κλειδώνουν κεφάλαια σε ένα στοίχημα. Επιλέγεται ένας τυχαίος κόμβος και εμφανίζεται ο κατακερματισμός των δεδομένων block αυτού του κόμβου σε όλους τους άλλους συμμετέχοντες. Όλοι οι άλλοι κόμβοι στοιχηματίζουν στην εγκυρότητα των συναλλαγών block. Εάν η πλειοψηφία συμφωνεί με το προτεινόμενο block, ο τυχαίος κόμβος ανταμείβεται όπως και όλοι όσοι στοιχημάτισαν σε αυτόν τον κόμβο. Εάν η πλειοψηφία διαφωνεί, ο τυχαίος κόμβος χάνει το ποντάρισμά του, δεν λαμβάνει ανταμοιβή και επιλέγεται τυχαία ένας νέος κόμβος για κοινή χρήση των δεδομένων του block του.

Παρά του ότι ο PoS συνεχίζει να παρέχει κίνητρα, έτσι ώστε κάθε κόμβος να συμπεριφέρεται με ακρίβεια και ειλικρίνεια, αξιοποιεί διαφορετικό μηχανισμό για την επίτευξη του. Η βασική του διαφορά είναι ότι δεν απαιτείται κανένας υπολογισμός κατά τη διάρκεια της συναίνεσης παρά μόνο στοιχηματισμός. Οποιοδήποτε είδος συσκευής μπορεί να στοιχηματίσει, ανεξάρτητα από την υπολογιστική ισχύ. Το Ethereum, ένα δημοφιλές κρυπτονόμισμα, χρησιμοποιεί το PoS ως αλγόριθμο συναίνεσης για να επαληθεύσει τις συναλλαγές της blockchain (Li et al., 2020).

Συγκρίσεις μεταξύ των δύο και βελτιώσεις σε αμφότερα από τα προαναφερόμενα πρωτοκόλλα έχουν δοθεί και συνεχίζουν να δίνονται καθώς και νέες προσεγγίσεις που επιλύουν θέματα ασφάλειας, ταχύτητας, κατανάλωσης ενέργειας κ.λπ. (Han & Liu, 2017 ; Bach, et al., 2018 ; Li et al., 2020 ; Wei et al., 2020).

Μερικοί ακόμη κύριοι τύποι πρωτοκόλλων συναίνεσης που χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές της τεχνολογίας blockchain, ανάλογα με τον τύπο τους, αναφέρονται ενδεικτικά παρακάτω:

Proof of Activity. Αυτό είναι ένα υβρίδιο του PoW και PoS. Εξορύσσονται άδεια block σύμφωνα με το πρωτόκολλο PoW τα οποία στη συνέχεια, συμπληρώνονται με συναλλαγές που επικυρώνονται μέσω PoS (Ismail & Materwala, 2019).

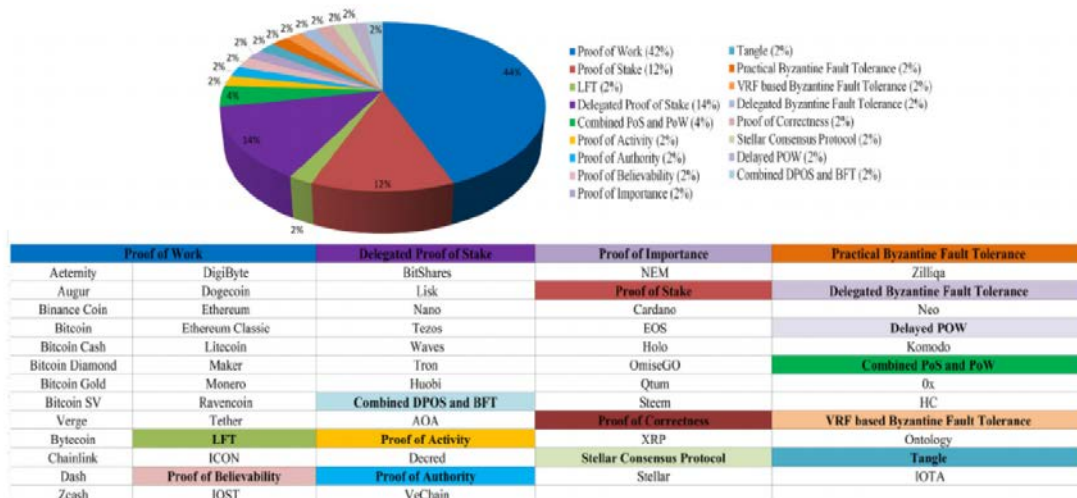
Proof of Burn. Τα κέρματα «καίγονται», με την αποστολή τους σε μια διεύθυνση όπου δεν μπορούν να ανακτηθούν. Όσο περισσότερα νομίσματα κάψει, τόσο μεγαλύτερες είναι οι πιθανότητες του κόμβου να επιλεγεί για να εξορύξει το επόμενο block (Hazari & Mahmoud, 2019).

Proof of Capacity. Στο πρωτόκολλο αυτό απαιτείται χώρος αποθήκευσης δεδομένων. Όσο περισσότερος χώρος αποθήκευσης στοιχηματιστεί, από τους χρήστες, τόσο μεγαλύτερες είναι οι πιθανότητες να επιλεγούν για να εξορύξουν το επόμενο block. Ο αλγόριθμος συναίνεσης εδώ δημιουργεί μεγάλα σύνολα δεδομένων που ονομάζονται “οικόπεδα” τα οποία καταναλώνουν χώρο αποθήκευσης (Bano et al., 2019).

Proof of Elapsed Time. Το πρωτόκολλο αυτό δημιουργήθηκε από την Intel για να λειτουργήσει σε ένα έμπιστο περιβάλλον εκτέλεσης. Μοιάζει πολύ με το PoW, αλλά είναι πολύ πιο αποδοτικό όσον αφορά την κατανάλωση ενέργειας. Ο προβληματισμός όμως είναι ότι απαιτεί την αναγνώριση της Intel ως έμπιστης αρχής, γεγονός που την προσομοιάζει με έμπιστη τρίτη οντότητα (Corso, 2019).

Proof of Authority (PoA). Το πρωτόκολλο αυτό χρησιμοποιεί ένα σύνολο εξουσιοδοτημένων "αρχών" (authorities), δηλαδή κόμβων που τους επιτρέπεται αποκλειστικά την δημιουργία νέων block και την διασφάλιση της αλυσίδας των block. Το πρωτόκολλο αυτό αντικαθιστά το PoW, αλλά η χρήση του αφορά μόνο ιδιωτικές blockchains. Οι κόμβοι οφείλουν να κερδίσουν το δικαίωμα επικύρωσης για να μπορέσουν να γίνουν “αρχές” (De Angelis, et al., 2018).

Σχήμα 7. Μηχανισμοί συναίνεσης των 50 κορυφαίων κρυπτονομισμάτων με βάση την κεφαλαιοποίηση της αγοράς το 2018.



Πηγή: *Ismail & Materwala (2019)*

Η επιλογή του μηχανισμού συναίνεσης είναι ιδιαίτερα σημαντική για τον σχεδιασμό και την υλοποίηση εφαρμογών που βασίζονται στη τεχνολογία blockchain. Ειδικότερα οι εφαρμογές στο τομέα της υγειονομικής περίθαλψης, ανάλογα με τα εμπλεκόμενα μέρη, το πεδίο τους, τους στόχους και τις επιδιώξεις τους μπορούν να υιοθετήσουν διαφορετικά πρωτόκολλα συναίνεσης.

2.5. Οφέλη της blockchain

Το πιο προφανές και σημαντικό όφελος της τεχνολογίας blockchain είναι το γεγονός ότι αφαιρεί την ανάγκη ύπαρξης έμπιστης τρίτης οντότητας για την λειτουργία των καταναμημένων εφαρμογών (Agbo et al., 2019).

Οι δυνατότητες της τεχνολογίας blockchain βασίζονται σε ένα συγκεκριμένο συνδυασμό βασικών χαρακτηριστικών (Siyal et al., 2019):

Αποκεντρωμένη. Ένα σύστημα βάσης δεδομένων με έλεγχο ανοικτής πρόσβασης σε οποιονδήποτε είναι συνδεδεμένος στο δίκτυο. Τα δεδομένα μπορούν να προσεγγιστούν, να παρακολουθούνται, να αποθηκεύονται και να ενημερώνονται από πολλά και διαφορετικά συστήματα.

Διαφανής. Τα καταγεγραμμένα και αποθηκευμένα δεδομένα στη blockchain είναι διαφανή σε όλους τους χρήστες και η όποια περαιτέρω ενημέρωση τους γίνεται με μεγάλη ευκολία. Η διαφανής φύση των blockchains αποτρέπει την παραβίαση ή την κλοπή δεδομένων.

Αμετάβλητη. Οι εγγραφές, αφού αποθηκευτούν, διατηρούνται για πάντα και δεν μπορούν να τροποποιηθούν, χωρίς ταυτόχρονη συναίνεση άρα και κατ' επέκταση του ελέγχου περισσότερων από το 51% του συνόλου των κόμβων.

Αυτόνομη. Το σύστημα blockchain είναι ανεξάρτητο και αυτόνομο, πράγμα που σημαίνει ότι κάθε κόμβος του συστήματος μπορεί να έχει πρόσβαση, να μεταφέρει, να αποθηκεύει και να ενημερώνει τα δεδομένα με ασφάλεια, καθιστώντας τα αξιόπιστα και απαλλαγμένα από οποιαδήποτε εξωτερική παρέμβαση.

Ανοικτός κώδικας. Η τεχνολογία blockchain είναι σχεδιασμένη με τρόπο ώστε να παρέχεται η πρόσβαση στο κώδικα της (ανοικτός κώδικας – open source) σε όλους όσους είναι συνδεδεμένοι στο δίκτυο. Αυτή η μοναδική ευελιξία δίνει το δικαίωμα σε οποιονδήποτε, όχι μόνο να ελέγχει τα αρχεία δημοσίως, αλλά και να αναπτύσσει διάφορες επικείμενες εφαρμογές.

Ανωνυμία. Λόγω του ότι η μεταφορά δεδομένων πραγματοποιείται μεταξύ κόμβων, η ταυτότητα των ατόμων παραμένει ανώνυμη, καθιστώντας το έτσι ένα πιο ασφαλές και αξιόπιστο σύστημα.

Κατά συνέπεια τα πιθανά οφέλη της blockchain σε εφαρμογές υγειονομικής περίθαλψης μπορούν να συνοψιστούν στα εξής (Agbo et al., 2019):

Αποκέντρωση: Λόγω της ύπαρξης μεγάλου αριθμού κατανεμημένων ενδιαφερόμενων μερών στην υγειονομική περίθαλψη και της ίδιας της φύσης της, απαιτείται αποκεντρωμένο σύστημα διαχείρισης. Η τεχνολογία blockchain μπορεί να αποτελέσει τον κεντρικό κορμό ενός συστήματος διαχείρισης δεδομένων υγείας από όπου όλοι οι ενδιαφερόμενοι μπορούν να έχουν ελεγχόμενη πρόσβαση στα ίδια αρχεία υγείας, χωρίς κανείς να διαδραματίζει το ρόλο μιας κεντρικής αρχής επί του συνόλου των δεδομένων υγείας.

Βελτιωμένη ασφάλεια δεδομένων και προστασία προσωπικών δεδομένων: Η ιδιότητα της αμετάβλητης λειτουργίας της blockchain βελτιώνει σημαντικά την ασφάλεια των δεδομένων υγείας που είναι αποθηκευμένα σε αυτό, καθώς τα δεδομένα, αυτά, αφού αποθηκευτούν στη blockchain, δεν μπορούν να καταστραφούν, να αλλοιωθούν ή να χρησιμοποιηθούν για την ταυτοποίηση των χρηστών. Όλα τα δεδομένα υγείας στη blockchain κρυπτογραφούνται, χρονοσφραγίζονται και επισυνάπτονται με χρονολογική σειρά. Επιπλέον, για τα δεδομένα υγείας που αποθηκεύονται στη blockchain χρησιμοποιούνται κρυπτογραφικά κλειδιά που βοηθούν στην προστασία της ταυτότητας και των προσωπικών δεδομένων των ασθενών.

Ιδιοκτησία δεδομένων υγείας: Οι ασθενείς πρέπει να έχουν την απόλυτη κυριότητα των δεδομένων τους καθώς και τον έλεγχο του τρόπου με τον οποίο αυτά χρησιμοποιούνται. Οι ασθενείς χρειάζονται τη διαβεβαίωση ότι τα δεδομένα υγείας τους δεν χρησιμοποιούνται καταχρηστικά από άλλους ενδιαφερόμενους και θα πρέπει να έχουν τα μέσα να εντοπίζουν τότε συμβαίνει τέτοια κατάχρηση. Η blockchain βοηθά στην ικανοποίηση αυτών των απαιτήσεων μέσω ισχυρών κρυπτογραφικών πρωτοκόλλων και σαφώς καθορισμένων έξυπνων συμβάσεων.

Διαθεσιμότητα / Ευρωστία: Δεδομένου ότι τα αρχεία στη blockchain αναπαράγονται σε πολλούς κόμβους, η διαθεσιμότητα των δεδομένων υγείας που είναι αποθηκευμένα στη blockchain είναι εγγυημένη, καθώς το σύστημα είναι ισχυρό και ανθεκτικό έναντι των απωλειών δεδομένων, της καταστροφής δεδομένων και ορισμένων επιθέσεων ασφαλείας που στοχεύουν στη διαθεσιμότητα των δεδομένων.

Διαφάνεια και εμπιστοσύνη: Η blockchain, μέσω της ανοικτής και διαφανούς φύσης της, δημιουργεί αίσθημα εμπιστοσύνης γύρω από τις όποιες κατανεμημένες εφαρμογές υγειονομικής περίθαλψης. Αυτό διευκολύνει την αποδοχή των εφαρμογών αυτών από τους ενδιαφερόμενους του τομέα της υγειονομικής περίθαλψης.

Δυνατότητα επαλήθευσης δεδομένων: Ακόμη και χωρίς πρόσβαση στο πλήρες κείμενο των εγγραφών που είναι αποθηκευμένες στη blockchain, η ακεραιότητα και η εγκυρότητα αυτών των εγγραφών μπορούν να επαληθευτούν. Αυτό το χαρακτηριστικό είναι πολύ χρήσιμο σε τομείς της υγειονομικής περίθαλψης όπου η επαλήθευση των

αρχείων αποτελεί απαίτηση, όπως στη διαχείριση της αλυσίδας εφοδιασμού φαρμακευτικών προϊόντων και στην επεξεργασία ασφαλιστικών απαιτήσεων (Agbo et al., 2019).

2.5.1 Δυνητικά οφέλη της blockchain στην Υγεία

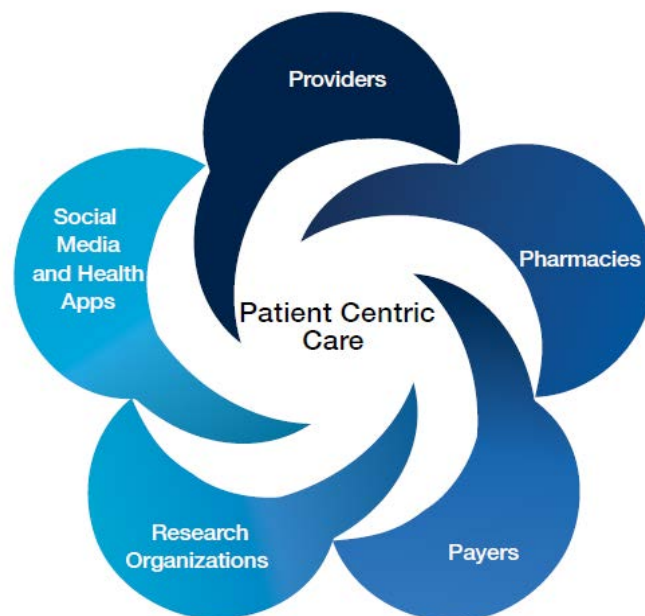
Η διαχείριση των δεδομένων υγειονομικής περίθαλψης, που περιλαμβάνει: α) την αποθήκευση, β) τον έλεγχο πρόσβασης και γ) την κοινή χρήση των δεδομένων, αποτελεί σημαντική πτυχή του κλάδου της υγειονομικής περίθαλψης. Η σωστή διαχείριση των δεδομένων βελτιώνει τα αποτελέσματα της υγειονομικής περίθαλψης, επιτρέποντας την δημιουργία ολιστικής εικόνας για τους ασθενείς, εξατομικευμένες θεραπείες και αποτελεσματική επικοινωνία (Katuwal et al., 2018).

Η σωστή διαχείριση των δεδομένων υγειονομικής περίθαλψης είναι επίσης ζωτικής σημασίας για τη λειτουργία του κλάδου με τρόπο οικονομικό, αποδοτικό και αποτελεσματικό. Ωστόσο, η διαχείριση των δεδομένων υγειονομικής περίθαλψης είναι ένα δύσκολο έργο, λόγω της ευαίσθητης φύσης τους και των επακόλουθων ζητημάτων εμπιστοσύνης, γεγονός που αποτελεί έναν από τους κύριους λόγους για τους οποίους τα δεδομένα και οι υπηρεσίες στο σύστημα υγειονομικής περίθαλψης υπάρχουν σε διαφορετικές μορφές σε διάφορα σημεία. Αυτό το αποσυνδεδεμένο σύστημα είναι υπεύθυνο για αρκετές ανεπάρκειες και αποτελεί σημαντικό εμπόδιο για την έρευνα στον τομέα της υγειονομικής περίθαλψης. Οι επαγγελματίες του τομέα της υγείας δεν έχουν γενικότερα πρόσβαση στα πλήρη δεδομένα των ασθενών, γεγονός που δημιουργεί προσκόμματα στα επακόλουθα στάδια διάγνωσης και θεραπείας. Αντίστοιχα οι ερευνητές δυσκολεύονται να βρουν τα επιθυμητά δεδομένα για τις μελέτες τους, επιβραδύνοντας έτσι την έρευνα στον τομέα της υγειονομικής περίθαλψης (Jahankhani et al., 2019).

Η blockchain μπορεί να επιτρέψει την αποτελεσματική ανταλλαγή δεδομένων υγειονομικής περίθαλψης, διασφαλίζοντας παράλληλα την ακεραιότητα των δεδομένων και προστατεύοντας το απόρρητο των ασθενών (Vazirani et al., 2020). Η ασφαλής, αποδοτική, οικονομική και διαλειτουργική ανταλλαγή πληροφοριών για την υγεία (Health Information Exchange - HIE) μπορεί να οικοδομηθεί και να χρησιμοποιηθεί σωστά παράλληλα με άλλες τεχνολογίες (Leading Age, 2020).

Επιπλέον, η υιοθέτηση της blockchain μπορεί να δώσει ώθηση στη προώθηση των μοντέλων υγειονομικής περίθαλψης με επίκεντρο τον ασθενή, όπου οι ασθενείς έχουν τον έλεγχο των δεδομένων της υγειονομικής περίθαλψής τους. Τα σημαντικότερα εμπόδια πίσω από την ανταλλαγή δεδομένων τόσο στα μοντέλα με επίκεντρο τον ασθενή όσο και στα παραδοσιακά μοντέλα είναι η έλλειψη εμπιστοσύνης και η έλλειψη κινήτρων για κοινή χρήση. Η τεχνολογία blockchain μπορεί να λύσει και τα δύο προβλήματα ενεργώντας ως επίπεδο εμπιστοσύνης και εισάγοντας μηχανισμούς κινήτρων, όπως για παράδειγμα η επιβράβευση των κρυπτονομισμάτων για την κοινή χρήση δεδομένων (Katuwal et al., 2018).

Σχήμα 8. Γενικευμένη παρουσίαση μοντέλου υγειονομικής περίθαλψης με επίκεντρο τον ασθενή



Πηγή: *Sharmistha et al., (2017)*

Επιπρόσθετα η blockchain μπορεί να αποτελέσει τη γέφυρα για την ενσωμάτωση των δεδομένων των ιατρικών συσκευών και εν γένει του IoT όσον αφορά τον τομέα της υγειονομικής περίθαλψης. Τα δεδομένα υγειονομικής περίθαλψης και τρόπου ζωής που συλλέγονται από φορητές συσκευές μπορεί να είναι κρίσιμα για τη σωστή διάγνωση, αλλά δεδομένου ότι υπάρχει έλλειψη κατάλληλου τρόπου για έναν γιατρό να έχει πρόσβαση στα δεδομένα που δημιουργούνται από τον ασθενή, αυτά τις περισσότερες φορές παραμένουν αχρησιμοποίητα (Godfrey et al., 2018).

Η τεχνολογία blockchain θα μπορούσε να διαδραματίσει κεντρικό ρόλο στον κλάδο της υγειονομικής περίθαλψης με αρκετές εφαρμογές σε τομείς όπως η διαχείριση της δημόσιας υγειονομικής περίθαλψης, τα διαμήκη αρχεία υγειονομικής περίθαλψης, η αυτοματοποιημένη διαιτησία αξιώσεων και αποζημιώσεων υγείας, η άμεση πρόσβαση των ασθενών, η ανταλλαγή ιατρικών δεδομένων ασθενών, η ιατρική έρευνα προσανατολισμένη στους χρήστες, η παραποίηση φαρμάκων, οι κλινικές δοκιμές και η ιατρική ακριβείας (Ahram et al., 2017 ; Shae & Tsai., 2017 ; Sharmistha et al., 2017 ; Zhao et al., 2017 ; Mamoshina, 2018 ; Lee & Yang, 2018 ; Patel, 2018). Επιπρόσθετα, η τεχνολογία blockchain και η χρήση των έξυπνων συμβάσεων θα μπορούσαν να επιλύσουν προβλήματα επιστημονικής αξιοπιστίας των ευρημάτων (ελλείποντα δεδομένα, εναλλαγή τελικού σημείου, βυθοκόρηση δεδομένων και επιλεκτική δημοσίευση) σε κλινικές δοκιμές (Nugent et al., 2016) καθώς και θέματα εν επιγνώσει συναίνεσης των ασθενών (Benchoufi et al., 2018).

Η τεχνολογία blockchain έχει επίσης να προσφέρει πολλά πλεονεκτήματα στην ιατρική βιομηχανία. Ο τρόπος με τον οποίο το διαδίκτυο έφερε επανάσταση στην υγειονομική περίθαλψη και εισήγαγε την τηλεϊατρική, μοιάζει με τον τρόπο που η τεχνολογία blockchain είναι πιθανό να οδηγήσει την ιατρική επιστήμη στο επόμενο επίπεδο στο μέλλον, μειώνοντας το κόστος της παρακολούθησης, διαμόρφωσης των δεδομένων μέσω κεντρικού διακομιστή και του διοικητικού κόστους διαχείρισης των ιατρικών δεδομένων. Η χρήση blockchain σε κλινικά πλαίσια θα μειώσει δραστικά το χρόνο επεξεργασίας, διότι μόλις ένας ασθενής εμπλακεί σε μια μελέτη, η πλήρης συλλογή δεδομένων θα είναι διαθέσιμη αμέσως, λόγω της διαθεσιμότητας στο κατακευματισμένο καθολικό (Jahankhani, et al., 2019).

Επιπλέον, οι γιατροί δεν θα πρέπει να ανησυχούν για τον ασθενή, αφού θα μπορούν να του παρέχουν ένα ειλικρινές ιατρικό ιστορικό, λόγω της ικανότητάς τους να δουν τα πρωτότυπα, ποιοτικά και αυθεντικά δεδομένα, τεκμηριωμένα στην πηγή τους, σε πραγματικό χρόνο, μειώνοντας με τον τρόπο αυτό τυχόν σφάλματα που μπορούν να προέλθουν από ελλείψεις του ιατρικού ιστορικού. Ομοίως, οι ασθενείς δεν θα πρέπει να ανησυχούν για την αποδοχή μιας δεύτερης γνώμης από έναν άλλο γιατρό, λόγω της διαφάνειας των δεδομένων.

Έχοντας αρχεία ασθενών σε ένα δίκτυο blockchain θα οδηγήσει τους ανθρώπους να αποκτήσουν ευρεία γνώση για την ασθένεια τους και να συνδεθούν με πολλούς άλλους, σε όλο τον κόσμο, με παρόμοιες ιατρικές παθήσεις, γεγονός που δεν θα αποτελέσει μόνο ευεργετικό παράγοντα για την υγεία τους, αλλά θα ενισχύσει επίσης το αίσθημα αποδοχής και υποστήριξης των ασθενών από το ευρύτερο περιβάλλον και τη θέληση τους για την καταπολέμηση της νόσου. Οι ασθενείς, όπως προαναφέρθηκε, με την βοήθεια της τεχνολογίας blockchain, θα έχουν πλήρη αυτονομία στα δεδομένα τους και θα είναι οι ίδιοι που θα αποφασίζουν με ποιον και ποια δεδομένα θα μοιραστούν. Αυτή η επόμενη εποχή μπορεί να ονομαστεί ως Freedom-As-A-Service, όπως πρότεινε ο Richie Etwaru σε μια παρουσίαση του βιβλίου του το 2016 (Siyal et al., 2019).

2.6. Προβλήματα και προκλήσεις στην εφαρμογή της blockchain

2.6.1. Προβλήματα και αξιολόγηση καταλληλότητας εφαρμογής

Πολλοί οργανισμοί σε διάφορους τομείς είναι ενθουσιασμένοι με την τεχνολογία blockchain και τις δυνατότητές της να οδηγήσει τον ψηφιακό μετασχηματισμό τους, επιλύοντας ταυτόχρονα πραγματικά καθημερινά προβλήματα (Umeh, 2016).

Παρόλα αυτά, ενώ αρκετοί ειδικοί πληροφορικής προβλέπουν τη χρήση της blockchain σχεδόν σε κάθε έργο, δεν κατανοούν τους βασικούς λόγους για τη χρήση της, ιδιαίτερα από την άποψη της διαχείρισης δεδομένων. Για παράδειγμα, εάν δεν χρειάζεται πουθενά στην εφαρμογή αποθήκευση δεδομένων, η blockchain δεν θα προσθέσει καμία αξία σε ήδη καθιερωμένες τεχνικές λύσεις. Ομοίως, εάν προβλέπεται μόνο ένας καταχωρητής σε ένα δεδομένο σύστημα, η blockchain δεν θα παρέχει πρόσθετες εγγυήσεις σε σύγκριση με μια κανονική βάση δεδομένων η οποία πιθανότατα θα ήταν μια πιο κατάλληλη επιλογή, ιδιαίτερα από την άποψη της απόδοσης (ταχύτητα συναλλαγών) (Greenspan, 2015).

Από την άλλη πλευρά, η blockchain είναι κατάλληλη όταν απαιτείται συναλλαγή μεταξύ αξιόπιστων πηγών ή μόνιμη ιστορική καταγραφή. Για παράδειγμα, εάν υπάρχει ανάγκη για πολλές αμοιβαία δύσπιστες οντότητες να αλληλεπιδρούν και να αλλάζουν την κατάσταση ενός συστήματος, τότε η blockchain μπορεί να αποτελεί μια κατάλληλη και βιώσιμη λύση (Wüst & Gervais, 2018).

Ως εκ τούτου, πριν από την υιοθέτηση λύσεων με τη χρήση τεχνολογίας blockchain θα πρέπει να εξεταστεί η καταλληλότητα της blockchain σε σχέση με τις απαιτήσεις χρήσης της εκάστοτε περίπτωσης (Lo et al., 2017).

Η επιστημονική βιβλιογραφία έχει συμβάλλει, με ένα περιορισμένο αριθμό πλαισίων που βοηθούν, στην αξιολόγηση της καταλληλότητας χρήσης των δυνατοτήτων της blockchain από εφαρμογές (Griffin et al., 2019). Για παράδειγμα, οι Lo et al. (2017), πρότειναν ένα πλαίσιο αξιολόγησης για εφαρμογές με δυνατότητα blockchain σε συγκεκριμένους βιομηχανικούς τομείς, όπως η εφοδιαστική αλυσίδα, τα ηλεκτρονικά ιατρικά αρχεία (Electronic Health Records - EHRs), η διαχείριση ταυτότητας και η χρηματιστηριακή αγορά.

Οι Wüst & Gervais (2018) παρέχουν την σχετική ανάλυση στηριζόμενοι στις ιδιότητες διαφορετικών τύπων blockchain (π.χ. με άδεια και χωρίς άδεια) αναπτύσσοντας ένα μεθοδολογικό πλαίσιο για τον προσδιορισμό της καταλληλότητας των εφαρμογών με δυνατότητα blockchain σε διάφορους τομείς.

Το πρώτο βήμα για την απόφαση αξιοποίησης της τεχνολογίας blockchain σε κάποια εφαρμογή είναι η αξιολόγηση της υιοθέτησης ή όχι αποκεντρωμένης διαδικασίας. Οι Griffin et al. (2019), παρέχουν ένα πλαίσιο αξιολόγησης με τομείς ενδιαφέροντος, επίπεδα και αναλυτικές περιγραφές που μπορούν να βοηθήσουν σε αυτή την αξιολόγηση.

Οι τομείς ενδιαφέροντος χωρίζονται σε:

- **Δεδομένα:** Που περιλαμβάνει τα επίπεδα Προστασίας και Όγκου δεδομένων.
- **Επεξεργασία:** Που περιλαμβάνει τα επίπεδα Ταχύτητας και Ταχύτητας επέκτασης.
- **Τεχνικό:** Που περιλαμβάνει τα επίπεδα που αφορούν τα συστήματα Παλαιού τύπου και την Υποστήριξη των Πληροφοριακών Συστημάτων
- **Διοικητικό:** Που περιλαμβάνει τα επίπεδα που αφορούν την Ιδιοκτησία και την εξασφάλιση της Εμπιστοσύνης

Πίνακας 2. Τομείς ενδιαφέροντος για μια εφαρμογή αποκεντρωμένης διαδικασίας

Τομείς ενδιαφέροντος	Επίπεδο	Περιγραφή
Δεδομένα	Προστασία δεδομένων	<ul style="list-style-type: none"> • Τα δεδομένα κατά τη μεταφορά θα πρέπει να κρυπτογραφούνται τόσο στο ωφέλιμο φορτίο όσο και στο κανάλι. • Τα δεδομένα σε κατάσταση ηρεμίας (μόνιμα δεδομένα) θα πρέπει να κρυπτογραφούνται. • Οι χρήστες θα πρέπει να έχουν έλεγχο ταυτότητας χρησιμοποιώντας ψηφιακή υπογραφή ή έλεγχο ταυτότητας δύο παραγόντων. • Τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται στην επιχειρηματική διαδικασία θα πρέπει να είναι προσβάσιμα μόνο από εξουσιοδοτημένα μέρη. • Η επιχειρηματική διαδικασία θα πρέπει να γίνεται μόνο από εξουσιοδοτημένα μέρη.
Δεδομένα	Όγκος δεδομένων	<ul style="list-style-type: none"> • Το σύστημα επεξεργασίας θα πρέπει να είναι επεκτάσιμο για το χειρισμό οποιουδήποτε απαιτούμενου όγκου δεδομένων (μεταδιδόμενο μέγεθος ωφέλιμου φορτίου). • Η διαβίβαση μεγάλων όγκων δεδομένων θα πρέπει να επιτρέπεται να γίνεται σύγχρονα ή ασύγχρονα από την πλευρά των εμπλεκόμενων μερών
Επεξεργασία	Ταχύτητα	<ul style="list-style-type: none"> • Ο χρόνος απόκρισης των αλληλεπιδράσεων μεταξύ των εμπλεκόμενων μερών και του συστήματος επεξεργασίας θα πρέπει να είναι κοντά σε πραγματικό χρόνο. • Ο χρόνος μεταξύ των βημάτων επεξεργασίας θα πρέπει να ελαχιστοποιείται, δεδομένου ότι δεν πρέπει να προκαλούνται στενώσεις καθόλη τη διάρκεια της διαδικασίας
Επεξεργασία	Ταχύτητα επέκτασης (Παραλληλισμός)	<ul style="list-style-type: none"> • Το σύστημα επεξεργασίας θα πρέπει να είναι επεκτάσιμο για το χειρισμό τυχόν απαιτούμενων δεδομένων. • Το σύστημα επεξεργασίας θα πρέπει να είναι οριζόντια κλιμακούμενο καθώς αυξάνεται η ζήτηση.
Τεχνικός	Συστήματα παλαιού τύπου	<ul style="list-style-type: none"> • Τα βιομηχανικά πρότυπα (όπως οι διαδικτυακές υπηρεσίες) θα πρέπει να ακολουθούνται από τα εμπλεκόμενα μέρη ώστε τα υφιστάμενα τους συστήματα να μπορούν να προσαρμόζονται και να ενσωματώνονται ευκολότερα στην υποδομή κοινών επιχειρηματικών διαδικασιών
Τεχνικός	Υποστήριξη Πληροφοριακών Συστημάτων	<ul style="list-style-type: none"> • Τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται στην επιχειρηματική διαδικασία θα πρέπει να φυλάσσονται σε αντίγραφα προστασίας. • Θα πρέπει να υπάρχει η δυνατότητα για ένα ενιαίο σημείο ελέγχου καθόλη την επιχειρηματική διαδικασία. • Η επιχειρηματική διαδικασία θα πρέπει να χειρίζεται επιχειρηματικές εξαιρέσεις σύμφωνα με ένα σύνολο κανόνων.

Τομείς ενδιαφέροντος	Επίπεδο	Περιγραφή
		<ul style="list-style-type: none"> • Η εκτέλεση της επιχειρηματικής διαδικασίας θα πρέπει να είναι ανιχνεύσιμη. • Κάθε τμήμα της επιχειρηματικής διαδικασίας θα πρέπει να είναι πλήρης και να παραμένει όπως απαιτείται. • Δεν θα πρέπει να υπάρχει ένα σημείο αποτυχίας στην υποδομή (διακομιστές και δίκτυα). • Τα δεδομένα διεργασίας και επιχείρησης πρέπει να αναπαράγονται κατά το χρόνο εκτέλεσης. • Η επιχειρηματική διαδικασία θα πρέπει να σχεδιάζεται και να δοκιμάζεται με τη χρήση εργαλείων που βασίζονται σε πρότυπα. • Οι κανόνες επιχειρηματικής διαδικασίας θα πρέπει να συνταχθούν και να αντιμετωπιστούν ξεχωριστά.
Διοίκηση	Ιδιοκτησία	<ul style="list-style-type: none"> • Μόνο τα δεδομένα που σχετίζονται με την επιχειρηματική διαδικασία θα πρέπει να κοινοποιούνται από τα εμπλεκόμενα μέρη. • Μόνο τα δεδομένα που εγκρίνονται από τα εμπλεκόμενα μέρη θα πρέπει να χρησιμοποιούνται στην επιχειρηματική διαδικασία. • Τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται στην επιχειρηματική διαδικασία θα πρέπει να είναι ανιχνεύσιμα. • Τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται στην επιχειρηματική διαδικασία θα πρέπει να είναι αμετάβλητα
Διοίκηση	Εμπιστοσύνη (Πως λαμβάνονται οι αποφάσεις, ώστε να εξασφαλίζεται η εμπιστοσύνη μεταξύ των μερών)	<ul style="list-style-type: none"> • Θα πρέπει να υπάρχει ένα όργανο λήψης αποφάσεων που θα εκπροσωπεί όλα τα εμπλεκόμενα μέρη. • Θα πρέπει να λαμβάνονται αποφάσεις σχετικά με τα δεδομένα, την επεξεργασία και τα τεχνικά πρότυπα. • Θα πρέπει να λαμβάνονται αποφάσεις σχετικά με τους κανόνες λειτουργίας της επιχειρηματικής διαδικασίας. • Θα πρέπει να λαμβάνονται αποφάσεις σχετικά με κίνητρα για την έγκριση της επιχειρηματικής διαδικασίας. • Θα πρέπει να λαμβάνονται αποφάσεις σχετικά με την τιμολόγηση για τη χρήση της επιχειρηματικής διαδικασίας. • Θα πρέπει να υπάρχει ένα πλαίσιο για την επίλυση των διαφορών μεταξύ των εμπλεκόμενων μερών. • Θα πρέπει να υπάρχει ένα πλαίσιο για τη διαπραγμάτευση μέσω κατευθυντηρίων δικαιοδοσίας. • Θα πρέπει να υπάρχει μια πλατφόρμα για την ευαισθητοποίηση και την οικοδόμηση εμπιστοσύνης.

Πηγή: Επεξεργασία από Griffin et al. (2019).

Ένας επίσης κρίσιμος παράγοντας για την επιλογή της τεχνολογίας blockchain από τις εκάστοτε εφαρμογές αποτελεί η Βάση Δεδομένων. Οι βάσεις δεδομένων είναι από τη

φύση τους μεταβλητές από ένα προκαθορισμένο σύνολο οντοτήτων που έχουν πρόσβαση και μπορούν να εισάγουν ή να ενημερώνουν δεδομένα. Αυτές οι οντότητες μπορεί να έχουν συγκεκριμένους ρόλους, αλλά η ταυτότητά τους είναι γνωστή. Ωστόσο, υπάρχουν και οι ρόλοι των διαχειριστών (administrators) που μπορούν να μεταβάλουν πλήρως το περιεχόμενο και τη δομή των φιλοξενούμενων πληροφοριών, ανεξάρτητα από το αν αυτές φιλοξενούνται κεντρικά ή όχι.

Στην έρευνά τους οι Casino et al. (2019) επισημαίνουν τις γενικότερες απαιτήσεις διαφόρων τομέων (χρηματοοικονομικό, επιχειρηματικό, εκπαίδευσης κ.λπ.) καθώς και του τομέα υγείας. Αναδεικνύουν ως απαιτήσεις, τις οποίες εξετάζουν σε σχέση με τους τομείς, τις:

- Επεκτασιμότητα,
- Προστασία προσωπικών δεδομένων,
- Διαλειτουργικότητα,
- Έλεγχο
- Αδράνεια
- Διαφάνεια

και καταλήγουν ότι, για τον τομέα υγείας, οι τέσσερις πρώτες απαιτήσεις (επεκτασιμότητα, προστασία προσωπικών δεδομένων, διαλειτουργικότητα έλεγχος) είναι υποχρεωτικές χωρίς αυτό να αναιρεί την αναγκαιότητα της αδράνειας και της διαφάνειας σε άλλες συγκεκριμένες εφαρμογές της υγειονομικής περίθαλψης.

Σχήμα 9. Χαρακτηριστικά/απαιτήσεις που επιτρέπουν/απαιτούν κάθε οικογένεια εφαρμογών blockchain. Το (✓) υποδηλώνει ότι η απαίτηση αυτή είναι υποχρεωτική.

	Scalability	Privacy	Interoperability	Audit	Latency	Visibility
Finance	✓	◦	✓	✓	✓	✓
Citizenship Services		✓	✓	✓		
Integrity Verification				✓		✓
Governance	◦	✓	✓	✓		
IoT	✓	✓			✓	
Health	✓	✓	✓	✓		
Privacy & Security		✓		✓		
Business	◦	◦	✓	✓	◦	✓
Education		✓	✓	✓		
Data management	✓		✓	✓	◦	✓

Πηγή: Casino et al. (2019)

Σύμφωνα με τα παραπάνω ευρήματα της έρευνας τους ανέπτυξαν ένα πλαίσιο αξιολόγησης της καταλληλότητας λύσεων που βασίζονται στη τεχνολογία blockchain

και συγκεκριμένα τις δυνατότητες της έναντι των παραδοσιακών βάσεων δεδομένων. Η αξιολόγηση αυτή έγινε με βάση τις απαιτήσεις σε τέσσερις κύριους τομείς και την ανάλυση τους σε ανάλογες προϋποθέσεις και καθοριστικούς παράγοντες, με τριτοβάθμια κλίμακα μέτρησης (Υψηλή, Μεσαία, Χαμηλή):

- Εμπιστοσύνη
- Περιεχόμενο
- Επίδοση
- Συναίνεση

Πίνακας 3. Ανάλυση των χαρακτηριστικών και των προϋποθέσεων της blockchain σε σχέση με τις παραδοσιακές βάσεις δεδομένων

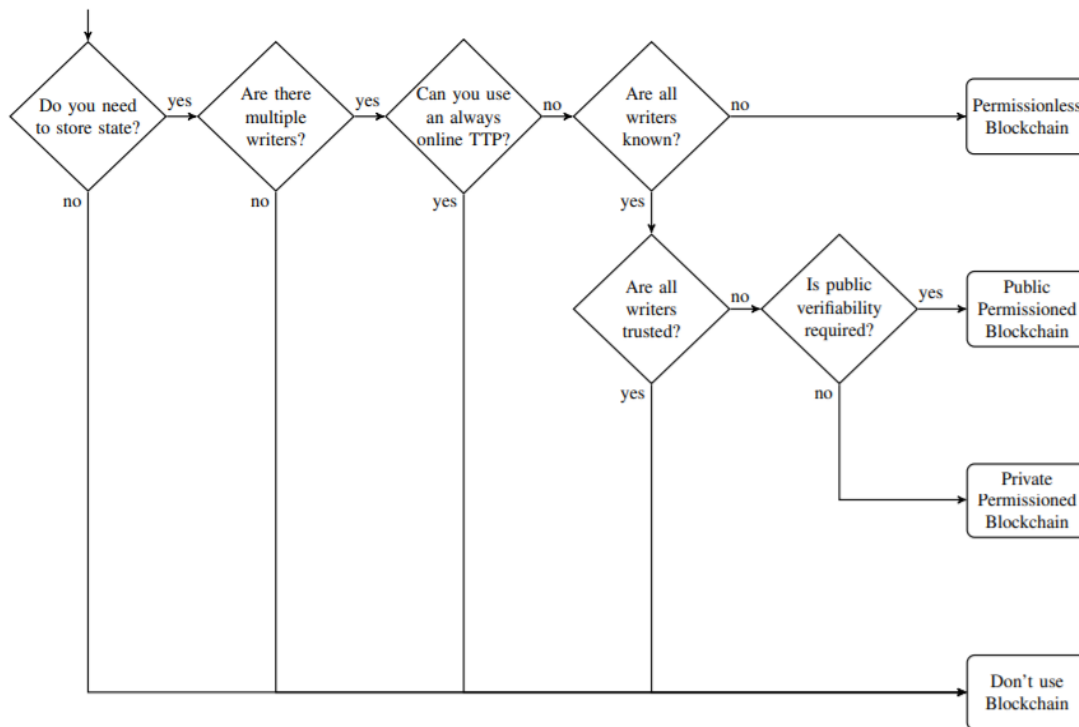
Attributes	Prerequisites & determinants	Architecture Blockchain		
		Permissionless	Permissioned	Database
Trust	Lack of Trusted Third Parties	High	High	Low
	Accountability	High	High	High
	Immutability	High	High	Medium
	Multiple non-trusting writers	High	High	Low
	Peer-to-peer transactions	High	High	Low
Context	Traceability of transactions	High	High	Low
	Verifiability of transactions	High	High	Low
	Data/transaction notarization	High	High	Low
	Data transparency	High	High	Low
	Security	High	High	Low
	Privacy	High	Medium	Low
Performance	Latency and transaction speed	Low	Medium	High
	Maintenance costs	High	High	Low
	Redundancy	High	High	Medium
	Scalability	Low	Medium	High
Consensus	Rules of engagement	High	High	Low
	Need for verifiers	High	High	Low
	Autonomous/dynamic interactions between transactions of different writers	High	High	Low

Πηγή: *Casino et al. (2019)*

Τα προαναφερόμενα πλαίσια μπορούν να λειτουργήσουν ως ένα ολοκληρωμένο εργαλείο για τους επαγγελματίες που φιλοδοξούν να αξιολογήσουν αν τα συστήματά τους θα ενισχυθούν με την ενσωμάτωση της τεχνολογίας blockchain ή όχι. Επίσης οι επαγγελματίες της πληροφορικής θα πρέπει να εξετάσουν και να επιλέξουν, ανάλογα με τις απαιτήσεις και την φύση των εφαρμογών, τον τύπο της blockchain που θα πρέπει να αξιοποιηθεί (δημόσια – ιδιωτική, με άδεια ή χωρίς άδεια) καθώς και το καταλληλότερο πρωτόκολλο συναίνεσης (Agbo et al., 2019). Οι Wüst & Gervais

(2018) παρέχουν ένα απλοποιημένο διάγραμμα ροής λήψης απόφασης για την χρήση ή όχι καθώς και τον τύπο της blockchain που θα πρέπει να εφαρμοστεί.

Σχήμα 10. Διάγραμμα ροής για την λήψη απόφασης χρήσης ή όχι και του τύπου της blockchain



Πηγή: *Wüst & Gervais (2018)*

Επιπρόσθετα θα πρέπει να επαναλάβουμε ότι από την πλευρά του θέματος της εμπιστοσύνης, η blockchain δεν απαιτεί την ύπαρξη έμπιστης τρίτης οντότητας, η οποία αποτελεί προϋπόθεση για τις παραδοσιακές βάσεις δεδομένων και κατά συνέπεια η αξιοπιστία και η δυνατότητα επαλήθευσης του περιεχομένου είναι σαφώς υπέρτερη. Είναι επίσης πολύ πιο δόκιμη όταν πρέπει να εντοπίζονται συναλλαγές και λειτουργίες (διαδοχική αλυσίδα γεγονότων) ή όταν οι λειτουργίες απαιτούν ισχυρή ασφάλεια και προστασία της ιδιωτικής ζωής και των προσωπικών δεδομένων (οι κεντρικές δομές δεδομένων είναι πιο ευάλωτες σε κακόβουλες επιθέσεις από τις αποκεντρωμένες δομές) (Zyskind et al., 2015b).

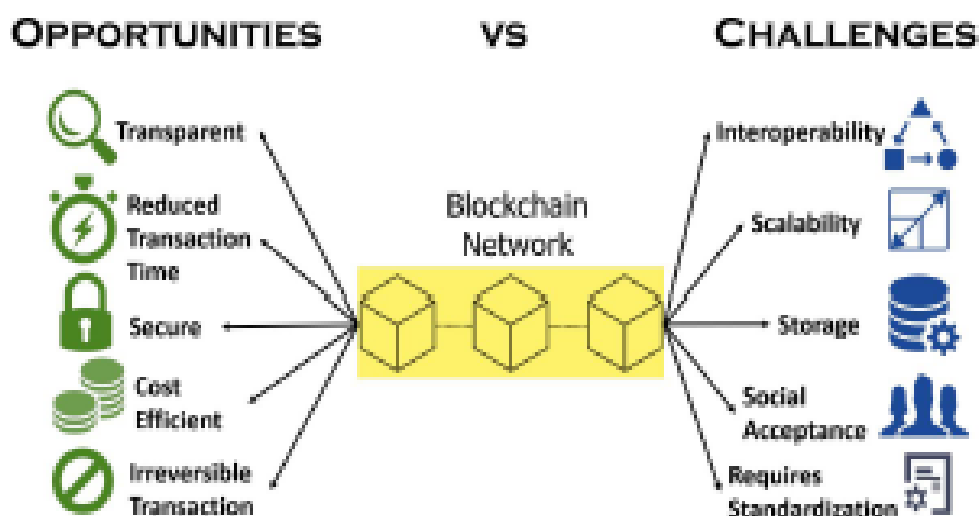
Στο πλαίσιο της αξιολόγησης θα πρέπει επίσης να λαμβάνεται υπόψη, ότι η τεχνολογία blockchain μπορεί να παρέχει σημαντική μείωση του κόστους συντήρησης λόγω του

ότι δεν απαιτεί φιλοξενία σε κάποιο κεντρικό σύστημα και ότι οι μηχανισμοί συναίνεσης που εφαρμόζονται σε δίκτυα blockchain (Nguyen & Kim, 2018) επιτρέπουν σε πολλούς χρήστες να τροποποιήσουν τη βάση δεδομένων και να παρέχουν ένα έγκυρο αρχείο καταγραφής συναλλαγών στο οποίο όλοι οι κόμβοι αποδεδειγμένα συμφωνούν.

2.6.2. Προκλήσεις

Η τεχνολογία blockchain είναι μια αναδυόμενη τεχνολογία, που εξαπλώνεται σε διάφορους τομείς (Shae & Tsai, 2017) με υψηλό ποσό ωφελημάτων (Alhadhrami et al., 2017) και ευκαιριών (Fernández-Caramés & Fraga-Lamas, 2018). Ωστόσο, η τεχνολογία blockchain συνοδεύεται και από ένα δικό της σύνολο προκλήσεων, που πρέπει να αντιμετωπιστούν. Παρακάτω αναφέρονται οι κύριες προκλήσεις που αφορούν συγκεκριμένα τον κλάδο της υγειονομικής περίθαλψης.

Σχήμα 11. Ευκαιρίες και προκλήσεις της τεχνολογίας Blockchain στον κλάδο της υγειονομικής περίθαλψης



Πηγή: *Siyal et al. (2019)*

Ασφάλεια και προστασία των προσωπικών δεδομένων: Η πρώτη και η πλέον κρίσιμη πρόκληση είναι η ασφάλεια και η προστασία των προσωπικών δεδομένων (Kuo & Ohno-Machado, 2018).

Οι εφαρμογές που βασίζονται στην τεχνολογία της blockchain, μπορεί να μην έχουν την ανάγκη ύπαρξης έμπιστης τρίτης οντότητας, για την πραγματοποίηση των συναλλαγών, αλλά υποχρεώνονται να επιτρέπουν σε ολόκληρη την κοινότητα την επαλήθευσή τους (Zheng et al., 2017). Με τη μέθοδο αυτή τα δεδομένα καθίστανται επιρρεπή σε πιθανούς κινδύνους προστασίας και ασφάλειας των προσωπικών δεδομένων. Δεδομένου ότι όλοι οι κόμβοι μπορούν να έχουν πρόσβαση στα δεδομένα που μεταδίδονται από έναν κόμβο, το απόρρητο των δεδομένων δεν διασφαλίζεται ότι θα παραμείνει άθικτο. Μπορεί οι συναλλαγές να μην συνδέονται με πραγματικές ταυτότητες και να μεταδίδονται τυχαία μέσω δικτύων με διομότιμη επικοινωνία (P2P), ωστόσο, από την άλλη πλευρά, οι συναλλαγές μπορούν ακόμη και να ταυτοποιηθούν μέσω διαφόρων τεχνικών, οι οποίες μπορεί να οδηγήσουν στον επαναπροσδιορισμό συγκεκριμένων υποκειμένων των δεδομένων, σε έμμεσες και απομακρυσμένες περιπτώσεις (Ludwin, 2015 ; Goldfeder et al., 2018). Οι Conti et al. (2018), μέσω της ανάλυσης γραφήματος συναλλαγών στο δίκτυο Bitcoin, κατέδειξαν ότι μπορούν να αποκαλυφθούν από τη blockchain, τα μοτίβα συναλλαγών που επιτρέπουν, στον χρήστη την ομαδοποίηση των διευθύνσεων. Η ανάλυση γραφήματος συναλλαγών μπορεί μέσω διαφόρων τεχνικών να προβεί στη σύνδεση συναλλαγών με τις διευθύνσεις ενός υποσυνόλου μοναδικών κατόχων bitcoin, επιτρέποντας στη συνέχεια την αντιστοίχιση των συναλλακτικών σχέσεων με τους κατόχους των bitcoins και την ενδεχόμενη ταυτοποίηση τους.

Η απουσία τρίτου μέρους για έγκριση απαιτεί από τον ασθενή να επιλέξει έναν ή περισσότερους αντιπροσώπους που μπορούν να έχουν πρόσβαση στις πληροφορίες του ή/και στο ιατρικό ιστορικό του για λογαριασμό του, σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης. Σε αυτή την περίπτωση ο εκπρόσωπος αυτός μπορεί να επιτρέψει περαιτέρω σε ένα σύνολο ανθρώπων να έχουν πρόσβαση στα αρχεία του ίδιου ασθενούς, γεγονός που μπορεί να δημιουργήσει μια τεράστια απειλή για την προστασία και την ασφάλεια των προσωπικών του δεδομένων (Siyal et al., 2019).

Η εισαγωγή μηχανισμών υψηλής ασφάλειας των δεδομένων θα φέρει, με τη σειρά της, εμπόδια στη μεταφορά των δεδομένων από το ένα block στο άλλο και, ως εκ τούτου, οι δέκτες θα έχουν πρόσβαση σε περιορισμένα ή ελλιπή δεδομένα. Επίσης τα

συστήματα που εφαρμόζουν την blockchain δέχονται και αυτά επιθέσεις όπως και τα συστήματα με κεντρικές βάσεις δεδομένων. Εκτός από επιθέσεις που είναι κοινές και για τα δύο συστήματα (π.χ. DDoS) υπάρχουν και κατηγορίες επιθέσεων που αφορούν συγκεκριμένα τα συστήματα blockchain. Αυτές είναι (Conti et al., 2018):

- Επιθέσεις Διπλής Δαπάνης (Double Spending)
- Επιθέσεις στο χώρο των εξορυκτών (Mining Pool Attacks)
- Επιθέσεις στην πλευρά των χρηστών (Client-side Security Threats)
- Επιθέσεις στο δίκτυο της blockchain (Blockchain Network Attacks)

Επιπλέον, τα δίκτυα blockchain είναι επιρρεπή σε ένα είδος παραβίασης ασφαλείας που είναι γνωστό ως επίθεση 51%. Αυτή η επίθεση περιλαμβάνει μια ομάδα εξορυκτών που κατέχουν περισσότερο από το 50% των block σε ένα δίκτυο blockchain. Οι εξορύκτες παίρνουν τον έλεγχο του δικτύου και μπορούν να αποτρέψουν την υλοποίηση νέων συναλλαγών μη παρέχοντας τους την συγκατάθεση τους.

Σύμφωνα με το coindesk πέντε κρυπτονομίσματα έχουν πέσει θύματα αυτής της επίθεσης πρόσφατα (Hertig, 2018). Μία ακόμη επίθεση, γνωστή ως Sybil, καθίσταται δυνατή επειδή το δίκτυο δεν μπορεί να διακρίνει αυθεντικά τους φυσικούς χρήστες από τις μηχανές. Η επίθεση Sybil αποσκοπεί στο να γεμίσει τη blockchain με χρήστες υπό τον έλεγχο του hacker. Με τον τρόπο αυτό μπορεί να οδηγήσει σε επιθέσεις διπλής δαπάνης και 51% αλλά και να αποκτήσει τη δυνατότητα πρόσβασης σε όλες τις πληροφορίες των συναλλαγών με ειδικά προγράμματα (Golosoova & Romanovs, 2018).

Ένας ακόμη σημαντικός τεχνολογικός κίνδυνος είναι οι κβαντικοί υπολογιστές οι οποίοι θέτουν μια σοβαρή πρόκληση για την ασφάλεια της τεχνολογίας blockchain και ειδικότερα της κρυπτογράφησης των δεδομένων. Επί του παρόντος, περίπου το 25% των bitcoins σε κυκλοφορία είναι ευάλωτα σε μια κβαντική επίθεση (Deloitte, 2020).

Κατά συνέπεια, όσον αφορά τα ευαίσθητα δεδομένα ενός αρχείου ασθενούς θα πρέπει να προηγείται αξιολόγηση, για τα ποια είναι κατάλληλα για να βρίσκονται στη blockchain (Linn & Koo, 2016).

Διαχείριση της χωρητικότητας αποθήκευσης: Μια άλλη πρόκληση που εμφανίζεται σε αυτό το μέτωπο είναι η διαχείριση της χωρητικότητας αποθήκευσης. Η τεχνολογία blockchain έχει σχεδιαστεί για την καταγραφή και την επεξεργασία των δεδομένων συναλλαγών, η οποία έχει περιορισμένο όγκο δεδομένων και επομένως δεν χρειάζεται μεγάλους χώρους αποθήκευσης (Esposito et al., 2016).

Παρόλα αυτά η επέκταση της τεχνολογίας blockchain στον τομέα της υγειονομικής περίθαλψης, έφερε στην επιφάνεια σημαντικότερες προκλήσεις αποθήκευσης. Ο τομέας της υγειονομικής περίθαλψης έχει μεγάλο όγκο δεδομένων που πρέπει να αποθηκεύονται σε καθημερινή βάση. Από τα αρχεία των ασθενών, το ιστορικό υγείας και τις εκθέσεις δοκιμών, μέχρι τις μαγνητικές τομογραφίες, τις ακτινογραφίες και άλλες ιατρικές απεικονίσεις, όλα τα δεδομένα, στο σενάριο μιας εφαρμογής blockchain, θα πρέπει να είναι διαθέσιμα σε όλους τους κόμβους της αλυσίδας, γεγονός που απαιτεί τεράστιο αποθηκευτικό χώρο (Bennett, 2017 ; Pirtle & Ehrenfeld, 2018).

Επιπλέον, οι εφαρμογές της blockchain βασίζονται σε συναλλαγές, και ως εκ τούτου, οι βάσεις δεδομένων που χρησιμοποιούνται για την τεχνολογία αυτή έχουν την τάση να αναπτύσσονται με ταχείς ρυθμούς. Λόγω του μεγέθους των βάσεων δεδομένων, η ταχύτητα της αναζήτησης αρχείων γίνεται χαμηλή γεγονός που την καθιστά ακατάλληλη για τους τύπους συναλλαγών όπου η ταχύτητα είναι απαραίτητη. Ως εκ τούτου, μια λύση blockchain πρέπει να είναι κλιμακωτή και ανθεκτική (McKinlay, 2016).

Διαλειτουργικότητα: Ένα επίσης σημαντικό ζήτημα που αποτελεί πρόκληση για την τεχνολογία blockchain είναι το πρόβλημα της διαλειτουργικότητας (Kuo & Ohno-Machado, 2018). Αυτή η πρόκληση δημιουργεί εμπόδια στην αποτελεσματική ανταλλαγή δεδομένων. Χωρίς διαλειτουργικότητα, τα μη συνδεδεμένα συστήματα λειτουργούν παράλληλα μεταξύ τους, ως ανεξάρτητα σιλό, χωρίς να είναι σε θέση να επικοινωνούν (Boulos et al., 2018).

Μια πραγματικά αποκεντρωμένη blockchain, πρέπει να λειτουργεί χωρίς μεσάζοντες ή τρίτα μέρη σε ένα περιβάλλον χωρίς εμπιστοσύνη. Ως εκ τούτου βασικά οφέλη της διαλειτουργικότητας στη blockchain είναι (Gordon & Catalini, 2018):

- Απρόσκοπτη ανταλλαγή πληροφοριών για τους συμμετέχοντες στις blockchains
- Οι έξυπνες συμβάσεις μπορούν να εκτελούνται αβίαστα
- Οι εταιρικές σχέσεις μπορούν να αναπτυχθούν εντός του οικοσυστήματος blockchain
- Τα στελέχη πληροφορικής μπορεί να αναπτύξουν μια καλή και σε βάθος κατανόηση ορισμένων προτύπων

Η διαλειτουργικότητα επιτρέπει σε διάφορα συστήματα blockchain να επικοινωνούν μεταξύ τους και να πραγματοποιούν συναλλαγές μεταξύ των αλυσίδων απρόσκοπτα. Αυτή η δυνατότητα ομαλής λειτουργίας σε πολλαπλές blockchains είναι δυνατή μέσω της τυποποίησης. Η πιο σημαντική πρόκληση για τη διαλειτουργικότητα είναι τα πολλά και διάφορα δίκτυα blockchain με διαφορετικές παραμέτρους, όπως πρωτόκολλα συναίνεσης, έξυπνη λειτουργικότητα συμβάσεων και συστήματα συναλλαγών (Dagher et al., 2018).

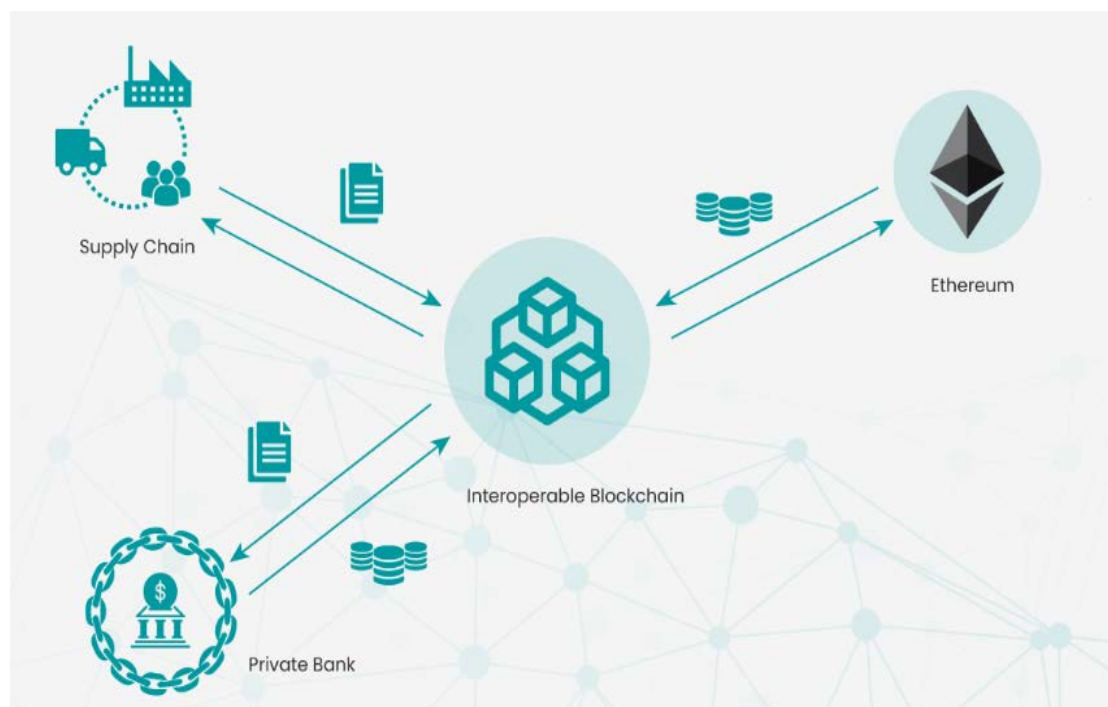
Υπάρχουν αρκετές προσπάθειες τυποποίησης σε εξέλιξη για την επίτευξη της διαλειτουργικότητας. Η IBM και η Microsoft χρησιμοποιούν ένα υπάρχον πρότυπο που αναπτύχθηκε από την GS1 για να εξασφαλίσουν διαλειτουργικές blockchains. Ενώ, η Enterprise Ethereum Alliance έχει αναπτύξει ένα πρότυπο από το μηδέν, το οποίο ονομάζει Ethereum Blockchain για τις επιχειρήσεις (PrimaFelicitas, 2020).

Οι προσπάθειες διαλειτουργικότητας της Blockchain μπορούν να χωριστούν σε δύο ομάδες (PrimaFelicitas, 2020):

Ανοικτά πρωτόκολλα: τυποποιημένα πρωτόκολλα που επιτρέπουν την επικοινωνία μεταξύ blockchains χωρίς τρίτο μέρος ή την απαίτηση διαδικασιών αξιοπιστίας. Το πιο γνωστό ανοικτό πρωτόκολλο είναι το Atomic swap.

Πλαίσια πολλαπλών αλυσίδων: συχνά αναφέρονται ως το "διαδίκτυο των blockchains", και είναι σαφώς πιο περίπλοκα από τα ανοικτά πρωτόκολλα. Οι blockchains μπορούν να γίνουν μέρος ενός τυποποιημένου οικοσυστήματος, και να μεταφέρουν δεδομένα και αξία, συνδεδεμένες μεταξύ τους σε ένα πλαίσιο.

Σχήμα 12. Διαγραμματική απεικόνιση συνεργασίας διαλειτουργικής blockchain με τρίτους



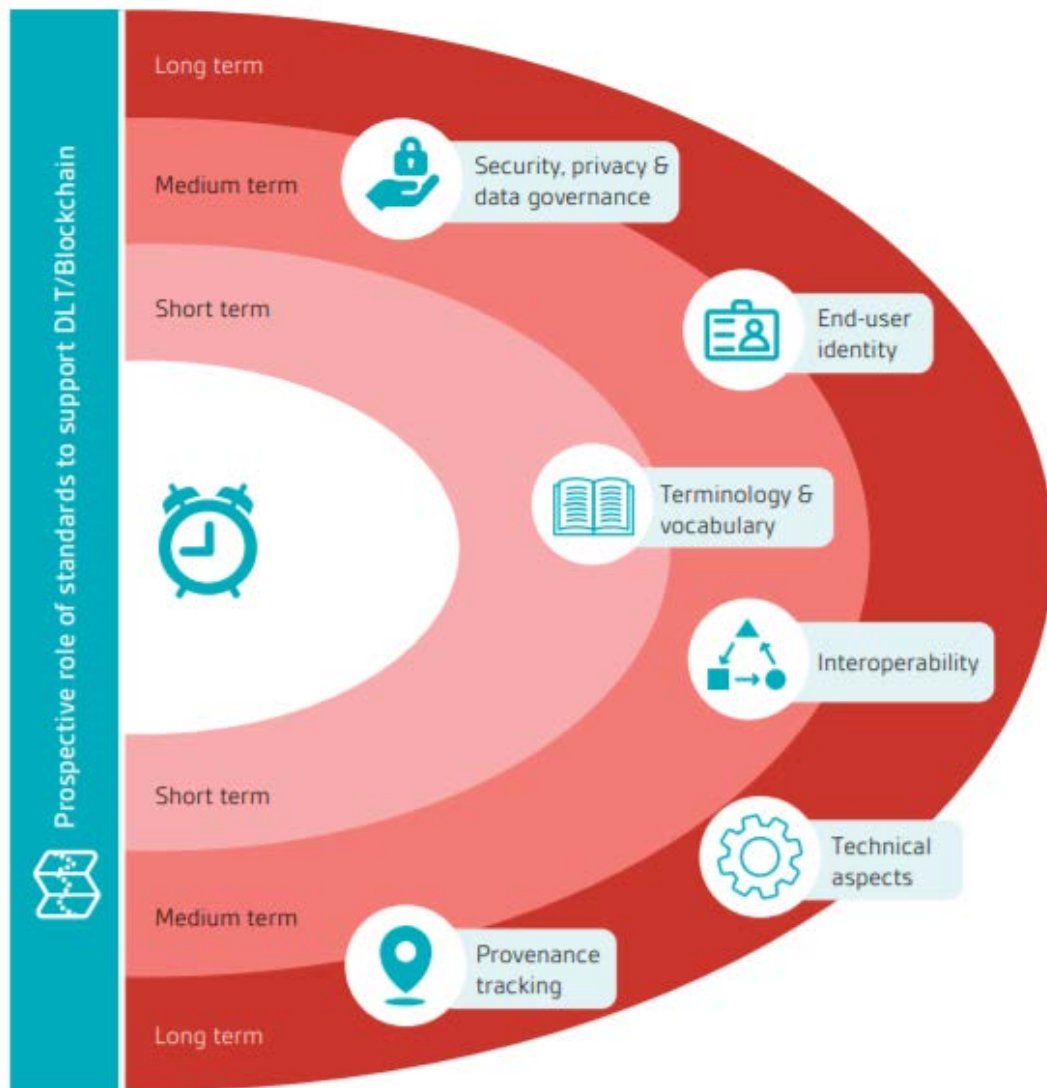
Πηγή: *PrimaFelicitas (2020)*

Τυποποίηση: Η τεχνολογία blockchain βρίσκεται ακόμη στη φάση της εισαγωγής και για το λόγο αυτό η πρακτική εφαρμογή της στην ιατρική και την υγειονομική περίθαλψη θα αντιμετωπίσει σίγουρα προκλήσεις τυποποίησης.

Από τις διεθνείς αρχές τυποποίησης θα απαιτηθούν ορισμένα καλά επικυρωμένα και πιστοποιημένα πρότυπα. Αυτά τα προκαθορισμένα πρότυπα θα ήταν χρήσιμα για την αξιολόγηση του μεγέθους, της φύσης των δεδομένων και της μορφής των πληροφοριών που ανταλλάσσονται σε εφαρμογές blockchain. Τα πρότυπα αυτά όχι μόνο θα εξετάσουν τα κοινά δεδομένα, αλλά θα χρησιμεύσουν και ως προληπτικά μέτρα ασφαλείας (Siyal et al., 2019).

Οι Deshpande et al. (2017), στη μελέτη τους επισημαίνουν τομείς όπου τα πρότυπα θα μπορούσαν ενδεχομένως να διαδραματίσουν ρόλο στην υποστήριξη των DLT/Blockchain, καθώς και ένδειξη των μελλοντικών χρονοδιαγραμμάτων.

Σχήμα 13. Τομείς προτύπων που μπορούν να επηρεάσουν την πορεία των DLT/Blockchain και η προβολή τους στο χρόνο



Πηγή: *Deshpande et al. (2017)*

Οι Deshpande et al. (2017), διατυπώνουν επίσης μια σειρά σημείων/κλειδιών που σχετίζονται με τον μελλοντικό ρόλο των προτύπων για την υποστήριξη του DLT/Blockchain τα οποία είναι τα εξής:

- Τα πρότυπα θα μπορούσαν να διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο στη διασφάλιση της διαλειτουργικότητας μεταξύ πολλαπλών εφαρμογών DLT/Blockchain και, με τον τρόπο αυτό, θα μπορούσαν να συμβάλουν στη μείωση του κινδύνου ενός κατακερματισμένου οικοσυστήματος.

- Η χρήση προτύπων για τη δημιουργία ισχυρότερης συναίνεσης σχετικά με τη συνεπή ορολογία και το λεξιλόγιο θα μπορούσε να βελτιώσει την κατανόηση της τεχνολογίας και να συμβάλει στην πρόοδο της αγοράς.
- Η θέσπιση προτύπων για την αντιμετώπιση της ασφάλειας και της ανθεκτικότητας, καθώς και των ανησυχιών για την προστασία των προσωπικών πληροφοριών και τη διακυβέρνηση των δεδομένων που σχετίζονται με το DLT/Blockchain θα μπορούσε να συμβάλει στη δημιουργία εμπιστοσύνης στην τεχνολογία.
- Τα πρότυπα θα μπορούσαν να διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο στη διαχείριση της ψηφιακής ταυτότητας και να ενισχύσουν την εμπιστοσύνη των τελικών χρηστών στην τεχνολογία.
- Υπάρχουν πιθανές ευκαιρίες για τα πρότυπα να διαδραματίσουν ρόλο σε τομείς όπου η παρακολούθηση της προέλευσης είναι σημαντική.
- Είναι πιθανό να είναι πολύ νωρίς για να σκεφτούμε τα πρότυπα που σχετίζονται με τις τεχνικές πτυχές του DLT / Blockchain.

Επιπρόσθετα από τα προαναφερόμενα η τεχνολογία blockchain αντιμετωπίζει μια ακόμη σειρά προκλήσεων. Η τεχνολογία blockchain εξακολουθεί να εξελίσσεται και, ως εκ τούτου, αντιμετωπίζει κοινωνικές προκλήσεις, όπως η πολιτιστική αλλαγή, εκτός από τις προαναφερθείσες τεχνικές προκλήσεις. Η αποδοχή και η υιοθέτηση μιας τεχνολογίας που είναι εντελώς διαφορετική από τις παραδοσιακές μεθόδους εργασίας δεν έρχεται ποτέ εύκολα. Αν και ο κλάδος της υγείας κινείται αργά προς την ψηφιοποίηση, υπάρχει ακόμα πολύς δρόμος για να οδηγηθεί ολοκληρωτικά προς αυτή την τεχνολογία, ειδικά στην τεχνολογία blockchain - η οποία δεν έχει ακόμη επικυρωθεί σε κλινικές πτυχές. Το να πειστούν οι γιατροί να αλλάξουν τη γραφειοκρατία με τη χρήση της τεχνολογίας θα πάρει χρόνο και προσπάθεια.

Λόγω του χαμηλού ποσοστού υιοθέτησης στον τομέα της υγείας, η τεχνολογία και οι πολιτικές που προσφέρονται είναι σχετικά αναξιόπιστες (McKinlay, 2016). Λόγω όλων αυτών των προκλήσεων και απειλών, δεν μπορούμε, μέχρι σήμερα, να ορίσουμε την

blockchain ως καθολική και βιώσιμη λύση για όλα τα ζητήματα στον τομέα της υγειονομικής περίθαλψης (Alhadhrami et al., 2017).

2.7. Σύνοψη πλεονεκτημάτων - προκλήσεων

Στο παρακάτω πίνακα, αποτυπώνονται τα κύρια πλεονεκτήματα, οι αδυναμίες, οι ευκαιρίες και οι απειλές που αντιμετωπίζει η τεχνολογία blockchain στον τομέα της υγειονομικής περίθαλψης, με τη μορφή μιας απλοποιημένης SWOT ανάλυσης.

Πίνακας 4. SWOT ανάλυση για την τεχνολογία blockchain στην υγειονομική περίθαλψη

<p style="text-align: center;"><u>ΔΥΝΑΜΕΙΣ</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Αποδοτικότητα κόστους • Ταχεία πρόσβαση σε ιατρικά δεδομένα • Κοινή χρήση πληροφοριών και δυνατότητας ανάκτησης αποδεικτικών στοιχείων παραβίασής 	<p style="text-align: center;"><u>ΑΔΥΝΑΜΙΕΣ</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Κατανάλωση ενέργειας • Μικρός αριθμός προμηθευτών εφαρμογών και συστημάτων • Έλλειψη δυνατότητας αποθήκευσης για μεγάλες ποσότητες δεδομένων
<p style="text-align: center;"><u>ΕΥΚΑΙΡΙΕΣ</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Μείωση του κίνδυνου εμφάνισης απάτης στην εφοδιαστική αλυσίδα φαρμάκων • Η ανωνυμία των δεδομένων μπορεί να βοηθήσει στην ιατρική έρευνα • Δυνατότητα για ανάπτυξη νέων εταιριών και συνεργασιών στο χώρο της υγειονομικής περίθαλψης 	<p style="text-align: center;"><u>ΑΠΕΙΛΕΣ</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Διστακτική κοινωνική υιοθέτηση της τεχνολογίας • Μη τυποποίηση • Θέματα διαλειτουργικότητας • Ανησυχίες σε θέματα κουλτούρας και εμπιστοσύνης για την υιοθέτηση της τεχνολογίας blockchain

Πηγή: Επεξεργασία από Siyal et al. (2019)

Σύμφωνα με τους Deshpande et al. (2017), οι προκλήσεις που αντιμετωπίζει η blockchain και τα συστήματα DLT εν γένει, συνοψίζονται στα εξής:

- Η ανεπαρκής σαφήνεια και οι αντιφάσεις που δυσκολεύουν την κατανόηση της ορολογίας, σε συνδυασμό με την αντίληψη ότι το DLT/Blockchain είναι μια ανώριμη τεχνολογία, θέτει προκλήσεις στην ευρύτερη υιοθέτηση του DLT/Blockchain.
- Το δυνητικά υψηλό κόστος της αρχικής εφαρμογής, οι αντιληπτοί κίνδυνοι που συνδέονται με την έγκαιρη υιοθέτηση του DLT/Blockchain και η δυνατότητα διαταραχής των υφιστάμενων πρακτικών ενδέχεται να δημιουργήσουν σημαντικές προκλήσεις για τους οργανισμούς.
- Η έλλειψη σαφήνειας σχετικά με τις βελτιώσεις που προσφέρει η τεχνολογία σε σχέση με τις υπάρχουσες λύσεις μπορεί να καθυστερήσει την υιοθέτηση της από τους οργανισμούς. Ελλείψει ευρείας υιοθέτησης DLT/Blockchain, ο ευρύτερος οικονομικός αντίκτυπος της τεχνολογίας μεσοπρόθεσμα και μακροπρόθεσμα είναι δύσκολο να προσδιοριστεί.
- Λόγω της εκκολαπτόμενης φύσης της τεχνολογίας, υπάρχει έλλειψη σαφήνειας όσον αφορά τη διακυβέρνηση των συστημάτων DLT/Blockchain.
- Υπάρχει αβεβαιότητα σχετικά με τον τρόπο με τον οποίο τα τρέχοντα ρυθμιστικά πλαίσια θα ισχύουν για το DLT/Blockchain και τις αλλαγές που μπορεί να χρειαστούν σε περίπτωση ευρύτερης υιοθέτησης του DLT/Blockchain σε όλους τους τομείς.
- Η εμφάνιση πολλών μη διαλειτουργικών εφαρμογών DLT/Blockchain θα μπορούσε να οδηγήσει σε κατακερματισμένα οικοσυστήματα και να περιορίσει την ευρεία υιοθέτηση.
- Τα πιθανά τρωτά σημεία ασφαλείας και οι ανησυχίες σχετικά με την προστασία των προσωπικών δεδομένων θεωρούνται σημαντικές προκλήσεις, ιδιαίτερα όταν στις εφαρμογές αυτές DLT/Blockchain οι χρήστες εμπιστεύονται τα ιατρικά τους δεδομένα.

- Η διασφάλιση της ακεραιότητας των δεδομένων και η εξασφάλιση ισχυρών μηχανισμών κρυπτογράφησης θεωρούνται βασικές προκλήσεις για την ευρύτερη υιοθέτηση του DLT/Blockchain.
- Η κατακεκομημένη φύση των συστημάτων DLT/Blockchain και η ανάγκη για αυξημένη υπολογιστική ισχύ μπορεί δυνητικά να οδηγήσουν σε υψηλή κατανάλωση ενέργειας και σχετικό κόστος.
- Εξακολουθούν να υπάρχουν βασικά εμπόδια όσον αφορά τη νομική εκτελεστικότητα των έξυπνων συμβάσεων, οι οποίες σχετίζονται κυρίως με την έλλειψη σαφήνειας όσον αφορά τον ορισμό των έξυπνων συμβάσεων και τον τρόπο εφαρμογής τους μέσω του DLT/Blockchain.

Από την άλλη πλευρά οι ευκαιρίες που δημιουργούνται μπορούν να συνοψιστούν στα εξής:

- Με την αυτοματοποίηση των διαδικασιών και τη μείωση της ανάγκης για τρίτους μεσάζοντες, οι λύσεις DLT/Blockchain έχουν τη δυνατότητα να παρέχουν σημαντικά κέρδη αποδοτικότητας και εξοικονόμηση κόστους για τους οργανισμούς και τους τελικούς χρήστες.
- Η υιοθέτηση τεχνολογιών DLT/Blockchain θα μπορούσε δυνητικά να επιτρέψει νέες πηγές εσόδων για τις επιχειρήσεις.
- Η ανάπτυξη του οικοσυστήματος DLT/Blockchain θα μπορούσε να οδηγήσει στη δημιουργία νέων επιχειρηματικών και οικονομικών μοντέλων καθώς και νέων μορφών επιχειρηματικής συνεργασίας.
- Ο αποκεντρωμένος χαρακτήρας του DLT/Blockchain και η έλλειψη κεντρικού σημείου αποτυχίας θα μπορούσαν να διευκολύνουν τα συστήματα συναλλαγών να γίνουν πιο ανθεκτικά και ασφαλή.
- Το DLT/Blockchain έχει τη δυνατότητα να ενδυναμώνει τους χρήστες, θέτοντάς τους στον έλεγχο των δικών τους πληροφοριών, και έχει τη δυνατότητα να βελτιώσει την εμπιστοσύνη των χρηστών στην εκτέλεση συναλλαγών.

- Το αμετάβλητο των συναλλαγών DLT/Blockchain μπορεί να προσφέρει μια σειρά από οφέλη, συμπεριλαμβανομένης της παροχής μιας σαφούς διαδρομής ελέγχου και της μείωσης της τάσης για απάτη.
- Η τεχνολογία DLT/Blockchain μπορεί να επιτρέψει την αποτελεσματική και οικονομικά αποδοτική διαχείριση της ψηφιακής ταυτότητας μέσω της χρήσης κρυπτογράφησης δημόσιου κλειδιού.
- Η τεχνολογία DLT/Blockchain θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για την εφαρμογή του υποκείμενου μηχανισμού για έξυπνες συμβάσεις και να επιτρέψει τη χρήση έξυπνων ελεγκτικών δυνατοτήτων σε διάφορους τομείς.

Ειδικότερα για τον τομέα της υγειονομικής περίθαλψης οι προκλήσεις και οι ευκαιρίες συνοψίζονται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 5. Προκλήσεις και ευκαιρίες της τεχνολογίας blockchain στο τομέα της υγειονομικής περίθαλψης

Πρόκληση τομέα υγειονομικής περίθαλψης	Ευκαιρίες blockchain
Κατακερματισμένα δεδομένα	<ul style="list-style-type: none"> • Αποκεντρωμένη αποθήκευση δεδομένων ασθενών με χρήση δικτύων υπολογιστών • Κοινόχρηστα δεδομένα σε όλο το δίκτυο και τους κόμβους • Αποκεντρωμένη πηγή δεδομένων του IoT
Έγκαιρη πρόσβαση στα δεδομένα των ασθενών	<ul style="list-style-type: none"> • Κατανεμημένη, ασφαλής πρόσβαση, σε δεδομένα υγείας ασθενών, στο κατανεμημένο καθολικό • Τα κοινόχρηστα δεδομένα επιτρέπουν ενημερώσεις σε πραγματικό χρόνο σε όλα τα δίκτυα
Διαλειτουργικότητα συστήματος	<ul style="list-style-type: none"> • Αποκεντρωμένα δίκτυα Διαδικτύου και υπολογιστών σε γεωγραφικές περιοχές • Υποστηρίζει την αυθεντικότητα (έλεγχος ταυτότητας συστήματος)
Ασφάλεια δεδομένων	<ul style="list-style-type: none"> • Ψηφιοποίηση της ασφάλειας των δεδομένων των συναλλαγών – η ψηφιακή ταυτότητα προστατεύει την ιδιωτική ζωή των ασθενών
Δεδομένα που δημιουργούνται από τον ασθενή	<ul style="list-style-type: none"> • Δεδομένα από φορητές συσκευές (IoT) συγκεντρωτικά για την παροχή ολιστικής φροντίδας των ασθενών

Πρόκληση τομέα υγειονομικής περίθαλψης	Ευκαιρίες blockchain
Ασυνέπεια πρόσβασης και δεδομένων	<ul style="list-style-type: none"> Οι έξυπνες συμβάσεις δημιουργούν μια συνεπή και βασισμένη σε κανόνες μέθοδο για την πρόσβαση και την ανάλυση δεδομένων ασθενών, στα οποία μπορεί να δοθεί επιλεκτική πρόσβαση σε συγκεκριμένους φορείς και οργανισμούς υγείας
Αποδοτικότητα και Οικονομικότητα	<ul style="list-style-type: none"> Μειωμένο κόστος συναλλαγών και επεξεργασία σε πραγματικό χρόνο για να καταστεί το σύστημα πιο αποδοτικό Η κατάργηση εφαρμογών τρίτων καταργεί τη χρονική υστέρηση στην πρόσβαση δεδομένων

Πηγή: *Επεξεργασία από Sharmistha et al. (2017)*

Κεφάλαιο 3: Αξιοποίηση τεχνολογίας blockchain στην υγειονομική περίθαλψη

3.1. Πιθανές εφαρμογές blockchain

Οι εφαρμογές που υιοθετούν την τεχνολογία blockchain για την προώθηση της έρευνας στον τομέα της υγειονομικής περίθαλψης συνοψίζονται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 6. Πιθανές εφαρμογές blockchain

Εφαρμογή	Σύνοψη
Ηλεκτρονικό Αρχείο για την Υγεία	Ένα ψηφιακό ΗΑΥ σε ένα κατακεντρωμένο καθολικό ενός επιτρεπόμενου blockchain είναι εγγυημένο για την ακεραιότητα, από το στάδιο της δημιουργίας δεδομένων έως το σημείο ανάκτησης δεδομένων, χωρίς ανθρώπινη μεσολάβηση.
Κλινικές Έρευνες	Η τεχνολογία blockchain εισάγει ένα αποκεντρωμένο ασφαλές πλαίσιο για κάθε συνεργασία που απαιτεί ανταλλαγή πληροφοριών, όσον αφορά την κλινική έρευνα. Με το τρόπο αυτό, οι πληροφορίες μπορούν να κοινοποιηθούν με ασφάλεια σε ομάδες ερευνητών.
Ανίχνευση Ιατρικής Απάτης	Η τεχνολογία Blockchain, έχοντας το χαρακτηριστικό του να είναι αμετάβλητη, βοηθά στην ανίχνευση απάτης αφού δεν επιτρέπει καμία επικάλυψη ή τροποποίηση της συναλλαγής εξασφαλίζοντας ασφάλεια και διαφάνεια.

Εφαρμογή	Σύνοψη
Φαρμακευτική Βιομηχανία και Έρευνα	Η blockchain, κάνοντας χρήση της δύναμης της λεπτομερούς ιχνηλάτησης, μπορεί να παρακολουθεί κάθε στάδιο της αλυσίδας εφοδιασμού φαρμακευτικών προϊόντων: Η προέλευση του φαρμάκου, των συστατικών του και η ιδιοκτησία μπορούν να εξετάζονται σε κάθε στάδιο αποτρέποντας έτσι την πλαστογράφηση ή την κλοπή των εμπορευμάτων.

Πηγή: Επεξεργασία από *Siyal et al. (2019)*

3.1.1. Ηλεκτρονικά Ιατρικά Αρχεία – Ιατρικός φάκελος Ασθενή

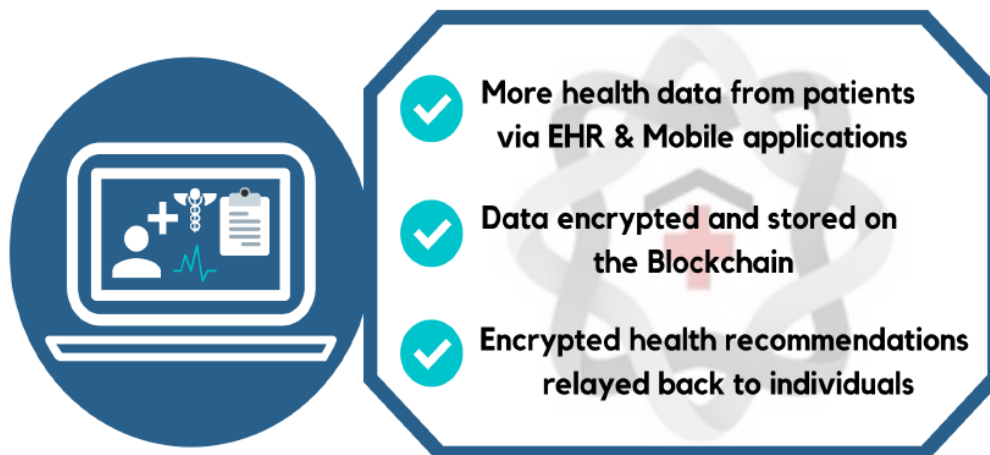
Κατά την τελευταία δεκαετία, η ανάγκη ψηφιοποίησης των ιατρικών αρχείων αυξήθηκε με γεωμετρική πρόοδο λόγω των απαιτήσεων από τους ιατρούς, τα νοσοκομεία και τις συσκευές υγειονομικής περίθαλψης, δεδομένου ότι η ψηφιοποίηση αυτών των στοιχείων επιτρέπει την εύκολη πρόσβαση και τη διανομή και διότι ταυτόχρονα αποτελεί βάση για καλύτερη και γρηγορότερη λήψη αποφάσεων. Η ανάγκη αυτή δημιούργησε όμως ταυτόχρονα σοβαρά θέματα αποθήκευσης και αξιοποίησης τους αναδεικνύοντάς ταυτόχρονα σημαντικά ζητήματα ασφάλειας «ειδικών» προσωπικών δεδομένων, διαχείρισης και διαλειτουργικότητας.

Οι πιο κοινές εφαρμογές των τεχνολογιών blockchain στον τομέα της υγειονομικής περίθαλψης βρίσκονται επί του παρόντος στον τομέα των ηλεκτρονικών ιατρικών αρχείων (Siyal, et al., 2019).

Ωστόσο, τα ηλεκτρονικά αρχεία υγειονομικής περίθαλψης των ασθενών (Electronic Health Records, EHRs) δεν δημιουργούνται με τρόπο ώστε να είναι διαθέσιμα καθόλη τη διάρκεια ζωής των ασθενών και δεν παρέχεται η δυνατότητα πρόσβασης από άλλα ιδρύματα υγειονομικής περίθαλψης, με αποτέλεσμα τα δεδομένα των ασθενών να παραμένουν διάσπαρτα, αναγκάζοντας τους πολλές φορές να επαναλαμβάνουν ή να υπόκεινται σε εξετάσεις που δεν θα ήταν αναγκαίες (Gee & Spiro, 2019).

Επίσης η αδυναμία πρόσβασης σε παλαιότερα δεδομένα του ασθενούς δυσχεραίνει το διαγνωστικό έργο των ιατρών αφού τους στερεί την δυνατότητα να έχουν μια άμεση ολιστική προσέγγιση της κατάστασης του ασθενούς (Freeman & Hughes, 2010).

Σχήμα 14. Μια απεικόνιση της αλληλεπίδρασης μεταξύ EHR, κινητών εφαρμογών υγείας, τεχνολογίας blockchain και προληπτικής φροντίδας.



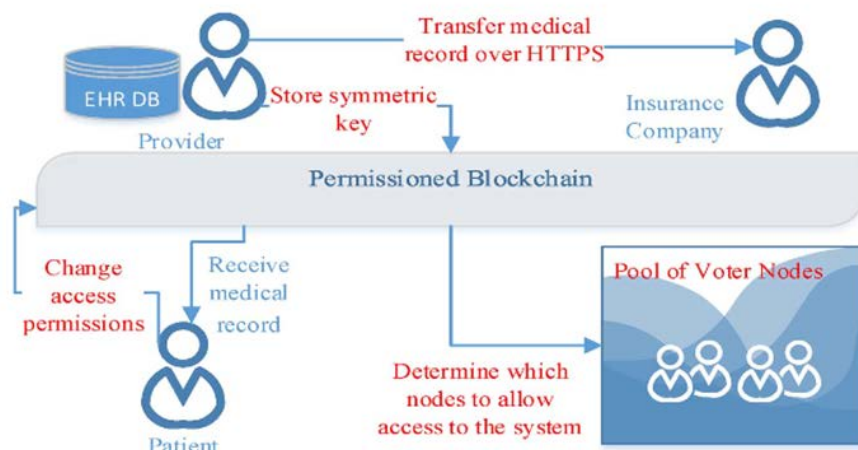
Πηγή: *Siyal, et al. (2019)*

Οι παραπάνω επιτακτικές ανάγκες ώθησαν στην υιοθέτηση ενός καινοτόμου τρόπου, με χρήση της τεχνολογίας blockchain, για την διαχείριση και την διατήρηση των EHRs, που ενθαρρύνει τους ασθενείς να συμμετάσχουν στα τρέχοντα και ιστορικά δεδομένα υγειονομικής περίθαλψης.

Η διαχείριση των EHRs είναι πιθανώς η περιοχή με τη μεγαλύτερη δυνητική ανάπτυξη (Liu, 2016; Angraal et al., 2017; Hoy, 2017; Kuo et al., 2017; Baxendale, 2016). Ένα EHR περιέχει σύντομο ιατρικό ιστορικό ενός ασθενούς, ως μέρος του ιατρικού ιστορικού του, καθώς και δεδομένα, προβλέψεις, και πληροφορίες κάθε είδους που σχετίζονται με τις συνθήκες και την κλινική πρόοδο ενός ασθενούς σε όλη τη διάρκεια της θεραπείας. Ένα σύστημα blockchain για EHRs θα μπορούσε να θεωρηθεί ως ένα πρωτόκολλο μέσω του οποίου οι χρήστες μπορούν να έχουν πρόσβαση και να διατηρούν τα δεδομένα υγείας τους και το οποίο ταυτόχρονα εγγυάται την ασφάλεια και την προστασία των προσωπικών δεδομένων τους (Azaria et al., 2016; Young, 2016; BurstIQ, 2017; Dubovitskaya et al., 2017; Sullivan, 2017; Medicalchain, 2017; Center, 2017; Xia et al., 2017).

Η βελτίωση της διαλειτουργικότητας των συστημάτων, που βασίζονται σε τεχνολογία blockchain, μπορεί να προσφέρει μοναδικές λύσεις στην αξιοποίηση των EHRs, από πολλούς ενδιαφερομένους του τομέα της υγειονομικής περίθαλψης (Dagher et al., 2018).

Σχήμα 15. Απεικόνιση της διαδικασίας πώς διαφορετικά μέρη του τομέα της υγειονομικής περίθαλψης μπορούν να αλληλεπιδρούν μεταξύ τους



Πηγή: *Dagher et al. (2018)*

Τα οφέλη ενός συστήματος που βασίζεται σε τεχνολογία blockchain για EHRs είναι πολλαπλά: τα αρχεία αποθηκεύονται με κατακευματισμένο τρόπο και δεν υπάρχει κεντρικός ιδιοκτήτης ή κόμβος που ένας χάκερ θα μπορούσε εύκολα να παραβιάσει ή να αλλοιώσει. Τα δεδομένα ενημερώνονται και είναι πάντα διαθέσιμα, ενώ τα δεδομένα από διαφορετικές πηγές συγκεντρώνονται σε ένα ενιαίο και ενοποιημένο αποθετήριο δεδομένων (Grey Healthcare Group, 2017).

Μια πρωτότυπη εφαρμογή με την ονομασία "MedRec" χρησιμοποιεί διακριτά προνόμια blockchain στη διαχείριση του ελέγχου ταυτότητας, της εμπιστευτικότητας, της ακεραιότητας και της εύκολης κοινής χρήσης δεδομένων. Λειτουργεί σε ένα αποκεντρωμένο σύστημα διαχείρισης αρχείων και παρέχει στους ασθενείς ένα λεπτομερές, αμετάβλητο ιστορικό που επιτρέπει την εύκολη πρόσβαση στις αντίστοιχες πληροφορίες υγειονομικής περίθαλψής τους σε διάφορα ιδρύματα και παρόχους θεραπείας (Ekblaw, et al., 2016).

3.1.2. Κλινική Έρευνα

Στις κλινικές δοκιμές μπορεί να προκύψουν μια σειρά θεμάτων, συμπεριλαμβανομένης της προστασίας προσωπικών δεδομένων, της ακεραιότητας των δεδομένων, της κοινής χρήσης δεδομένων, της τήρησης αρχείων, της εγγραφής ασθενών κ.ά. (Bhardwaj,

2018). Η Blockchain, όντας η επόμενη γενιά διαδικτύου, μπορεί να προσφέρει βιώσιμες λύσεις σε αυτά τα προβλήματα (Alsumidaie, 2018).

Οι ερευνητές σε θέματα υγειονομικής περίθαλψης εργάζονται για την επίλυση αυτών των ζητημάτων με τη βοήθεια της τεχνολογίας blockchain (Nugent et al., 2016). Ο κλάδος της υγειονομικής περίθαλψης έχει ήδη γίνει πεδίο εφαρμογών της blockchain, οι οποίες συνδυάζονται με τεχνολογίες όπως τεχνητή νοημοσύνη (AI), μηχανική μάθηση, IoT, Big Data Analysis κ.ά. (Brockenshire, 2020).

Σε έρευνα που προτάθηκε από τους Timothy et al. (2016), το πρωτόκολλο συναίνεσης PoS, του Ethereum, που παρέχει έξυπνη λειτουργία συμβάσεων (smart contracts), σε συνδυασμό με το πρωτόκολλο PoW για την δημιουργία άδειων block, (Wood, 2014), αξιοποιήθηκε σε συστήματα διαχείρισης δεδομένων κλινικών. Ο κύριος στόχος της μελέτης ήταν η αντιμετώπιση του προβλήματος της συμμετοχής των ασθενών (Nugent et al., 2016).

Τα ευρήματα της μελέτης έδειξαν ότι η χρήση του συγκεκριμένου πρωτοκόλλου συναίνεσης είχε ως αποτέλεσμα ταχύτερες συναλλαγές, σε σύγκριση με το bitcoin, και ως εκ τούτου προτάθηκε η χρήση του πρωτοκόλλου έξυπνων συμβάσεων του Ethereum για διαφάνεια των συστημάτων διαχείρισης δεδομένων σε κλινικές δοκιμές. Ως εκ τούτου, η συμμετοχή των ασθενών με τη χρήση της τεχνολογίας blockchain είναι μία από τις υπάρχουσες εφαρμογές αυτής της τεχνολογίας στην κλινική έρευνα.

Σε μια άλλη έρευνα που διεξήχθη από τους Benchoufi et al. (2018): Εφαρμόστηκε ένα πλαίσιο όπου έγινε χρήση της τεχνολογίας blockchain για την δημιουργία της ροής της εργασίας, έτσι ώστε να επιτευχθεί η λήψη της εν επιγνώσει συγκατάθεσης των ασθενών, η παρακολούθηση και η αποθήκευσή της κατά τρόπο ώστε να είναι ασφαλής και δημόσια επαληθεύσιμη.

3.1.3. Ανίχνευση ιατρικής απάτης

Μια τεράστια εφαρμογή της τεχνολογίας blockchain στην ιατρική βιομηχανία περιλαμβάνει τη διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας φαρμάκων. Η διασφάλιση της διαχείρισης της προσφοράς είναι ένα κρίσιμο ζήτημα σε όλους τους τομείς, αλλά έχει

μεγαλύτερη σημασία στην υγειονομική περίθαλψη, λόγω της αυξανόμενης πολυπλοκότητάς της. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι οποιοσδήποτε συμβιβασμός στην αλυσίδα εφοδιασμού υγειονομικής περίθαλψης επηρεάζει την ευημερία ενός ασθενούς. Οι αλυσίδες εφοδιασμού είναι ευάλωτες και αποτελούνται από κενά για δόλιες επιθέσεις, καθώς συμμετέχουν μια σειρά από κινούμενα μέρη και άνθρωποι (Clauson et al., 2018).

Η τεχνολογία blockchain παρέχει μια ασφαλή πλατφόρμα για την εξάλειψη αυτού του προβλήματος και, σε ορισμένες περιπτώσεις, προλαμβάνει την εμφάνιση απάτης, εισάγοντας μεγαλύτερη διαφάνεια δεδομένων και βελτιωμένη ιχνηλασιμότητα των προϊόντων. Από την άλλη πλευρά και δεδομένου ότι μια εγγραφή με την τεχνολογία blockchain μπορεί να επικυρωθεί και να ενημερωθεί μόνο μέσω μιας έξυπνης σύμβασης, ο χειρισμός της τεχνολογίας blockchain δεν καθίσταται πολύ εύκολος (Mauri, 2017).

Η τεχνολογία Blockchain μπορεί να βελτιώσει τη διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας με διάφορους τρόπους, όπως: "... μείωση ή εξάλειψη της απάτης και των σφαλμάτων, μείωση των καθυστερήσεων από τη γραφειοκρατία, βελτίωση της διαχείρισης των αποθεμάτων, ταχύτερη αντιμετώπιση των ζητημάτων, ελαχιστοποίηση του κόστους των ταχυμεταφορών και αύξηση της εμπιστοσύνης των καταναλωτών και των εταίρων" (IBM, 2018).

Σημαντικό μέρος της συμβολής της blockchain για την ανίχνευση της ιατρικής απάτης αναλύεται περαιτέρω στο υποκεφάλαιο 3.1.5. Ασφάλιση.

3.1.4. Φαρμακευτική βιομηχανία και έρευνα

Η φαρμακευτική βιομηχανία είναι μία από τις μεγαλύτερες αναπτυσσόμενες βιομηχανίες, και είναι ένας κορυφαίος τομέας στην πρώτη γραμμή της παροχής υγειονομικής περίθαλψης. Ο φαρμακευτικός τομέας όχι μόνο συμβάλλει στην εισαγωγή νέων φαρμάκων στην αγορά, αλλά συμβάλλει επίσης στη διασφάλιση της ασφάλειας και της εγκυρότητας των ιατρικών προϊόντων και φαρμάκων που πωλούνται στον τελικό καταναλωτή. Άλλωστε, ο φαρμακευτικός τομέας βοηθά επίσης στην

αξιολόγηση και την επεξεργασία ασφαλών φαρμάκων, τα οποία βοηθούν τελικά στην ταχύτερη ανάρρωση των ασθενών (Mettler, 2016).

Στις συνήθεις περιπτώσεις, οι φαρμακευτικές εταιρείες αντιμετωπίζουν προβλήματα στην έγκαιρη παρακολούθηση των προϊόντων τους, γεγονός που αρκετές φορές οδηγεί σε σοβαρούς κινδύνους, επιτρέποντας στους παραπονητές να εισβάλουν με πλαστά φάρμακα στο σύστημα. Κατά συνέπεια, η παραγωγή και η διανομή παραποιημένων φαρμάκων έχει καταστεί ένας από τους σημαντικότερους και παγκόσμιους κινδύνους για την υγεία, ιδίως στις αναπτυσσόμενες χώρες. Η διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας είναι απαραίτητη σε κάθε βιομηχανία που διακινούνται υλικά και αγαθά με οποιονδήποτε τρόπο. Ωστόσο, η διαχείριση της αλυσίδας εφοδιασμού φαρμάκων είναι ιδιαίτερα σημαντική για την παρακολούθηση των υλικών που προέρχονται για την κατασκευή, την ίδια τη διαδικασία παρασκευής και τη διανομή των μεταποιημένων προϊόντων. Η παροχή υποδεέστερων ή πλαστών φαρμάκων μπορεί να έχει απίστευτα δυσμενείς επιπτώσεις για τους ανθρώπους που τα φάρμακα αυτά καλούνται να βοηθήσουν. Μόνο για το έτος 2016, "η παγκόσμια αγορά, πλαστών, υποδεέστερων, παραποιημένων και γκρίζων φαρμάκων, έφτασε σε ύψος κοντά στα 200 δισεκατομμύρια δολάρια ετησίως" (Clauson et al., 2018).

Κατά τη διάρκεια της παραγωγής, καθώς και της έρευνας και ανάπτυξης (E&A), αυτών των φαρμάκων, η τεχνολογία blockchain θα μπορούσε να είναι η καταλληλότερη τεχνολογία, η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αξιολόγηση, την παρακολούθηση και τη διασφάλιση των διαδικασιών παραγωγής πιθανών φαρμάκων.

Πρόσφατα, το ερευνητικό ίδρυμα Hyperledger ξεκίνησε ένα πρόγραμμα κατά των πλαστών φαρμάκων χρησιμοποιώντας την τεχνολογία blockchain ως κύριο εργαλείο, για την επιθεώρηση και την καταπολέμηση της παραγωγής πλαστών φαρμάκων (Taylor, 2016). Όσον αφορά την αποτελεσματική χορήγηση αξιόπιστων και αυθεντικών φαρμάκων στους ασθενείς, υπάρχει απόλυτη ανάγκη παρακολούθησης, αξιολόγησης και διασφάλισης της συνολικής διαδικασίας ανάπτυξης και προμήθειας φαρμακευτικών προϊόντων μέσω της χρήσης ψηφιακών τεχνολογιών παγκοσμίως, και ιδίως στις αναπτυσσόμενες χώρες.

Από την άποψη αυτή, ένα ψηφιακό σύστημα ελέγχου των φαρμάκων (DDCS) (Plotnikov & Kuznetsova, 2018) θα μπορούσε να αποτελέσει βιώσιμη λύση για την πρόληψη των παραποιημένων φαρμάκων. Χρησιμοποιώντας ένα DDCS με βάση την τεχνολογία blockchain, μεγάλες φαρμακευτικές βιομηχανίες (Sanofi, Pfizer και Amgen) ξεκίνησαν ένα κοινό πιλοτικό πρόγραμμα για την επιθεώρηση και την αξιολόγηση νέων φαρμάκων (Siyal et al., 2019)

Στις ΗΠΑ, με στόχο τον περιορισμό των πλαστών φαρμάκων, έχουν προχωρήσει στην εφαρμογή του νόμου ασφάλειας αλυσίδων εφοδιασμού φαρμάκων (DSCSA). Βασικές απαιτήσεις για τεχνολογίες διαχείρισης εφοδιαστικής αλυσίδας που συμμορφώνονται με το DSCSA είναι η ταυτοποίηση του προϊόντος, η ανίχνευση προϊόντων, η επαλήθευση, η ανίχνευση και η απόκριση σε μη τυποποιημένα φάρμακα, η κοινοποίηση κατά τον εντοπισμό ενός μη τυποποιημένου φαρμάκου και η δυνατότητα αποθήκευσης σχετικών πληροφοριών, συμπεριλαμβανομένων των αδειών, της επαλήθευσης και των πληροφοριών για το προϊόν.

Η τεχνολογία Blockchain μπορεί να εφαρμοστεί σε αυτόν τον τομέα με την αρχειοθέτηση των μοναδικών αναγνωριστικών συσκευών για κάθε ιατρική συσκευή, ικανοποιώντας τόσο την απαίτηση από της Αμερικανικής Υπηρεσίας Τροφίμων και Φαρμάκων (FDA) καθώς και της ΕΕ, σε συνδυασμό με την παρακολούθηση και την έκδοση ενημερώσεων υλικολογισμικού με τη χρήση έξυπνων συμβάσεων. Μια συνεργασία μεταξύ του Πανεπιστημίου Napier του Εδιμβούργου, της Εθνικής Υπηρεσίας Υγείας της Σκωτίας (NHS) και της Spiritus Development ηγείται μιας προσπάθειας να χρησιμοποιηθεί η τεχνολογία blockchain για την παρακολούθηση των ιατρικών συσκευών μέσω του κύκλου ζωής τους (Bell et al., 2018). Αυτή η παρακολούθηση συσκευών έχει τη δυνατότητα να βελτιώσει την ασφάλεια και την αποτελεσματικότητα των ιατρικών συσκευών μέσω πιο υπεύθυνων ανακλήσεων συσκευών και την καταγραφή προβλημάτων που έχουν εντοπιστεί. Η παρακολούθηση ιατρικών συσκευών που βασίζεται στη blockchain μπορεί επίσης να αξιοποιήσει το αμετάβλητο των δεδομένων για να αποτρέψει την απώλεια συσκευών, την κλοπή ή οποιοδήποτε άλλο είδος κακόβουλης παραποίησης (Boulos et al, 2018).

Χρησιμοποιώντας την τεχνολογία blockchain ως προσέγγιση, θα ήταν δυνατό όχι μόνο να παρακολουθείται η παραγωγή και η θέση των φαρμάκων ανά πάσα στιγμή, αλλά και να βελτιωθεί η ιχνηλάτηση των ψευδεπίγραφων φαρμάκων (Sylim et al., 2018), η ασφάλεια του συστήματος εφοδιασμού φαρμάκων (Trujillo & Guillermo, 2018) και να διασφαλιστεί η ποιότητα των φαρμάκων που παρέχονται στους καταναλωτές ή τους τελικούς χρήστες (Plotnikov & Kuznetsova, 2018).

3.1.5. Ασφάλιση

Η ικανότητα της τεχνολογίας Blockchain να συγκεντρώνει αποκεντρωμένες οντότητες, ενισχύοντας παράλληλα την ασφάλεια των δεδομένων με μοναδικό τρόπο, την τοποθετεί στην επίλυση ενός από τα πιο ενοχλητικά προβλήματα στην υγειονομική περίθαλψη σήμερα— στην κοινή χρήση ευαίσθητων ιατρικών πληροφοριών μεταξύ ασφαλιστών, παρόχων, ασθενών και άλλων ενδιαφερόμενων φορέων. Αυτή η περίπτωση χρήσης είναι επίσης θεμελιώδης για πολλές άλλες πιθανές εφαρμογές blockchain στις αγορές ασφάλισης υγείας.

Τα αρχεία υγειονομικής περίθαλψης ασθενών σήμερα είναι κατακερματισμένα σε ένα πλήθος οργανισμών, με αποτέλεσμα να είναι ελλιπείς οι πληροφορίες για τους ασθενείς στο σημείο περίθαλψης και να υπάρχει αδυναμία παρακολούθησης των ασθενών σε πραγματικό χρόνο, η οποία είναι απαραίτητη για την υλοποίηση της υπόσχεσης της συντονισμένης περίθαλψης. Σύμφωνα με μια έρευνα της αμερικανικής ένωσης νοσοκομείων το 2015, μόνο 18 τοις εκατό των προμηθευτών νοσοκομείων χρησιμοποιούν συχνά τις ηλεκτρονικές πληροφορίες ασθενών από τις εξωτερικές πηγές. Τριάντα έξι τοις εκατό των προμηθευτών νοσοκομείων χρησιμοποιούν σπάνια ή δεν χρησιμοποιούν ποτέ τις εξωτερικές ηλεκτρονικές πληροφορίες ασθενών (Deloitte, 2019).

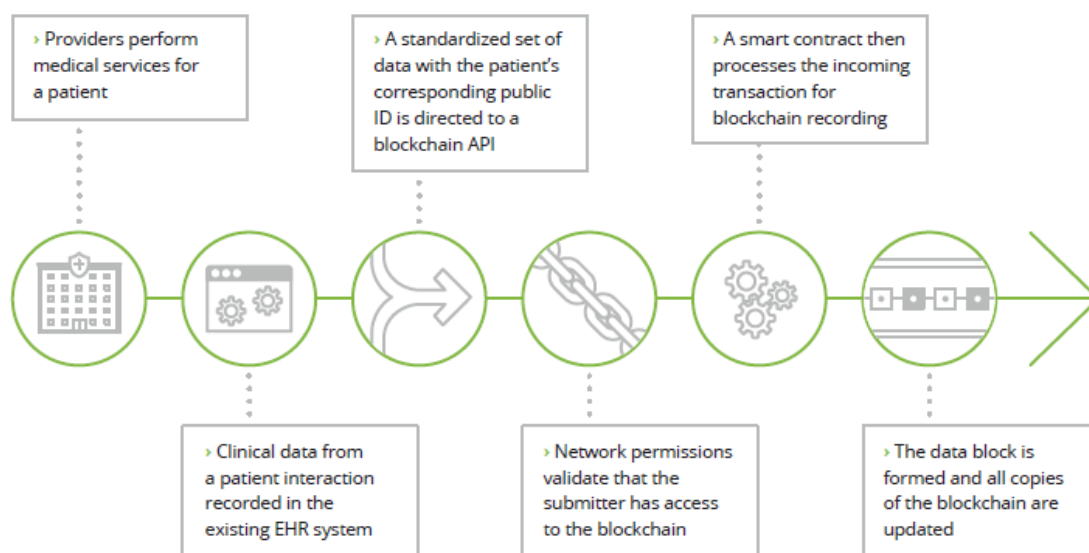
Η ασφαλής ανταλλαγή πληροφοριών για την υγεία αποτελεί ήδη προτεραιότητα ορισμένων οργανισμών ασφάλισης της υγείας, όπως αποδεικνύεται από εκείνους που έχουν επενδύσει σε εταιρείες διαλειτουργικότητας. Η έλλειψη διαλειτουργικότητας μπορεί να επηρεάσει την ποιότητα και το κόστος της περίθαλψης των ασθενών, εάν επαναλαμβάνονται διαγνωστικές εξετάσεις, συνταγογραφούνται φάρμακα που μπορεί να αλληλεπιδρούν αρνητικά με άλλες συνταγές και οι σχετικές κλινικές πληροφορίες

δεν είναι διαθέσιμες όταν χρειάζεται, με αποτέλεσμα εσφαλμένες διαγνώσεις και πλάνα θεραπείας. Μπορεί επίσης να οδηγήσει σε κακή έκβαση των ασθενών και υψηλό κόστος εάν τα πλάνα υγείας και οι πάροχοι χάσουν την επαφή με τους ασθενείς όταν επιστρέφουν στο σπίτι και αναπτύσσουν συνθήκες (οι οποίες θα μπορούσαν να έχουν αντιμετωπιστεί μέσω επίσκεψης γιατρού) που οδηγούν σε επανεισδοχή σε νοσοκομεία.

Τα σημερινά αρχεία υγείας συνήθως αποθηκεύονται σε ένα απλό σύστημα παρόχου. Με τη blockchain, όταν υπάρχει ένα συμβάν ασθενούς, οι πάροχοι θα μπορούν είτε να επιλέγουν ποιες πληροφορίες θα ανεβάσουν σε μία κοινόχρηστη blockchain είτε να ανεβάζουν τα πάντα.

Η πρόσθετη ασφάλεια και η ικανότητα της τεχνολογίας Blockchain να εδραιώσει την εμπιστοσύνη μεταξύ των οντοτήτων είναι δύο λόγοι για τους οποίους μπορεί να βοηθήσει στην επίλυση του προβλήματος διαλειτουργικότητας καλύτερα από τις σημερινές υπάρχουσες τεχνολογίες. Όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα ένα διαλειτουργικό και ολοκληρωμένο ιστορικό υγείας στη blockchain πιθανότατα θα μπορούσε να εξαχθεί απευθείας από τα υπάρχοντα ψηφιοποιημένα ιστορικά στοιχεία στα νοσοκομεία και τα ιατρεία.

Σχήμα 16. Απεικόνιση της διαδικασίας δημιουργίας ολοκληρωμένου ιστορικού υγείας



Πηγή: Deloitte (2019)

Τα δεδομένα που δημιουργούνται από ασθενείς θα μπορούσαν επίσης να προστεθούν στη blockchain. Τα προηγουμένως συμφωνημένα πρότυπα δεδομένων θα εφαρμόζονται σε δεδομένα που εισέρχονται στη blockchain μέσω έξυπνων συμβάσεων (αποκεντρωμένες εφαρμογές που εκτελούν αυτόματα ενέργειες με βάση τη δραστηριότητα blockchain), με αποτέλεσμα να δημιουργούνται αναγνώσιμα και συνεπή δεδομένα από όλες τις πηγές. Θέματα αξιοπιστίας μεταξύ οντοτήτων θα μπορούσαν να επιλυθούν μέσω της αυτοματοποιημένης επαλήθευσης δεδομένων της blockchain. Δεν απαιτείται ενδιάμεσος και οι χρήστες της blockchain δεν χρειάζεται να επικοινωνούν. Οι συμμετέχοντες θα έχουν τον έλεγχο του ποιος έχει πρόσβαση στα δεδομένα, τα οποία θα είναι ανθεκτικά μόλις εισαχθούν στη blockchain (Zhang et al., 2019).

Οι ανησυχίες σχετικά με την προστασία των προσωπικών δεδομένων και την ασφάλεια αποτελούν σημαντικά εμπόδια στην ανταλλαγή δεδομένων. Οι οργανισμοί υγειονομικής περίθαλψης ανησυχούν για το νόμο περί λογοδοσίας και της φορητότητας της ασφάλισης της υγείας και συναφείς κανονισμούς. Μολονότι οι παραβιάσεις αποτελούν έγκυρη ανησυχία, η κοινή χρήση δεδομένων (όταν γίνεται με κατάλληλες προφυλάξεις και συναινέσεις) δεν αποτελεί παραβίαση του παραπάνω νόμου. Η τεχνολογία Blockchain δύναται να παρέχει ένα πιο ασφαλές περιβάλλον για την αποθήκευση και την πρόσβαση σε δεδομένα. Για παράδειγμα, για να εξασφαλιστεί η πληροφορία στην τεχνολογία Blockchain κοινοποιείται μόνο σε εξουσιοδοτημένους χρήστες, οι ασθενείς μπορούν να παρέχουν πρόσβαση στις πληροφορίες τους στους ιατρούς τους, στους ασφαλιστές τους και σε άλλους, παρέχοντας ένα κλειδί για να ξεκλειδώσουν τα δεδομένα αυτές οι επιλεγμένες οντότητες.

Από τεχνολογική άποψη, η τεχνολογία blockchain θα πρέπει να αντιμετωπίσει τον δυνητικά μεγάλο όγκο συναλλαγών που θα πραγματοποιείται μέσω του δικτύου, καθώς και την ποσότητα των δεδομένων που θα μπορούσε να αποθηκευτεί σε κάθε block. Σε ένα bitcoin blockchain που επεξεργάζεται 200.000 συναλλαγές την ημέρα, για παράδειγμα, κάθε block μπορεί να διαρκέσει περίπου 10 λεπτά για να επικυρωθεί (Memon et al., 2018).

Ωστόσο, καθώς η τεχνολογία blockchain ωριμάζει, τα πρότυπα τίθενται σε εφαρμογή και η απόδοση του υλικού βελτιώνεται, αυτά τα τεχνικά ζητήματα πιθανότατα θα αντιμετωπιστούν ή τουλάχιστον θα μετριαστούν.

Ορισμένες από τις σημερινές προκλήσεις διαλειτουργικότητας θα παραμείνουν στην ενσωμάτωση της blockchain. Και ενώ η blockchain μπορεί να είναι πιο ασφαλής από τις τρέχουσες τεχνολογίες, δεν είναι αλάνθαστη. Ωστόσο, τα οφέλη από τη δημιουργία ενός διαλειτουργικού, ολοκληρωμένου υγειονομικού μητρώου, τόσο βραχυπρόθεσμα όσο και μακροπρόθεσμα, θα πρέπει να ωθήσουν τους ενδιαφερόμενους να διερευνήσουν αυτήν την τεχνολογία και μπορεί να επηρεάσουν τον τρόπο λειτουργίας των ανταλλαγών πληροφοριών για την υγεία στο μέλλον.

Πιθανές επιπτώσεις για την ασφάλιση υγείας

- Αξιοποίηση των πληροφοριών στην τεχνολογία blockchain προκειμένου τα μέλη να διαχειριστούν την υγεία τους και παροχή ανταμοιβών ευημερίας
- Χρησιμοποιώντας πλοηγούς, υποστηρικτική βοήθεια των μελών ώστε να αποφασίσουν τι σχέδιο ασφάλισης θα ανταποκρίνεται καλύτερα στις τρέχουσες ανάγκες υγείας τους.
- Εντοπισμός και κλείσιμο κενών φροντίδας ασθενών.
- Απόκτηση καλύτερης κατανόησης των ρυθμίσεων φροντίδας βάσει αξίας όταν ολοκληρω το συμβάν περίθαλψης ενός ασθενούς μπορεί να ελεγχθεί με ακρίβεια μεταξύ των παρόχων

Οι πληροφορίες είναι ζωτικής σημασίας για μια ασφαλιστική εταιρεία. Η σωστή απόκτηση, επεξεργασία, ασφάλεια και κοινή χρήση αυτών των πληροφοριών για τη λήψη αποφάσεων εγκαίρως είναι ζωτικής σημασίας, αλλά ορισμένες από τις σημερινές συναλλαγές μπορεί να χρειαστούν ημέρες (ή εβδομάδες) για τον εντοπισμό και την επεξεργασία τους. Πολλοί ασφαλιστές χρησιμοποιούν συστήματα απαιτήσεων που χτίστηκαν πριν από 30 χρόνια. Η διατήρηση αυτών των ξεπερασμένων τεχνολογιών αυξάνει το κόστος για τους ασφαλιστές και μπορεί να παρεμποδίσει τις προσπάθειές τους να υιοθετήσουν νέες στρατηγικές πληρωμής με βάση την αξία που θα αλλάξουν

τον τρόπο με τον οποίο προσεγγίζουν την ανάπτυξη δικτύων, τη σύναψη συμβάσεων παροχής και τις πληρωμές. Επίσης, η επιτακτική ανάγκη για τους οργανισμούς ασφάλισης να διατηρήσουν οικονομικά την διοικητική τους υποδομή γίνεται όλο και πιο επιτακτική. Για παράδειγμα, μετά τον νόμο περί προσιτής περίθαλψης, οι οργανισμοί υγείας υποχρεούνται να πληρούν μια αποδεκτή αναλογία ιατρικής ζημίας που αντιπροσωπεύει το ποσοστό των εσόδων τους που καταβάλλονται σε αξιώσεις έναντι εκείνων που οφείλονται σε διοικητικές δαπάνες.

Τα πολλά εκατομμύρια συναλλαγών και ανταλλαγών δεδομένων μεταξύ μιας ασφαλιστικής εταιρείας και των πελατών της, των παρόχων, των προμηθευτών, των εργοδοτών, των ελεγκτών και των ρυθμιστικών αρχών θα πρέπει να γίνουν πολύ πιο εύκολα στην πρόσβαση και να φαίνονται με ασφάλεια με την τεχνολογία blockchain, εξοικονομώντας χρόνο και πόρους. Η τεχνολογία blockchain θα μπορούσε να συλλέξει αυτόματα αρχεία συμφωνιών, συναλλαγών και άλλων πολύτιμων πληροφοριών, στη συνέχεια να συνδέσει τις πληροφορίες και να ενεργεί στα δεδομένα χρησιμοποιώντας έξυπνες συμβάσεις (Tapscott & Tapscott, 2020).

Η ανάπτυξη ενός δικτύου παρόχων ποιότητας είναι εξέχουσα σημασία σε ένα περιβάλλον που βασίζεται στην αξία. Οι κοινές πληροφορίες στην τεχνολογία blockchain θα μπορούσαν να βοηθήσουν τους οργανισμούς ασφάλισης να προσδιορίσουν ποιους παρόχους να αναζητήσουν και με ποιους να συνάψουν συμβάσεις, καθώς και να επαληθεύσουν ότι οι συμβεβλημένοι πάροχοι ικανοποιούν τις υποχρεώσεις τους. Η σύνταξη πολύπλοκων συμβάσεων βάσει αξίας είναι μια χειροκίνητη διαδικασία έντασης χρόνου, όπως και ο καθορισμός της πληρωμής, που μπορεί να απαιτούν αναδρομική συμφωνία. Οι έξυπνες συμβάσεις θα μπορούσαν να αυτοματοποιήσουν αυτές τις διαδικασίες και να μειώσουν το χρόνο και τους πόρους που απαιτούνται για την εκτέλεση των όρων και προϋποθέσεων. Και επειδή οι έξυπνες συμβάσεις είναι αποκεντρωμένες και δεν μπορούν να αλλάξουν, όλα τα μέρη μπορούν να είναι σίγουρα ότι οι όροι θα εκτελούνται με συνέπεια.

Επιπλέον, η τεχνολογία blockchain θα μπορούσε να καταστήσει το πλήρες αρχείο πληρωμής διαθέσιμο σε όλους για να το δουν και να το αναθεωρήσουν.

Όπως και με κάθε εφαρμογή, υπάρχουν προκλήσεις για την ενσωμάτωση blockchain στις λειτουργίες back-office ενός ασφαλιστικού οργανισμού. Για παράδειγμα, η εφαρμογή νέας τεχνολογίας απαιτεί από τους χρήστες να την κατανοούν και να την διαχειρίζονται αποτελεσματικά, πράγμα που σημαίνει συνεχή κατάρτιση (Abramson et al., 2020).

Ο συνδυασμός των ίδιων τύπων πληροφοριών από διαφορετικές πηγές —παρόχους υγειονομικής περίθαλψης, χρηματοπιστωτικά ιδρύματα και, φυσικά, ασφαλισμένους— συνήθως οδηγεί στην ανάγκη επαναδιαμόρφωσης δεδομένων και μη αυτόματης μεταφοράς τους. Θα πρέπει να ληφθούν υπόψη οι δαπάνες εκκίνησης, ένταξης και μεταφοράς, μαζί με τους πόρους για τη πρόσληψη και εκπαίδευση του προσωπικού για τη διαχείριση των συστημάτων. Τα οφέλη, ωστόσο -εξορθολογισμένες διαδικασίες, αυξημένη ασφάλεια και μείωση του κόστους καθώς η τεχνολογία blockchain γίνεται πιο εξελιγμένη- θα πρέπει να κάνουν αυτές τις λειτουργικές και οικονομικές προκλήσεις να αξίζουν τον κόπο.

Πιθανές επιπτώσεις για την ασφάλιση υγείας

Λειτουργίες BackOffice

- Διεξαγωγή των συναλλαγών των πελατών πιο γρήγορα, βελτιώνοντας τις αποφάσεις εφαρμογής, τις ανανεώσεις, τις πληρωμές αξιώσεων και τις ενημερώσεις πληροφοριών.
- Μείωση των γενικών εξόδων με αύξηση της ταχύτητας και της αποτελεσματικότητας των αυτοματοποιημένων εργασιών και διαδικασιών.
- Αποδέσμευση του ανθρώπινου δυναμικού και χρήση του σε άλλους ρόλους.
- Ενίσχυση της ασφάλειας για προσωπικές πληροφορίες υγείας.
- Χρησιμοποίηση έξυπνων συμβάσεων για την επαλήθευση επισκέψεων και διαδικασιών

- Μείωση των κλήσεων προηγούμενης εξουσιοδότησης και της γραφειοκρατίας επειδή οι απαραίτητες πληροφορίες θα ήταν διαθέσιμες και οι έξυπνες συμβάσεις θα μπορούσαν να επαληθεύσουν την προηγούμενη εξουσιοδότηση αυτόματα.

Στρατηγικές φροντίδας βάσει αξίας

- Μείωση του χρόνου και των πόρων που απαιτούνται για την κατάρτιση συμβάσεων και τη συμφωνία και την εκτέλεση πληρωμών.
- Παροχή πιο ολοκληρωμένης και αποτελεσματικής ποιοτικής αναφοράς λόγω, πρόσβασης σε διαλειτουργικό ιστορικό υγείας.
- Αύξηση της πρόσβασης σε δεδομένα για την προσαρμογή του κινδύνου.
- Πρόσβαση σε περισσότερες πληροφορίες αξιοποίησης και δαπανών για τις ρυθμίσεις επιμερισμού των κινδύνων.
- Κατανόηση του εάν οι πάροχοι έχουν πιστοποιηθεί κατάλληλα

Η απάτη εκτιμάται ότι κοστίζει στον ασφαλιστικό κλάδο πάνω από 80 δισεκατομμύρια δολάρια ετησίως (Deloitte, 2019).

Η απάτη στην ασφάλιση υγείας συνήθως προέρχεται από τους παρόχους που υποβάλλουν αξιώσεις για υπηρεσίες που ποτέ δεν παρέχονται για να λαμβάνουν υψηλότερες πληρωμές.

Επίσης τα μέλη ενός προγράμματος ασφάλισης μπορούν να διαπράξουν απάτη παραλείποντας να αναφέρουν άλλους τύπους ασφαλιστικής κάλυψης υγείας που θα κάλυπταν τις τιμολογημένες υπηρεσίες ή υποβάλλοντας αξιώσεις για λογαριασμό μη επιλέξιμων μελών/εξαρτώμενων μελών (π.χ. κρατώντας μια πρώτην σύζυγο σε ένα σχέδιο ασφάλισης μετά από ένα διαζύγιο). Η απάτη στην ασφάλιση υγείας εμφανίζεται συνήθως κατά τη διάρκεια της διαδικασίας υποβολής αιτήσεων όπου οι αιτούντες αποκρύπτουν βασικές ιατρικές πληροφορίες, όπως για παράδειγμα ιστορικό διαβήτη ή καρδιακή πάθηση. Για να μειώσουν το κόστος, οι οργανισμοί ασφάλισης υγείας κοιτάζουν να προστατεύσουν τους εαυτούς τους, τους μετόχους τους, και τους ασφαλισμένους τους από την απάτη.

Όταν οι δόλιες πληροφορίες υποβάλλονται σε έναν οργανισμό ασφάλισης μέσω ψευδών αξιώσεων, ψευδεπίγραφων εφαρμογών ή άλλων καναλιών, οι έξυπνες συμβάσεις της blockchain μπορούν να βοηθήσουν στον προσδιορισμό του εάν η υποβολή είναι πράγματι έγκυρη.

Η τεχνολογία Blockchain δεν μπορεί να επαληθεύσει όλους τους τύπους δεδομένων, αλλά μπορεί να επικυρώσει τον υποβάλλοντα και την πληρότητα των πληροφοριών. Για παράδειγμα, ένας οργανισμό ασφάλισης θα μπορούσε να συνδέσει μια υποβολή αξίωσης με το διαλειτουργικό ιστορικό υγείας ενός ασθενούς στη blockchain για να επαληθεύσει ότι ο ασθενής είχε πράγματι κοιταχθεί για την κατάλληλη περίπτωση. Επίσης θα μπορούσε να συγκρίνει στοιχεία του υγειονομικού μητρώου του αιτούντος—είτε το άτομο είχε υποβληθεί σε θεραπεία για καρκίνο ή αν το άτομο είναι καπνιστής— με δημόσια αρχεία ή αρχεία απασχόλησης για να επαληθεύσει ότι οι πληροφορίες που παρείχε ο αιτών είναι ορθές. Μόλις επιβεβαιωθεί, η απαίτηση θα καταβληθεί. Εάν δεν επιβεβαιωθεί, ο ισχυρισμός είτε δεν θα καταβληθεί η αξίωση είτε τουλάχιστον θα προκαλέσει περαιτέρω έρευνα.

Η ικανότητα της blockchain να συγκεντρώνει εύκολα και με ασφάλεια διαφορετικές πηγές δεδομένων σε οποιοδήποτε σημείο μιας συναλλαγής και να επιτρέπει την ανάλυση δεδομένων αυξάνει την ικανότητα των ασφαλιστών να εντοπίζουν και να μετριάσουν δόλιες δραστηριότητες. Στην ασφάλιση υγείας, για παράδειγμα, ορισμένοι πάροχοι ενδέχεται να έχουν χρεώσει σκόπιμα πολλές ασφαλιστικές εταιρείες “εσφαλμένα”. Ωστόσο, κάθε ασφαλιστικός οργανισμός μπορεί να έχει μόνο περιορισμένες περιπτώσεις της δραστηριότητας και, ως εκ τούτου, να μην υπάρχουν αρκετά στοιχεία για να αντιληφθεί αν οι λογαριασμοί ήταν ειλικρινή λάθη ή πραγματική απάτη. Μόλις συνδυαστούν όλες οι πληροφορίες των φορολογουμένων, οι τάσεις είναι ευκολότερο να εντοπιστούν και η απάτη αποκαλύπτεται. Προσθέτοντας αναλυτικά στοιχεία στη blockchain, οι οργανισμοί μπορούν να μελετήσουν τα δικά τους δεδομένα και αυτά της ευρύτερης αγοράς για τη δημιουργία μοντέλων που εντοπίζουν αυτόματα συστημικά λάθη, απάτες και καταχρήσεις και μπορούν να μοιράζονται τα ευρήματά τους με άλλους πληρωτές.

Η σύνδεση με εξωτερικές εφαρμογές τεχνολογίας blockchain και η χρήση τους για την επαλήθευση των συναλλαγών, θα απαιτούσε στενή συνεργασία μεταξύ οργανισμών, συμπεριλαμβανομένων των οργανισμών ασφάλισης, των κυβερνητικών υπηρεσιών, των χρηματοπιστωτικών ιδρυμάτων και των παρόχων υγειονομικής περίθαλψης.

Αυτού του είδους η συνεργασία θα μπορούσε να πάρει χρόνο και πόρους για να αναπτυχθεί και να διατηρηθεί, παρόλα αυτά θα μπορούσε να επιφέρει θετικά αποτελέσματα όπως (Deloitte, 2019):

- Εντοπισμός και μείωση δόλιων αξιώσεων και ταχύτερων εφαρμογών, με αυτοματοποιημένη επεξεργασία χρόνου και πόρων.
- Ενεργοποίηση μεγαλύτερου εντοπισμού και ανάλυσης απάτης, με ασφαλέστερη σύνδεση ξεχωριστών πηγών δεδομένων.

Κεφάλαιο 4: Συμπεράσματα – Προτάσεις

4.1. Συμπεράσματα

Στον τομέα της υγειονομικής περίθαλψης, τα ενδιαφερόμενα μέρη (πάροχος, ασθενής, πληρωτής, ερευνητικοί οργανισμοί και φορείς εφοδιαστικής αλυσίδας) απαιτούν διαλειτουργικότητα, ασφάλεια, αυθεντικότητα, διαφάνεια και εξορθολογισμένες συναλλαγές.

Η εμπιστευτικότητα και η ασφάλεια των δεδομένων αποτελούν μείζονες ανησυχίες σε αυτόν τον τομέα, γεγονός που καθιστά τις λύσεις blockchain ιδιαίτερα ελκυστικές αφού διαθέτουν και μπορούν να εφαρμόσουν ισχυρούς μηχανισμούς προστασίας προσωπικών δεδομένων σύμφωνα με τους διεθνείς κανονισμούς (General Data Protection Regulation, GDPR), όπως για παράδειγμα την ψευδωνυμοποίηση ή ανωνυμοποίηση των δεδομένων των ασθενών με τη χρήση ισχυρών μηχανισμών αποταυτοποίησης και κρυπτογράφησης.

Η καταχώρηση και διαχείριση αρχείων ασθενών σε ένα δίκτυο blockchain θα οδηγήσει τους ανθρώπους να αποκτήσουν ευρεία γνώση για την ασθένειά τους και να συνδεθούν με πολλούς άλλους, σε όλο τον κόσμο, με παρόμοιες ιατρικές παθήσεις, γεγονός που δεν θα αποτελέσει απλά ευεργετικό παράγοντα για την υγεία τους, αλλά θα ενισχύσει επίσης το αίσθημα αποδοχής και υποστήριξης των ασθενών από το ευρύτερο περιβάλλον και τη θέληση τους για την καταπολέμηση της νόσου. Οι ασθενείς, όπως προαναφέρθηκε, με την βοήθεια της τεχνολογίας blockchain, θα έχουν πλήρη αυτονομία στα δεδομένα τους και θα είναι οι ίδιοι που θα αποφασίζουν με ποιον και ποια δεδομένα θα μοιραστούν, σηματοδοτώντας την αρχή μιας νέας εποχής, της Freedom-As-A-Service.

Η ικανότητα καταγραφής και επικύρωσης ιατρικών δεδομένων και προσαρμογής της χρήσης τους για εκμετάλλευση από άλλα μέρη θα μπορούσε να αξιοποιήσει την ενημερωτική και οικονομική αξία των εν λόγω δεδομένων. Θα μπορούσε να ενθαρρύνει νέα επιχειρηματικά μοντέλα για λύσεις προάσπισης της ιδιωτικής ζωής, εξατομικευμένη ιατρική, ανταλλαγή δεδομένων με στόχο την έρευνα στην δημόσια υγεία, τα ναρκωτικά, ενδεχόμενες θεραπείες ή ακόμη και για την πώληση, αγορά και

τοποθέτηση προϊόντων και υπηρεσιών από διάφορους ενδιαφερόμενους (stakeholders). Ως εκ τούτου σύμφωνα με το προαναφερθέντα η ενσωμάτωση της τεχνολογίας blockchain **μπορεί να εξασφαλίσει την απαιτούμενη ασφάλεια στη διαχείριση των εμπιστευτικών δεδομένων και ταυτόχρονα οικονομίες κλίμακος.**

Η **τεχνολογία blockchain μπορεί να συμβάλλει και συνεισφέρει ήδη** στο τομέα της Υγειονομικής Περίθαλψης:

- Διευκολύνοντας την αποτελεσματική και οικονομικά αποδοτική διαχείριση των EHRs διασφαλίζοντας την ψηφιακή ταυτότητα των χρηστών μέσω της χρήσης κρυπτογράφησης δημόσιου κλειδιού.
- Με τον μηχανισμό των έξυπνων συμβάσεων μπορεί να καταστήσει δυνατή τη χρήση έξυπνων ελεγκτικών δυνατοτήτων σε διάφορους τομείς παρέχοντας στους χρήστες τη δυνατότητα να μοιραστούν με ασφάλεια και κατά περίπτωση, το μέρος των δεδομένων που κρίνουν απαραίτητο, διευκολύνοντας έτσι σημαντικά το διαγνωστικό έργο καθώς και τον τομέα της έρευνας. Τα δεδομένα θα μπορούν να αξιοποιηθούν με ελάχιστο κόστος από φορείς για έρευνα (επιδημιολογία, κλινική έρευνα, πρόβλεψη φαρμάκων κ.λπ.) συνεισφέροντας σημαντικά και στη μείωση του δημοσιονομικού κόστους προς όφελος των πολιτών.
- Με την ενδυνάμωση των χρηστών, παρέχοντας τους τον έλεγχο των δικών τους ιατρικών δεδομένων και πληροφοριών και αυξάνοντας την εμπιστοσύνη τους όσον αφορά την εκτέλεση συναλλαγών.
- Με το αμετάβλητο των συναλλαγών μπορεί να προσφέρει μια σειρά από οφέλη, συμπεριλαμβανομένης της παροχής μιας σαφούς διαδρομής ελέγχου και της μείωσης της τάσης για απάτη σε όλο το φάσμα των δραστηριοτήτων (παροχή υπηρεσιών, φαρμάκων, εξοπλισμού κ.λπ.) καθώς και στην κλινική έρευνα.
- Με την αυτοματοποίηση των διαδικασιών και τη μείωση της ανάγκης για τρίτους μεσάζοντες, παρέχοντας σημαντικά κέρδη αποδοτικότητας και εξοικονόμηση κόστους για τους οργανισμούς και τους τελικούς χρήστες.

- Με τη δημιουργία νέων επιχειρηματικών και οικονομικών μοντέλων καθώς και νέων μορφών επιχειρηματικής συνεργασίας, που εκμεταλλευόμενες τις οικονομίες κλίμακος που παρέχει θα μπορούν να προσφέρουν καινοτόμες, υψηλότερης ποιότητας και χαμηλότερου κόστους υπηρεσίες.
- Καθιστώντας τα συστήματα συναλλαγών πιο ανθεκτικά, οικονομικά, αποτελεσματικά, αποδοτικά και ασφαλή λόγω του αποκεντρωμένου χαρακτήρα της και της εξάλειψης της ανάγκης ύπαρξης κεντρικού συστήματος και έμπιστης τρίτης οντότητας.

Το σύνθετο οικοσύστημα της υγειονομικής περίθαλψης μπορεί να επωφεληθεί από μια ισχυρή ψηφιακή πλατφόρμα, βασισμένη στη τεχνολογία blockchain, για την ανταλλαγή δεδομένων σε πραγματικό χρόνο με:

- Αύξηση της λογοδοσίας των ιατρών και των όλων των εμπλεκομένων παρόχων στο τομέα της υγειονομικής περίθαλψης. Η διαφάνεια που παρέχεται από την τεχνολογία blockchain υποχρεώνει τους γιατρούς και τους παρόχους να είναι έντιμοι, προσεκτικοί και να επιδεικνύουν βέλτιστη επαγγελματική συμπεριφορά στους ασθενείς τους, αφού γνωρίζουν ότι οποιαδήποτε παρατυπία θα παραμείνει για πάντα, αμετάβλητη και προσβάσιμη από όλους τους ενδιαφερομένους.
- Την παροχή των όλων των διαθέσιμων πληροφοριών, σε πραγματικό χρόνο έγκαιρα και έγκυρα, παρέχεται από την τεχνολογία blockchain, σε όλο το εύρος του επιπέδου διάγνωσης, με την άμεση λήψη όλων των δεδομένων που αφορούν το ιστορικό του ασθενούς καθώς και τις τελευταίες πληροφορίες για την ενδεχόμενη ασθένεια του καθώς και σε όλο το φάσμα της έρευνας.
- Την ιχνηλάτηση των φαρμάκων, των υλικών, του εξοπλισμού κ.λπ., σε πραγματικό χρόνο, με δεδομένα που παραμένουν αμετάβλητα, είναι ένα από τα δυνατά σημεία της τεχνολογίας blockchain, τα οποία, σε συνδυασμό με την άμεση πρόσβαση σε ένα ανθεκτικό σύστημα αδιάλειπτης λειτουργίας, μπορούν να συνεισφέρουν στην αντιμετώπιση της ιατρικής και της ασφαλιστικής απάτης.

- Την δυνατότητα συνεργασίας με το IoT και την αξιοποίηση, δεδομένων υγείας από όλες τις συσκευές που συνδέονται με τον ασθενή (φορητές και μη) και την άμεση αξιολόγηση τους από τους επαγγελματίες του χώρου της υγείας.

Βέβαια η χρήση της τεχνολογίας blockchain δεν αποτελεί πανάκεια λύση για όλα τα προβλήματα. Για το λόγο αυτό θα πρέπει να αξιολογείται η καταλληλότητα της για την εκάστοτε χρήση της σε συστήματα και εφαρμογές του κλάδου υγειονομικής περίθαλψης.

Πολλά από τα προβλήματα που αντιμετωπίζει σήμερα η νέα τεχνολογία της blockchain (διαλειτουργικότητα, τυποποίηση, χρήση μεγάλου μεγέθους αποθηκευτικών χώρων, ασφάλειας κ.λπ.) ήδη επιλύονται και σε πολλά από αυτά αναδυόμενες μελέτες και έρευνες προσφέρουν λύσεις και τεχνική τεκμηρίωση. Το μεγάλο όμως πρόβλημα που πρέπει να αντιμετωπίσει είναι η νοοτροπία και η κουλτούρα των επαγγελματιών υγείας που είναι προσκολλημένοι στην γραφειοκρατία και την έλλειψη εκπαίδευσης και δεξιοτήτων από το υφιστάμενο ανθρώπινο δυναμικό στο τομέα της υγειονομικής περίθαλψης. Το γεγονός αυτό σε συνδυασμό με τα “μεγάλα συμφέροντα” που λυμαινούνται και μαστίζουν το κλάδο είναι πιθανά τα μεγαλύτερα προσκόμματα που έχει να αντιμετωπίσει η τεχνολογία blockchain.

4.2. Προτάσεις

Σύμφωνα με όλα όσα προαναφέρθηκαν, ο κλάδος υγειονομικής περίθαλψης στην Ελλάδα, μπορεί να επωφεληθεί σημαντικά από τη νέα τεχνολογία blockchain. Στους δύσκολους αυτούς καιρούς της πανδημίας Covid-19, που ταλανίζει τα συστήματα υγείας διεθνώς και αναδεικνύει τα προβλήματα τους, η τεχνολογία blockchain μπορεί να βοηθήσει σημαντικά στην υλοποίηση πληροφοριακών συστημάτων, που θα συμβάλλουν στη σημαντική μείωση του κόστους, στην αύξηση της αποτελεσματικότητας και της αποδοτικότητας, της διαφάνειας, της λογοδοσίας και της νομιμότητας.

Η επίτευξη όμως των παραπάνω δεν μπορεί να μπορεί να επέλθει χωρίς την θέσπιση και την εφαρμογή ενός σωστά δομημένου θεσμικού πλαισίου που θα αντιμετωπίζει ολιστικά τα θέματα που αφορούν τον κλάδο.

Η απόφαση αξιοποίησης της τεχνολογίας blockchain είναι κύρια πολιτική απόφαση, αφού οι πολιτικοί ηγέτες θα πρέπει να συγκρουστούν με τις αναχρονιστικές αντιλήψεις, τόσο των επαγγελματιών του κλάδου αλλά και των ίδιων των ασθενών καθώς και με τα “μεγάλα συμφέροντα” που λυμαίνονται και μαστίζουν το κλάδο.

Η σωστή, ολοκληρωμένη και με διαφάνεια επικοινωνία μαζί με την ανάπτυξη κατάλληλων κινήτρων μπορεί να μετατρέψει τους ενδιαφερόμενους από αντιπάλους σε συμμάχους.

Η εκπαίδευση του υγειονομικού προσωπικού της χώρας αλλά και των χρηστών των υπηρεσιών υγείας στις σύγχρονες τεχνολογίες πληροφορικής, μπορούν να βοηθήσουν όχι μόνο στην απόκτηση δεξιοτήτων και την προσωπική τους ανάπτυξη αλλά και στη κατανόηση του τι μπορεί να προσφέρει η νέα τεχνολογία blockchain, σε όλα τα επίπεδα (κοινωνικό, οικονομικό, νομικό κ.λπ.).

Η χρήση συστημάτων και εφαρμογών που ενσωματώνουν τεχνολογία blockchain και είναι ήδη σε εφαρμογή με πολύ καλά αποτελέσματα έως τώρα (π.χ. Medrek) μπορούν να βοηθήσουν στη βαθμιαία εισαγωγή της νέας τεχνολογίας και την εμπέδωσή της.

Η παροχή κινήτρων σε νέους επαγγελματίες της πληροφορικής να επενδύσουν στην ανάπτυξη εφαρμογών και συστημάτων, που θα ενσωματώνουν την τεχνολογία blockchain, δεν θα βοηθήσει μόνο στη πιθανή ανάπτυξη νέων και καινοτόμων λύσεων στο κλάδο της υγειονομικής περίθαλψης αλλά θα συνεισφέρει επίσης στη δημιουργία νέων επιχειρήσεων και συνεργασιών που θα μπορούν με τη σειρά τους να αναπτυχθούν και να διακριθούν σε αυτό το νέο τομέα. Η δυναμική αυτού του νέου κλάδου είναι προφανής όπως και τα αναμενόμενα οφέλη και η συνεισφορά του στην οικονομία της χώρας.

Βιβλιογραφία

- Abramson, W., Deursen, N. and Buchanan, W. (2020). *Trust-by-Design: Evaluating Issues and Perceptions within Clinical Passporting*. arXiv:2006.14864. New York: Cornell University. [\[CrossRef\]](#)
- Abujamra, R. and Randall, D. (2019). Blockchain applications in healthcare and the opportunities and the advancements due to the new information technology framework. *Advances in Computers*, 115, pp. 141-154. [\[CrossRef\]](#)
- Agbo, C., Mahmoud, Q. and Eklund, J. (2019). Blockchain Technology in Healthcare: A Systematic Review. *Healthcare*, 7 (2), 56, pp. 1-30. [\[CrossRef\]](#)
- Ahram, T., Sargolzaei, A., Sargolzaei, S., Daniels, J. and Amaba, B., (2017). *Blockchain technology innovations*. In 2017 IEEE Technology and Engineering Management Society Conference, 8-10 June, Santa Clara, pp. 137–141. [\[CrossRef\]](#)
- Alhadhrami, Z., Alghfeli, S., Alghfeli, M., Abedlla, J.A. and Shuaib, K. (2017). Introducing blockchains for healthcare. *IEEE International Conference on Electrical and Computing Technologies and Applications (ICECTA), Ras Al Khaimah, 21–23 November*, pp. 1-4. [\[CrossRef\]](#)
- Alsumidaie, M. (2018). *Blockchain Concepts Emerge in Clinical Trials / appliedclinicaltrials.com* [online]. Available at: <http://www.appliedclinicaltrials.com/blockchain-concepts-emerge-clinical-trials> [Accessed 4 Apr. 2020].
- Androulaki, E., Barger, A., Bortnikov, V., Cachin, C., Christidis, K., De Caro, A., Enyeart, D., Ferris, C., Laventman, G., Manevich, Y. and Muralidharan, S. (2018). Hyperledger fabric: a distributed operating system for permissioned blockchains. In *Proceedings of the thirteenth EuroSys conference*, pp. 1-15. [\[CrossRef\]](#)
- Bahga, A. and Madiseti, V. (2016). Blockchain Platform for Industrial Internet of Things. *Journal of Software Engineering and Applications*, 9 (10), pp. 533–546. [\[CrossRef\]](#)

- Bach, L.M., Mihaljevic, B. and Zagar, M. (2018). *Comparative analysis of blockchain consensus algorithms*. In Proceedings of the 2018 41st International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics, Opatija, Croatia, 21–25 May, pp. 1545–1550.
- Bano, S., Sonnino, A., Al-Bassam, M., Azouvi, S., McCorry, P., Meiklejohn, S., and Danezis, G. (2019). *SoK: Consensus in the Age of Blockchains*. Proceedings of the 1st ACM Conference on Advances in Financial Technologies, on October 21-23, Zurich.
- Benchoufi, M. and Ravaud, P. (2017). Blockchain Technology for Improving Clinical Research Quality. *Trials*, 18(1), pp. 1-5. [\[CrossRef\]](#)
- Benchoufi, M., Porcher, R. and Ravaud, P. (2018). Blockchain protocols in clinical trials: Transparency and traceability of consent. *F1000Research*, 6:66, pp. 1-68. [\[CrossRef\]](#)
- Bennett, B. (2017). Blockchain HIE Overview: A Framework for Healthcare Interoperability. *Telehealth and Medicine Today*, 2 (3), pp.1-6. [\[CrossRef\]](#)
- Bhatti, A., Siyal, A., Mehdi, A., Shah, H., Kumar, H. and Bohyo, M. A., (2018). Development of cost-effective tele-monitoring system for remote area patients. *International Conference on Engineering and Emerging Technologies (ICEET), Lahore, 22-23 February*, pp. 1-7.
- Bitcoinnews.gr (2020). Το Πρόβλημα των Βυζαντινών Στρατηγών | bitcoinnews.gr [online]. Available at: <https://bitcoinnews.gr/index.php/various-texts/94-the-byzantine-generals-problem> [Accessed 25 July 2020].
- Bhardwaj, G. (2018). *How Blockchain Will Revolutionise Clinical Trials* / *pharmaphorum.com* [online]. Available at: <https://pharmaphorum.com/views-and-analysis/how-blockchain-will-revolutionise-clinical-trials-clinical-trials/> [Accessed 4 Apr. 2020].

- Boulos, M.N., Wilson, J.T. and Clauson, K.A. (2018). Geospatial blockchain: promises, challenges, and scenarios in health and healthcare. *International Journal of Health Geographics*, 17:25, pp. 1-10. [\[CrossRef\]](#)
- Brockenshire, G. (2020). *Healthcare trends that are shaping 2020* / *boardofinnovation.com* [online]. Available at: <https://www.boardofinnovation.com/blog/healthcare-trends-that-are-shaping-2020/> [Accessed 4 Apr. 2020]
- Cachin, C. and Vukolić, M. (2017). *Blockchain consensus protocols in the wild*. New York: Cornell University. [\[CrossRef\]](#)
- Casino, F., Dasaklis, T. and Patsakis, C. (2019). A systematic literature review of blockchain-based applications : Current status , classification and open issues. *Telematics and Informatics*, 36, pp. 55–81. [\[CrossRef\]](#)
- Cai, C., Yuan, X. and Wang, C. (2017a). *Hardening Distributed and Encrypted Keyword Search via Blockchain*. IEEE Symposium on Privacy-Aware Computing (PAC), 1–4 August, Washington, pp. 119-128. [\[CrossRef\]](#)
- Cai, C., Yuan, X. and Wang, C. (2017b) *Towards trustworthy and private keyword search in encrypted decentralized storage*. In Proceedings of the IEEE International Conference on Communications, 21–25 May, Paris, pp. 1-7. [\[CrossRef\]](#)
- Chanchaichujit, J., Tan, A., Meng, F. and Eaimkhong, S. (2019). *Healthcare 4.0: Next Generation Processes with the Latest Technologies*. Singapore: Springer Nature Singapore Pte Ltd.
- Clauson, K. A., Breeden, E. A., Davidson, C. and Mackey, T. K. (2018). Leveraging blockchain technology to enhance supply chain management in healthcare: an exploration of challenges and opportunities in the health supply chain. *Blockchain in healthcare today*, 1 (3), pp. 1-12. [\[CrossRef\]](#)

- Conti, M., Kumar, S., Lal, C. and Ruj, S. (2018). A Survey on Security and Privacy Issues of Bitcoin. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 20 (4), pp. 3416-3452.
- Corso, A. (2019). *Performance Analysis of Proof-of-Elapsed-Time (PoET) Consensus in the Sawtooth Blockchain Framework*. Master Thesis. Oregon: University of Oregon. [\[CrossRef\]](#)
- Crosby, M., Nachiappan, Pattanayak, P., Verma, S. and Kalyanaraman, V. (2015). *Block Chain Technology. Beyond Bitcoin*. Sutardja Center for Entrepreneurship & Technology Technical Report. Berceley: University of California.
- Dagher, G. G., Mohler, J., Milojkovic, M. and Marella, P. B. (2018). Ancile: Privacy-preserving framework for access control and interoperability of electronic health records using blockchain technology. *Sustainable cities and society*, 39, pp. 283-297.
- Danezis, G. and Meiklejohn, S. (2015). Centrally Banked Cryptocurrencies. *Cornell University, ArXiv, abs/1505.06895*. [\[CrossRef\]](#)
- De Angelis, S., Aniello, L., Baldoni, R., Lombardi, F., Margheri, A. and Sassone, V. (2018). *PBFT vs Proof-of-Authority: Applying the CAP Theorem to Permissioned Blockchain*. 2nd Italian Conference on Cyber Security, February 6-9, Milan, pp. 1-11. [\[CrossRef\]](#)
- Deloitte (2016). *What is a blockchain? | deloitte.com* [online]. Available at: <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/uk/Documents/Innovation/deloitte-uk-what-is-blockchain-2016.pdf> [Accessed 4 Apr. 2020].
- Deloitte (2019). *Blockchain in health and life insurance: Turning a buzzword into a breakthrough | deloitte.com* [online] Available at: <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/us/Documents/financial-services/us-fsi-blockchain-in-insurance-ebook.pdf> [Accessed 25 July 2020]
- Deloitte (2020). *Quantum computers and the Bitcoin blockchain. An analysis of the impact quantum computers might have on the Bitcoin blockchain | deloitte.com*

[online]. Available at: <https://www2.deloitte.com/nl/nl/pages/innovatie/artikelen/quantum-computers-and-the-bitcoin-blockchain.html> [Accessed 25 July 2020].

Deshpande, A., Stewart, K., Lepetit, L. and Gunashekar, S. (2017). *Distributed Ledger Technologies/Blockchain: Challenges, opportunities and the prospects for standards*. London: The British Standards Institution.

Ekblaw, A., Azaria, A., Halamka, J.D. and Lippman, A. (2016). *A Case Study for Blockchain in Healthcare: "MedRec" prototype for electronic health records and medical research data*. In Proceedings of the IEEE Open and Big Data Conference, Vienna, Austria, 24 August. [\[CrossRef\]](#)

Esposito, C.; De Santis, A.; Tortora, G.; Chang, H.; Choo, K.K. Blockchain: A Panacea for Healthcare Cloud-Based Data Security and Privacy? *IEEE Cloud Computing*, 5 (1), pp. 31-37. [\[CrossRef\]](#)

Farouk, A., Alahmadi, A., Ghose, S., & Mashatan, A. (2020). Blockchain platform for industrial healthcare: Vision and future opportunities. *Computer Communications*, 154, pp. 223-235. [\[CrossRef\]](#)

Fernández-Caramés, T.M. and Fraga-Lamas, P. (2018) A Review on the Use of Blockchain for the Internet of Things. *IEEE Access*, 6, pp. 32979–33001. [\[CrossRef\]](#)

Freeman, G. and Hughes J. (2010). *Continuity of care and the patient experience*. London: The King's Fund.

Gee, E and Spiro, T. (2019). Excess Administrative Costs Burden the U.S. Health Care System | americanprogress.org [online]. Available at: <https://www.americanprogress.org/issues/healthcare/reports/2019/04/08/468302/excess-administrative-costs-burden-u-s-health-care-system/> [Accessed 4 Apr.2020].

Godfrey, A., Hetherington, V., Shum, H., Bonato, P., Lovell, N.H. and Stuart, S. (2018). From A to Z: Wearable technology explained. *Maturitas*, 113, pp. 40-47.

- Goldfeder, S., Kalodner, H.A., Reisman, D., and Narayanan, A. (2018). When the cookie meets the blockchain: Privacy risks of web payments via cryptocurrencies. *Proceedings on Privacy Enhancing Technologies*, pp. 179 - 199.
- Goloseva, J., & Romanovs, A. (2018). The Advantages and Disadvantages of the Blockchain Technology. *IEEE 6th Workshop on Advances in Information, Electronic and Electrical Engineering (AIEEE)*, 8-10 November, Vilnius, pp.1-6.
- Gordon, W. J. and Catalini, C. (2018). Blockchain technology for healthcare: facilitating the transition to patient-driven interoperability. *Computational and structural biotechnology journal*, 16, pp. 224-230. [[CrossRef](#)]
- Greenspan, G. (2015). Avoiding the pointless blockchain project | multichain.com [online]. Available at: <https://www.multichain.com/blog/2015/11/avoiding-pointless-blockchain-project/> [Accessed 225 July 2020].
- Griffin, P. R., Megargel, A. and Shankararaman, V. (2019). A Decision Framework for Decentralized Control of Distributed Processes: Is Blockchain the Only Solution?. In Nansi, S. (ed) *Architectures and Frameworks for Developing and Applying Blockchain Technology*. Hersey: IGI Global.
- Han, X. and Liu, Y. (2017). Research on the consensus Mechanisms of Blockchain Technology. *Netinfo Security*, 9, pp. 147–152.
- Hazari, S. and Mahmoud, Q. (2019). Comparative evaluation of consensus mechanisms in cryptocurrencies. *Internet Technology Letters*, 2:e100, pp.1-6.
- Herbaut N. and Negru N. (2017). A Model for Collaborative Blockchain-Based Video Delivery Relying on Advanced Network Services Chains. *IEEE Communications Magazine*, 55(9), pp. 70-76. [[CrossRef](#)]
- Hertig, A. (2018). Blockchain's Once-Feared 51 Percent Attack Is Now Becoming Regular | coindesk.com [online]. Available at: <https://www.coindesk.com/blockchains-feared-51-attack-now-becoming-regular> [Accessed 25 July 2020].

- Hylock, R. H., & Zeng, X. (2019). A Blockchain Framework for Patient-Centered Health Records and Exchange (HealthChain): Evaluation and Proof-of-Concept Study. *Journal of medical Internet research*, 21(8), e13592. [\[CrossRef\]](#)
- IBM (2018). Blockchain supply chain solutions | ibm.com [online]. Available at: <https://www.ibm.com/blockchain/industries/supply-chain> [Accessed 25 July 2020].
- Jahankhani, H., Kendzierskyj, S., Jamal, A., Epiphaniou, G. and Al-Khateeb, H. (2019). *Blockchain and Clinical Trial: Securing Patient Data*. New York: Springer.
- Jansen, P., Van den Berg, L., Van Overveld, P. and Boiten, J.-W. (2019). Chapter 4: Research Data Stewardship for Healthcare Professionals. In Kubben, P., Dumontier, M. and Dekker, A. (eds), *Fundamentals of Clinical Data Science*. Cham: Springer.
- Ismail, L. and Materwala, H. (2019). A Review of Blockchain Architecture and Consensus Protocols: Use Cases, Challenges, and Solutions. *Symmetry*, 11(10), pp. 11-47. [\[CrossRef\]](#)
- Kalkman S, van Delden J, Banerjee A, Tyl, B., Mostert, M. and van Thiel, G. (2019). Patients' and public views and attitudes towards the sharing of health data for research: a narrative review of the empirical evidence. *Journal of Medical Ethics*, 0, pp. 1-11.
- Katuwal, G.J., Pandey, S., Hennessey, M. and Lamichhane, B. (2018). *Applications of Blockchain in Healthcare: Current Landscape & Challenges*. ArXiv, abs/1812.02776. New York: Cornell University. [\[CrossRef\]](#)
- Kuo, T., and Ohno-Machado, L. (2018). ModelChain: Decentralized Privacy-Preserving Healthcare Predictive Modeling Framework on Private Blockchain Networks. arXiv:1802.01746. New York: Cornell University. [\[CrossRef\]](#)
- Krawiec, R.J., Housman, D., White, M., Filipova, M., Quarre, F., Barr, D., Nesbitt, A., Fedosova, K., Killmeyer, J., Israel, A. and Tsai, L. (2016). *Blockchain: Opportunities for Health Care*. New York: Deloitte Development LLC. [\[CrossRef\]](#)

- Lamprinos, I. E. (2019). Novel e-Health and m-Health Services. In Rajarshi, G. and Dwaipayan, B. *Health Monitoring Systems: An Enabling Technology for Patient Care*. New York: CRC Press.
- Leading Age (2020). *Health Information Exchange (HIE): A Primer and Provider Selection Guide* | [leadingage.org](https://www.leadingage.org/health-information-exchange-hie-primer-and-provider-selection-guide) [online]. Available at: <https://www.leadingage.org/health-information-exchange-hie-primer-and-provider-selection-guide> [Accessed 25 July 2020].
- Lee, S.H. and Yang, C.S. (2018). Fingernail analysis management system using microscopy sensor and blockchain technology. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 14 (3), pp. 1-13.
- Lei, A., Cruickshank, H., Cao, Y., Asuquo, P., Ogah, C. P. A. and Sun, Z. (2017). Blockchain-Based Dynamic Key Management for Heterogeneous Intelligent Transportation Systems. *IEEE Internet of Things Journal*, 4(6), pp. 1832-1843. [\[CrossRef\]](#)
- Li, A., Wei, X. and He, Z. (2020). Robust Proof of Stake: A New Consensus Protocol for Sustainable Blockchain Systems. *Sustainability*, 12, 2824, pp. 1-15. [\[CrossRef\]](#)
- Linn, L.A. and Koo, M.B. (2016). Blockchain for health data and its potential use in health it and health care related research. In *ONC/NIST Use of Blockchain for Healthcare and Research Workshop*, pp. 1-10. Gaithersburg: ONC/NIST. [\[CrossRef\]](#)
- Lin, I. C. and Liao, T. C. (2017). A survey of blockchain security issues and challenges. *IJ Network Security*, 19 (5), pp. 653-659. [\[CrossRef\]](#)
- Litke, A., Anagnostopoulos, D. and Varvarigou, T. (2019) Blockchains for Supply Chain Management: Architectural Elements and Challenges Towards a Global Scale Deployment. *Logistics* 2019, 3(1), 5, pp. 1-17. [\[CrossRef\]](#)
- Lo, S.K., Xu, X., Chiam, Y.K. and Lu, Q. (2017). Evaluating suitability of applying blockchain. *22nd International Conference on Engineering of Complex Computer Systems (ICECCS)*, 5-8 November, Fukuoka, pp. 158-161.

- Ludwin, A. (2015). *How Anonymous is Bitcoin?* / *coincenter.org* [online]. Available at: <https://coincenter.org/entry/how-anonymous-is-bitcoin> [Accessed 25 July 2020].
- Mamoshina, P., Ojomoko, L., Yanovich, Y., Ostrovski, A., Botezatu, A., Prikhodko, P.V., Izumchenko, E., Aliper, A., Romantsov, K., Zhebrak, A., Ogu, I.O., & Zhavoronkov, A. (2018). *Converging blockchain and next-generation artificial intelligence technologies to decentralize and accelerate biomedical research and healthcare*. *Oncotarget*, 9, pp. 5665 - 5690. [[CrossRef](#)]
- Mauri, R. (2017). *Blockchain for Fraud Prevention: Industry Use Cases* | *ibm.com* [online]. Available at: <https://www.ibm.com/blogs/blockchain/2017/07/blockchain-for-fraud-prevention-industry-use-cases/> [Accessed 25 July 2020].
- Memon, R. A., Li, J., Ahmed, J., Khan, A., Nazir M. I. and Mangrio, M. I. (2018). Modeling of Blockchain Based Systems Using Queuing Theory Simulation. *15th International Computer Conference on Wavelet Active Media Technology and Information Processing (ICCWAMTIP), 14-16 December, Chengdu*, pp. 107-11.
- Mettler, M. (2016). *Blockchain technology in healthcare: The revolution starts here*. *IEEE 18th International Conference on e-Health Networking, Applications and Services (Healthcom), 14-16 September, Munich*, pp. 1-3.
- McKinlay, J. (2016) *Blockchain: Background Challenges and Legal Issues*. London DLA Piper Publications.
- Modum (2017). *Data Integrity for Supply Chain Operations, Powered by Blockchain Technology* | *modum.io* [online]. Available at: <https://modum.io/sites/default/files/documents/2018-05/modum-whitepaper-v.-1.0.pdf> [Accessed 4 Apr. 2020].
- Nakamoto, S. (2008). *A peer-to-peer electronic cash system* / *bitcoin.org* [online]. Available at: <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf> [Accessed 4 Apr. 2020].
- Nascimento S. (ed), Pólvara A. (ed), Anderberg A., Andonova E., Bellia M., Calès L., Inamorato dos Santos A., Kounelis I., Nai Fovino I., Petracco Giudici M., Papanagiotou E., Sobolewski M., Rossetti F. and Spirito L. (2019). *Blockchain Now And Tomorrow: Assessing Multidimensional Impacts of Distributed Ledger*

- Technologies*. Luxembourg: Publications Office of the European Union. [\[CrossRef\]](#)
- Nugent, T., Upton, D. and Cimpoesu, M.(2016). Improving data transparency in clinical trials using blockchain smart contracts. *F1000Res, eCollection*, 5:2541 [\[CrossRef\]](#)
- Patel, V. (2019). A framework for secure and decentralized sharing of medical imaging data via blockchain consensus. *Health informatics journal*, 25 (4), pp. 1398-1411. [\[CrossRef\]](#)
- Pirtle, C. and Ehrenfeld, J. (2018). Blockchain for Healthcare: The Next Generation of Medical Records?. *Journal of Medical Systems*, 42:172, pp. 1-3 [\[CrossRef\]](#)
- PrimaFelicitas (2020). *The Challenges of Blockchain Interoperability* / *primafelicitas.com* [online]. Available at: <https://www.primafelicitas.com/the-challenges-of-blockchain-interoperability/> [Accessed 25 July 2020].
- Rejeb, A., Keogh, J. and Treiblmaier, H. (2019). Leveraging the Internet of Things and Blockchain. *Technology in Supply Chain Management. Future Internet*, 11(7), 161, pp.1-22. [\[CrossRef\]](#)
- Shae, Z. and Tsai, J. (2017). *On the Design of a Blockchain Platform for Clinical Trial and Precision Medicine*. IEEE 37th International Conference on Distributed Computing Systems (ICDCS), 5-8 June, Atlanta, pp. 1972–1980.
- Sharmistha D., Anirban, M. and Prasanna, G. (2017). *Blockchain: A Healthcare Industry View*. Paris: Capgemini.
- Singh, V. (2019). *Understand Blockchain Technology: Your quick guide to understand blockchain concepts*. Mumbai: Vivek Singh.
- Siyal, A., Junejo, A., Zawish, M., Ahmed, K., Khalil, A. and Soursou, G. (2019). Applications of Blockchain Technology in Medicine and Healthcare: Challenges and Future Perspectives. *Cryptography*, 3(1), 3. [\[CrossRef\]](#)
- Statista (2018). Health expenditure as a percentage of gross domestic product in selected countries in 2018 | *statista.com* [online]. Available at:

<https://www.statista.com/statistics/268826/health-expenditure-as-gdp-percentage-in-oecd-countries/> [Accessed 25 July 2020].

Tapscott, D. and Tapscott, A. (2020). What Blockchain Could Mean for Your Health Data | hbr.org [online]. Available at: <https://hbr.org/2020/06/what-blockchain-could-mean-for-your-health-data> [Accessed 25 July 2020].

Taylor, P. (2016). *Applying Blockchain Technology to Medicine Traceability | securingindustry.com* [online]. Available at: <https://www.securindustry.com/pharmaceuticals/applying-blockchain-technology-to-medicine-traceability/40/a2766/#.XyFtCedRVEY> [Accessed 25 July 2020].

Umeh, J. (2016). Blockchain double bubble or double trouble?. *ITNOW*, 58 (1), pp. 58-61.

Vazirani, A., O'Donoghue, O., Brindley, D. and Meinert, E. (2020). Blockchain vehicles for efficient Medical Record management. *npj Digital Medicine*, 3 (1), pp. 1-4.

Wei, X., Li, A. and Zhou, H. (2020). Impacts of consensus protocols and trade network topologies on blockchain system performance. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 23 (3), pp. 1-2. [[CrossRef](#)]

Welfare, A. (2019). *Commercializing Blockchain: Strategic Applications in the Real World*. Chichester: John Wiley & Sons.

Wright, A. and De Filippi, P. (2015). Decentralized Blockchain Technology and the Rise of Lex Cryptographia. *SSRN*, 58 pages. [[CrossRef](#)]

Wüst, K. and Gervais, A. (2018). Do you need a Blockchain?. *Crypto Valley Conference on Blockchain Technology (CVCBT), 20-22 June, Zug*, pp. 45-54. [[CrossRef](#)]

Yaqoob, S., Khan, M. M., Talib, R., Butt, A. D., Saleem, S., Arif, F. and Nadeem, A. (2019). Use of Blockchain in Healthcare: A Systematic Literature Review.

International Journal of Advanced Computer Science and Applications, 10(5), pp. 644-653 [\[CrossRef\]](#)

Zeng, Z., Li, Y., Cao, Y., Zhao, Y., Zhong, J., Sidorov, D. and Zeng, X. (2020). Blockchain Technology for Information Security of the Energy Internet: Fundamentals, Features, Strategy and Application. *Energies*, 13, 881. [\[CrossRef\]](#)

Zhang, R., Xue, R. and Liu, L. (2019). Security and Privacy on Blockchain. Article 51. *ACM Computer Survey*, 52 (3), pp. 1-34.

Zhao, H., Zhang, Y., Peng, Y. and Xu, R. (2017). Lightweight Backup and Efficient Recovery Scheme for Health Blockchain Keys. *IEEE 13th International Symposium on Autonomous Decentralized System (ISADS)*, 22-24 March, Bangkok, pp. 229–234. [\[CrossRef\]](#)

Zheng, Z., Xie, S., Dai, H., Chen, X. and Wang, H. (2017). An overview of blockchain technology: Architecture, consensus, and future trends. *IEEE International Congress on Big Data (BigData Congress)*, 25-30 June, Honolulu, pp. 557-564. [\[CrossRef\]](#)

Zubaydi, H. D., Chong, Y.-W., Ko, K., Hanshi, S. and Karuppayah, S. (2019). A Review on the Role of Blockchain Technology in the Healthcare Domain. *Electronics*, 8(6), 679 [\[CrossRef\]](#)

Zyskind, G., Nathan, O. and Pentland, A. (2015). *Enigma: Decentralized Computation Platform with Guaranteed Privacy*. arXiv:1506.03471. New York: Cornell University. [\[CrossRef\]](#)