



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΚΑΙ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

**Ερευνητική ανασκόπηση του πεδίου εφαρμογής της
τεχνολογίας blockchain
στην εκπαίδευση και την αγορά εργασίας**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Παναγιώτα-Μικαέλα Ξυλιά

Επιβλέπων : Δημήτριος Ασκούνης
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Μάρτιος 2024



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΚΑΙ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

**Ερευνητική ανασκόπηση του πεδίου εφαρμογής της
τεχνολογίας blockchain
στην εκπαίδευση και την αγορά εργασίας**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Παναγιώτα-Μικαέλα Ξυλιά

Επιβλέπων : Δημήτριος Ασκούνης
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 1^η Μαρτίου 2024.

.....
Δημήτριος Ασκούνης
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Ιωάννης Ψαρράς
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Ευάγγελος Μαρινάκης
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Μάρτιος 2024

.....

Παναγιώτα-Μικαέλα Ξυλιά

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright © Παναγιώτα-Μικαέλα Ξυλιά, 2024

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Περίληψη

Η τεχνολογία της αλυσίδας κατανεμημένων εγγραφών blockchain εμφανίστηκε το 2008 και είχε ως στόχο τη δημιουργία ενός ηλεκτρονικού μέσου συναλλαγών, γνωστό ως Bitcoin, το οποίο χαρακτηρίζεται από υψηλό βαθμό ασφάλειας και εμπιστοσύνης ανάμεσα στους συμμετέχοντες στο δίκτυο της αλυσίδας. Έκτοτε, η τεχνολογία αυτή έχει επεκταθεί και σε άλλους τομείς όπως η εκπαίδευση και η αγορά εργασίας, λόγω του επαναστατικού της σχεδιασμού και των δυνατοτήτων της για ασφαλή, αμετάβλητη και αποκεντρωμένη αποθήκευση αρχείων. Στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας, προβαίνουμε σε μία λεπτομερή ανάλυση της βιβλιογραφίας στόχο την ανάδειξη των διαφόρων κατηγοριών που στις οποίες αυτή η τεχνολογία επεκτείνεται, την εκτίμηση του επιπέδου ωριμότητας του συγκεκριμένου ερευνητικού πεδίου, καθώς και την αναγνώριση των προκλήσεων που αντιμετωπίζονται. Παράλληλα, εξετάζουμε τις προτεινόμενες μελλοντικές ενέργειες που προκύπτουν από την ερευνητική ανασκόπηση, με σκοπό την περαιτέρω εγκαθίδρυση και επέκταση των blockchain λύσεων στην εκπαίδευση και στην αγορά εργασίας.

Λέξεις κλειδιά: Blockchain, αλυσίδα κατανεμημένων εγγραφών, εκπαίδευση, αγορά εργασίας, βιβλιογραφική μελέτη

Abstract

The blockchain distributed ledger technology emerged in 2008 and aimed to create an electronic currency known as Bitcoin, which is characterized by a high level of security and trust between participants in the blockchain network. Since then, this technology has been spread to other fields such as education and the labor market, due to its revolutionary design and its potential for secure, immutable, and decentralized record storage. In this thesis, we conduct a literature review to highlight the different categories to which this technology extends, to assess the maturity level of this research field, and to identify the challenges faced. In addition, we discuss the proposed future actions resulting from the research review, with the aim of further establishing and expanding blockchain solutions in education and the labor market.

Keywords: Blockchain, distributed ledger, education, labor market, bibliometric analysis

Ευχαριστίες

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε το ακαδημαϊκό έτος 2023–2024 υπό την επίβλεψη του κ. Δημήτριου Ασκούνη, Καθηγητή της σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του Ε.Μ.Π, στον οποίο οφείλω ιδιαίτερες ευχαριστίες για την ανάθεσή της, καθώς μου έδωσε τη δυνατότητα και την ευκαιρία να ασχοληθώ με ένα τόσο ενδιαφέρον θέμα.

Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον υποψήφιο διδάκτορα κ. Χρήστο Κοντζίνο για την άριστη συνεργασία, την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγηση που μου παρείχε σε όλη την διάρκεια εκπόνησης της εργασίας, καθώς και για τον πολύτιμο χρόνο που μου αφιέρωσε.

Ακόμα, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου, Ιωάννη και Αφροδίτη, και την αδερφή μου, Ανδριανή, για την ψυχολογική και ηθική υποστήριξη που μου παρείχαν σε όλα τα ακαδημαϊκά μου βήματα. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους φίλους και συμφοιτητές μου για τις όμορφες στιγμές που περάσαμε κατά την διάρκεια των σπουδών μας.

Πίνακας Περιεχομένων

Περίληψη	5
Abstract	7
Ευχαριστίες	9
Πίνακας Περιεχομένων.....	10
Λίστα Εικόνων	11
Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή	13
1.1 Αντικείμενο και Σκοπός.....	13
1.2 Μεθοδολογία Διπλωματικής.....	14
1.3 Οργάνωση Κειμένου	14
Κεφάλαιο 2: Θεωρητικό Υπόβαθρο Τεχνολογίας Blockchain.....	15
2.1 Εισαγωγή στο Blockchain.....	15
2.2 Βασικά χαρακτηριστικά τεχνολογίας blockchain.....	16
2.3 Αλγόριθμοι Συναίνεσης.....	19
2.4 Κατηγορίες Blockchain Δικτύων	22
2.5 Πεδία Εφαρμογής.....	23
Κεφάλαιο 3: Ερευνητικό Πλαίσιο Λύσεων Blockchain στην Εκπαίδευση και την Αγορά Εργασίας.....	26
3.1 Εισαγωγή.....	26
3.2 Ερευνητικές δημοσιεύσεις blockchain στην εκπαίδευση.....	27
3.2.1 Ιστορική Αναδρομή Εφαρμογής Blockchain στην Εκπαίδευση	27
3.2.2 Διαχείριση Πιστοποιητικών	28
3.2.3 Διαχείριση Ικανοτήτων και μαθησιακών αποτελεσμάτων	33
3.2.4 Διασφάλιση διαφάνειας στο μαθησιακό περιβάλλον	39
3.2.5 Εξασφάλιση μαθησιακών στόχων	41
3.2.6 Συναλλαγές πιστωτικών μονάδων και πληρωμή διδάκτρων.....	44
3.2.7 Απόκτηση συγκατάθεσης και κηδεμονία ψηφιακών δεδομένων	47
3.2.8 Διαχείριση πνευματικών δικαιωμάτων.....	48
3.2.9 Εξ' αποστάσεως διδασκαλία και συμμετοχή.....	49
3.2.10 Διεξαγωγή εξετάσεων και βαθμολόγηση	51
3.3 Ερευνητικές δημοσιεύσεις blockchain στην αγορά εργασίας	55
3.3.1 Επικύρωση πιστοποιητικών και ιστορικού απασχόλησης.....	56
3.3.2 Χαρτογράφηση Δεξιοτήτων	57
3.3.3 Μισθοδοσία.....	60
3.3.4 Προστασία Δεδομένων	61
3.3.5 Διαχείριση Επιδόσεων	64
Κεφάλαιο 4: Παρουσίαση Αποτελεσμάτων και Συζήτηση	69
4.1 Συγκεντρωτική Παρουσίαση Αποτελεσμάτων.....	69
4.2 Προκλήσεις ενσωμάτωσης της αλυσίδας κατανεμημένων εγγραφών στις περιοχές της διπλωματικής.....	77
4.3 Μεθοδολογικά Βήματα με σκοπό την περαιτέρω εγκαθίδρυση και επέκταση των blockchain λύσεων	81
Κεφάλαιο 5: Συμπεράσματα	87
5.1 Σύνοψη και συμπεράσματα εργασίας	87
Βιβλιογραφία	89

Λίστα Εικόνων

Εικόνα 1: Συνδεδεμένες χρονοσφραγίδες [4].....	16
Εικόνα 2: Παράδειγμα ενός blockchain [5].....	16
Εικόνα 3: Απεικόνιση Merkle Tree σε ένα Blockchain [3].....	17
Εικόνα4: Οπτικοποίηση δημιουργίας ψηφιακής υπογραφής με χρήση κρυπτογραφικού αλγορίθμου ασύμμετρου κλειδιού [8].....	18
Εικόνα 5: Επιλογή μεγαλύτερης διακλάδωσης ως κύριας σε μία αλυσίδα μπλοκ[6]...20	
Εικόνα 6: Η αξία ενός Bitcoin από το 2011 μέχρι τον Μάρτιο του 2023 [22].....	23
Εικόνα 7: Χρησιμότητα δικτύου blockchain για την επαλήθευση πιστοποιητικών [37].....	29
Εικόνα 8: Απλό διάγραμμα διαδικασίας για την έκδοση και την επαλήθευση ενός πιστοποιητικού στο Blockchain [7].....	31
Εικόνα 9: Διάγραμμα ροής πληροφορίας για επαλήθευση και μη ενός διπλώματος. Η τιμή κατακερματισμού του διπλώματος αποθηκεύεται στην πλατφόρμα QualiChain [46].....	33
Εικόνα 10: Η διαδικασία δημιουργίας ενός μαθησιακού μπλοκ [48].....	34
Εικόνα 11: Δομή δικτύου του προτεινόμενου blockchain συστήματος διπλού στρώματος [55].....	38
Εικόνα 12: Αρχιτεκτονική προτεινόμενου συστήματος [59].....	40
Εικόνα 13: Σύγκριση τρέχων με προτεινόμενου σχεδιασμού συστήματος εκπαίδευσης [60].....	42
Εικόνα 14: Οπτικοποίηση του γράφου μάθησης ενός μαθητή στα μαθηματικά [62].....	43
Εικόνα 15: Απεικόνιση της πλατφόρμας EduCTX σε υψηλό επίπεδο [62].....	46
Εικόνα 16: Η δομή της αλυσίδας CHiLO [65].....	49
Εικόνα 17: Διάγραμμα ροής που περιγράφει την απάντηση του συντονιστή ενός μαθήματος στις τροποποιήσεις του εξωτερικού εξεταστή [67].....	52
Εικόνα 18: Μοντέλο συστήματος του προτεινόμενου BSSSQS [68].....	53
Εικόνα 19: Περιπτώσεις χρήσης της Διαχείρισης Ανθρώπινου Δυναμικού [69].....	54
Εικόνα 20: Παράδειγμα πιστοποιημένων εμβλημάτων του SmartResume [72].....	56
Εικόνα 21: Απεικόνιση των διαδικασιών του πλαισίου [73].....	58
Εικόνα 22: Σχεδιάγραμμα Συστήματος διαχείρισης προσλήψεων με βάση το Blockchain [74].....	59
Εικόνα 23: Προτεινόμενο μοντέλο διαχείρισης αρχείων ανθρώπινου δυναμικού με βάση το Blockchain [77].....	61
Εικόνα 24: Αρχιτεκτονική συστήματος ανταλλαγής δεδομένων με βάση το Blockchain [78].....	62
Εικόνα 25: Βασική αρχιτεκτονική του μηχανισμού διαχείρισης ανθρώπινων πόρων βασισμένο στο Blockchain που προτείνουν οι Li κ.α.[80].....	65

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή

1.1 Αντικείμενο και Σκοπός

Τα τελευταία χρόνια, η τεχνολογία blockchain έχει γνωρίσει ραγδαία άνοδο και έχει επιφέρει ριζικές αλλαγές σε πλήθος κλάδων ανατρέποντας τα παραδοσιακά πρότυπα. Η αλυσίδα μπλοκ είναι μια επαναστατική τεχνολογία που έγινε γνωστή μέσω της σύνδεσής της με τα κρυπτονομίσματα, ιδίως το Bitcoin. Χρησιμεύει ως το υποκείμενο πλαίσιο για τα αποκεντρωμένα ψηφιακά νομίσματα, παρέχοντας έναν ασφαλή και διαφανή τρόπο καταγραφής των συναλλαγών. Τα κρυπτονομίσματα, με πρώτο το Bitcoin, έκαναν δημοφιλή την τεχνολογία blockchain, καθώς προσέφεραν μια αποκεντρωμένη εναλλακτική λύση στα παραδοσιακά χρηματοπιστωτικά συστήματα. Ωστόσο, η χρησιμότητα της αλυσίδας μπλοκ εκτείνεται πέρα από τα ψηφιακά νομίσματα και έχει βρει εφαρμογές σε διάφορους τομείς.

Η τεχνολογία blockchain έχει αποκτήσει ευρεία αποδοχή στον χρηματοπιστωτικό τομέα, όπου χρησιμεύει για τον αποτελεσματικό σχεδιασμό και την ασφάλεια των συναλλαγών, μειώνοντας παράλληλα την εξάρτηση από τους μεσάζοντες. Η αποκεντρωμένη φύση της αλυσίδας μπλοκ εξασφαλίζει ότι οι χρηματοοικονομικές συναλλαγές καταγράφονται με τρόπο ανθεκτικό στην παραποίηση, ενισχύοντας την εμπιστοσύνη και την ασφάλεια.

Ένας ακόμα τομέας στον οποίο έχει επεκταθεί η τεχνολογία blockchain είναι η διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας. Η ικανότητά του blockchain να ενισχύει τη διαφάνεια και την ιχνηλασιμότητα στις αλυσίδες εφοδιασμού είναι καθοριστική για τη μείωση της απάτης και τη διασφάλιση της αυθεντικότητας των προϊόντων. Οι εταιρείες αξιοποιούν την αλυσίδα μπλοκ για τη δημιουργία ασφαλών και επαληθεύσιμων αρχείων που παρακολουθούν τη διακίνηση των αγαθών από τον κατασκευαστή έως τον τελικό καταναλωτή. Αυτό όχι μόνο βελτιώνει την αποτελεσματικότητα αλλά και δημιουργεί εμπιστοσύνη μεταξύ των ενδιαφερομένων μερών στην αλυσίδα εφοδιασμού.

Επιπλέον, στον χώρο της υγείας, η δημιουργία ασφαλών και διαλειτουργικών ιατρικών αρχείων επιτρέπει την αποτελεσματική και ασφαλή ανταλλαγή δεδομένων ασθενών μεταξύ των παρόχων υγειονομικής περίθαλψης. Ακόμα, η τεχνολογία blockchain χρησιμοποιείται για την παρακολούθηση της προέλευσης των φαρμακευτικών προϊόντων, συμβάλλοντας στην καταπολέμηση της πώλησης πλαστών φαρμάκων στην αγορά. Τέλος, ο αντίκτυπος του blockchain επεκτείνεται στα συστήματα διακυβέρνησης και ψηφοφορίας. Με τη χρήση blockchain, μπορούν να δημιουργηθούν διαφανή και ανθεκτικά στην παραποίηση συστήματα ψηφοφορίας, ενισχύοντας την ακεραιότητα των εκλογών και των διαδικασιών διακυβέρνησης. Το αμετάβλητο των αρχείων blockchain διασφαλίζει την αυθεντικότητα των ψήφων και προάγει την εμπιστοσύνη στα δημοκρατικά συστήματα. Αναμφίβολα, υπάρχουν και άλλοι τομείς τους οποίους η τεχνολογία blockchain μπορεί να ωφελήσει. Σκοπός της διπλωματικής εργασίας είναι να πραγματοποιηθεί μια λεπτομερής βιβλιογραφική μελέτη για την τεχνολογία blockchain εστιασμένη στον χώρο της εκπαίδευσης και στην αγορά εργασίας.

1.2 Μεθοδολογία Διπλωματικής

Για την εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας ακολουθούμε μεθοδολογία βιβλιογραφικής έρευνας. Συγκεκριμένα, προβαίνουμε στον καθορισμό των βασικών κατηγοριών που θα εξεταστούν, δηλαδή τις εφαρμογές του blockchain σε εκπαίδευση, αγορά εργασίας και διαδικασίες πρόσληψης. Στη συνέχεια, ορίζουμε το συνολικό πεδίο της έρευνας για να καλύψουμε όλες τις πτυχές του θέματος, δηλαδή βρίσκουμε τις υποκατηγορίες σε κάθε ενότητα.

Έπειτα, εκτελούμε μια συστηματική συλλογή βιβλιογραφικού υλικού από αξιόπιστες πηγές, όπως επιστημονικά άρθρα, βιβλία και επιστημονικές δημοσιεύσεις από συνέδρια. Η επιλογή των πηγών γίνεται με βάση την ποιότητα και τη συνάφεια τους με το θέμα της έρευνας. Κύριο εργαλείο για την αναζήτηση της βιβλιογραφίας αποτελεί το Google Scholar, μία δωρεαν μηχανή αναζήτησης που παρέχει πρόσβαση σε επιστημονικά άρθρα και και άλλες ερευνητικές πηγές. Επίσης, αντλήθηκαν πηγές από τους παρακάτω επιστημονικούς ιστότοπους: IEEE Xplore Digital Library (ieeexplore.ieee.org), Science Direct (sciencedirect.com), SpringerLink (link.springer.com), ResearchGate (researchgate.net), Academia.edu (academia.edu).

Στην συνέχεια, αναλύουμε τα ευρήματα λεπτομερώς και παρουσιάζουμε συγκεντρωτικά τα αποτελέσματα μας, εξάγοντας συμπεράσματα για τους τομείς του οποίους ερευνήσαμε. Αναφέρουμε τις προκλήσεις που προκύπτουν από την ενσωμάτωση της αλυσίδας καταναμημένων εγγραφών και τα εμπόδια που αντιμετωπίζει η τεχνολογία στην εξάπλωση της. Τέλος, παρέχουμε ιδέες για την περαιτέρω ανάπτυξη των blockchain λύσεων στους τομείς της εκπαίδευσης, της αγοράς εργασίας και των διαδικασιών πρόσληψης.

1.3 Οργάνωση Κειμένου

Η παρούσα διπλωματική εργασία οργανώνεται σε επτά (5) Κεφάλαια, μεταξύ των οποίων και το παρόν Κεφάλαιο 1 στο οποίο έγινε μια εισαγωγή στο αντικείμενο, σκοπό και στην μεθοδολογία της. Τα υπόλοιπα κεφάλαια διαρθρώνονται ως εξής:

- Το κεφάλαιο 2 αναφέρεται στο θεωρητικό υπόβαθρο της τεχνολογίας blockchain, δηλαδή τα βασικά χαρακτηριστικά της, τους αλγόριθμους συναίνεσης, τις κατηγορίες των blockchain δικτύων και τα πεδία εφαρμογής της.
- Στο κεφάλαιο 3 αναλύονται εκτενώς διάφορα ερευνητικά έργα και περιπτώσεις χρήσης της τεχνολογίας blockchain. Το κεφάλαιο έχει δομηθεί σε διάφορες ενότητες, κατηγοριοποιώντας τα παραδείγματα ανάλογα με τις συγκεκριμένες κατηγορίες που έχουν εντοπιστεί.
- Στο κεφάλαιο 4 παρουσιάζονται συγκεντρωτικά τα αποτελέσματα, αναφέρονται οι προκλήσεις και τα μεθοδολογικά βήματα με σκοπό την περαιτέρω εγκαθίδρυση και επέκταση των blockchain λύσεων.
- Στο Κεφάλαιο 5 παρουσιάζουμε μία σύνοψη και τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την έρευνα..

Κεφάλαιο 2: Θεωρητικό Υπόβαθρο Τεχνολογίας Blockchain

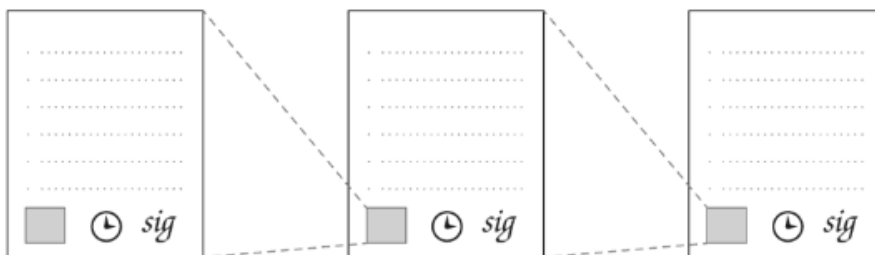
2.1 Εισαγωγή στο Blockchain

Το blockchain είναι μια τεχνολογία που υλοποιείται με μία συγκεκριμένη δομή δεδομένων, γνωστή και ως «αλυσίδα». Η αλυσίδα αποτελείται από πακέτα που μεταδίδονται και αποθηκεύονται σε αυτήν, τα οποία ονομάζονται «μπλόκ». Οι πληροφορίες που περιέχονται μέσα στα μπλοκ μπορούν να αντιπροσωπεύουν συναλλαγές, συμβόλαια, περιουσιακά στοιχεία, ταυτότητες και δεδομένα που μπορούν να περιγραφούν σε ψηφιακή μορφή. Η τεχνολογία blockchain χρησιμοποιεί κρυπτογραφικές και αλγοριθμικές μεθόδους για να καταγράφει και συγχρονίζει τα μπλοκ σε μια αλυσίδα, ώστε η πληροφορία να παραμένει αμετάβλητη. Με αυτόν τον τρόπο, εξασφαλίζεται η ακεραιότητα και η ασφάλεια των μπλοκ, καθώς δεν μπορούν να τροποποιηθούν από μη εξουσιοδοτημένους και κακεντρεχείς χρήστες.

Γενικότερα, το blockchain ανήκει στην οικογένεια των κατανεμημένων ledger ή αλλιώς τεχνολογία κατανεμημένου καθολικού (DLT) [1]. Η τεχνολογία κατανεμημένου καθολικού είναι ένα εργαλείο για την καταγραφή της κυριότητας, όπου οι συναλλαγές αντί να αποθηκεύονται σε μια κεντρική τοποθεσία, κατανέμονται σε ένα δίκτυο πολλών υπολογιστών. Η ιδιαιτερότητα του blockchain είναι η ύπαρξη της αλυσίδας.

Η ένταξη του blockchain στον κόσμο της τεχνολογίας, ωστόσο, έγινε με την δημοσίευση του 'Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System' από τον 'Satoshi Nakamoto' [2]. Το όνομα αυτό αποτελεί ψευδώνυμο. Η αληθινή ταυτότητα του δεν έχει ακόμα αποκαλυφθεί. Στην δημοσίευση αυτή περιγράφεται αναλυτικά μία peer-to-peer μορφή ψηφιακού νομίσματος που επιτρέπει την ολοκλήρωση διαδικτυακών πληρωμών, χωρίς την εμπλοκή χρηματοπιστωτικού ιδρύματος.

Η έννοια της τεχνολογίας blockchain υπήρχε πριν την δημιουργία του bitcoin. Εισήχθη για πρώτη φορά το 1991 από τους Stuart Haber και W. Scott Stornetta. Η αρχική πρόθεση ήταν να αναπτυχθεί ένα σύστημα που τεκμηριώνει χρονοσφραγίδες στις οποίες δεν ήταν δυνατή η αναδρομή ή η παραβίαση. Η ιδέα αυτή επεκτάθηκε το 1992 με την προσθήκη δένδρων Merkle [3], που επιτρέπουν διαφορετικά πιστοποιητικά να συγκεντρωθούν σε ένα μπλοκ.

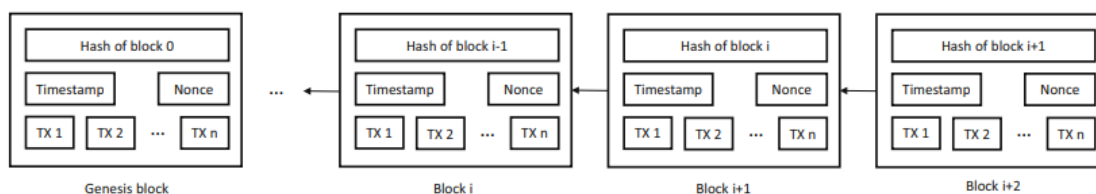


Εικόνα 1: Συνδεδεμένες χρονοσφραγίδες. Για τη δημιουργία ενός πιστοποιητικού για ένα έγγραφο, ο εξυπηρετητής περιλαμβάνει έναν δείκτη κατακερματισμού στο πιστοποιητικό του προηγούμενου εγγράφου, την τρέχουσα ώρα και υπογράφει αυτά τα τρία στοιχεία δεδομένων μαζί [4].

2.2 Βασικά χαρακτηριστικά τεχνολογίας blockchain

Βασικά χαρακτηριστικά της τεχνολογίας blockchain είναι η αποκέντρωση, η συνέπεια, η ανωνυμία και η δυνατότητα ελέγχου. Για να επαληθεύσουμε τις παραπάνω ιδιότητες, πρέπει πρώτα να παρουσιάσουμε εκτενώς την αρχιτεκτονική του συστήματος.

Όπως ήδη αναφέραμε, το blockchain είναι μια αλληλουχία απο μπλοκ, στα οποία είναι αποθηκευμένη μια ολοκληρωμένη λίστα από συναλλαγές. Το κάθε μπλοκ παραπέμπει στο αμέσως προηγούμενο μπλοκ μέσω μίας αναφοράς που εκφράζει την τιμή κατακερματισμού του προηγούμενου μπλοκ που ονομάζεται parent block. Το πρώτο μπλοκ της αλυσίδας ονομάζεται genesis block το οποίο δεν έχει parent block.

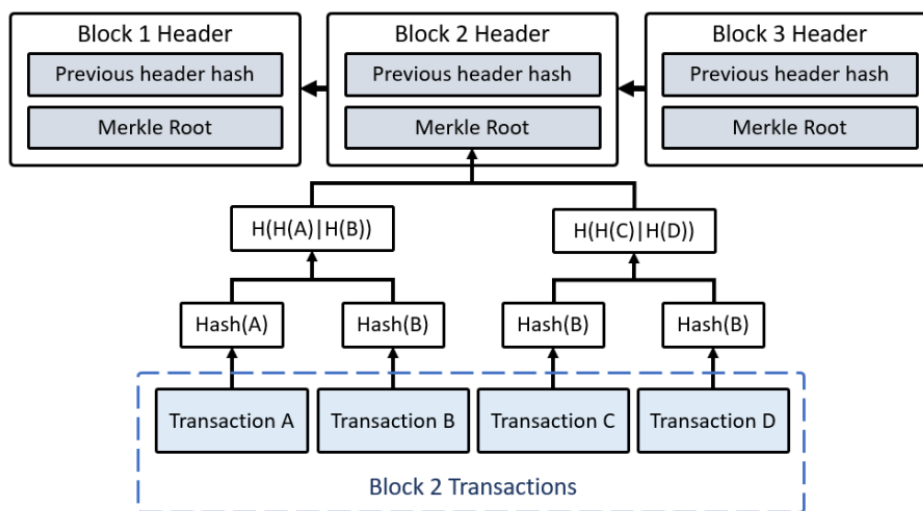


Εικόνα 2: Παράδειγμα ενός blockchain [5]

Όπως φαίνεται και από την Εικόνα 2 παραπάνω, το κάθε μπλοκ περιέχει την τιμή κατακερματισμού του προηγούμενου μπλοκ, μία χρονοσφραγίδα, n συναλλαγές και το nonce. Το nonce είναι ένας τυχαίος ή ψευδοτυχαίος αριθμός που χρησιμοποιείται σε έναν κατακερματισμό για την επαλήθευση των συναλλαγών και άλλων δεδομένων που περιέχονται σε ένα μπλοκ. Επιπλέον, το μέγεθος μπλοκ εκφράζει το μέγιστο αριθμό συναλλαγών που μπορεί να περιέχει ένα μπλοκ [6].

Για να μπορέσουμε να επαληθεύσουμε συλλογικά ένα μπλοκ και τις συναλλαγές που περιέχει μέσα χρησιμοποιούμε μια συγκεκριμένη δομή δεδομένων, τα Merkle trees [3].

Ένα Merkle tree, εξαιτίας της αρχιτεκτονικής του, βοηθά στην επαλήθευση της συνέπειας και επιταχύνει την διαδικασία της ασφάλειας και της αυθεντικοποίησης σε εφαρμογές με μεγάλα δεδομένα. Πιο συγκεκριμένα, είναι ένα πλήρες δυαδικό δέντρο στο οποίο ο κάθε κόμβος κατακερματίζει την τιμή των κόμβων-παιδιών του. Επομένως, στο blockchain κάθε ένα μπλοκ περιέχει και μια τιμή merkle root. Αυτή η τιμή προκύπτει ως ρίζα του δέντρου Merkle, που έχει προκύψει από τον συνεχή κατακερματισμό των συναλλαγών που βρίσκονται μέσα στο μπλοκ όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. Συνεπώς, καθίσταται αδύνατη η τροποποίηση δεδομένων, καθώς θα άλλαζε και η τιμή του merkle root. Ακόμα, ένα merkle tree βελτιώνει την ταχύτητα και την επεκτασιμότητα του δικτύου, εφόσον δεν χρειάζεται να επαληθεύσουμε τις συναλλαγές κάθε μία ξεχωριστά.

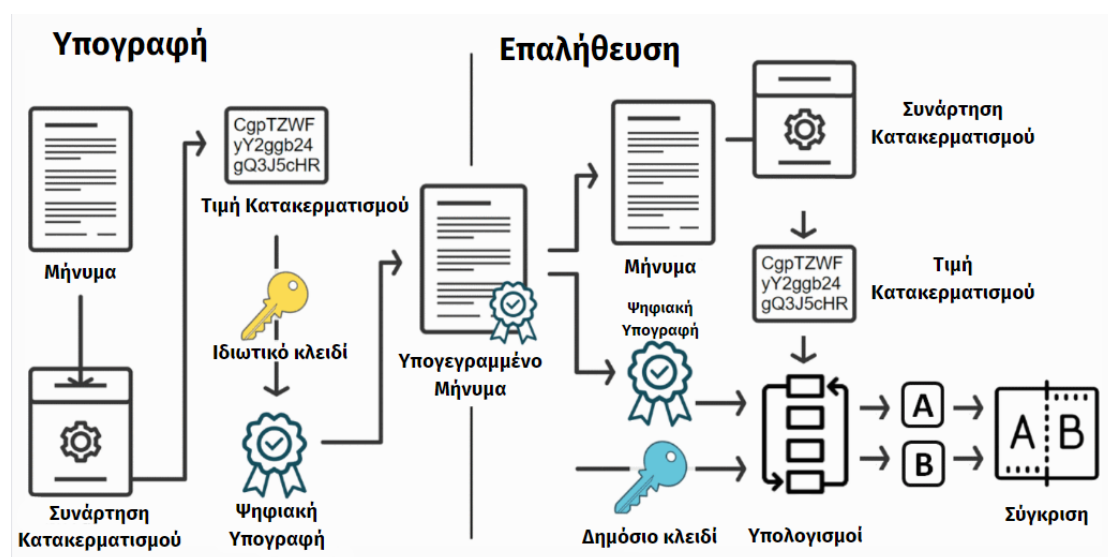


Εικόνα 3: Απεικόνιση Merkle Tree σε ένα Blockchain [3]

Οι ψηφιακές υπογραφές αποτελούν εξίσου ένα θεμελιώδες δομικό στοιχείο του blockchain. Η ψηφιακή υπογραφή διαφέρει από την ηλεκτρονική υπογραφή, η οποία είναι απλώς μια παραδοσιακή υπογραφή που σχεδιάζεται σε ένα ηλεκτρονικό έγγραφο ή μια σαρωμένη φυσική υπογραφή. Οι ηλεκτρονικές υπογραφές αντιγράφονται ή πλαστογραφούνται εύκολα και δεν παρέχουν κανένα μηχανισμό επαλήθευσης ή ταυτοποίησης. Αντιθέτως, οι ψηφιακές υπογραφές χρησιμοποιούνται κυρίως για την πιστοποίηση της γνησιότητας των συναλλαγών. Όταν οι χρήστες θέλουν να ολοκληρώσουν μία συναλλαγή, πρέπει να αποδεικνύουν σε κάθε κόμβο του συστήματος ότι είναι εξουσιοδοτημένοι να ξοδέψουν το ποσό που έχουν υποσχεθεί. Ο κόμβος στο δίκτυο θα επαληθεύσει την υποβληθείσα

συναλλαγή και θα ελέγξει το έργο όλων των άλλων κόμβων για να συμφωνήσουν σε μια σωστή κατάσταση [7].

Ας δούμε αναλυτικότερα το μηχανισμό πιστοποίησης. Κάθε χρήστης διαθέτει ένα ζεύγος ιδιωτικού και δημόσιου κλειδιού. Το ιδιωτικό κλειδί χρησιμοποιείται για την υπογραφή. Τα δημόσια κλειδιά χρησιμοποιούνται για την πρόσβαση σε συναλλαγές που έχουν ήδη υπογραφεί. Έστω δύο χρήστες A και B. Ο χρήστης A, που θέλει να υπογράψει μία συναλλαγή, παράγει πρώτα μία κατακερματισμένη τιμή που προέρχεται από την ίδια την συναλλαγή. Στη συνέχεια κρυπτογραφεί αυτή την τιμή χρησιμοποιώντας το ιδιωτικό του κλειδί και στέλνει στον άλλο χρήστη, τον B, την κρυπτογραφημένη κατακερματισμένη τιμή μαζί με τα αρχικά δεδομένα. Ο χρήστης B επαληθεύει τη ληφθείσα συναλλαγή συγκρίνοντας την αποκρυπτογραφημένη τιμή κατακερματισμού (που ο B έχει εξαγάγει μέσω του δημόσιου κλειδιού του A) και την τιμή κατακερματισμού που παράγει ο ίδιος από τα αρχικά δεδομένα. Για να είναι ίσες οι τιμές προφανώς και οι δύο χρήστες θα πρέπει να έχουν την ίδια συνάρτηση κατακερματισμού. Η παραπάνω περιγραφή εξηγεί την κρυπτογράφηση ασύμμετρου κλειδιού. Ο πιο γνωστός αλγόριθμος είναι ο RSA, ενώ για την υλοποίηση blockchain χρησιμοποιείται κυρίως ο ECDSA [6].



Εικόνα 4: Οπτικοποίηση δημιουργίας ψηφιακής υπογραφής με χρήση κρυπτογραφικού αλγορίθμου ασύμμετρου κλειδιού [8].

Ένα σύστημα blockchain υποστηρίζει την αποκέντρωση. Στα συνήθη συστήματα συναλλαγών κάθε συναλλαγή πρέπει να επικυρώνεται από μία κεντρική υπηρεσία, για παράδειγμα την κεντρική τράπεζα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα κόστος, συμφόρηση και γενικότερα μικρότερες επιδόσεις. Αντιθέτως, το blockchain υλοποιείται από ένα δίκτυο ομότιμων κόμβων (P2P). Σε ένα δίκτυο ομότιμων κόμβων κάθε χρήστης λειτουργεί ως πελάτης και εξυπηρετητής ταυτόχρονα και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη διάθεση πόρων ή για πρόσβαση σε κοινόχρηστους

πόρους στο δίκτυο. Η αφαίρεση και η πρόσθεση ηλεκτρονικών υπολογιστών που λειτουργούν ως πελάτες/εξυπηρετητές δεν αλλάζει την επίδοση του δικτύου, γεγονός που καθιστά το σύστημα πλήρως κλιμακώσιμο.

Επιπλέον, εφόσον κάθε μία από τις συναλλαγές που διαδίδονται στο δίκτυο πρέπει να επιβεβαιωθεί και να καταγραφεί σε ένα μπλοκ, του οποίου η πληροφορία είναι προσβάσιμη από όλο το δίκτυο, είναι σχεδόν αδύνατη η παραβίαση και η παραποίηση του. Κάθε διαδεδομένο μπλοκ επικυρώνεται από άλλους κόμβους και οι συναλλαγές ελέγχονται. Έτσι, οποιαδήποτε παραποίηση θα μπορούσε να ανιχνεύεται εύκολα και με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται η συνέπεια.

Στα παραδοσιακά τραπεζικά συστήματα, η ιδιωτικότητα εξασφαλίζεται με τον περιορισμό της πρόσβασης στις πληροφορίες της κάθε συναλλαγής. Σε ένα blockchain, ωστόσο, όλες οι πληροφορίες που είναι αποθηκευμένες στους κόμβους μπορούν να διαμοιραστούν σε όλους τους χρήστες. Επομένως η ανωνυμία των χρηστών εξασφαλίζεται με την απόκρυψη των δημοσίων κλειδιών. Όλοι μπορούν να δουν ότι κάποιος στέλνει ένα ποσό σε κάποιον άλλο χρήστη, χωρίς επιπρόσθετα δεδομένα που να συνδέουν την συναλλαγή με οποιονδήποτε. Το παραπάνω σχήμα είναι παρόμοιο με αυτό των χρηματιστηρίων, όπου καταγράφονται και δημοσιοποιούνται το μέγεθος και η ώρα των μεμονωμένων συναλλαγών χωρίς να φαίνονται οι εμπλεκόμενοι.

Καθώς κάθε συναλλαγή περιέχει μία χρονοσφραγίδα μπορούμε εύκολα να την επαληθεύσουμε και να την εντοπίσουμε αναζητώντας προηγούμενες εγγραφές μέσω οποιουδήποτε κόμβου του κατανεμημένου δικτύου.

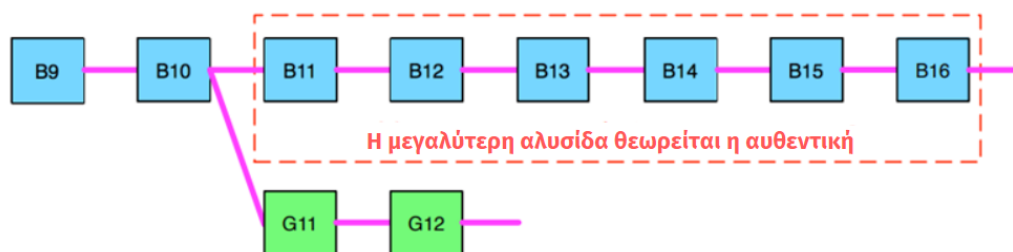
2.3 Αλγόριθμοι Συναίνεσης

Για να εξασφαλίζεται η συμφωνία για την κατάσταση των δεδομένων που μοιράζονται σε ένα κατανεμημένο σύστημα χρησιμοποιούνται αλγόριθμοι συναίνεσης. Οι αλγόριθμοι συναίνεσης αποτελούν λύση για ένα από τα βασικότερα προβλήματα στο blockchain και στα κατανεμημένα συστήματα. Το πρόβλημα της διπλής σπατάλης (double spending) εκφράζει την χρησιμοποίηση μίας μονάδας ψηφιακού νομίσματος σε δύο συναλλαγές ταυτόχρονα. Αυτό επάγεται στο πρόβλημα των Βυζαντινών στρατηγών, το οποίο περιγράφει την επίτευξη συναίνεσης, όταν στο σύστημα υπάρχουν κακόβουλοι χρήστες. Όπως θα δούμε μέσα από τους αλγορίθμους που θα περιγράψουμε στην συνέχεια, συναίνεση επιτυγχάνεται όταν συμφωνούν και είναι αξιόπιστοι η πλειοψηφία των κόμβων.

Οι πιο γνωστοί αλγόριθμοι συναίνεσης είναι ο Proof of Work και ο Proof of Stake. Το Proof of Work είναι ο πιο διαδεδομένος αλγόριθμος, καθώς χρησιμοποιείται και στο δίκτυο του bitcoin [9]. Η ιδέα του Proof of Work (PoW) πρωτοεμφανίστηκε στο άρθρο των Dwork και Naor το 1993 για την καταπολέμηση της μαζικής αποστολής ηλεκτρονικών μηνυμάτων [10]. Σύμφωνα με το άρθρο, ένας αποστολέας θα έπρεπε να λύσει ένα δύσκολο και απαιτητικό σε πόρους μαθηματικό πρόβλημα και να επισυνάψει την λύση στο ηλεκτρονικό μήνυμα. Το τελευταίο θα γινόταν αποδεκτό

από τον παραλήπτη, εφόσον επαληθευτεί η λύση του προβλήματος. Παρομοίως σε ένα σύστημα blockchain, ο PoW χρησιμοποιείται για την εξόρυξη μπλοκ. Κάθε κόμβος στο δίκτυο υπολογίζει μια τιμή κατακερματισμού του μπλοκ, η οποία θα πρέπει να είναι μικρότερη ή ίση μιας δοθείσας τιμής. Ως είσοδο στην συνάρτηση κατακερματισμού προστίθενται όλες οι συναλλαγές που ανήκουν στο μπλοκ, καθώς και ένας ψευδοτυχαίος αριθμός nonce. Σκοπός είναι να παραχθεί ένας αριθμός ο οποίος ξεκινά με ένα καθορισμένο αριθμό μηδενικών. Ο αριθμός των μηδενικών που πρέπει να εμφανιστούν στην αρχή της κατακερματισμένης τιμής εκφράζει την δυσκολία του συστήματος. Όσο μεγαλύτερη η δυσκολία τόσο περισσότερες δοκιμές και υπολογισμοί πρέπει να γίνουν για να βρεθεί η κατάλληλη τιμή. Σε ένα αποκεντρωμένο σύστημα όλοι οι συμμετέχοντες υπολογίζουν την συγκεκριμένη τιμή χρησιμοποιώντας κάθε φορά διαφορετική τιμή nonce, μέχρι κάποιος κόμβος να πετύχει τον στόχο. Μόλις βρεθεί η κατάλληλη τιμή, ανακοινώνεται και επαληθεύεται από όλους και το νέο μπλοκ προστίθεται στην αλυσίδα. Οι χρήστες που συμβάλλουν στην δημιουργία νέων μπλοκ ονομάζονται miners. Δεδομένου πως αυτός ο μηχανισμός αυθεντικοποίησης αποτελεί μία χρονοβόρα και απαιτητική σε πόρους διαδικασία, οι miners ανταμείβονται με ένα μικρό ποσό συναλλάγματος.

Επιπλέον, αξίζει να αναφέρουμε πως είναι πιθανό δύο μπλοκ να δημιουργηθούν ταυτόχρονα και να δημιουργήσουν μία διακλάδωση στην αλυσίδα. Ωστόσο, είναι σχεδόν απίθανο οι διακλαδώσεις να επεκταθούν με τον ίδιο ρυθμό. Στο πρωτόκολλο PoW θεωρείται αυθεντική η μεγαλύτερη διακλάδωση. Συγκεκριμένα, στο δίκτυο του bitcoin, η διακλάδωση που θα συμπληρώσει πρώτη περίπου 6 νέα μπλοκ θεωρείται αυθεντική.



Εικόνα 5: Επιλογή μεγαλύτερης διακλάδωσης ως κύριας σε μία αλυσίδα μπλοκ [6].

Το Proof of Stake (PoS) είναι ένας διαφορετικός αλγόριθμος συναίνεσης που είναι ενεργειακά αποδοτικότερος και πιο φιλικός στο περιβάλλον, καθώς δεν απαιτεί τόσο μεγάλη υπολογιστική ισχύ για την δημιουργία νέων μπλοκ [9, 11]. Το PoS ήδη έχει εφαρμοστεί σε αρκετούς μηχανισμούς blockchain, όπως το Ethereum. Η ιδέα πίσω από το Proof of Stake είναι πως ένας χρήστης που διαθέτει ένα μερίδιο του συστήματος είναι πιο έμπιστος, εφόσον είναι σχεδόν απίθανο να προβεί σε κακόβουλες ενέργειες που θα επηρεάσουν την αξιοπιστία και θα θέσουν σε κίνδυνο τα κέρδη του. Επιπλέον για να πραγματοποιηθεί μία διπλή σπατάλη θα πρέπει ένας χρήστης να κατέχει το 51% του συνόλου του δικτύου. Για την εξόρυξη ενός μπλοκ, ο

αλγόριθμος επιλέγει τυχαία συμμετέχοντες. Για να μπουν στην διαδικασία εκλογής οι ενδιαφερόμενοι θα πρέπει να ποντάρουν ένα ποσό. Όσο μεγαλύτερο είναι, τόσο περισσότερες πιθανότητες έχουν να επιλεχθούν. Έπειτα οι χρήστες που έχουν επιλεχθεί επικυρώνουν τις συναλλαγές και τις διαδίδουν στην αλυσίδα μέσω του νέου μπλοκ που έχουν δημιουργήσει. Όταν επικυρωθεί από τους αρμόδιους χρήστες προστίθεται στην αλυσίδα και ο χρήστης που το δημιούργησε επιβραβεύεται με προμήθεια. Όταν αποφασίσει να αποχωρήσει, ο χρήστης λαμβάνει το ποσό που έχει δεσμεύσει μαζί με τις προμήθειες που έχει καταφέρει να αποκτήσει.

Μια εξελιγμένη μορφή του PoS είναι το Delegated Proof of Stake (DPoS) [12]. Στο DPoS οι χρήστες ψηφίζουν για να εκλέξουν αυτούς που θα παράγουν καινούργια μπλοκ στην αλυσίδα. Η βαρύτητα της κάθε ψήφου είναι ανάλογη με το μέγεθος του ποσού που έχει ποντάρει ο καθένας. Η επιλογή του κάθε χρήστη μπορεί να γίνει από τον ίδιο ή από άλλον με πληρεξούσιο. Αυτό είναι και το χαρακτηριστικό πλεονέκτημα του DPoS, καθώς το σύστημα γίνεται πιο δημοκρατικό και αποκεντρωμένο, εφόσον οι χρήστες που παράγουν νέα μπλοκ εκλέγονται συλλογικά.

Ωστόσο, σε ένα σύστημα blockchain, δεν είναι σημαντικό μόνο το ποσό που κατέχει ένας χρήστης, αλλά και η συνεισφορά του στο δίκτυο. Για αυτό τον σκοπό δημιουργήθηκε το Proof of Importance (PoI) για το NEM [13]. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιείται ένας μηχανισμός ο οποίος αναλύει διάφορους παράγοντες για κάθε χρήστη, όπως το ποσό που κατέχουν, πόσες συναλλαγές έχουν πραγματοποιήσει και αν είναι ενεργοί και αναλόγως δίνει την δυνατότητα δημιουργίας μπλοκ στους χρήστες με την υψηλότερη βαθμολογία.

Ένας επίσης εναλλακτικός αλγόριθμος συναίνεσης είναι ο Proof of Capacity [14]. Είναι παρόμοιος με τον PoW, ωστόσο σε αυτή την περίπτωση δεν χρειάζονται μεγάλοι υπολογιστικοί πόροι, αλλά υψηλή απαίτηση χώρου μνήμης. Για να λάβει δικαιώματα εξόρυξης καινούργιου μπλοκ ο χρήστης στέλνει αποδεικτικό με τον χώρο μνήμης που δέσμευσε.

Επιπλέον, υπάρχει και ο Proof of Elapsed Time (PoET) [15]. Στον συγκεκριμένο αλγόριθμο συναίνεσης, ο κάθε κόμβος παράγει έναν τυχαίο αριθμό, ο οποίος καθορίζει τον χρόνο που θα πρέπει να περάσει, ώστε να δημιουργήσει ένα νέο μπλοκ. Η παραγωγή των τυχαίων αριθμών βασίζεται σε συγκεκριμένη κατανομή με την οποία έχει ρυθμιστεί το σύστημα εκ των προτέρων. Σε σχέση με τους υπόλοιπους αλγόριθμους ο PoET παρέχει αποδοτικότητα, εφόσον δεν χρειάζονται υπολογισμοί με μεγάλο κόστος και υπάρχει δικαιοσύνη καθώς όλοι οι κόμβοι συμμετέχουν στην δημιουργία μπλοκ.

Ακόμα μία διαφορετική προσέγγιση είναι το Proof of Authority [16]. Σε αυτόν τον αλγόριθμο υπάρχουν επιλεγμένοι κόμβοι που θεωρούνται αξιόπιστοι και μόνο αυτοί επαληθεύουν και δημιουργούν νέα μπλοκ. Αυτοί οι κόμβοι επιλέγονται ανάλογα την φήμη τους και την συμμετοχή τους στο σύστημα και ανακοινώνονται δημόσια ως επικυρωτές. Επομένως, ένας επικυρωτής αποφεύγει τις κακόβουλες

ενέργειες, καθώς θα καταστραφεί η φήμη που έχει στο δίκτυο. Ο PoA είναι ένας αποδοτικός αλγόριθμος, καθώς δεν απαιτεί πόρους και υπολογιστική ισχύ, ωστόσο δεν είναι τόσο δημοκρατικός, εφόσον δεν μπορούν όλοι οι κόμβοι να συμμετέχουν στην διαδικασία της επικύρωσης.

Τέλος, το Hybrid Proof of Activity είναι ένας αλγόριθμος που συνδυάζει το Proof of Work με το Proof of Stake [17]. Συγκεκριμένα, στην πρώτη φάση στο δίκτυο ανταγωνίζονται μεταξύ τους οι κόμβοι για την εύρεση της κατάλληλης κατακερματισμένης τιμής, όπως ακριβώς στο PoW. Έπειτα, δημιουργείται νέο μπλοκ από τον κόμβο που βρήκε την τιμή. Στην δεύτερη φάση, επιλέγεται από το δίκτυο μία ομάδα επικυρωτών, με βάση τον αριθμό των νομισμάτων που έχει στο δίκτυο, για να επαληθεύσει το νέο μπλοκ, όπως ακριβώς στο PoS.

2.4 Κατηγορίες Blockchain Δικτύων

Μπορούμε να θεωρήσουμε τέσσερις κατηγορίες Blockchain με βάση των διαμοιρασμό των δεδομένων, την επίτευξη του αλγόριθμου συναίνεσης, την επεκτασιμότητα και την αρχιτεκτονική. Ένα δίκτυο Blockchain είναι δημόσιο αν ο κάθε συμμετέχων μπορεί να έχει πρόσβαση, να πραγματοποιήσει συναλλαγές και να έχει την δυνατότητα να συμμετάσχει στην διαδικασία δημιουργίας της συναίνεσης [18]. Σε ένα δημόσιο δίκτυο ισχύει η αμεταβλητότητα των δεδομένων και ο ρυθμός απόδοσης των συναλλαγών είναι χαμηλός. Η αρχιτεκτονική του είναι αποκεντρωμένη και επεκτάσιμη. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελούν τα κρυπτονομίσματα, όπως το Bitcoin και το Ethereum.

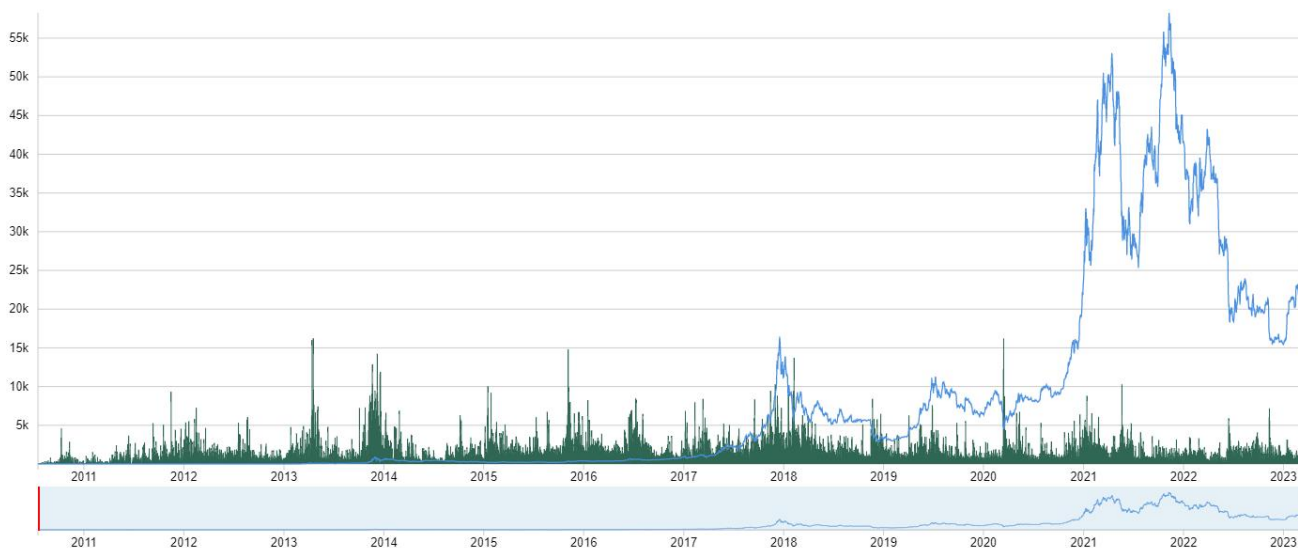
Αντιθέτως, ένα δίκτυο Blockchain ονομάζεται ιδιωτικό όταν ανήκει σε ένα άτομο, οργανισμό ή σε μια κυβέρνηση και η διαδικασία συναίνεσης μπορεί να επιτευχθεί μόνο από έναν περιορισμένο και προκαθορισμένο αριθμό συμμετεχόντων [18]. Επιπλέον, η πρόσβαση στα δεδομένα των μπλοκ τροποποιείται αναλόγως και μπορεί να είναι είτε δημόσια είτε περιορισμένη. Η ιδιωτική αλυσίδα μπλοκ δεν χρησιμοποιεί απαραίτητα μηχανισμούς που βασίζονται στην κρυπτογραφία. Σε ένα ιδιωτικό δίκτυο είναι δυνατή ακόμα και η επαναφορά δεδομένων, ο ρυθμός απόδοσης είναι υψηλός, ενώ δεν υπάρχει η δυνατότητα επεκτασιμότητας πέρα από εκατοντάδες κόμβους. Η υποδομή ιδιωτικού δικτύου blockchain υλοποιείται μέσω κατανεμημένων συστημάτων.

Υπάρχουν επίσης και τα δίκτυα blockchain κοινοπραξίας που συνδυάζουν την ιδιωτικότητα και τον έλεγχο ενός ιδιωτικού δικτύου με την αποκέντρωση και την διαφάνεια ενός δημόσιου [19]. Ένα τέτοιο δίκτυο ανήκει και ρυθμίζεται από πολλά άτομα ή οργανισμούς και συγκριτικά με τα ιδιωτικά δίκτυα αποτελούν μία πιο αποκεντρωμένη λύση. Με αυτή την αρχιτεκτονική, οι οργανισμοί συνεργάζονται για έναν κοινό στόχο και έχουν ίδια δικαιώματα και υποχρεώσεις στην συντήρηση και διαχείριση του δικτύου. Ένα δίκτυο κοινοπραξίας προσφέρει πολλά οφέλη όπως μειωμένο κόστος, επεκτασιμότητα και διαμοιρασμό του κινδύνου.

Ωστόσο, για μερικές εφαρμογές χρειαζόμαστε ένα δίκτυο που περιέχει τα χαρακτηριστικά του δημοσίου και του ιδιωτικού. Για παράδειγμα, σε ένα σύστημα που αποθηκεύονται ιατρικά αρχεία, θέλουμε να τα κρατήσουμε ιδιωτικά, ενώ παράλληλα ένας χρήστης να έχει την δυνατότητα να προσπελάσει συγκεκριμένα αρχεία, όταν του δίνεται η άδεια. Το παραπάνω θεωρείται ένα υβριδικό δίκτυο [20]. Σε ένα υβριδικό δίκτυο ορισμένα στοιχεία είναι δημόσια και προσβάσιμα από οποιονδήποτε, ενώ άλλα στοιχεία είναι ιδιωτικά και αποκλειστικά για μία επιλεγμένη ομάδα χρηστών. Η διαφάνεια του blockchain, δηλαδή εξαρτάται από τους κανόνες που θα θέσουν οι ιδιοκτήτες της αλυσίδας.

2.5 Πεδία Εφαρμογής

Αδιαμφισβήτητα, η δημοτικότητα της τεχνολογίας Blockchain οφείλεται στην άνοδο των κρυπτονομισμάτων στο ευρύ κοινό. Η ανάπτυξη των κρυπτονομισμάτων έχει κεντρίσει το ενδιαφέρον στην αγορά ως μια νέα κατηγορία επενδυτικών περιουσιακών στοιχείων. Το πιο γνωστό στην αγορά κρυπτονομίσμα είναι το Bitcoin, το οποίο έφτασε την υψηλότερη τιμή του τον Νοέμβριο του 2021, όπου 1 μονάδα Bitcoin είχε αξία 58.271 ευρώ. Ωστόσο, η αξία ενός νομίσματος συνεχώς μεταβάλλεται ανάλογα με τα κοινωνικές και πολιτικές εξελίξεις, παρόμοια με μία μετοχή στο χρηματιστήριο. Σύμφωνα με την Forbes, τα 10 κρυπτονομίσματα με την μεγαλύτερη χρηματιστηριακή αξία είναι με φθίνουσα σειρά το Bitcoin (BTC), το Ethereum (ETH), το Tether (USDT), το Binance Coin (BNB), το US Dollar Coin (USDC), το XRP (XRP), το Dogecoin (DOGE), το Cardano (ADA), το Polygon (MATIC) και το Solana (SOL) [21].



Εικόνα 6: Η αξία ενός Bitcoin από το 2011 μέχρι τον Μάρτιο του 2023 [22].

Ένα άλλο πεδίο εφαρμογής είναι τα NFTs. Τα non-fungible token (NFT) είναι κρυπτογραφικά περιουσιακά στοιχεία σε μια αλυσίδα μπλοκ, όπου το καθένα περιέχει μοναδικές πληροφορίες αναγνώρισης και κωδικούς, ώστε να διαχωρίζεται

και να είναι μοναδικό [23]. Ένα τέτοιο αντικείμενο μπορεί να είναι έργο τέχνης, αντικείμενο από βιντεοπαιχνίδια και γενικότερα ένα συλλεκτικό αντικείμενο. Πιο συγκεκριμένα, η αναγνωρισιμότητα των NFTs αυξήθηκε το 2021, όπου πραγματοποιήθηκαν συναλλαγές συνολικής αξίας 44 δισεκατομμυρίων δολαρίων [24]. Αναπόφευκτα, αυτή η δημοτικότητα δημιούργησε σημαντικά ερωτήματα σχετικά με τη χρησιμότητά τους και το κατά πόσον μπορούν να φέρουν επανάσταση στον τομέα των ψηφιακών περιουσιακών στοιχείων. Η πώληση με την μεγαλύτερη επιρροή στην αγορά θεωρείται πως είναι η πρώτη πώληση ψηφιακού έργου τέχνης του Beeple με τίτλο "Everydays: The First 5000 Days" για 69,3 εκατομμύρια δολάρια, τοποθετώντας τον καλλιτέχνη μεταξύ των πιο πολύτιμων εν ζωή καλλιτεχνών. Το ρεκόρ όμως για την υψηλότερη τιμή πώλησης κατέχει το έργο του Pak, "The Merge", το οποίο στην διάρκεια μίας 48ωρης πώλησης κατάφερε να συγκεντρώσει 91 εκατομμύρια. Τα δικαιώματα για το έργο διαχωρίστηκαν σε 312.686 κομμάτια γνωστά ως «μάζα» σε 28.983 συλλέκτες [25].

Επιπλέον, η ενσωμάτωση της τεχνολογίας blockchain στην εφοδιαστική αλυσίδα και στα logistics έχει τη δυνατότητα να φέρει επανάσταση στον κλάδο, ενισχύοντας τη διαφάνεια, την ασφάλεια και την αποτελεσματικότητα. Μία έρευνα των Hackius και Petersen το 2017, στην οποία πήραν μέρος 152 συμμετέχοντες, έδειξε πως η εφαρμογή της τεχνολογίας θεωρήθηκε πολύ θετική. Από αυτούς το 43% δήλωσε πως δεν εξετάζει την εφαρμογή της αλυσίδας μπλοκ, το 37% δήλωσε πως ερευνά περιπτώσεις χρήσης, ενώ το 20% είχε ήδη εφαρμόσει την τεχνολογία προς όφελος του. Στην συνέχεια παρουσιάστηκαν οι δυνατότητες που μπορεί να προσφέρει η αλυσίδα μπλοκ στις επιχειρήσεις, όπως η διευκόλυνση της επεξεργασίας γραφειοκρατίας, η ταυτοποίηση πλαστών προϊόντων, η διευκόλυνση της παρακολούθησης προέλευσης και η λειτουργία του Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT). Έπειτα οι συμμετέχοντες ανέδειξαν ως βασικά εμπόδια την ρυθμιστική αβεβαιότητα, την συνεργασία με τρίτους, την έλλειψη ωριμότητας και αποδοχής από τον κλάδο, την ασφάλεια των δεδομένων, τα ασαφή πλεονεκτήματα και την μεγάλη εξάρτηση από τους διαχειριστές τις αλυσίδας. Συμπερασματικά, οι συμμετέχοντες πιστεύουν ότι το Blockchain θα έχει ισχυρή επίδραση στον κλάδο, ωστόσο ο μετασχηματισμός δεν θα είναι τόσο ριζοσπαστικός όσο δηλώνουν ορισμένα άρθρα του εμπορικού Τύπου [26].

Η υλοποίηση εφαρμογών blockchain για εταιρίες έγινε πράξη με την ίδριση του Hyperledger το 2015 [27]. Το Hyperledger είναι μία πλατφόρμα ανοιχτού κώδικα συλλογικής προσπάθειας με σκοπό την ανάπτυξη διεπαγγελματικών τεχνολογιών blockchain. Αναπτύχθηκε από το Linux Foundation και πλέον έχει συνεργασίες με πάνω από 230 οργανισμούς και 10 διαφορετικά εργαλεία, ανάλογα με την ανάγκη της κάθε επιχείρησης. Ένα από τα πιο δημοφιλή είναι το Hyperledger Fabric, μια πλατφόρμα για την δημιουργία εφαρμογών τεχνολογίας κατανεμημένου καθολικού (DLT), σχεδιασμένη για χρήση σε εταιρικά πλαίσια. Το Hyperledger Fabric χάρη στην αρθρωτή και διαμορφώσιμη αρχιτεκτονική του παρέχει σε υψηλό βαθμό εμπιστευτικότητα, ευελιξία, ανθεκτικότητα και επεκτασιμότητα. Επιπλέον, το Fabric είναι η πρώτη πλατφόρμα που υποστηρίζει έξυπνα συμβόλαια που έχουν συνταχθεί

σε γλώσσες προγραμματισμού γενικού σκοπού, όπως η Java, η Go και η Node.js, και όχι σε περιορισμένες γλώσσες ειδικού πεδίου (DSL) [28]. Αυτό σημαίνει ότι οι περισσότερες επιχειρήσεις διαθέτουν ήδη τις δεξιότητες που απαιτούνται για την ανάπτυξη έξυπνων συμβολαίων και δεν απαιτείται πρόσθετη εκπαίδευση για την εκμάθηση μιας νέας γλώσσας ή DSL. Η χρήση του Hyperledger Fabric επεκτείνεται σε πολλούς κλάδους, όπως στις τραπεζικές, χρηματοοικονομικές και υγειονομικές υπηρεσίες, σε αλυσίδες εφοδιασμού και για αναγνώριση ταυτότητας.

Κεφάλαιο 3: Ερευνητικό Πλαίσιο Λύσεων Blockchain στην Εκπαίδευση και την Αγορά Εργασίας

3.1 Εισαγωγή

Στην προηγούμενη ενότητα παρουσιάσαμε εκτενώς περιπτώσεις χρήσης της τεχνολογίας blockchain. Σε αυτό το κεφάλαιο θα διερευνηθούν τα πεδία εφαρμογής στο πλαίσιο της εκπαίδευσης. Όπως έχουμε ήδη αναφέρει, η τεχνολογία blockchain προσφέρει έναν αποκεντρωμένο, ασφαλές και διαφανή τρόπο καταγραφής και ανταλλαγής πληροφοριών. Στην εκπαίδευση, αυτό θα μπορούσε να μεταφραστεί σε ένα πιο αποτελεσματικό και ασφαλές σύστημα για τη διαχείριση των δεδομένων των φοιτητών και των ακαδημαϊκών αρχείων, μειώνοντας τα διοικητικά βάρη και ενισχύοντας την αξία των εκπαιδευτικών πιστοποιητικών.

Ειδικότερα, θα εξεταστούν λεπτομερώς τα πιθανά οφέλη της τεχνολογίας blockchain στην εκπαίδευση και θα διερευνηθεί ο τρόπος με τον οποίο μπορεί να εφαρμοστεί για να επιφέρει θετικές αλλαγές. Εν συντομία, η τεχνολογία blockchain μπορεί να βοηθήσει στη διαχείριση πιστοποιητικών, στην διεξαγωγή εξετάσεων και βαθμολόγηση, διότι μπορεί να εξασφαλίσει τη διαφάνεια και την ακεραιότητα των δεδομένων. Επιπλέον, μπορεί να διασφαλίσει την επίτευξη των μαθησιακών στόχων, καθώς μπορεί να βοηθήσει στην παρακολούθηση της προόδου των φοιτητών και στη βελτίωση της διαδικασίας εκμάθησης. Ακόμα, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη διαχείριση συναλλαγών πιστωτικών μονάδων και πληρωμή διδάκτρων, εφόσον μπορεί να εξασφαλίσει την ακεραιότητα των συναλλαγών και να μειώσει τον κίνδυνο απάτης.

Παρουσιάζοντας παραδείγματα από τον πραγματικό κόσμο για τη χρήση της αλυσίδας μπλοκ στην εκπαίδευση, το κεφάλαιο αυτό στοχεύει στην παροχή πληροφοριών αναφορικά με το πως μπορεί αυτή η τεχνολογία να εφαρμοστεί στον τομέα της εκπαίδευσης και να εμπνεύσει περαιτέρω έρευνα και καινοτομία στον τομέα αυτό.

3.2 Ερευνητικές δημοσιεύσεις blockchain στην εκπαίδευση

3.2.1 Ιστορική Αναδρομή Εφαρμογής Blockchain στην Εκπαίδευση

Την τελευταία δεκαετία, η τεχνολογία blockchain έχει κερδίσει το ενδιαφέρον και την αναγνώριση της δυνατότητας να φέρει επανάσταση σε διάφορους κλάδους, συμπεριλαμβανομένης της εκπαίδευσης. Αξιόλογα ιδρύματα, όπως το Πανεπιστήμιο Λευκωσίας, το Ανοικτό Πανεπιστήμιο του Ηνωμένου Βασιλείου, το Τεχνολογικό Ινστιτούτο της Μασαχουσέτης (MIT) και το Εκπαιδευτικό Ινστιτούτο της Μάλτας, ήταν τα πρώτα που διερεύνησαν και εφαρμόσαν λύσεις που βασίζονται στην τεχνολογία blockchain στον τομέα της εκπαίδευσης, ανοίγοντας το δρόμο για καινοτομίες και μετασχηματίζοντας τα παραδοσιακά συστήματα.

Η εφαρμογή της τεχνολογίας blockchain στην τριτοβάθμια εκπαίδευση ξεκίνησε το 2014, όταν το Πανεπιστήμιο Λευκωσίας της Κύπρου (UNIC) άρχισε να εφαρμόζει την τεχνολογία αυτή σε μία επίσημη βάση για την αποθήκευση και επιβεβαίωση των διπλωμάτων του [29]. Το Πανεπιστήμιο Λευκωσίας επίσης ισχυρίζεται πως είναι το πρώτο πανεπιστήμιο που πρόσφερε μαθήματα, ολοκληρωμένο πρόγραμμα σπουδών και απόκτηση πτυχίου στην τεχνολογία Blockchain, καθώς και το πρώτο Πανεπιστήμιο που δέχεται Bitcoin για πληρωμές διδασκτρών [30]. Από το 2017, το Πανεπιστήμιο Λευκωσίας δημοσιεύει όλες τις διπλωματικές εργασίες των αποφοίτων του (πτυχία, μεταπτυχιακά και διδακτορικά) σε blockchain εφαρμόζοντας τη δική του εφαρμογή που ανέπτυξε, την πλατφόρμα block.co. Η πλατφόρμα αυτή χρησιμοποιείται τόσο από εκπαιδευτικά ιδρύματα όσο και από εγκαταστάσεις υγειονομικής περίθαλψης, τον δημόσιο τομέα, τις μεταφορές κ.λπ.

Το Knowledge Media Institute (KMI) του Ανοικτού Πανεπιστημίου του Ηνωμένου Βασιλείου είναι ένα από τα πρωτοπόρα πανεπιστήμια που χρησιμοποιούν blockchain[31]. Το KMI δημιούργησε ένα βασισμένο στο Ethereum blockchain, το OpenBlockChain, για ακαδημαϊκές εφαρμογές σε συνεργασία με το British Telecommunications (BT), η οποία έχει προτεραιότητα τους φοιτητές του Ηνωμένου Βασιλείου. Το ινστιτούτο διεξάγει πειράματα με μικροπιστοποιητικά (badges) για ανοικτά ηλεκτρονικά μαθήματα που είναι διαθέσιμα στην πλατφόρμα Open Learn που ανήκει στο Ανοικτό Πανεπιστήμιο. Τα μικροπιστοποιητικά τεκμηριώνονται από έξυπνα συμβόλαια που υπογράφονται και δίνουν λεπτομέρειες για το πώς και πότε αποκτήθηκε το σήμα, όπως η βεβαίωση ασφάλειας, ο παραλήπτης, ο εκδότης, τα κριτήρια που εφαρμόστηκαν και τα αποδεικτικά στοιχεία της επίτευξης.

Το 2016, η Sony Global Education με την υποστήριξη της IBM ανέπτυξε μια πλατφόρμα blockchain για την αποθήκευση, προστασία και την ανταλλαγή πληροφοριών που σχετίζονται με τις επιδόσεις και την πρόοδο των μαθητών. Το 2018, η Sony ξεκίνησε τις προσφορές υπηρεσιών της μέσω ενός παγκόσμιου μαθηματικού διαγωνισμού με 150000 συμμετέχοντες από όλο τον κόσμο. Στον διαγωνισμό χρησιμοποιήθηκε ένα σύστημα διαχείρισης του ιστορικού μάθησης με και δοκιμάστηκε μια υπηρεσία για την ψηφιακή έκδοση των αποτελεσμάτων των εξετάσεων [32, 33]. Το 2016, επίσης, αναπτύχθηκε από το Τεχνολογικό Ινστιτούτο

της Μασαχουσέτης (MIT) το Blockcerts, ένα πρότυπο ανοιχτού κώδικα blockchain για διαχείριση πιστοποιητικών, το οποίο θα αναλύσουμε εκτενέστερα στο κεφάλαιο που ακολουθεί.

Η Μάλτα είναι μία από τις πρώτες χώρες που χρησιμοποίησαν το πρότυπο του Blockcerts. Τον Ιανουάριο του 2017, το Υπουργείο Παιδείας και Απασχόλησης της Μάλτας (MEDE) υπέγραψε σύμβαση με την Learning Machine (LM), τον εταίρο του MIT Media Lab, για την υλοποίηση ενός πιλότου για ακαδημαϊκή επαλήθευση αρχείων που ανήκουν σε μαθητές και εργαζομένους στην εκπαίδευση [31]. Ο πιλότος ξεκίνησε τον Οκτώβρη του ίδιου έτους με σκοπό να δημιουργηθεί μία επαληθεύσιμη πιστοποίηση εκπαίδευσης για τους πολίτες [34]. Ο κάθε πολίτης μέσω μίας εφαρμογής, γνωστή ως πορτοφόλι, μπορεί να ελέγξει σε ποιόν τρίτο θέλει να διαμοιράσει τα αρχεία του μέσω κοινοποίησης ενός URL. Εκτός από το Υπουργείο Παιδείας και Απασχόλησης της Μάλτας (MEDE), στην κοινοπραξία περιλαμβάνεται το Κολέγιο Τεχνών, Επιστημών και Τεχνολογίας της Μάλτας (MCAST) και το Ινστιτούτο Τουριστικών Σπουδών (ITS).

3.2.2 Διαχείριση Πιστοποιητικών

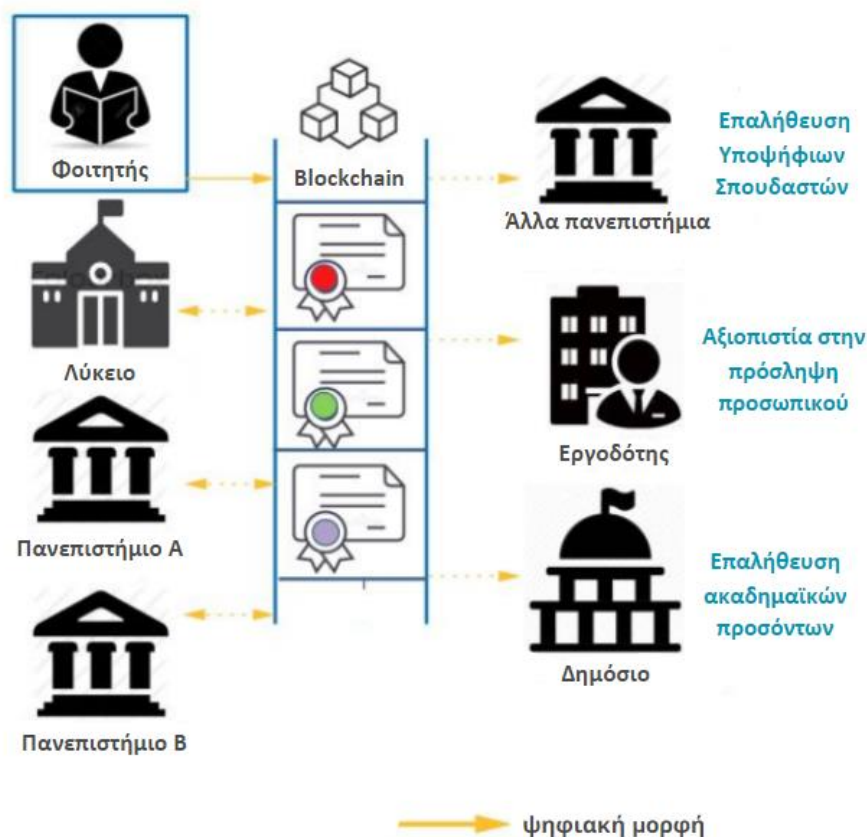
Τα πιστοποιητικά αποτελούν βασικό αποδεικτικό στοιχείο για τις δεξιότητες και τις γνώσεις που διαθέτει ένα άτομο σε ένα συγκεκριμένο πεδίο ή επάγγελμα. Στη σημερινή αγορά εργασίας, η κατοχή πιστοποιητικών μπορεί να βελτιώσει σημαντικά τις πιθανότητες εύρεσης εργασίας και να ενισχύσει την επαγγελματική ανέλιξη.

Ωστόσο, τα εκπαιδευτικά πιστοποιητικά είναι εύκολο να πλαστογραφηθούν και τα συστήματα επαλήθευσης είναι ανεπαρκή. Στις μέρες μας συναντάμε περιστατικά πλαστών πιστοποιητικών σε διάφορους κλάδους. Τα χάρτινα πιστοποιητικά μπορούν εύκολα να πλαστογραφηθούν, καταστραφούν ή χαθούν. Τα σαρωμένα αντίγραφα των χάρτινων πιστοποιητικών είναι επίσης ευάλωτα στο να πλαστογραφηθούν με εργαλεία επεξεργασίας εικόνας. Σύμφωνα με ένα άρθρο της New York Times που δημοσιεύθηκε τον Ιανουάριο του 2023 στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής πωλήθηκαν 7.600 πλαστά διπλώματα νοσηλευτικής [35]. Τα ψεύτικα έγγραφα παράχθηκαν από 3 σχολές νοσηλευτικής στην Φλόριντα που έκτοτε έκλεισαν. Το πρόβλημα της πλαστογράφησης διπλωμάτων δεν ελλοχεύει μόνο τον κίνδυνο του ελλιπώς εξειδικευμένου προσωπικού, αλλά και την ανισότητα στην αγορά εργασίας, εφόσον υπάρχει μικρότερη ζήτηση και οι θέσεις καλύπτονται από μη καταρτισμένο προσωπικό.

Το Blockchain θεωρείται ως μια πολλά υποσχόμενη τεχνολογία για την αντιμετώπιση αυτών των προβλημάτων στα τρέχουσα συστήματα πιστοποίησης και επαλήθευσης, λαμβάνοντας υπόψη την ικανότητά της να παρέχει αυθεντικοποίηση, εξουσιοδότηση, εμπιστευτικότητα, έλεγχο κυριότητας και προστασία απορρήτου [36]. Στην περίπτωση των πιστοποιήσεων, μια αλυσίδα μπλοκ μπορεί να διατηρεί έναν κατάλογο με τον εκδότη και τον παραλήπτη κάθε πιστοποιητικού, μαζί με την

ψηφιακή υπογραφή, δηλαδή την τιμή κατακερματισμού (hash) σε μια δημόσια βάση δεδομένων, η οποία αποθηκεύεται πανομοιότυπα σε χιλιάδες υπολογιστές σε όλο τον κόσμο [7].

Τα ψηφιακά πιστοποιητικά τα οποία εξασφαλίζονται με αυτόν τον τρόπο σε μια αλυσίδα μπλοκ κατέχουν σημαντικά πλεονεκτήματα σε σχέση με τα "κανονικά" ψηφιακά πιστοποιητικά. Αρχικά, δεν μπορούν να πλαστογραφηθούν, εφόσον με βεβαιότητα γνωρίζουμε πως το έγγραφο εκδόθηκε από και για τα πρόσωπα τα οποία αναγράφονται πάνω στο έγγραφο. Επιπλέον, η επαλήθευση γίνεται από οποιονδήποτε έχει πρόσβαση στην αλυσίδα. Δηλαδή, τα τμήματα διαχείρισης ανθρώπινου δυναμικού επιχειρήσεων και δημόσιοι φορείς μπορούν να επαληθεύσουν με χρήση λογισμικού ανοιχτού κώδικα αν ένα πιστοποιητικό είναι έγκυρο. Ακόμα, επειδή δεν απαιτούνται μεσολαβητές για την επικύρωση του, το πιστοποιητικό μπορεί να επικυρωθεί ακόμη και αν ο οργανισμός που το εξέδωσε δεν υπάρχει πλέον ή δεν έχει πλέον πρόσβαση στο αρχείο που εκδόθηκε. Εφόσον είναι αποθηκευμένο σε αντίγραφα σε πολλούς υπολογιστές, η διαγραφή ενός αρχείου καθίσταται αδύνατη, καθώς αυτό θα σήμαινε πως θα πρέπει να καταστραφεί το αρχείο σε κάθε υπολογιστή στο σύστημα. Τέλος, διασφαλίζονται και τα προσωπικά δεδομένα, εφόσον για την επικύρωση απαιτείται μόνο η ψηφιακή υπογραφή.



Εικόνα 7: Χρησιμότητα δικτύου blockchain για την επαλήθευση πιστοποιητικών. [37]

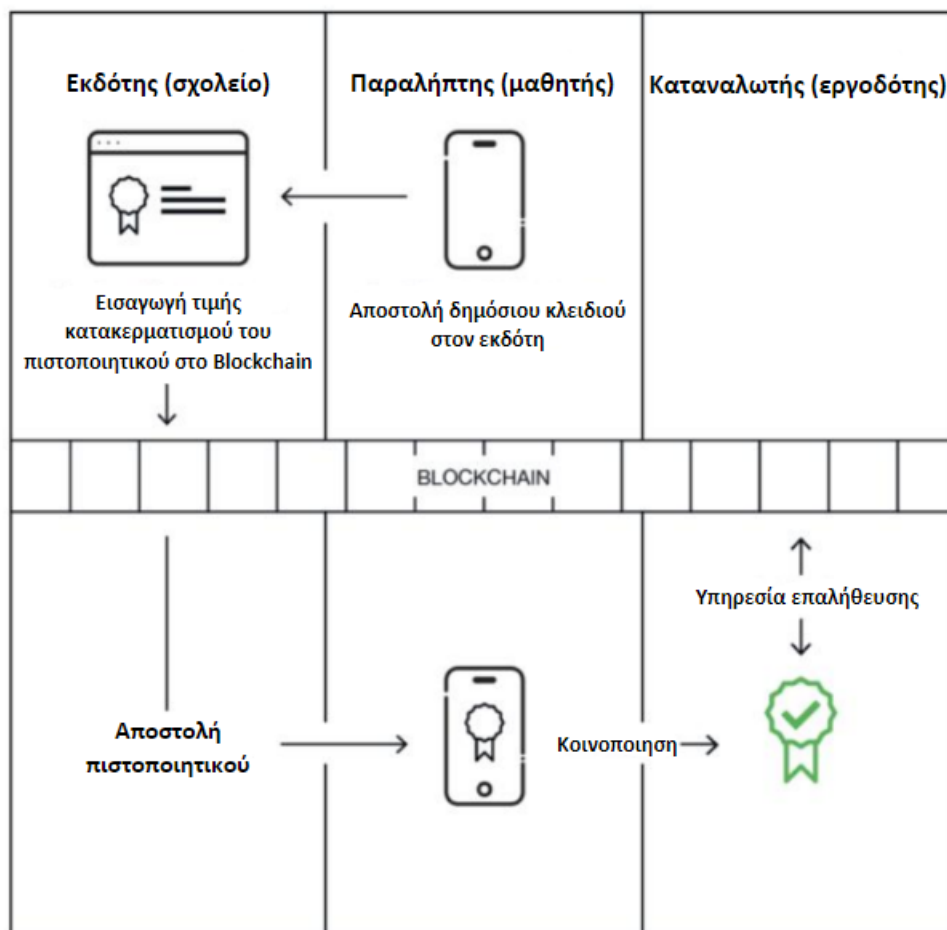
Πολλοί ερευνητές προτείνουν μια νέα λύση βασισμένη στην αλυσίδα μπλοκ που θα εφαρμοστεί στις παρούσες τεχνολογίες των ψηφιακών πιστοποιητικών, δηλαδή σχέδια συστημάτων και υλοποίηση πρωτοτύπων με βάση την υποδομή δημόσιου κλειδιού (PKI) και την αρχή έκδοσης πιστοποιητικών (CA). Για παράδειγμα, οι Madala κ.α. [38] προτείνουν ένα σύστημα βασισμένο στο blockchain για την επίλυση ενός προβλήματος ασφαλείας στα τρέχοντα συστήματα έκδοσης πιστοποιητικών SSL/TLS, έτσι ώστε μια αρχή έκδοσης πιστοποιητικών (CA: Certification Authority) να μην μπορεί να εκδώσει πιστοποιητικό για έναν τομέα χωρίς τη συγκατάθεση του ιδιοκτήτη του τομέα. Οι Kubilay κ.α. [39] προτείνουν το CertLedger, ένα σύστημα με αρχιτεκτονική δημοσίου κλειδιού που δίνει λύση για την αποφυγή split-world επιθέσεων. Μια split-world επίθεση χαρακτηρίζεται από ένα ψεύτικο, αλλά έγκυρο πιστοποιητικό TLS, το οποίο ένας κακόβουλος χρήστης μπορεί να εκμεταλλευτεί, ώστε να εμποδίσει τους υπόλοιπους χρήστες να καταλάβουν ότι ένα πιστοποιητικό δεν επαληθεύεται από το γνήσιο δέντρο κατακερματισμού [40].

Εκτός από τον τομέα της εκπαίδευσης έχουν ήδη εισαχθεί στην αγορά εφαρμογές blockchain για ψηφιακά πιστοποιητικά σε ποικίλες περιπτώσεις. Συγκεκριμένα, υπάρχουν για πιστοποίηση διαμαντιών (Tracr), για έκδοση πιστοποιητικού εμβολίου Covid-19 (HealthCerts), για πιστοποιητικά γνησιότητας για έργα τέχνης και άλλα συλλεκτικά αντικείμενα (Artory) και για πιστοποιητικά ανανεώσιμης πηγής ενέργειας (YEK-G) [41].

Ειδικότερα, στην εκπαίδευση μία από τις πιο γνωστές εφαρμογές είναι το Blockcerts [42]. Το Blockcerts είναι ένα πρότυπο ανοιχτού κώδικα για τη δημιουργία, έκδοση, προβολή και επαλήθευση πιστοποιητικών που βασίζονται στην τεχνολογία Blockchain. Τα ψηφιακά αρχεία καταχωρούνται σε μια αλυσίδα μπλοκ, υπογράφονται κρυπτογραφικά, είναι ανθεκτικά στην παραποίηση και μπορούν να διαμοιραστούν. Στόχος είναι η κατοχή και ο διαμοιρασμός επίσημων αρχείων. Δημιουργήθηκε από το Εργαστήριο Πολυμέσων του Τεχνολογικού Ινστιτούτου της Μασαχουσέτης (MIT Media Lab) και από την Learning Machine (πλέον Hyland Credentials).

Το 2015, ο Philipp Schmidt, διευθυντής καινοτομίας στην μάθηση στο MIT Media Lab, άρχισε να εκδίδει μη ακαδημαϊκά ψηφιακά πιστοποιητικά στην ομάδα του [43]. Συνειδητοποίησε ότι, παρά την άνοδο των αποκεντρωμένων, άτυπων ευκαιριών διαδικτυακής μάθησης, δεν υπήρχε κανένας ψηφιακός τρόπος παρακολούθησης και διαχείρισης αυτών των επιτευγμάτων. Η Learning Machine και η ομάδα του Schmidt στο Media Lab ανακάλυψαν ότι είχαν αμοιβαίο ενδιαφέρον για την ανάπτυξη ασφαλών επίσημων αρχείων και άρχισαν να συνεργάζονται. Κατά τη διάρκεια του 2016, χρησιμοποιώντας τα πρωτότυπα της ομάδας του Schmidt, ανέπτυξαν το Blockcerts, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιήσει οποιοσδήποτε προγραμματιστής ή σχολείο για να εκδώσει και να επαληθεύσει εκπαιδευτικά πιστοποιητικά που βασίζονται σε blockchain.

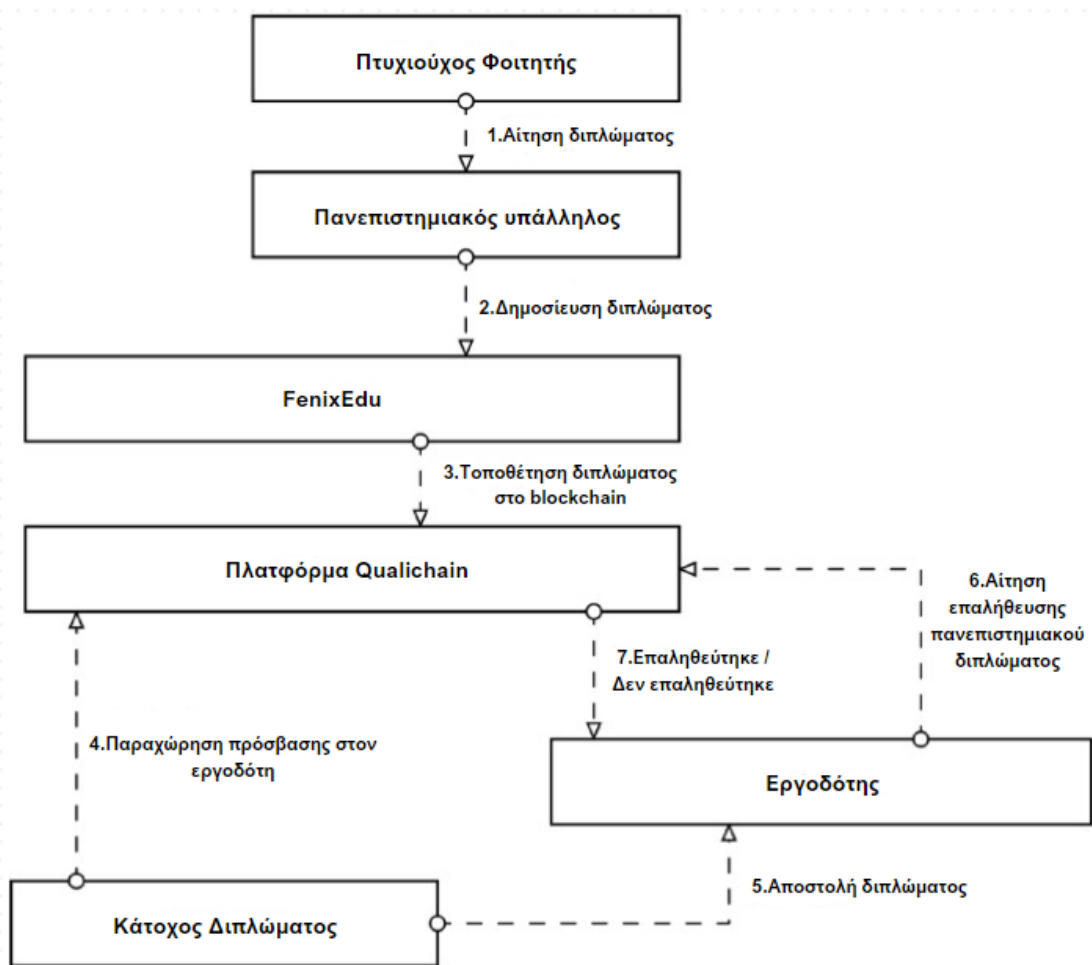
Το καλοκαίρι του 2017, στο πλαίσιο ενός δοκιμαστικού προγράμματος των MIT Media Lab και Learning Machine, υπήρξε η δυνατότητα οι συμμετέχοντες να λάβουν το πτυχίο τους όχι με την παραδοσιακή μορφή, αλλά ψηφιακά μέσω μιας εφαρμογής στα κινητά τους. Η εφαρμογή ονομάζεται Blockcerts Wallet και δίνει τη δυνατότητα στους φοιτητές να αποκτήσουν γρήγορα και εύκολα μια επαληθεύσιμη, απαραβίαστη έκδοση του διπλώματός τους, την οποία μπορούν να μοιραστούν με εργοδότες, σχολεία, οικογένεια και φίλους. Η εφαρμογή χρησιμοποιεί την ίδια τεχνολογία Blockchain με αυτή του Bitcoin για να διασφαλίσει τα έγγραφα. Παρόλο που υπήρχαν ήδη τα ψηφιακά έγγραφα, το δοκιμαστικό αυτό πρόγραμμα αποτελεί καινοτομία, καθώς οι κάτοχοι των διπλωμάτων έχουν αυτονομία και ανεξαρτησία από τον προμηθευτή. Πιο επεξηγηματικά, οι χρήστες της εφαρμογής κατέχουν τα ιδιωτικά κλειδιά που τους επιτρέπουν να αποδείξουν την ιδιοκτησία είτε των χρημάτων είτε των εγγράφων που έχουν στο ψηφιακό πορτοφόλι και η πρόσβαση, η εμφάνιση και η επαλήθευση δεν βασίζονται σε συγκεκριμένο προμηθευτή. Τα αρχεία μπορούν επομένως, να μεταφέρονται, να μοιράζονται και να επαληθεύονται ανεξάρτητα από οποιονδήποτε προμηθευτή [7].



Εικόνα 8: Απλό διάγραμμα διαδικασίας για την έκδοση και την επαλήθευση ενός πιστοποιητικού στο Blockchain[7]

Στο τέλος του 2021, ολοκληρώθηκε το Ευρωπαϊκό ερευνητικό έργο QualiChain, το οποίο στοχεύει σε μία πιο εξειδικευμένη λύση για την εκπαίδευση και την αγορά εργασίας [44]. Το QualiChain είναι ένα έργο που διερευνά τα αποκεντρωμένα οφέλη της τεχνολογίας Blockchain, μέσω της ανάπτυξης κώδικα, των πειραμάτων και της αξιολόγησης μιας αποκεντρωμένης πλατφόρμας για την αποθήκευση, τον διαμοιρασμό και την επαλήθευση ικανοτήτων και επιτευγμάτων. Το QualiChain έχει σχεδιάσει πέντε πιλότους. Ο δεύτερος πιλότος πραγματοποιήθηκε στην Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών (ΗΜΜΥ) του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου (ΕΜΠ) και είχε στόχο να βελτιστοποιήσει τη λειτουργία του Πανεπιστημίου και να διευκολύνει την επικύρωση και επαλήθευση των δεξιοτήτων των προπτυχιακών και διδακτορικών φοιτητών. Το σύστημα είναι σχεδιασμένο έτσι ώστε να συλλέγει δεδομένα από βάσεις δεδομένων της αγοράς εργασίας της Ελλάδας και να ενημερώνει τον χρήστη για τις δεξιότητες που μπορεί να χρειάζεται. Περισσότερη ανάλυση θα γίνει το κεφάλαιο 3.4 [45].

Ειδικότερα, στη διαχείριση πιστοποιητικών μεγαλύτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει ο τέταρτος πιλότος που πραγματοποιήθηκε στην Πορτογαλία [46]. Στον συγκεκριμένο πιλότο επεκτείνεται το FenixEdu, ένα ακαδημαϊκό σύστημα διαχείρισης που χρησιμοποιείται από πολλά πορτογαλικά ΑΕΙ και μερικά από άλλες χώρες και ενσωματώνεται με το QualiChain για εύκολη επαλήθευση πιστοποιητικών μέσω blockchain, με στόχο την στελέχωση της πορτογαλικής δημόσιας διοίκησης. Αναλυτικότερα, το σύστημα λειτουργεί ως εξής: ο πτυχιούχος ζητά το δίπλωμα μετά την ολοκλήρωση του εκπαιδευτικού προγράμματος (ή του μεταπτυχιακού εκπαιδευτικού προγράμματος). Σε απάντηση αυτού του αιτήματος, ο υπάλληλος του πανεπιστημίου δημοσιεύει το δίπλωμα στο FenixEdu. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να δημιουργείται το αρχείο διπλώματος (ένα αρχείο PDF) και να αποθηκεύεται σε μια θέση που καθορίζεται από το FenixEdu. Αυτή είναι η συνήθης διαδικασία στην οποία εμπλέκεται η ακαδημαϊκή διαχείριση των ΑΕΙ. Έπειτα τα αρχεία που έχουν ανέβει διαμοιράζονται στην πλατφόρμα του Qualichain με στόχο τη διασφάλιση της αυθεντικότητας και της ακεραιότητας του διπλώματος. Από αυτό το σημείο και μετά, ο κάτοχος του διπλώματος είναι ο ιδιοκτήτης του διπλώματός του και μπορεί να παραχωρήσει ή να ανακαλέσει την πρόσβαση (για πάντα ή εντός συγκεκριμένου χρονικού πλαισίου) σε έναν συγκεκριμένο εργοδότη χρησιμοποιώντας την πλατφόρμα QualiChain.



Εικόνα 9: Διάγραμμα ροής πληροφορίας για επαλήθευση και μη ενός διπλώματος. Η τιμή κατακερματισμού του διπλώματος αποθηκεύεται στην πλατφόρμα QualiChain [46].

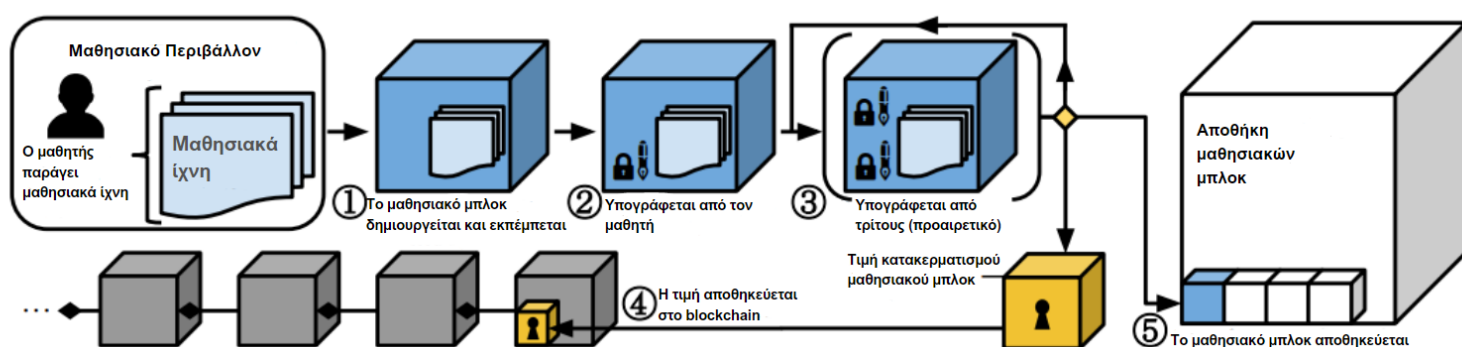
3.2.3 Διαχείριση Ικανοτήτων και μαθησιακών αποτελεσμάτων

Η τεχνολογία blockchain έχει τη δυνατότητα να φέρει επανάσταση στη διαχείριση των δεξιοτήτων και των μαθησιακών αποτελεσμάτων στον τομέα της εκπαίδευσης. Αξιοποιώντας την αμετάβλητη και αποκεντρωμένη φύση της αλυσίδας μπλοκ, τα εκπαιδευτικά ιδρύματα μπορούν να αποθηκεύουν και να επαληθεύουν με ασφάλεια τα ακαδημαϊκά επιτεύγματα, τα πιστοποιητικά και τα διπλώματα. Η διαφάνεια και η δυσκολία παραβίασης των δεδομένων διασφαλίζουν ότι οι δεξιότητες και τα μαθησιακά αποτελέσματα των σπουδαστών καταγράφονται με ακρίβεια και μπορούν εύκολα να μοιραστούν με πιθανούς εργοδότες ή άλλα εκπαιδευτικά ιδρύματα. Έτσι ο κάθε χρήστης μπορεί να δημιουργήσει ένα προφίλ διά βίου μάθησης, επιτρέποντάς του να ενημερώνει και να προβάλλει συνεχώς τις δεξιότητες του καθ' όλη τη διάρκεια της σταδιοδρομίας του.

Εκτός από την καταγραφή των ικανοτήτων, των επιτευγμάτων και των αποτελεσμάτων ενός μαθητή, μία εφαρμογή blockchain μπορεί να βελτιώσει τις αποδόσεις και να ενισχύσει την θέληση για πρόοδο των μαθητών στο εκπαιδευτικό σύστημα. Λόγω της υψηλής απόδοσης του blockchain, διάφορες εφαρμογές θα

μπορούσαν να μετρήσουν και να αξιολογήσουν τις επιδόσεις των μαθητών με βάση ποιοτικές και ποσοτικές παραμέτρους [47].

Για παράδειγμα, οι Farah κ.α. [48], δημιούργησαν ένα σύστημα στο οποίο οι μαθητές μπορούν να καταγράψουν την εξέλιξη τους σε πολλαπλές μαθησιακές δραστηριότητες. Στην αυτή την αρχιτεκτονική, ο μαθητής αλληλεπιδρά με άλλους χρήστες, πόρους και υπηρεσίες μέσω ενός διαδικτυακού μαθησιακού περιβάλλοντος. Για την εκτέλεση μίας δραστηριότητας ο μαθητής πρέπει να εγγραφεί, όπως γίνεται παραδοσιακά για την παρακολούθηση ενός μαθήματος. Η κάθε δραστηριότητα είναι χρονικά περιορισμένη και κατά την εκτέλεση της αφήνει μαθησιακά ίχνη, το καθένα εκ των οποίων περιγράφει μια αλληλεπίδραση. Κατά την ολοκλήρωση της δραστηριότητας δημιουργείται ένα μπλοκ (learning block), το οποίο περιέχει όλα τα μετα-δεδομένα σχετικά με την δραστηριότητα.



Εικόνα 10: Η διαδικασία δημιουργίας ενός μαθησιακού μπλοκ [48].

Ο Williams [49] προτείνει μια λύση βασισμένη στην εκπαίδευση με βάση τις ικανότητες (CBE) και στην σύγκλιση τριών αναδυόμενων τεχνολογιών, της μαθησιακής ανάλυσης, της τεχνητής νοημοσύνης και του blockchain. Η προσέγγιση της εκπαίδευσης με βάση τις ικανότητες επιτρέπει στους μαθητές να εξελιχθούν με βάση την ικανότητά τους να κατακτήσουν μια δεξιότητα ή ικανότητα με το δικό τους ρυθμό, ανεξάρτητα από το περιβάλλον. Το σύστημα που περιγράφει ο Williams παρέχει άμεση υποστήριξη και ουσιαστική ανατροφοδότηση. Σκοπός του είναι να ενισχύσει τη διαδικασία μάθησης με την εφαρμογή ενός συνόλου δεξιοτήτων, να ενθαρρύνει την κριτική σκέψη και την επίλυση προβλημάτων με καλύτερη συνεργασία και επικοινωνία. Το σχέδιο του αποτελείται από πέντε στάδια επεξεργασίας δεδομένων, από την μαθησιακή δραστηριότητα μέχρι την πιστοποίηση blockchain. Στο πρώτο στάδιο καταγράφονται οι δραστηριότητες των μαθητών σε μεγάλα σύνολα δεδομένων σε πανεπιστημιακούς εξυπηρετητές είτε σε κάποιο εξωτερικό ασφαλές δίκτυο. Στο δεύτερο στάδιο, θεωρεί ωφέλιμη την χρήση τεχνητής νοημοσύνης για ανάλυση αυτών των δεδομένων και αξιολόγηση του επιπέδου κάθε μαθητή στην συνεργασία, στην ανάλυση λόγου και διάθεσης, στην δημιουργία περιεχομένου και στα εσωτερικά κίνητρα. Στο τρίτο στάδιο εξάγονται τα αποτελέσματα μέσω κατάλληλων αλγορίθμων, οι οποίοι επικυρώνουν ατομικά και

συλλογικά επιτεύγματα. Για τους μαθητές που πληρούν τα καθορισμένα κριτήρια, δημιουργούνται έξυπνα συμβολαία έτοιμα για μετάδοση. Στο τέταρτο στάδιο ενεργοποιείται από τον αρμόδιο (μαθητή, πανεπιστήμιο ή εργοδότη) η αποστολή των δεδομένων του έξυπνου συμβολαίου σε ένα blockchain ledger. Στο πέμπτο στάδιο η πιστοποίηση (για παράδειγμα μέσω Blockcerts) των επιτευγμάτων γίνεται δημόσια και προσβάσιμη μέσω blockchain. Τέλος, οι πληρωμές σε κρυπτονόμισμα πραγματοποιούνται στους παρόχους υπηρεσιών ανάλογα με τις ανάγκες.

Επιπλέον, οι Zhao κ.α. [50] προτείνουν έναν σχεδιασμό συστήματος αξιολόγησης των επαγγελματικών ικανοτήτων των φοιτητών μέσω του αλγορίθμου ομαδοποίησης K-means και του blockchain. Ειδικότερα, συλλέγονται δεδομένα, όπως οι ακαδημαϊκές επιδόσεις και τα επιτεύγματα, οι διαγωνισμοί, η πρακτική άσκηση και εξωσχολικές δραστηριότητες, για να αναλυθούν προκειμένου να αξιολογηθεί ο μαθητής συνολικά στις ικανότητες του και να παρέχει συμβουλές για την μελλοντική πρόσληψη του. Το σύστημα είναι σχεδιασμένο ώστε τα δεδομένα αξιολόγησης των μαθητών να μπορούν να εντοπιστούν από οποιονδήποτε έχει πρόσβαση στην αλυσίδα και οι πιστωτικές μονάδες μάθησης των μαθητών να μπορούν να αυξηθούν οποτεδήποτε και οπουδήποτε.

Οι Μικρογιαννίδης κ.α. [51] υποστηρίζουν πως μέσω της κατοχής έξυπνων σημάτων μπορούν να προτείνουν μια εξατομικευμένη σύσταση για εργασία για κάθε φοιτητή, ανάλογα με τις ικανότητες που διαθέτει. Ειδικότερα, απευθύνονται σε φοιτητές που ανήκουν στον τομέα της επιστήμης δεδομένων. Οι φοιτητές κερδίζουν σήματα κατά την επίτευξη ορισμένων ορόσημων στις σπουδές τους, π.χ. την ολοκλήρωση ενός μέρους ή ολόκληρου μαθήματος. Αυτά τα σήματα αποθηκεύονται στο blockchain και περιλαμβάνουν δεδομένα σχετικά με τις βασικές δεξιότητες που οι μαθητές έχουν αποκτήσει κατά την απόκτηση αυτών των σημάτων. Καθώς οι εκπαιδευόμενοι συνεχίζουν να κερδίζουν σήματα, αρχίζουν να λαμβάνουν αυτοματοποιημένες συστάσεις για τις πιο πρόσφατες θέσεις εργασίας που ταιριάζουν με τις δεξιότητές τους. Τα δεδομένα για τις νέες θέσεις εργασίας αντλούνται από πολλές πηγές. Έτσι, τα σήματα θεωρούνται έξυπνα, καθώς βοηθούν στο ταίριασμα των δεξιοτήτων ενός φοιτητή με την ζήτηση από την αγορά εργασίας. Η τεχνολογία blockchain στο παραπάνω σχεδιασμό επιλέχθηκε για την ευελιξία, την επεκτασιμότητα, την διασφάλιση της εγκυρότητας των πιστοποιήσεων και την αποφυγή παραποίησης και εφαρμογής ψευδών στοιχείων.

Οι Liu κ.α. [52] δημιούργησαν ένα πρωτότυπο με αρχιτεκτονική βασισμένη στο HyperLedger Fabric. Το σύστημα αυτό στοχεύει στην γεφύρωση της εκπαίδευσης και της αγοράς εργασίας, μέσω ενός συστήματος διαμοίρασης πληροφοριών. Η τεχνολογία Blockchain αποτρέπει την χρήση πλαστών πιστοποιητικών, εφόσον οι πληροφορίες θα πρέπει να διασταυρώνονται από κάποια αρχή έκδοσης, στην συγκεκριμένη περίπτωση από το HyperLedger Fabric CA. Σε πρώτο επίπεδο, η αρχιτεκτονική του συστήματος βασίζεται σε μία αλυσίδα Blockchain, που λειτουργεί ως αποθήκη δεδομένων. Έπειτα, στο επόμενο επίπεδο, υπάρχει η αρχή έκδοσης και επιπλέον υπηρεσίες για την δημιουργία έξυπνων συμβολαίων. Στο τρίτο επίπεδο,

υπάρχουν διάφορες υπηρεσίες για αυθεντικοποίηση και εξαγωγή πληροφοριών σχετικά με τον σπουδαστή, την πρόσληψη του και το μπλοκ της αλυσίδας, ενώ παράλληλα τρέχει και μια διεπαφή γραμμής εντολών (CLI: command line interface). Τέλος, στο ανώτερο επίπεδο έχει δημιουργηθεί μία διεπαφή χρήστη για την ευκολότερη χρήση του συστήματος. Ανάλογα με τα δικαιώματα που κατέχει, ο κάθε χρήστης μπορεί να αποκτήσει ένα πιστοποιητικό μέσω του HyperLedger Fabric CA ή να αναζητήσει πληροφορίες που υπάρχουν στο Blockchain.

Οι Lizcano κ.α. [53] υλοποίησαν μία P2P εφαρμογή βασισμένη σε JavaScript, MySQL και HTML5 με δύο διεπαφές χρήστη, μια για τον ρόλο του μαθητή και μία για του miner. Για την δημιουργία του πρωτοτύπου επιλέχθηκε το Ethereum ως πρωτόκολλο της αλυσίδας Blockchain στην οποία αναπτύχθηκε το σύστημα. Για την πρακτική αξιολόγηση του συστήματος διεξάχθηκε ένα πείραμα στο οποίο έλαβαν μέρος συνολικά 80 μαθητές από 4 διαφορετικά εκπαιδευτικά ιδρύματα, από ένα ανοικτό Πανεπιστήμιο, ένα μαζικό ανοικτό διαδικτυακό μάθημα (MOOC: Massive Open Online Course), μια πολυεθνική ακαδημία τεχνολογίας και από μια μη πιστοποιημένη διαδικτυακή πλατφόρμα. Επιπλέον, συμμετείχαν 2 εταιρίες και 100 miners. Οι εταιρίες δημιουργούν τις κατάλληλες ασκήσεις και προβλήματα που ένας μαθητής πρέπει να λύσει για να αποδείξει πως κατέχει κάποια συγκεκριμένη ικανότητα και τα οποία είναι προσαρμοσμένα στις ανάγκες της αγοράς εργασίας. Για να ξεκινήσει η διαδικασία, ο εκπαιδευτής εκπαιδεύει τον μαθητή για μία συγκεκριμένη ικανότητα, ο οποίος για να αποδείξει την απόκτηση της επιλύει ένα τυπικό πρόβλημα. Οι μαθητές και οι εκπαιδευτικοί που έχουν ήδη αυτή την ικανότητα επικυρώνουν τη μάθηση του μαθητή επιλύοντας οι ίδιοι το ίδιο πρόβλημα. Αν ο μαθητής επιτύχει, αυξάνεται η φήμη του εκπαιδευτή του και ο μαθητής πλέον ανήκει στην ομάδα που επικυρώνει τους υπόλοιπους μαθητές για αυτή την συγκεκριμένη ικανότητα. Η φήμη των miners αυξάνεται ή μειώνεται ανάλογα με την σωστή και μη εξόρυξη ενός νέου μπλοκ. Τέλος, οι εργοδότες έχουν άμεση πρόσβαση στο ηλεκτρονικό βιογραφικό σημείωμα κάθε υποψηφίου προς πρόσληψη, χωρίς πιθανές πλαστογραφίες, με ικανότητες που επαληθεύονται με συναίνεση βάσει πραγματικών προβλημάτων που σχετίζονται με τον επιχειρηματικό κόσμο.

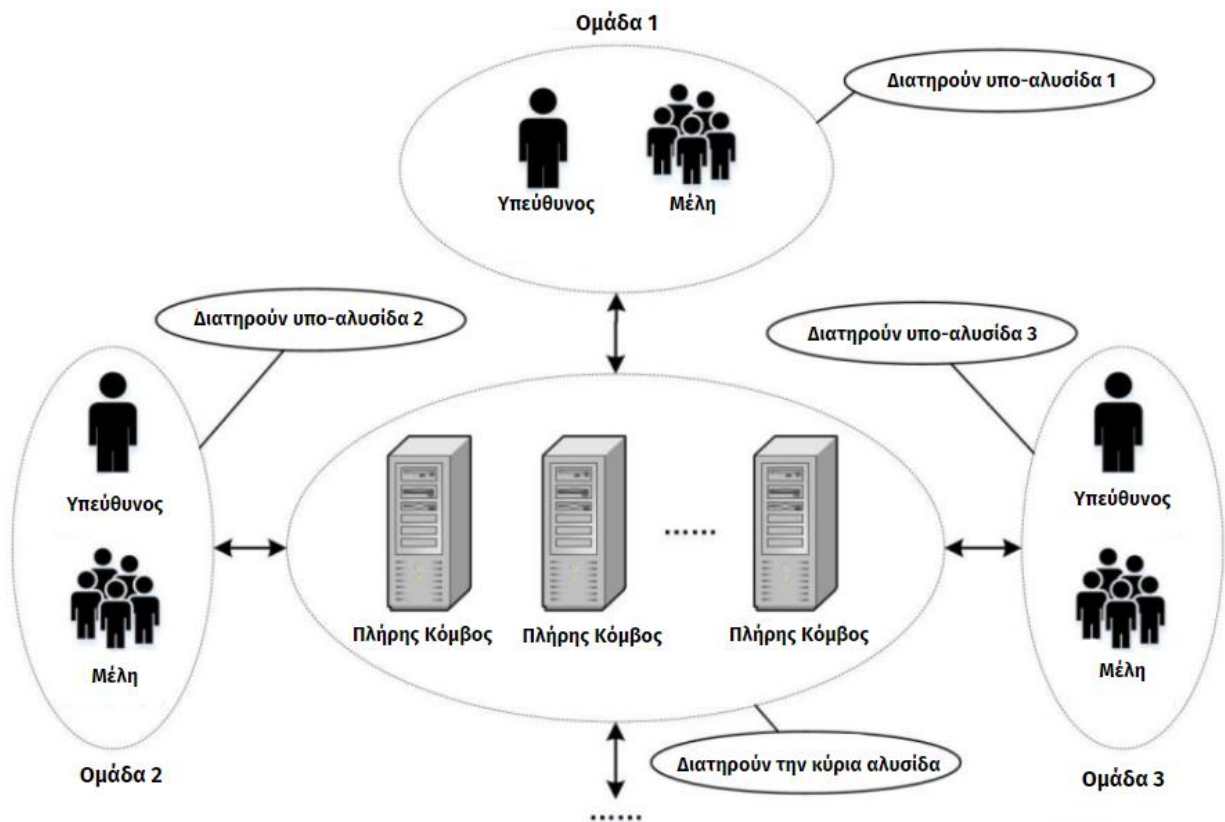
Από το σύνολο των 80 μαθητών, μόνο 58 κατάφεραν να επικυρώσουν αυτές τις ικανότητες. Στο δεύτερο στάδιο του πειράματος, μια ομάδα ειδικών από τις εταιρείες που εργοδοτούν τους 80 σπουδαστές πραγματοποίησε απευθείας συνεντεύξεις, τεστ και αναλύσεις. Στη μελέτη αυτή, τα αποτελέσματα της εξόρυξης επικυρώθηκαν σε ποσοστό 98,75%, επαληθεύοντας ότι 23 άτομα δεν είχαν τις απαραίτητες ικανότητες, εκ των οποίων ένας είχε επιλύσει το πρόβλημα. Η περίπτωση αυτή εξετάστηκε αποκαλύπτοντας ότι ο μαθητής αντέγραψε από άλλον μαθητή κατά τη διαδικασία επίλυσης του τυπικού προβλήματος.

Οι Duan κ.α. [54] προτείνουν ένα εκπαιδευτικό σύστημα βασισμένο στο blockchain, το οποίο περιέχει ένα λογισμικό αξιολόγησης. Πιο συγκεκριμένα, περιέχονται δύο αλυσίδες, μία για τις ικανότητες των μαθητών και μία για τα μαθήματα που

διδάσκονται. Η αλυσίδα ικανοτήτων των μαθητών καταγράφει και επικυρώνει τα μαθησιακά αποτελέσματα και τα επιτεύγματα των μεμονωμένων μαθητών. Παρέχει ένα διαφανές και αμετάβλητο αρχείο των δεξιοτήτων, των ικανοτήτων και των επιδόσεών τους καθ' όλη τη διάρκεια της εκπαιδευτικής τους διαδρομής. Από την άλλη πλευρά, η αλυσίδα μαθημάτων επικεντρώνεται στην καταγραφή και επαλήθευση του περιεχομένου και της ποιότητας των εκπαιδευτικών μαθημάτων. Διασφαλίζει ότι τα προσφερόμενα μαθήματα είναι διαπιστευμένα, επικαιροποιημένα και ευθυγραμμισμένα με τα επιθυμητά μαθησιακά αποτελέσματα. Χρησιμοποιώντας αυτές τις δύο πλευρικές αλυσίδες, η πρόταση στοχεύει στην ενίσχυση της διαφάνειας και της αξιοπιστίας των εκπαιδευτικών αποτελεσμάτων στο εκπαιδευτικό σύστημα που βασίζεται στην αλυσίδα μπλοκ.

Όταν ολοκληρωθεί ένα μάθημα, ο καθηγητής ελέγχει την αξιολόγηση που έχει προκύψει με βάση το τελικό γραπτό, την απόδοση της τάξης συνολικά και τις εργασίες που τέθηκαν. Έπειτα, δημιουργείται ένα αρχείο για τους μαθητές που κατάφεραν να περάσουν το μάθημα με όλες τις κατάλληλες πληροφορίες, όπως το όνομα και οι δείκτες βαρύτητας του μαθήματος, το οποίο αναρτάται σε ένα μπλοκ. Αυτός ο ποσοτικός και ποιοτικός μηχανισμός αξιολόγησης ονομάζεται Proof Of Accreditation (PoA) και διασφαλίζει την αντικειμενικότητα και το αδιάβλητο των βαθμολογιών.

Επιπλέον, οι Shen και Xiao [55] θεωρούν πως η σύγχρονη μέθοδος εξέτασης μέσω διαδικτυακών κουίζ υπολείπεται διαφάνειας και τα αποτελέσματα είναι εύκολο να τροποποιηθούν. Για αυτό τον λόγο, προτείνεται ένα σύστημα κοινοπραξίας blockchain διπλού στρώματος. Σε πρώτο επίπεδο, για κάθε μάθημα δημιουργείται μία ομάδα, η οποία αποτελείται από έναν υπεύθυνο, είτε καθηγητή είτε μαθητή και τα μέλη. Κατά την διεξαγωγή του κουίζ, ο υπεύθυνος διαμοιράζει σε αυτούς που ανήκουν στην ομάδα τις ερωτήσεις. Εφόσον ολοκληρώσουν τις απαντήσεις τους, τα αποτελέσματα δημοσιεύονται και επαληθεύονται εντός της ομάδας. Ο διαχειριστής της ομάδας υπογράφει το αρχείο απαντήσεων που έχει επαληθευτεί δημόσια και το αποστέλλει στους πλήρεις κόμβους για να αποθηκευτεί στην κύρια αλυσίδα. Με αυτόν τον τρόπο εξασφαλίζεται η ανωνυμία και η ιχνηλασιμότητα.



Εικόνα 11: Δομή δικτύου του προτεινόμενου blockchain συστήματος διπλού στρώματος [55].

Τέλος, οι Srivastava κ.α. [56] δημιούργησαν ένα πλαίσιο βασισμένο στο blockchain στο οποίο συμμετέχουν ποικίλοι φορείς όπως πανεπιστήμια, εταιρείες και άλλα ανώτατα εκπαιδευτικά ιδρύματα που συμφωνούν να συνεργαστούν. Το πλαίσιο σχεδιάστηκε για την επαλήθευση ακαδημαϊκών πιστοποιητικών και πιστωτικών μονάδων μαθημάτων ενός φοιτητή εγγεγραμμένου σε ένα πανεπιστήμιο και την ψηφιακή μετάδοση αυτών σε ενδιαφερόμενα μέρη. Σκοπός είναι η εξασφάλιση μίας σφαιρικής εικόνας μιας επίδοσης και η επίτευξη συνοχής μεταξύ των τοπικών αντιγράφων των εκπαιδευτικών πιστοποιητικών και των πιστωτικών μονάδων. Βασικά χαρακτηριστικά του συστήματος αποτελούν το blockchain κοινοπραξίας, το Proof of Work πρωτόκολλο και το πρωτόκολλο πολλών υπογραφών. Το πρωτόκολλο πολλαπλών υπογραφών είναι ένα κρυπτογραφικό πρωτόκολλο δημόσιου κλειδιού που χρονοσφραγίζει και επικυρώνει κοινά μηνύματα ή ψηφιακά έγγραφα μεταξύ πολλαπλών ομότιμων κόμβων, όπου κάθε κόμβος υπογράφει από κοινού το έγγραφο.

3.2.4 Διασφάλιση διαφάνειας στο μαθησιακό περιβάλλον

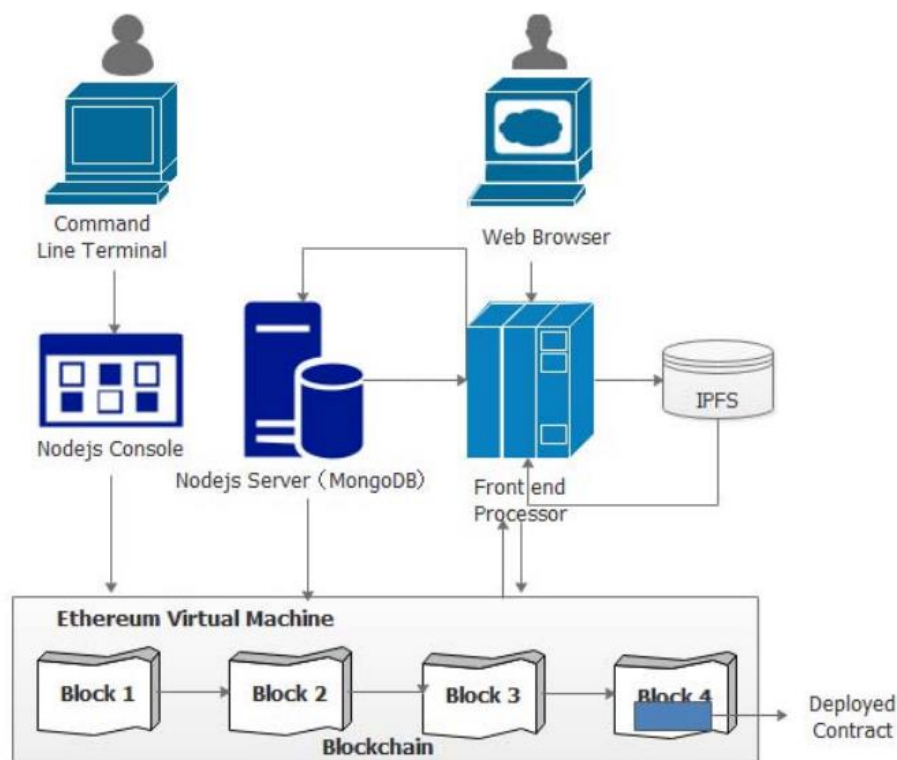
Η διασφάλιση της διαφάνειας στο μαθησιακό περιβάλλον είναι απαραίτητη για την ενίσχυση της εμπιστοσύνης και της αξιοπιστίας στην εκπαίδευση. Το blockchain, γνωστό για την αποκεντρωμένη και αμετάβλητη φύση του, μπορεί να παρέχει ένα διαφανές και απαραβίαστο σύστημα για την καταγραφή και την επαλήθευση των εκπαιδευτικών δεδομένων. Τα εκπαιδευτικά ιδρύματα μπορούν να αποθηκεύουν με ασφάλεια τα αρχεία των φοιτητών, τις πιστοποιήσεις και τα προσόντα σε ένα κατανομημένο βιβλίο που είναι προσβάσιμο στους σχετικούς ενδιαφερόμενους. Έτσι δίνεται η δυνατότητα στους σπουδαστές, τους εργοδότες και τις εκπαιδευτικές αρχές να επαληθεύουν τη γνησιότητα και την ακρίβεια των εκπαιδευτικών πιστοποιητικών, εξαλείφοντας την πιθανότητα πλαστών εγγράφων.

Εξαιρετικό ενδιαφέρον παρουσιάζει η αναφορά των Bdiwi κ.α. [57] στην οποία περιγράφουν μία αποκεντρωμένη πλατφόρμα blockchain για μάθηση σε ένα Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT: Internet of Things). Εργαλεία που υποστηρίζονται από το IoT, όπως συστήματα τηλεδιάσκεψης, έξυπνες αίθουσες διδασκαλίας και φορητές συσκευές, διευκολύνουν την επικοινωνία σε πραγματικό χρόνο, τη συνεργασία και την απομακρυσμένη πρόσβαση σε εκπαιδευτικό περιεχόμενο. Αυτές οι συσκευές επιτρέπουν στους μαθητές να συμμετέχουν σε διαδραστικές εικονικές τάξεις, να συμμετέχουν σε ομαδικές εργασίες και να έχουν πρόσβαση σε εξατομικευμένο εκπαιδευτικό υλικό προσαρμοσμένο στις ατομικές τους ανάγκες. Επιπλέον, οι συσκευές IoT μπορούν να συλλέγουν πολύτιμα δεδομένα σχετικά με τη μαθησιακή συμπεριφορά των μαθητών, επιτρέποντας στους εκπαιδευτικούς να παρακολουθούν την πρόοδο, να παρέχουν στοχευμένη υποστήριξη και να παρέχουν προσαρμοσμένες μαθησιακές εμπειρίες. Στην αποκεντρωμένη αρχιτεκτονική του δικτύου blockchain τα δεδομένα και ο έλεγχος κατανέμονται, μειώνοντας τον αντίκτυπο μιας μεμονωμένης παραβίασης, παρέχοντας έτσι υψηλή ασφάλεια.

Οι Bore κ.α. [58] σχεδίασαν ένα ενιαίο σχολικό δίκτυο για τη βελτίωση του μαθησιακού περιβάλλοντος με τη χρήση του blockchain. Ένα τέτοιο σύστημα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη συλλογή, ανάλυση και εξαγωγή δεδομένων σχετικά με τα σχολικά συστήματα, τα οποία βοηθούν στην διαδικασία λήψης αποφάσεων. Τα περισσότερα παραδοσιακά εκπαιδευτικά συστήματα, όπως στα σχολεία και στα πανεπιστήμια, λειτουργούν με μια κεντρική βάση δεδομένων στην οποία αποθηκεύονται πληροφορίες σχετικά με τους μαθητές, τους κηδεμόνες, τους καθηγητές, τις εγκαταστάσεις και τα περιουσιακά στοιχεία. Η αρχιτεκτονική αυτή οδηγεί στην αυτοματοποίηση και στην απλούστευση της λειτουργίας ενός μεμονωμένου ιδρύματος. Ωστόσο, η συλλογή δεδομένων από όλα τα εκπαιδευτικά ιδρύματα καθίσταται όλο και πιο δύσκολη και πολύπλοκη σε περίπτωση που πρέπει να διαμοιραστούν δεδομένα και πληροφορίες σε πρόσθετους ενδιαφερόμενους. Με την εισαγωγή του blockchain σε ένα σχολικό περιβάλλον, τα δεδομένα που αποθηκεύονται σχετικά με τους μαθητές, τους κηδεμόνες, τους καθηγητές, τις εγκαταστάσεις μπορούν να αποθηκευτούν και να διαχειριστούν με ασφάλεια και

ακεραιότητα και να προσπελαστούν μόνο από τους ενδιαφερόμενους που έχουν άδεια πρόσβασης.

Οι Zhong κ.α. [59] επίσης σχεδίασαν ένα εκπαιδευτικό σύστημα blockchain, με σκοπό να επιλύσουν τρεις περιορισμούς που εμφανίζονται στα σημερινά συμβατικά συστήματα. Συγκεκριμένα, υπάρχει ανάγκη για διαλειτουργικότητα, περισσότερη διαδραστικότητα και αλληλεπίδραση από τους χρήστες και ασφάλεια των δεδομένων. Το σύστημα αποτελείται από ένα ομότιμο δίκτυο στο οποίο τα μπλοκ συνδέονται με τους κόμβους. Η αποθήκευση δεδομένων γίνεται μέσω έξυπνων συμβολαίων που αποθηκεύονται στην αλυσίδα. Όπως φαίνεται από την Εικόνα 11, το σύστημα αποτελείται από μία διεπαφή γραμμής εντολών σε Nodejs που την διαχειρίζεται κάποιος προγραμματιστής, μία MongoDB βάση δεδομένων, πρωτόκολλο IPFS (InterPlanetary File System) για την διαχείριση μεγάλων δεδομένων σε καταναμημένο σύστημα ομότιμων κόμβων και μία αλυσίδα μπλοκ. Ο κάθε χρήστης μπορεί να συνδεθεί στο σύστημα μέσω ενός προγράμματος περιήγησης ιστού. Οι μαθητές μπορούν να κερδίσουν πόντους όταν συμμετέχουν σε δραστηριότητες και οι πόντοι μπορούν να μετατραπούν σε εικονικό νόμισμα. Για την ενθάρρυνση των μαθητών προτείνεται επιπλέον ανταμοιβή στους μαθητές με την υψηλότερη κατάταξη.

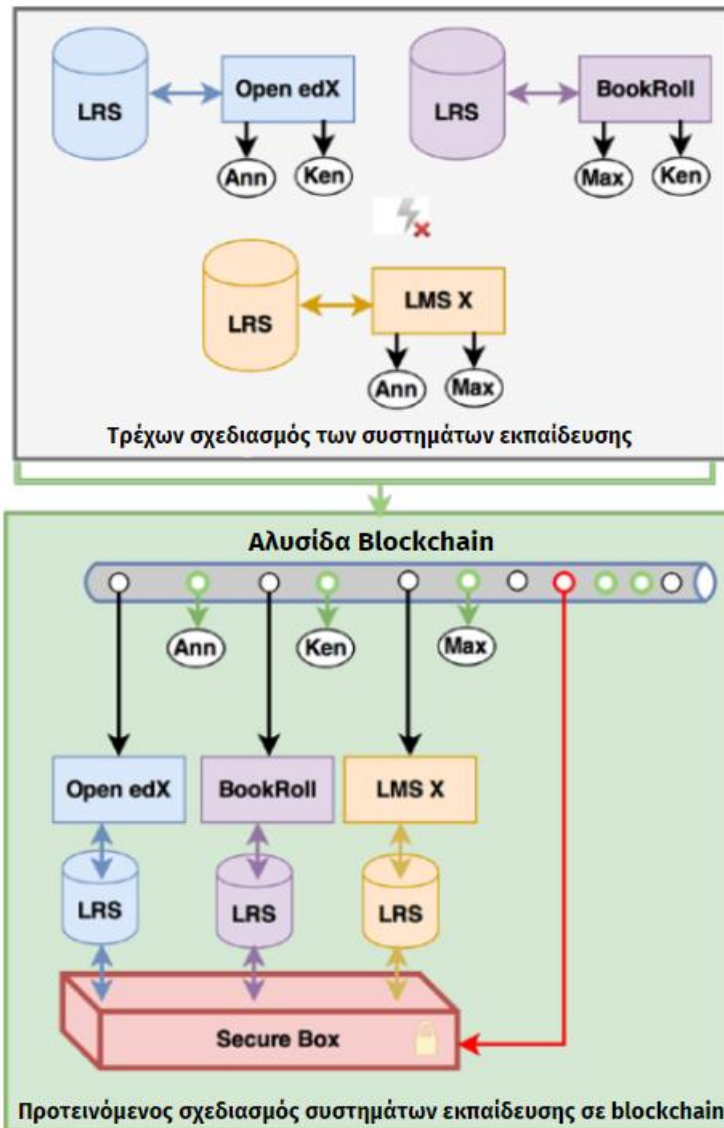


Εικόνα 12: Αρχιτεκτονική προτεινόμενου συστήματος [59].

3.2.5 Εξασφάλιση μαθησιακών στόχων

Οι μαθησιακοί στόχοι έχουν καθοριστικό ρόλο στην καθοδήγηση και τη διαμόρφωση της μαθησιακής διαδικασίας, παρέχοντας έναν σαφή οδηγό τόσο για τους μαθητές όσο και για τους εκπαιδευτικούς. Με βάση τους μαθησιακούς στόχους σχεδιάζεται το περιεχόμενο διδασκαλίας και το κατάλληλο πρόγραμμα, ώστε να διασφαλίζονται τα επιθυμητά μαθησιακά αποτελέσματα. Επιπλέον, ενισχύουν τα κίνητρα και την εστίαση των μαθητών, θέτοντας σαφείς προσδοκίες και στόχους, παρέχοντας μια αίσθηση κατεύθυνσης και σκοπού. Από την άλλη πλευρά, καθιστά ευκολότερη στους καθηγητές την παρακολούθηση της προόδου και την αξιολόγηση σε κάποια συγκεκριμένη μαθητική ενότητα. Επομένως, οι καθηγητές μπορούν να προσαρμόσουν τις μεθόδους διδασκαλίας και τις δραστηριότητες προκειμένου να ανταποκρίνονται στις ανάγκες και τις δυνατότητες κάθε μαθητή.

Κατά την ολοκλήρωση ενός προγράμματος μαθημάτων είναι συνήθης πρακτική να εκδίδεται ένα πιστοποιητικό. Ωστόσο, αναλυτικές πληροφορίες σχετικά με το εύρος της μάθησης και τον τρόπο με τον οποίο διεξήχθησαν τα μαθήματα δεν μπορούν να αποτυπωθούν σε απλά μία βαθμολογία. Το 2018 οι Ocheja κ.α. [60] πρότειναν ένα σχέδιο για δημιουργία, προσθήκη και ανάκτηση μαθησιακών δεδομένων μέσω blockchain για ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ διαφορετικών συστημάτων διαχείρισης μάθησης (LMS-Learning Management Systems), αποθήκες αρχείων μάθησης (LRS-Learning Record Store), ιδρύματα και οργανισμούς. Τα συνήθη συστήματα που χρησιμοποιούνται στα εκπαιδευτικά ιδρύματα παρουσιάζουν αρκετούς περιορισμούς όπως η απουσία ενός ενιαίου μαθησιακού ιστορικού ενός μαθητή από διαφορετικές πλατφόρμες, καθώς και η διασφάλιση απορρήτου των αρχείων των μαθητών με εύκολο έλεγχο πρόσβασης και δυσκολία συλλογής δεδομένων για έρευνα και ανάπτυξη. Όπως φαίνεται και στην Εικόνα 12, στο σύστημα έχει προστεθεί μία αλυσίδα μπλοκ, όπου το περιεχόμενο του κάθε μπλοκ αντιπροσωπεύει δείκτες σε μαθησιακά δεδομένα με δικαιώματα και πολιτικές πρόσβασης. Οι κόμβοι στο ομότιμο δίκτυο αντιπροσωπεύουν τους εκπαιδευτικούς και τους εκπαιδευόμενους. Κάθε νέα δραστηριότητα καταγράφεται στην αλυσίδα ως συμβολοσειρά αναπαράστασης ερωτημάτων. Μια εξωτερική βάση δεδομένων μπορεί να εκτελέσει αυτά τα ερωτήματα και να κάνει ανάκτηση αυτών των δραστηριοτήτων. Επιπλέον προτείνεται και η ύπαρξη ενός secure box, δηλαδή ενός εργαλείου το οποίο θα είναι υπεύθυνο για όλες τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ του blockchain μάθησης και διαφορετικών παρόχων (LRS), ώστε να επιτυγχάνεται η διατήρηση δικαιωμάτων και αδειών των δεδομένων.

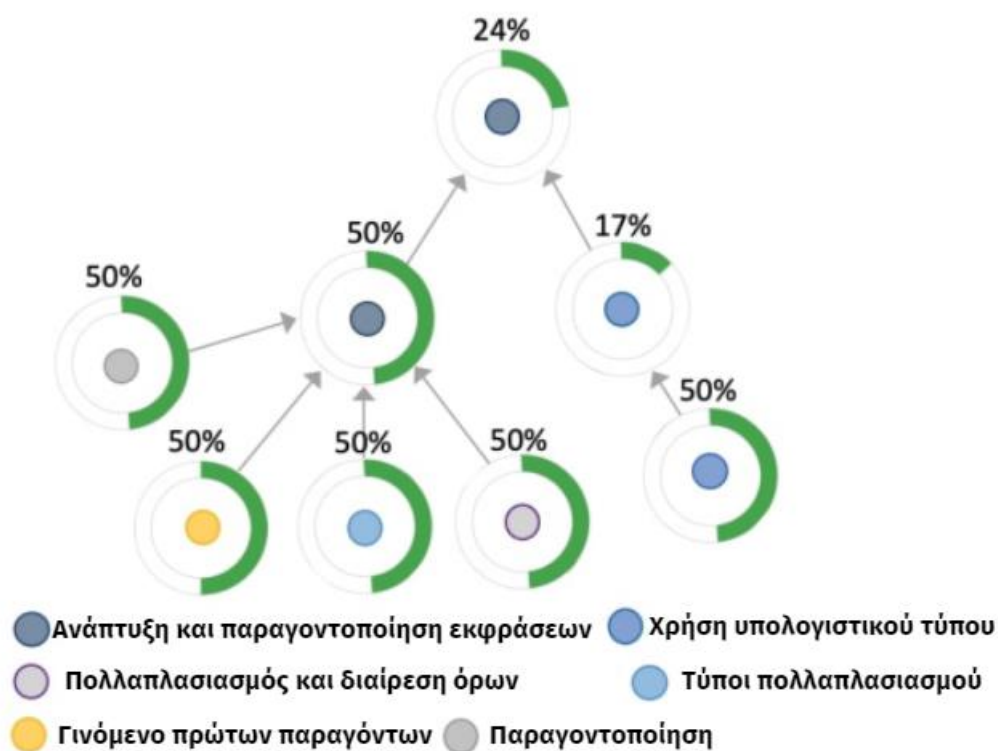


Εικόνα 13: Σύγκριση τρέχων με προτεινόμενου σχεδιασμού συστήματος εκπαίδευσης [60].

Το 2018, οι Ocheja κ.α. [61] δημιούργησαν το προτεινόμενο σύστημα με την ονομασία BOLL (blockchain of learning logs) με σκοπό την μεταφορά των μαθησιακών επιτευγμάτων ενός μαθητή από ένα εκπαιδευτικό ίδρυμα σε ένα άλλο. Για παράδειγμα, ένας μαθητής που φοίτησε σε κάποιο σχολείο Α μπορεί να εγγραφεί στο σχολείο Β. Ο μαθητής μπορεί να ζητήσει να μεταφερθούν τα αρχεία του από το σχολείο Α μέσω της αλυσίδας μπλοκ στο σχολείο Β. Η Σχολή Β θα μπορούσε στη συνέχεια να χρησιμοποιήσει αυτά τα αρχεία για να δημιουργήσει ένα νέο μοντέλο ή να επεξεργαστεί τις πληροφορίες για να εγγράψει τον νεοεισαχθέντα μαθητή. Τα δεδομένα από το διαφορετικό μαθησιακό περιβάλλον επιτρέπουν την υλοποίηση ενός ενιαίου γράφου γνώσης που αντιπροσωπεύει τις γνώσεις του μαθητή. Ο προκύπτων γράφος βοηθά τους μαθητές να ανατρέξουν την πρόοδο τους στις προηγούμενες μαθησιακές δραστηριότητες που είναι χρήσιμες για τα τρέχοντα/μελλοντικά μαθησιακά καθήκοντα. Με αυτόν τον τρόπο μπορούν

να εντοπίσουν τα μαθήματα στα οποία έχουν κενά ή δεν έχουν ολοκληρώσει, όπως και να δουν τις συνδέσεις με επόμενα και προηγούμενα μαθήματα.

Στο πειραματικό στάδιο, εξετάστηκε το ποσό των υπολογιστικών πόρων για μέτριας δυσκολίας συναλλαγές, εγγραφές, ενημερώσεις, και προσβάσεις στις βάσεις δεδομένων. Για την μέτρηση του ποσού υπολογίστηκαν οι απαιτήσεις σε καύσιμα και ο χρόνος ανά συναλλαγή. Εξακόσιοι πενήντα ένα φοιτητές δημιούργησαν 498.842 εγγραφές, από τις οποίες 500 τυχαία δειγματοληπτημένες εγγραφές που ανήκαν σε 291 φοιτητές καταχωρήθηκαν στο blockchain. Ως συμπέρασμα, οι συγγραφείς εξήγαγαν ότι ο χρόνος που απαιτείται για την εγγραφή μαθησιακών εγγραφών στην αλυσίδα μπλοκ δεν είναι επί του παρόντος κατάλληλος για συστήματα που βασίζονται σε πρόσβαση σε πραγματικό χρόνο, όμως συνιστούν τη χρήση του σε σενάρια όπου η μετάβαση από ένα ίδρυμα σε ένα άλλο πραγματοποιείται σε μια δεδομένη χρονική περίοδο που είναι εντός του αναμενόμενου χρόνου αναμονής.



Εικόνα 14: Οπτικοποίηση του γράφου μάθησης ενός μαθητή στα μαθηματικά [62].

3.2.6 Συναλλαγές πιστωτικών μονάδων και πληρωμή διδάκτρων

Η χρήση της τεχνολογίας blockchain έχει τη δυνατότητα να φέρει επανάσταση στον τρόπο διαχείρισής των διδάκτρων. Με την ενσωμάτωση της αλυσίδας μπλοκ στην εκπαίδευση, η πληρωμή των διδάκτρων μπορεί να γίνει πιο αποτελεσματική, ασφαλής και διαφανής. Η αποκεντρωμένη φύση της blockchain εξαλείφει την ανάγκη για μεσάζοντες, απλοποιώντας τη διαδικασία πληρωμής και μειώνοντας το διοικητικό κόστος. Μέσω των έξυπνων συμβολαίων, τα εκπαιδευτικά ιδρύματα μπορούν να αυτοματοποιήσουν την επαλήθευση και τη μεταφορά των διδάκτρων, εξασφαλίζοντας έγκαιρες και ακριβείς συναλλαγές. Η διαφάνεια της αλυσίδας μπλοκ επιτρέπει στους μαθητές και τους γονείς να παρακολουθούν το ιστορικό των πληρωμών τους και διασφαλίζει ότι όλες οι συναλλαγές καταγράφονται σε ένα αμετάβλητο ledger, μειώνοντας τον κίνδυνο σφαλμάτων ή δόλιων δραστηριοτήτων. Επιπλέον, αξιοποιώντας τις δυνατότητες της αλυσίδας μπλοκ, οι διεθνείς πληρωμές διδάκτρων μπορούν να απλοποιηθούν, εξαλείφοντας την ανάγκη για πολύπλοκες και δαπανηρές μετατροπές νομισμάτων. Όπως έχουμε αναφέρει προηγουμένως, το πρώτο Πανεπιστήμιο που δέχεται Bitcoin για πληρωμές διδάκτρων είναι το Πανεπιστήμιο της Λευκωσίας, φέρνοντας πρωτοπορία στον τομέα της εκπαίδευσης [30].

Εκτός από την επανάσταση στη διαχείριση των διδάκτρων, η τεχνολογία blockchain έχει επίσης τη δυνατότητα να μετασχηματίσει την διαχείριση πιστωτικών μονάδων. Με την αξιοποίηση της αλυσίδας μπλοκ στην εκπαίδευση, η διαδικασία έκδοσης και μεταφοράς πιστωτικών μονάδων μπορεί να βελτιωθεί και να γίνει πιο ασφαλής. Το αποκεντρωμένο ledger του blockchain διασφαλίζει ότι οι συναλλαγές πιστωτικών μονάδων είναι διαφανείς και απαραβίαστες, παρέχοντας ένα αμετάβλητο αρχείο επιτευγμάτων και προσόντων. Αυτό ενισχύει την αξιοπιστία, διευκολύνοντας τους φοιτητές να μεταφέρουν πιστωτικές μονάδες μεταξύ εκπαιδευτικών ιδρυμάτων και να αναγνωρισθεί η εκπαίδευσή τους. Επιπλέον, η τεχνολογία blockchain επιτρέπει την επαλήθευση των πιστοποιητικών σε πραγματικό χρόνο, μειώνοντας τον διοικητικό φόρτο των ιδρυμάτων και διασφαλίζοντας τη γνησιότητα των πληροφοριών που σχετίζονται με τις πιστωτικές μονάδες. Με την ενσωμάτωση του blockchain ο τομέας της εκπαίδευσης μπορεί να επωφεληθεί από την αυξημένη αποτελεσματικότητα, τη μείωση του κόστους και την ενίσχυση της εμπιστοσύνης στην αξιολόγηση και την αναγνώριση των επιτευγμάτων των φοιτητών.

Οι Turkanonici κ.α. [63] δημιούργησαν μια παγκόσμια πλατφόρμα πιστωτικών μονάδων τριτοβάθμιας εκπαίδευσης, με την ονομασία EduCTX. Η πλατφόρμα είναι βασισμένη στο Ευρωπαϊκό Σύστημα Μεταφοράς και Συσώρευσης Πιστωτικών Μονάδων (ECTS - European Credit Transfer and Accumulation System). Αποτελεί ένα παγκοσμίως αξιόπιστο, αποκεντρωμένο ανώτατο σύστημα πιστωτικών μονάδων και βαθμολόγησης της εκπαίδευσης που μπορεί να προσφέρει μια παγκόσμια ενιαία εικόνα για τους φοιτητές και τα ανώτατα εκπαιδευτικά ιδρύματα (ΑΕΙ), καθώς και για άλλους δυνητικούς ενδιαφερόμενους, όπως εταιρείες, ιδρύματα, φορείς και οργανισμούς. Μέσω της πλατφόρμας οι φοιτητές μπορούν να έχουν πρόσβαση στο πλήρες ιστορικό των μαθημάτων τους και να διαμοιράζονται τις πληροφορίες με τα

πανεπιστήμια που έχουν αυτά τα δεδομένα προσβάσιμα και ενημερωμένα, ανεξάρτητα από την εκπαιδευτική προέλευση του φοιτητή. Λόγω της αποκεντρωμένης αρχιτεκτονικής του blockchain τα δεδομένα έχουν ανωνυμία, διαχρονικότητα, ακεραιότητα, διαφάνεια και αμεταβλητότητα. Έτσι διάφοροι οργανισμοί (όπως εργοδότες, πανεπιστήμια κ.λπ.) ως δυνητικοί χρήστες του συστήματος, μπορούν να επικυρώσουν με ευκολία τις παρεχόμενες πληροφορίες μετά την άδεια του φοιτητή.

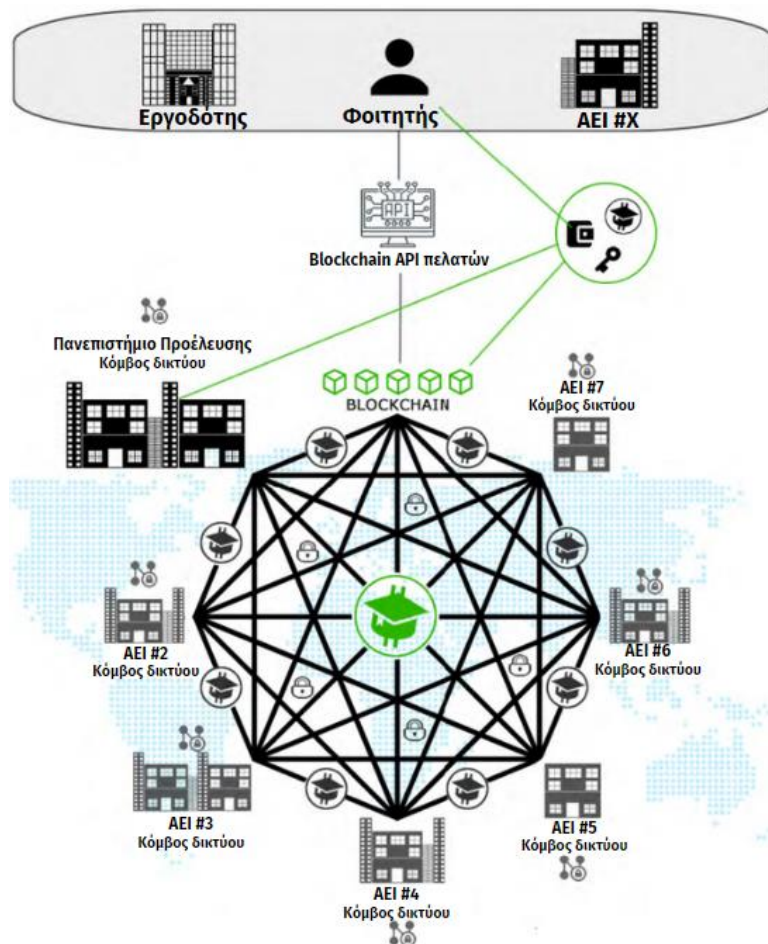
Κίνητρο για την δημιουργία της πλατφόρμας αποτέλεσε το γεγονός ότι η πλειονότητα των ιδρυμάτων τριτοβάθμιας εκπαίδευσης (AEI) διατηρεί τα πλήρη αρχεία μαθημάτων των φοιτητών τους σε ιδιόκτητες μορφές. Επομένως παρέχεται μικρή ή καθόλου διαλειτουργικότητα και οι φοιτητές έχουν περιορισμένη πρόσβαση. Συνεπώς, η ανταλλαγή αρχείων μέσω δύο εκπαιδευτικών ιδρυμάτων, για παράδειγμα στις μετεγγραφές των φοιτητών, πραγματοποιείται με δυσκολία, ειδικότερα όταν συμμετέχουν AEI εξωτερικού, λόγω της διαφορετικής γλώσσας και της διαφοράς στην διοίκηση. Για να γεφυρωθεί το χάσμα μεταξύ των χωρών η Ευρωπαϊκή Ένωση φρόντισε για την δημιουργία του Ευρωπαϊκού Συστήματος Μεταφοράς και Συσσώρευσης Πιστωτικών Μονάδων (ECTS). Δημιουργήθηκε το 1989 στο πλαίσιο του προγράμματος Erasmus. Οι ECTS μονάδες εκφράζουν τον όγκο της μάθησης, ο οποίος βασίζεται στο καθορισμένα μαθησιακά αποτελέσματα και τον φόρτο εργασίας που συνδέεται με τη μάθηση. Τα μαθησιακά αποτελέσματα εκφράζονται ως η γνώση ενός ατόμου (τι γνωρίζει, κατανοεί και είναι σε θέση να κάνει), ενώ ο φόρτος εργασίας είναι ο εκτιμώμενος χρόνος που χρειάζεται ένα άτομο για να ολοκληρώσει όλες τις μαθησιακές δραστηριότητες. Ένα ακαδημαϊκό έτος αξιολογείται με 60 μονάδες ECTS.

Η πλατφόρμα EduCTX βασίζεται στο καταναμημένο σύστημα δικτύου ομότιμων (P2P), όπου οι ομότιμοι κόμβοι του δικτύου blockchain είναι τα AEI και οι χρήστες της πλατφόρμας είναι οι φοιτητές και οι οργανισμοί. Τα συστήματα αυτά είναι ευέλικτα, ασφαλή και ανθεκτικά λόγω της αποθηκευτικής τους ικανότητας και του διαμοιρασμού των πόρων σε παγκόσμιο επίπεδο. Μια απεικόνιση της πλατφόρμας σε υψηλό επίπεδο φαίνεται παρακάτω στην Εικόνα 14. Μέσω της εφαρμογής οι χρήστες μπορούν να επεξεργάζονται, να διαχειρίζονται και να ελέγχουν token (μάρκες) ECTX, τα οποία αντιπροσωπεύουν τις πιστωτικές μονάδες που έχει συλλέξει ένας φοιτητής με βάση το ECTS. Ο κάθε φοιτητής είναι κάτοχος ενός blockchain πορτοφολιού στο οποίο προστίθενται token κάθε φορά που ολοκληρώνει ένα μάθημα. Επιπλέον, χρησιμοποιώντας την διεύθυνση που του έχει ανατεθεί στην αλυσίδα, ο φοιτητής μπορεί να αποδείξει παγκοσμίως ότι έχει ολοκληρώσει τα μαθήματά του, χωρίς διοικητικά, γραφειοκρατικά ή γλωσσικά εμπόδια. Κάθε διαπιστευμένο AEI που θέλει να συμμετέχει στο δίκτυο θα πρέπει να δημιουργήσει τον δικό του κόμβο.

Το κάθε AEI δεν χρειάζεται να συμμετέχει στην διαδικασία της εξόρυξης καθώς η πλατφόρμα βασίζεται στο DPoS (Delegated Proof Of Stake) πρωτόκολλο. Ως εκ τούτου, δεν απαιτείται υπολογιστική ισχύς από τον κάθε κόμβο. Το DPoS

πρωτόκολλο είναι επίσης κατάλληλο για αυτό το blockchain κοινοπραξίας, εφόσον δεν μπορεί ένας τυχαίος ομότιμος κόμβος να εξορύξει ECTX token. Κάθε νέο ΑΕΙ που εντάσσεται στο δίκτυο και εξετάζεται από τα υπόλοιπα μέλη και του προστίθενται ECTX. Σύμφωνα με το DPoS, κάθε νέο μέλος έχει την δυνατότητα να εγγραφεί ως εκπρόσωπος. Έπειτα η κοινότητα ψηφίζει για έναν αντιπρόσωπο ο οποίος με τη σειρά του θα επικυρώνει τις συναλλαγές και θα σφραγίζει τα μπλοκ. Συνεπώς η κοινότητα θα ψηφίσει τον πιο ενεργό και συνεπές κόμβο. Για την δημιουργία μίας δημοκρατικής και μη κερδοσκοπικής πλατφόρμας, προβλέπεται η ανταμοιβή του κόμβου να μειωθεί στο μηδέν.

Οι Turkanović κ.α. στην δημοσίευσή τους περιγράφουν αναλυτικά την διαδικασία εισαγωγής ενός ΑΕΙ στο δίκτυο, την εγγραφή ενός φοιτητή, την ολοκλήρωση ενός μαθήματος και τον έλεγχο πιστωτικών μονάδων ενός φοιτητή. Για να υπάρχει ασφάλεια και εγκυρότητα των δεδομένων ορίστηκαν διάφοροι κανόνες. Αρχικά, ο κάθε φοιτητής είναι ανώνυμος και παρουσιάζεται με τη μοναδική του διεύθυνση blockchain στην οποία αποθηκεύονται ECTX, ανάλογα με τα ECTS που κατέχει. Οι φοιτητές δεν μπορούν να στείλουν τα ληφθέντα ECTX σε άλλη διεύθυνση. Πρόκειται για μια διεύθυνση 2-2 πολλαπλών υπογραφών, δηλαδή απαιτούνται δύο υπογραφές από διαφορετικά μέρη για την πραγματοποίηση εξερχόμενων συναλλαγών. Η δεύτερη υπογραφή απαιτείται από μια εξουσιοδοτημένη οντότητα, η οποία εξέδωσε την διεύθυνση του φοιτητή, δηλαδή το ΑΕΙ της χώρας του. Παρόλο που ένας φοιτητής παραμένει ανώνυμος εφαρμόστηκε ένα σύστημα υπογραφής το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να αποδείξει την κατοχή των ECTX.



Εικόνα 15: Απεικόνιση της πλατφόρμας EduCTX σε υψηλό επίπεδο [62].

3.2.7 Απόκτηση συγκατάθεσης και κηδεμονία ψηφιακών δεδομένων

Στον τομέα της εκπαίδευσης, η απόκτηση της συγκατάθεσης και η κηδεμονία των ψηφιακών δεδομένων έχει εξελιχθεί σε σημαντικό ζήτημα, ιδιαίτερα στην εποχή της εκτεταμένης συλλογής δεδομένων και των ψηφιακών αλληλεπιδράσεων. Αξιοποιώντας την τεχνολογία blockchain, τα εκπαιδευτικά ιδρύματα μπορούν να δημιουργήσουν ένα διαφανές και ασφαλές σύστημα για τη λήψη συγκατάθεσης από τους μαθητές, τους γονείς και τους εκπαιδευτικούς πριν από τη συλλογή οποιονδήποτε προσωπικών δεδομένων. Η τεχνολογία blockchain εξασφαλίζει ότι η πρόσβαση και η χρήση των δεδομένων καταγράφονται, παρέχοντας στα άτομα μεγαλύτερο έλεγχο των πληροφοριών τους και ενισχύοντας την αίσθηση της ιδιοκτησίας. Επιπλέον, οι ανθεκτικές στην παραποίηση ιδιότητες της αλυσίδας μπλοκ εγγυώνται την ακεραιότητα και την αυθεντικότητα των δεδομένων, μειώνοντας τον κίνδυνο μη εξουσιοδοτημένης πρόσβασης και παραβίασης αυτών. Το blockchain βοήθησε να βελτιωθεί ο παραδοσιακός τρόπος συλλογής των συγκαταθέσεων των γονέων και πλέον η συλλογή να γίνεται ηλεκτρονικά, καθώς επιταχύνει την διαδικασία χωρίς να θέτει σε κίνδυνο την ιδιωτικότητα των μαθητών.

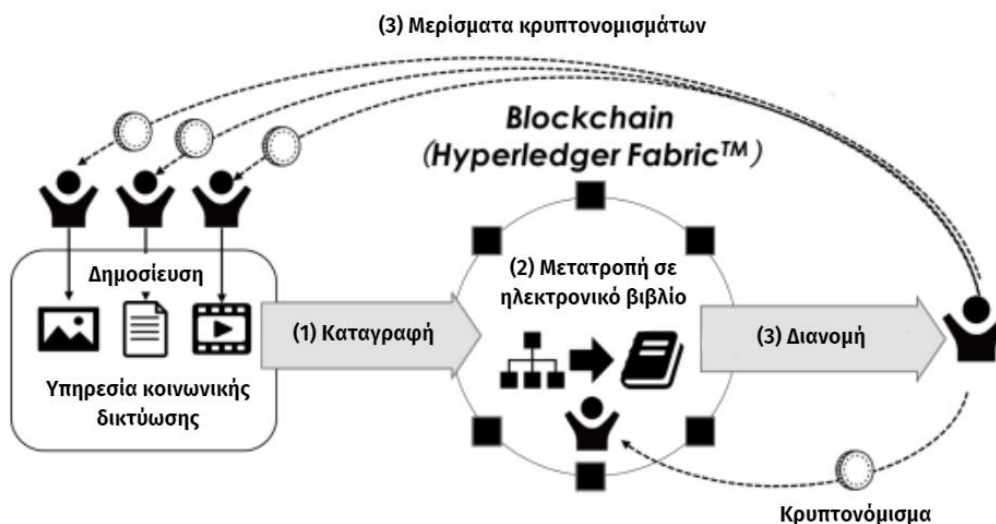
Οι Gilda και Mehrotra [64] προτείνουν ένα πλαίσιο βασισμένο στο Hyperledger Fabric που θα επιτρέπει στα δημόσια σχολεία να δίνουν δικαιώματα εξουσιοδότησης σε οποιοδήποτε τρίτο φορέα που θα ήθελαν να επισκεφτούν οι μαθητές τους χωρίς να λαμβάνουν τη συγκατάθεση των γονέων κάθε φορά. Η τεχνολογία blockchain βοήθησε στη δημιουργία μιας ένθετης διαδικασίας εξουσιοδότησης που επιταχύνει την όλη διαδικασία και, ως εκ τούτου, εγγυάται το απόρρητο και τον έλεγχο της κάθε συγκατάθεσης. Αυτό το πλαίσιο χρησιμοποιείται ως μια ψηφιακή συμφωνία που εκτελείται χωρίς την απαίτηση να στηρίζεται σε ένα νομικό έγγραφο τρίτου μέρους. Συγκεκριμένα, αποτελείται από μπλοκ που παρέχουν επαναλαμβανόμενη εξουσιοδότηση που επιτρέπουν στο εκπαιδευτικό ίδρυμα να χορηγεί πρόσβαση σε δεδομένα για οποιονδήποτε νόμιμο σκοπό, αφού εξασφαλίζει τη συγκατάθεση από τον κηδεμόνα του μαθητή για άδεια πρόσβασης σε δεδομένα μέσω έξυπνων συμβολαίων.

3.2.8 Διαχείριση πνευματικών δικαιωμάτων

Η εύκολη πρόσβαση και η ταχεία διάδοση του ψηφιακού περιεχομένου θέτουν σημαντικές προκλήσεις για τους δημιουργούς και τους κατόχους δικαιωμάτων. Το διαδίκτυο, με τις τεράστιες δυνατότητές του για τον διαμοιρασμό και τη διανομή δημιουργικών έργων, απαιτεί αποτελεσματικούς μηχανισμούς για την προστασία της πνευματικής ιδιοκτησίας και τη διασφάλιση δίκαιης αποζημίωσης των δημιουργών περιεχομένου. Οι τεχνολογίες διαχείρισης ψηφιακών δικαιωμάτων (DRM- Digital rights management) και τα συστήματα αδειοδότησης διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο στο πλαίσιο αυτό, επιτρέποντας στους κατόχους περιεχομένου να ασκούν τον έλεγχο των δημιουργιών τους, ενώ παράλληλα επιτρέπουν στους χρήστες να έχουν νόμιμη πρόσβαση στο περιεχόμενο. Η εμφάνιση της τεχνολογίας blockchain υπόσχεται να φέρει επανάσταση στη διαχείριση των πνευματικών δικαιωμάτων, παρέχοντας αμετάβλητα και διαφανή αρχεία ιδιοκτησίας και δικαιωμάτων χρήσης. Καθώς το διαδίκτυο συνεχίζει να αναπτύσσεται και να εξελίσσεται, η εξεύρεση ισορροπίας μεταξύ της ελεύθερης ροής πληροφοριών και της διασφάλισης των δικαιωμάτων των δημιουργών παραμένει μια συνεχής και σημαντική υπόθεση.

Οι Hori κ.α. [65] δημιούργησαν μια εφαρμογή ενός αποκεντρωμένου συστήματος μάθησης "CHiLO" το οποίο βασίζεται σε ηλεκτρονικά βιβλία. Για την προστασία των πνευματικών δικαιωμάτων και των ιδιοκτησιών των ηλεκτρονικών βιβλίων οι ίδιοι ανέπτυξαν ένα νέο σύστημα μάθησης που χρησιμοποιεί blockchain με ειδικά χαρακτηριστικά την ανάρτηση σε σελίδες κοινωνικής δικτύωσης και την πληρωμή μέσω ενός εικονικού νομίσματος. Το CHiLO έχει σχεδιαστεί ειδικά ως αποκεντρωμένη εφαρμογή που δεν απαιτεί έναν κεντρικά διαχειριζόμενο εξυπηρετητή και μπορεί να διανεμηθεί μέσω γενικών καταστημάτων ηλεκτρονικών βιβλίων, όπως το Apple Store και το Google Play, καθώς επίσης μπορεί να διατεθεί μέσω οποιουδήποτε εξυπηρετητή διαδικτύου, συμπεριλαμβανομένου και των συστημάτων διαχείρισης μάθησης. Στην Εικόνα 15 παρουσιάζεται η δομή της

αλυσίδας CHiLO. Ένα άρθρο που δημοσιεύεται σε ιστότοπους κοινωνικής δικτύωσης αποτελεί διαδικτυακό πόρο. Χρησιμοποιώντας έναν ιστότοπο κοινωνικής δικτύωσης ως διεπαφή χρήστη, το αναρτημένο άρθρο καταγράφεται στην αλυσίδα μπλοκ και, συνδυάζοντας τα αποθηκευμένα άρθρα, συντάσσεται και εκδίδεται ένα ηλεκτρονικό βιβλίο. Το σύστημα έχει υλοποιηθεί με χρήση του Hyperledger Fabric ως πρωτόκολλο blockchain και του Mastodon ως υπηρεσία κοινωνικής δικτύωσης. Παρόλο που το CHiLO μοιάζει με ένα ηλεκτρονικό βιβλίο γραμμένο σε μορφή EPUB3, η εσωτερική δομή του έχει ενθυλακωμένα μεταδεδομένα για να καλεί τους εκπαιδευτικούς πόρους, όπως βίντεο, κουίζ, ψηφιακά σήματα, βιντεοδιασκέψεις, και να διανέμεται μέσω του διαδικτύου ως ηλεκτρονικό βιβλίο. Συγκεκριμένα η εσωτερική δομή του έχει αρχιτεκτονική κάψουλας που περιέχει το τμήμα των μεταδεδομένων και το τμήμα του μηχανισμού. Το τμήμα μεταδεδομένων αποτελείται από τα μεταδεδομένα που σχετίζονται με τη διαμόρφωση των πόρων, όπως η σειρά εμφάνισης και η διάταξη αυτών και από τα μεταδεδομένα για την κλήση διαδικτυακών πηγών όπως μια διεύθυνση URL. Το τμήμα του μηχανισμού διαθέτει μια μέθοδο επεξεργασίας που μετατρέπει τα μεταδεδομένα στη μορφή EPUB3 και μια μέθοδο εμφάνισης που εμφανίζει το ηλεκτρονικό βιβλίο στο πρόγραμμα περιήγησης ιστού. Στην αναφορά τους οι Horí κ.α. προτείνουν την καταγραφή της δομής κάψουλας περιεχομένου CHiLO στην αλυσίδα μπλοκ, η οποία θα περιλαμβάνει επίσης τη διαμόρφωση των πηγών σε μορφή μεταδεδομένων για την επίτευξη διαχείρισης των πνευματικών δικαιωμάτων του ηλεκτρονικού βιβλίου και του περιεχομένου του.



Εικόνα 16: Η δομή της αλυσίδας CHiLO [65].

3.2.9 Εξ'αποστάσεως διδασκαλία και συμμετοχή

Η εξ'αποστάσεως εκπαίδευση έχει φέρει επανάσταση στο εκπαιδευτικό περιβάλλον, επαναπροσδιορίζοντας την έννοια της φοίτησης στη σύγχρονη εποχή. Παραδοσιακά, η παρακολούθηση μαθημάτων σήμαινε φυσική παρουσία σε μια

αίθουσα διδασκαλίας, αλλά με την έλευση των διαδικτυακών εκπαιδευτικών πλατφορμών και των ψηφιακών τεχνολογιών, η παρακολούθηση έχει αποκτήσει μια νέα διάσταση. Στην εξ'αποστάσεως εκπαίδευση, η παρουσία δεν είναι πλέον συνδεδεμένη με μια φυσική τοποθεσία. Αντίθετα, μετριέται με την ενεργό εμπλοκή και τη συμμετοχή σε εικονικές αίθουσες διδασκαλίας. Οι φοιτητές έχουν πλέον την ευελιξία να παρακολουθούν διαλέξεις, να συνεργάζονται με τους συμμαθητές τους και να αλληλεπιδρούν με τους διδάσκοντες από την άνεση του σπιτιού τους ή από οποιαδήποτε τοποθεσία με πρόσβαση στο διαδίκτυο. Αυτή η αλλαγή στα πρότυπα παρακολούθησης δεν έχει μόνο αυξήσει την προσβασιμότητα για τους μαθητές σε όλο τον κόσμο, αλλά έχει επίσης προωθήσει μια κουλτούρα αυτοπειθαρχίας και διαχείρισης του χρόνου οι οποίες αποτελούν βασικές δεξιότητες στην ψηφιακή εποχή. Καθώς η εξ'αποστάσεως εκπαίδευση συνεχίζει να εξελίσσεται, ο αντίκτυπός θα επηρεάσει πιθανότατα το μέλλον της εκπαίδευσης, καθιστώντας την πιο περιεκτική και προσαρμόσιμη σε διαφορετικά μοντέλα μάθησης και ατομικές ανάγκες.

Σε αυτό τον τομέα η τεχνολογία blockchain έχει τη δυνατότητα να φέρει την καινοτομία στην εξ'αποστάσεως διδασκαλία και να αντιμετωπίσει διάφορες προκλήσεις στον τομέα της εκπαίδευσης, κυρίως όσον αφορά την παρακολούθηση και την πιστοποίηση των μαθητών και φοιτητών. Η αλυσίδα μπλοκ, η οποία είναι αποκεντρωμένη και αμετάβλητη, μπορεί να παρέχει έναν ασφαλή και διαφανή τρόπο καταγραφής και επαλήθευσης της παρουσίας των σπουδαστών και των ακαδημαϊκών επιτευγμάτων σε προγράμματα εξ'αποστάσεως εκπαίδευσης. Τα εκπαιδευτικά ιδρύματα μπορούν να διασφαλίσουν την αυθεντικότητα των αρχείων παρακολούθησης, μειώνοντας έτσι τον κίνδυνο απάτης και παραποίησης. Επιπλέον, με την χρήση του blockchain μπορεί να διευκολυνθεί η δημιουργία αποκεντρωμένων εκπαιδευτικών πλατφορμών, όπου εκπαιδευτικοί και φοιτητές μπορούν να αλληλεπιδρούν άμεσα, εξαλείφοντας την ανάγκη για μεσάζοντες και αυξάνοντας την αποτελεσματικότητα και την προσβασιμότητα της εξ'αποστάσεως εκπαίδευσης.

Αδιαμφισβήτητο, μεγάλο ρόλο στην συμμετοχή των μαθητών είναι το αίσθημα ανταμοιβής μέσω πόντων ή ψηφιακών νομισμάτων. Σε αυτό έχει βασιστεί το σύστημα των Zhong κ.α. [59] το οποίο έχουμε προαναφέρει σε προηγούμενη παράγραφο. Κάθε χρήστης έχει μια μοναδική διεύθυνση στην αλυσίδα Ethereum ως ταυτότητα. Οι εκπαιδευόμενοι μπορούν να κερδίζουν μονάδες όταν συμμετέχουν σε δραστηριότητες και οι μονάδες μπορούν να μετατραπούν σε εικονικό νόμισμα. Αυτά τα εικονικά νομίσματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για αγορά ορισμένων πληρωμένων ή κρυπτογραφημένων αρχείων, τα οποία προστατεύονται από λογοκλοπή και διασφαλίζεται η πνευματική ιδιοκτησία των ιδιοκτητών. Το σύστημα επίσης μπορεί να ανταμείψει επιπρόσθετα τους μαθητές με την υψηλότερη κατάταξη με βάση τις επιδόσεις τους.

Επιπλέον, ένα σύστημα αξιολόγησης βοηθά τη διαδικτυακή μάθηση με την παροχή χρήσιμων σχολίων για τη βελτίωση της ποιότητας των μαθημάτων, καθοδηγώντας

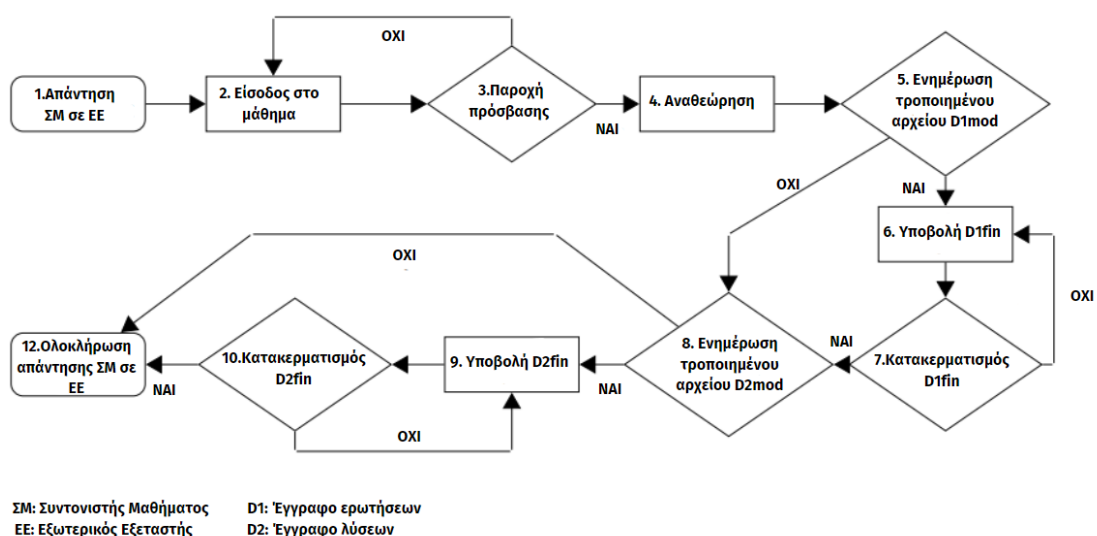
τους εκπαιδευόμενους να επιλέξουν τα κατάλληλα μαθήματα, αξιολογώντας τους εκπαιδευτικούς και εξασφαλίζοντας διαφάνεια και υπευθυνότητα. Οι Sharples και Domingue [65] προτείνουν ένα ακαδημαϊκό σύστημα αξιολόγησης το οποίο χρησιμοποιεί ως μονάδα το “Kudos”, το οποίο μεταφράζεται σε φήμη και απονέμεται είτε με την επιτυχία σε ένα διαγώνισμα είτε με την ολοκλήρωση ενός μαθήματος.

Η παιγνιοποίηση στην εκπαίδευση είναι μια καινοτόμος προσέγγιση που ενσωματώνει στοιχεία και μηχανισμούς σχεδιασμού παιχνιδιών στη μαθησιακή διαδικασία. Με την ενσωμάτωση στοιχείων όπως πόντοι, κονκάρδες, πίνακες κατάταξης και ανταμοιβές, η παιγνιοποίηση στοχεύει στην ενίσχυση της δέσμευσης και των κινήτρων των μαθητών, μετατρέποντας τις παραδοσιακές αίθουσες διδασκαλίας σε δυναμικά και διαδραστικά περιβάλλοντα. Οι Wu και Li [66] παρουσίασαν ένα σύστημα λήψης αποφάσεων για την εξέταση των επαγγελματικών γνώσεων και της εμπειρίας των φοιτητών. Συγκεκριμένα, ανέπτυξαν ένα εικονικό περιβάλλον ηλεκτρονικού εμπορίου, όπου η κάθε ομάδα είναι υπεύθυνη για ένα ηλεκτρονικό κατάστημα. Πολλοί μαθητές είναι υπεύθυνοι για διαφορετικούς ρόλους και συνεργάζονται μεταξύ τους για να ολοκληρώσουν τα αντίστοιχα επιχειρησιακά καθήκοντα. Οι ρόλοι χωρίζονται στα ακόλουθα έξι τμήματα: τμήμα οικονομικής διαχείρισης, τμήμα εξυπηρέτησης πελατών, τμήμα διανομής Logistics, τμήμα διανομής Logistics, λειτουργία ιστοσελίδας και τμήμα συντήρησης. Το σύστημα περιλαμβάνει κυρίως τρία μέρη: μονάδα λειτουργίας, μονάδα αξιολόγησης και μονάδα blockchain. Μέσω της μονάδας blockchain, η αλυσίδα μπλοκ επιτρέπει την αποκεντρωμένη έμπιστη πρόσβαση, βελτιώνει την αξιολόγηση, προάγει τη συνεργασία και τον ανταγωνισμό μεταξύ των σχολείων και παρέχει αξιοπιστία και ιχνηλασιμότητα μέσω του αξιόπιστου νέφους ψηφιακής εκπαίδευσης.

3.2.10 Διεξαγωγή εξετάσεων και βαθμολόγηση

Η διεξαγωγή εξετάσεων και η βαθμολόγηση αποτελούσαν διαχρονικά αναπόσπαστα στοιχεία του εκπαιδευτικού συστήματος, διασφαλίζοντας την αξιολόγηση των γνώσεων και της κατανόησης των μαθητών. Ωστόσο, η παραδοσιακή διαδικασία εξετάσεων αντιμετωπίζει προκλήσεις που σχετίζονται με την ασφάλεια, τη διαφάνεια και την αποτελεσματικότητα. Αξιοποιώντας την αποκεντρωμένη και αμετάβλητη φύση της αλυσίδας μπλοκ, τα εκπαιδευτικά ιδρύματα μπορούν να φέρουν επανάσταση στη διαχείριση των εξετάσεων και στις διαδικασίες βαθμολόγησης. Το blockchain μπορεί να παρέχει μια ασφαλή πλατφόρμα για τη δημιουργία απαραβίαστων ψηφιακών αρχείων των αποτελεσμάτων των εξετάσεων και των πιστοποιήσεων, ενισχύοντας την αξιοπιστία και την αυθεντικότητα των ακαδημαϊκών επιτευγμάτων. Επιπλέον, η αποκεντρωμένη φύση του blockchain εξασφαλίζει διαφάνεια και δικαιοσύνη στη διαδικασία βαθμολόγησης, καθώς πολλά μέρη μπορούν να έχουν πρόσβαση και να επαληθεύουν τα αποτελέσματα χωρίς την παρέμβαση οποιασδήποτε κεντρικής αρχής.

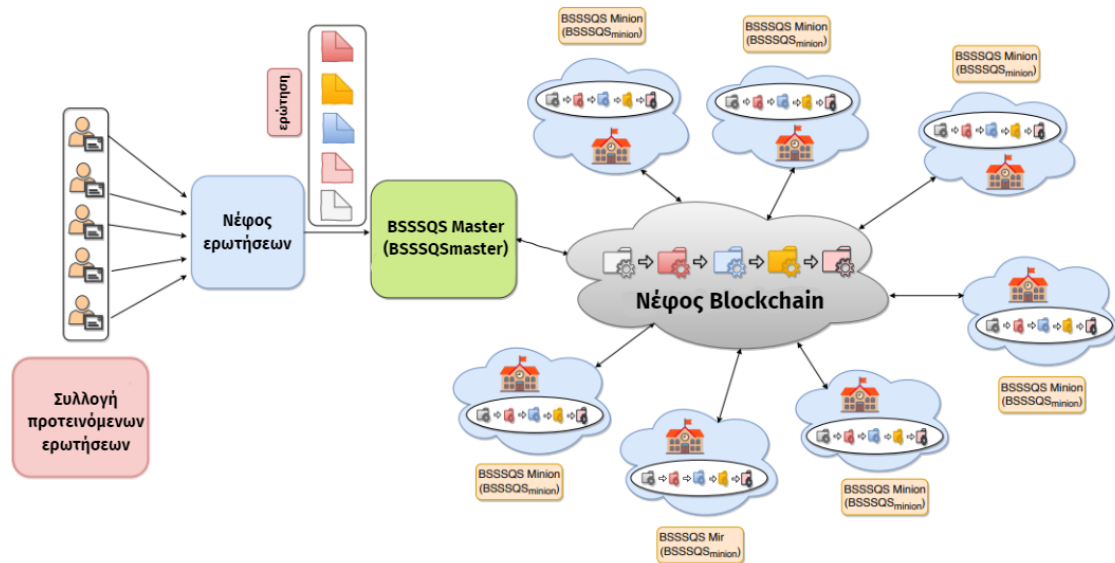
Οι Mitchell, Hara και Sheriff [67] ανέπτυξαν μία αποκεντρωμένη εφαρμογή για τον έλεγχο εξετάσεων με την ονομασία dAppER. Το dAppER παρέχει έναν αυτοματοποιημένο μηχανισμό διασφάλισης ποιότητας για τις εσωτερικές διαδικασίες που έχουν τεθεί σε εφαρμογή για παραγωγή των εξεταστικών θεμάτων και των αντίστοιχων συστημάτων αξιολόγησης. Η περιγραφή του συστήματος περιέχει ένα διάγραμμα ροής που αναλύει βήμα προς βήμα τις ενέργειες του συντονιστή όσον αφορά την εξέταση και την τροποποίηση εγγράφων, την πραγματοποίηση διαδικασιών επαλήθευσης και τη διασφάλιση της ακρίβειας και της ακεραιότητας των εγγράφων που σχετίζονται με μια συγκεκριμένη ενότητα ή μάθημα. Αρχικά ο συντονιστής συνδέεται και εισάγει το αναγνωριστικό του μαθήματος ή της ενότητας. Έπειτα το σύστημα ελέγχει αν ο τρέχων χρήστης είναι ο καθορισμένος συντονιστής για τη συγκεκριμένη ενότητα και αν η ενότητα έχει ήδη υποβληθεί σε συντονισμό. Η ανάθεση ενός εσωτερικού συντονιστή σε μια ενότητα καταγράφεται ως συναλλαγή στο στο σύστημα και αποθηκεύεται στην αλυσίδα μπλοκ. Αν υπάρχουν σχόλια από κάποιον εσωτερικό συντονιστή, προβαίνει στις κατάλληλες τροποποιήσεις. Στη συνέχεια, τα επικαιροποιημένα έγγραφα υποβάλλονται για περαιτέρω επαλήθευση και το σύστημα διασφαλίζει τη γνησιότητα και την ακρίβεια κάθε υποβαλλόμενου εγγράφου. Μετά την ολοκλήρωση της διαδικασίας, ο εσωτερικός συντονιστής αποσυνδέεται. Το σύστημα αυτό βελτιστοποιεί τη διαδικασία αναθεώρησης και επαλήθευσης των εγγράφων, προάγοντας τη διαφάνεια, αυξάνοντας την ποιότητα του εκπαιδευτικού υλικού για την αντίστοιχη ενότητα ή μάθημα. Όταν εκτυπώνεται το ερωτηματολόγιο των τελικών εξετάσεων, ολοκληρώνεται μια συναλλαγή στην αλυσίδα μπλοκ. Η μεταφορά των φυσικών εγγράφων θα μπορούσε επίσης να παρακολουθείται, αλλά το σύστημα αφορά κυρίως τη διασφάλιση της τήρησης των εσωτερικών διαδικασιών ποιότητας για όλες τις υποβολές.



Εικόνα 17: Διάγραμμα ροής που περιγράφει την απάντηση του συντονιστή ενός μαθήματος στις τροποποιήσεις του εξωτερικού εξεταστή [67].

Τα υπάρχοντα εκπαιδευτικά συστήματα αντιμετωπίζουν την απειλή της διαρροής ερωτήσεων των εξετάσεων, η οποία θέτει σε κίνδυνο την ποιότητα των εκπαίδευσης. Οι Islama κ.α. [68] προτείνουν το BSSSQS, ένα νέο σύστημα για την έξυπνη εκπαίδευση, αξιοποιώντας την τεχνολογία blockchain, για τον διαμοιρασμό ερωτήσεων. Προτείνεται μια τεχνική κρυπτογράφησης δύο φάσεων για την κρυπτογράφηση του κάθε γραπτού. Στην πρώτη φάση, οι ερωτήσεις κρυπτογραφούνται με τη χρήση χρονοσφραγίδας και στη δεύτερη φάση, τα προηγούμενες κρυπτογραφημένες ερωτήσεις κρυπτογραφούνται ξανά με τη χρήση χρονοσφραγίδας, «αλατισμένου» κατακερματισμού και κατακερματισμούς από προηγούμενα γραπτά. Κατά τον «αλατισμό», προστίθενται τυχαίες μοναδικές συμβολοσειρές (γνωστές ως "αλάτια" ή "salt") πριν από τον κατακερματισμό τους. Με αυτόν τον τρόπο, ακόμη και αν κάποιος καταφέρει να αποκτήσει πρόσβαση στη βάση δεδομένων, δεν θα μπορεί να εύκολα αντιστοιχίσει το κατακερματισμένο αρχείο με τους αρχικό. Αυτά τα κρυπτογραφημένα αρχεία αποθηκεύονται στην αλυσίδα μπλοκ μαζί με ένα έξυπνο συμβόλαιο που βοηθά τον χρήστη να ξεκλειδώσει το αρχείο που επιθυμεί. Προτείνεται επίσης ένας αλγόριθμος για την επιλογή ενός αρχείου για τις εξετάσεις με τυχαίο τρόπο.

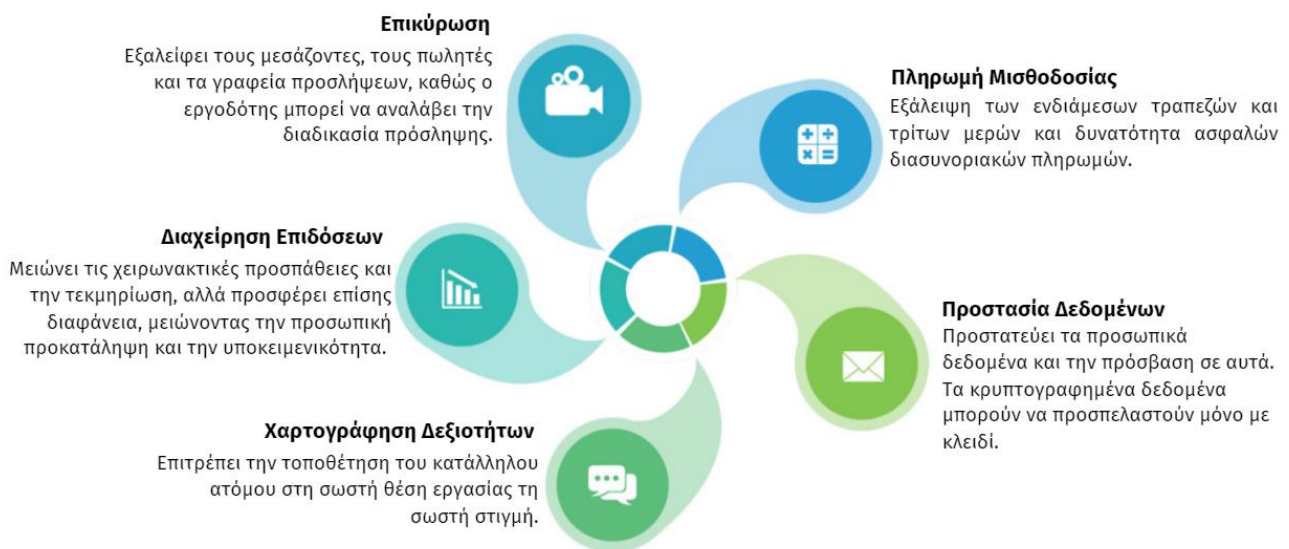
Η αρχιτεκτονική του συστήματος αποτελείται από τέσσερις μεγάλες οντότητες, την συλλογή των ερωτήσεων, το νέφος των ερωτήσεων, το BSSSQS Master και τα BSSSQS Minions. Το BSSSQS Master αναλαμβάνει την τελική τροποποίηση των ερωτήσεων, κατέχει τις πληροφορίες για όλους τους κόμβους του συστήματος και επικοινωνεί, δηλαδή στέλνει τις ερωτήσεις μέσω του νέφους blockchain. Στο BSSSQS Master πραγματοποιείται επίσης και η κρυπτογράφηση. Το BSSSQS Minion ως οντότητα περιγράφει ένα εξεταστικό κέντρο, όπως ένα σχολείο, κολέγιο ή πανεπιστήμιο. Έχει πρόσβαση στις ερωτήσεις μόνο μέσω έξυπνου συμβολαίου και επαλήθευση χρονοσφραγίδας. Το σύστημα αποτελείται από μια ιδιωτική αλυσίδα blockchain που έχει παρέχει διαφορετικά δικαιώματα πρόσβασης για διαφορετικές οντότητες. Το BSSSQSmaster έχει δικαίωμα εγγραφής, ενώ το BSSSQSminion έχει μόνο δικαίωμα ανάγνωσης υπό όρους. Η τελική έκδοση των ερωτήσεων αποθηκεύεται μόνο στα BSSSQS Minions.



Εικόνα 18: Μοντέλο συστήματος του προτεινόμενου BSSQS [68].

3.3 Ερευνητικές δημοσιεύσεις blockchain στην αγορά εργασίας

Σε αυτή την εποχή της ταχείας τεχνολογικής προόδου, τα παραδοσιακά συστήματα ανθρώπινου δυναμικού αντιμετωπίζουν συχνά προκλήσεις που σχετίζονται με την ασφάλεια των δεδομένων, την επαλήθευση της ταυτότητας και τις χειροκίνητες διοικητικές διαδικασίες. Η τεχνολογία blockchain παρουσιάζει μια λύση που αλλάζει τα δεδομένα σε αυτά τα επίμονα προβλήματα. Σε αυτό το υποκεφάλαιο θα εξετάσουμε τις πιο υποσχόμενες περιπτώσεις χρήσης του blockchain στον τομέα του ανθρώπινου δυναμικού. Μία από τις πιο σημαντικές περιπτώσεις χρήσης είναι η αποκεντρωμένη επαλήθευση ταυτότητας η οποία εξασφαλίζει αξιόπιστη πιστοποίηση υποψηφίων. Παράλληλα τα έξυπνα συμβόλαια αυτοματοποιούν τη διαχείριση της μισθοδοσίας για ακριβείς πληρωμές μισθών. Επιπλέον, η τεχνολογία απλοποιεί τους ελέγχους ιστορικού και την επαλήθευση των πιστοποιητικών, επιταχύνοντας τη διαδικασία πρόσληψης με αυξημένη εμπιστοσύνη και διαφάνεια. Το προσωπικό προφίλ του κάθε εργαζομένου παραμένει ενημερωμένο και ασφαλές, καθιστώντας ευκολότερη την εύρεση του κατάλληλου υποψήφιου για μια συγκεκριμένη θέση εργασίας. Ακόμα, διασφαλίζει την προστασία δεδομένων του κάθε εργαζομένου και η αμετάβλητη φύση του συστήματος βοηθά στην καταγραφή του χρόνου εργασίας και των υπερωριών.



Εικόνα 19: Περιπτώσεις χρήσης της Διαχείρισης Ανθρώπινου Δυναμικού [69].

Ορισμένες από τις λειτουργίες της διαχείρισης ανθρώπινου δυναμικού καλύπτονται από επιχειρησιακά συστήματα (CRM/ERP). Ωστόσο, η προσθήκη νέων λειτουργιών είναι δαπανηρή και τα επιχειρησιακά συστήματα πρέπει να περάσουν από πολλές προσαρμογές, γεγονός που περιορίζει τη χρήση τους. Επίσης, τα προβλήματα διαλειτουργικότητας μεταξύ των επιχειρησιακών συστημάτων αποτελούν σημαντικό εμπόδιο για την ανταλλαγή δεδομένων. Οι λύσεις τεχνολογίας blockchain μπορούν να ενσωματωθούν στο υπάρχον λογισμικό ERP. Η προτεινόμενη προσέγγιση είναι ότι κάθε εταιρεία μπορεί να διατηρήσει το εσωτερικό της σύστημα ERP, ενώ παράλληλα να ενταχθεί σε ένα δίκτυο blockchain

με κανόνες. Η διαθεσιμότητα των δεδομένων και των επιχειρηματικών κανόνων που μεταφέρονται σε ένα αξιόπιστο δίκτυο blockchain θα οδηγήσει σε ένα αμοιβαία επωφελές σενάριο.

Μία από τις μεγαλύτερες εταιρίες υπηρεσιών CRM σε περιβάλλον cloud, η Salesforce, το 2019 λάνσαρε μια πλατφόρμα blockchain βασισμένη στο Hyperledger Sawtooth για να διευκολύνει τη δημιουργία ενός δικτύου blockchain και εφαρμογών ενσωματωμένων στο CRM [70]. Η πλατφόρμα της Salesforce έχει κεντρίσει το ενδιαφέρον στον τομέα της εκπαίδευσης, καθώς το Πανεπιστήμιο της Αριζόνα χρησιμοποιεί την πλατφόρμα για να σχεδιάσει και να δημιουργήσει ένα εκπαιδευτικό δίκτυο που επιτρέπει στα πανεπιστήμια να επαληθεύουν και να μοιράζονται με ασφάλεια πληροφορίες. Επιπλέον, ενδιαφέρον παρουσιάζει και στον τομέα της υγείας. Η IQVIA είναι εταιρία με παροχής προηγμένων αναλύσεων, τεχνολογικών λύσεων και υπηρεσιών συμβατικής έρευνας στον κλάδο των βιοεπισημών και έχει σκοπό να αξιοποιήσει την πλατφόρμα για τη διαχείριση ρυθμιστικών πληροφοριών και την επεξεργασία ετικετών φαρμάκων.

3.3.1 Επικύρωση πιστοποιητικών και ιστορικού απασχόλησης

Η τεχνολογία blockchain μπορεί να συνεισφέρει στον κλάδο Διαχείρισης Ανθρώπινου Δυναμικού και στην απλούστευση των διαδικασιών πριν και μετά την πρόσληψη των υποψηφίων. Οι εργαζόμενοι στον τομέα του ανθρώπινου δυναμικού ξοδεύουν πάρα πολλές ώρες για την επαλήθευση των στοιχείων που υποβάλλουν οι υποψήφιοι, όπως η εκπαίδευση, οι δεξιότητες, η κατάρτιση και το ιστορικό απασχόλησης. Η διαδικασία γίνεται ακόμα πιο δύσκολη λόγω της ανάπτυξης όλο και περισσότερων εκπαιδευτικών ιδρυμάτων. Επιπλέον, εξαιτίας του μεγάλου αριθμού των υποψηφίων, οι μεγάλοι οργανισμοί απασχολούν τρίτους για την επαλήθευση υπηρεσιών και οι αμοιβές που χρεώνονται από τρίτους διαφέρουν επίσης ανάλογα με το προφίλ του υποψηφίου.

Μια έκθεση του Career Builder [71] αναφέρει ότι το 75% των υπεύθυνων ανθρώπινου δυναμικού ισχυρίζονται ότι έχουν βρει κάποιο λάθος ή ψευδή πληροφορία σε βιογραφικό σημείωμα των υποψηφίων τους. Μέσω μίας αλυσίδας blockchain κοινοπραξίας μπορεί να δημιουργηθεί μία απαραβίαστη βάση δεδομένων η οποία θα περιέχει τα προσόντα, την εργασιακή εμπειρία και τα πιστοποιητικά του κάθε υποψηφίου, εξαλείφοντας τον κίνδυνο δόλιων ισχυρισμών και ενισχύοντας τη διαδικασία επαλήθευσης. Μετά την επιτυχή επαλήθευση των δεδομένων, οι οργανισμοί μπορούν να εκδώσουν γρήγορα την επιστολή προσφοράς, εξοικονομώντας έτσι σημαντικό χρόνο, προσπάθεια και κόστος στη διαδικασία πρόσληψης. Ταυτόχρονα, ο καθένας μπορεί να αυξήσει τις ευκαιρίες απασχόλησης μοιράζοντας οικειοθελώς τα δεδομένα του με τους υπεύθυνους προσλήψεων.

Το 2018, η εταιρία iDatafy, σε συνεργασία με το Πανεπιστήμιο του Αρκάνσας, δημιούργησε τα πρώτα πιστοποιημένα με blockchain βιογραφικά σημειώματα.

Πλέον, η εταιρία έχει αναπτύξει την SmartResume, μία αξιόπιστη πλατφόρμα για την εξεύρεση ικανών στελεχών με βάση επαληθευμένα πιστοποιητικά που βασίζονται σε τεχνολογία blockchain [72]. Για την υλοποίηση επιλέχθηκε το Hyperledger Fabric για την δημιουργία μιας ιδιωτικής αλυσίδας μπλοκ. Η ένταξη στο δίκτυο γίνεται μόνο με πρόσκληση και μόνο εξουσιοδοτημένα μέλη επικυρώνουν τις συναλλαγές. Σε αυτό το δίκτυο κοινοπραξίας ανήκουν οργανισμοί πιστοποίησης, ιδιώτες και εταιρίες πρόσληψης.

Οι οργανισμοί πιστοποίησης είναι ιδρύματα που απονέμουν πιστοποιητικά, όπως κολέγια, πανεπιστήμια, επαγγελματικές σχολές, επαγγελματικές οργανώσεις, γραφεία έκδοσης αδειών και κυβερνητικοί οργανισμοί. Στην πλατφόρμα SmartResume, οι οργανισμοί πιστοποίησης δημιουργούν ένα SmartResume για λογαριασμό ενός ατόμου, πιστοποιώντας εκπαιδευτικά πτυχία, μαθήματα, διακρίσεις, δραστηριότητες, βραβεία, εμπειρίες, άδειες, συνεργασίες, έρευνες, δεξιότητες, επιστολές αναφοράς και άλλες πιστοποιήσεις. Οι πιστοποιήσεις εμφανίζονται στο SmartResume ενός ατόμου ως ένα απαραβίαστο σήμα. Ως σημαντική σχεδιαστική επιλογή, οι οργανισμοί πιστοποίησης μπορούν να τροποποιήσουν το όνομα και τον τύπο του διαπιστευτηρίου, κερδίζοντας με αυτόν τον τρόπο προβολή του σήματός τους. Θέτοντας τους οργανισμούς πιστοποίησης στον έλεγχο, η πλατφόρμα SmartResume αποτρέπει τους χρήστες από το να δηλώνουν διαπιστευτήρια που δεν έχουν αποκτήσει, προστατεύοντας με αυτόν τον τρόπο το προφίλ του οργανισμού.



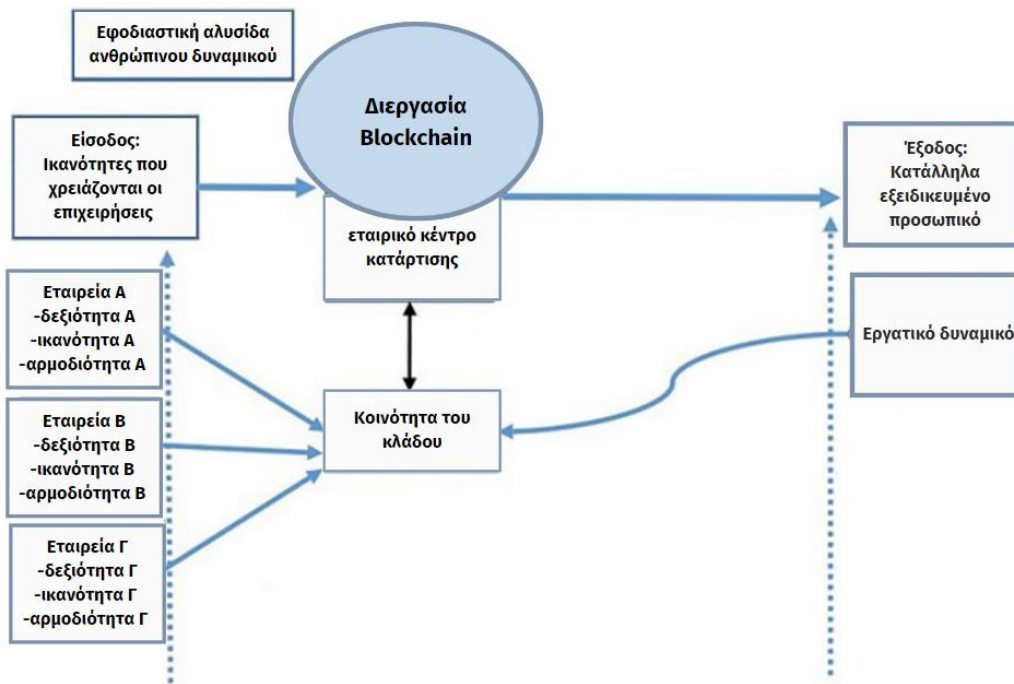
Εικόνα 20: Παράδειγμα πιστοποιημένων εμβλημάτων του SmartResume [72].

3.3.2 Χαρτογράφηση Δεξιοτήτων

Η χαρτογράφηση δεξιοτήτων είναι μία από τις βασικές ασχολίες στον κλάδο Διαχείρισης Ανθρώπινου Δυναμικού. Η χαρτογράφηση και η τοποθέτηση του σωστού υποψηφίου για τη σωστή θέση εργασίας είναι αναμφισβήτητο το πιο κρίσιμο αντικείμενο στη σημερινή περίοδο, λόγω των ποικίλων δεξιοτήτων που διαθέτει ο κάθε υποψήφιος. Με την είσοδο πολλών νέων τεχνολογιών στον εργασιακό χώρο, γίνεται όλο και πιο δύσκολο να αντιστοιχιστούν αυτά τα άτομα στη σωστή θέση εργασίας. Η τεχνολογία blockchain έχει αναδειχθεί ως μια πιθανή λύση για την ενίσχυση των διαδικασιών χαρτογράφησης δεξιοτήτων στο HR. Το

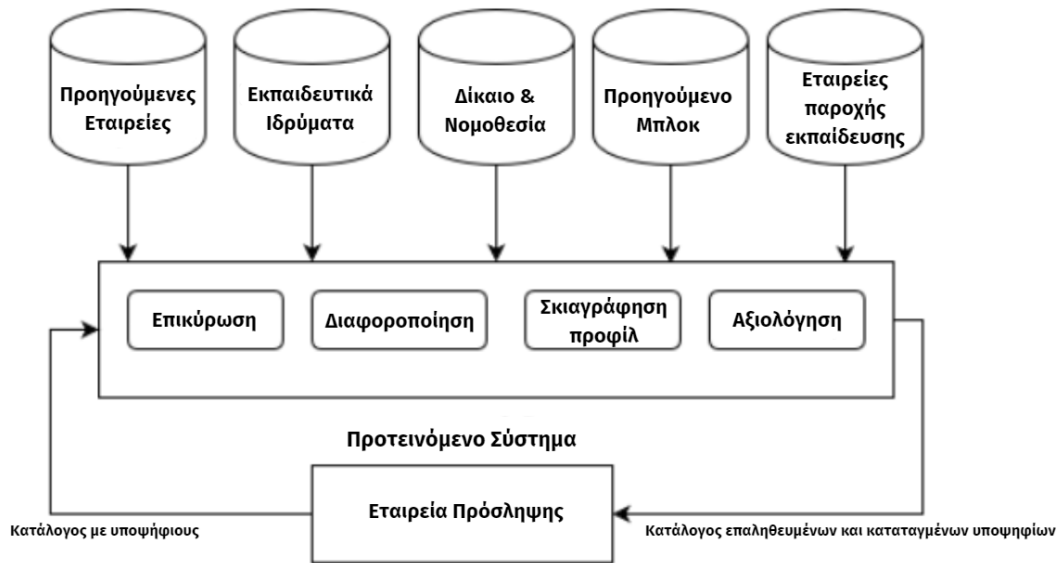
blockchain παρέχει μια ασφαλή και αποκεντρωμένη πλατφόρμα για την καταγραφή και την επαλήθευση των δεξιοτήτων, των πιστοποιήσεων και των εμπειριών των εργαζομένων, εξαλείφοντας την ανάγκη για παραδοσιακή τεκμηρίωση σε χαρτί και μειώνοντας τον κίνδυνο απάτης.

Οι Fachrunnisa κ.α. [73] πρότειναν την ανάπτυξη ενός συστήματος ανθρώπινου δυναμικού βασισμένου σε blockchain για την αντιστοίχιση των αναγκών της εταιρείας και των ικανοτήτων του εργατικού δυναμικού με τη συμμετοχή ενός εταιρικού κέντρου κατάρτισης για τον άμβλυση του χάσματος των δεξιοτήτων που απαιτούνται στην εταιρεία. Το χάσμα δεξιοτήτων μεταξύ των αναγκών της εταιρείας και των ικανοτήτων που κατέχει το εργατικό προσωπικό μπορεί να αποτελέσει αιτία αναποτελεσματικότητας. Αυτό το πλαίσιο σχεδιάστηκε με σκοπό να βοηθήσει το εταιρικό κέντρο κατάρτισης να αναγνωρίσει τις ικανότητες που απουσιάζουν από το προσωπικό, οι οποίες στη συνέχεια χρησιμοποιούνται από το τμήμα ανθρώπινου δυναμικού για την ανάπτυξη του εκπαιδευτικού υλικού. Ειδικότερα, η κοινότητα ενός συγκεκριμένου κλάδου, δηλαδή οι εταιρείες που ανήκουν σε αυτόν και οι άνθρωποι που εκπροσωπούν την ένωση του κλάδου, ενημερώνει την έλλειψη δεξιοτήτων που αντιμετωπίζει ο κλάδος. Ανακοινώνεται ημερομηνία έναρξης και την ημερομηνία λήξης στην αλυσίδα μπλοκ για τη συλλογή αυτών των απαντήσεων. Στο τέλος της περιόδου αξιολόγησης, ζητείται από κάθε συμμετέχοντα στο Blockchain να κατατάξει όλες τις ικανότητες που παρέχονται από την κοινότητα. Χρησιμοποιώντας τους αλγόριθμους συναίνεσης γίνεται η κατάταξη όλων των ικανοτήτων. Τέλος, οι πάροχοι επαγγελματικής κατάρτισης επιλέγουν μία από τις ικανότητες που βρίσκονται στην κορυφή της κατάταξης και αναπτύσσουν πρόγραμμα σπουδών με σκοπό να έχουν αντίκτυπο σε αυτόν τον τομέα. Επομένως, το προτεινόμενο πλαίσιο αποσκοπεί στην παροχή μιας πλατφόρμας για να επιτευχθεί συμφωνία μεταξύ των διαφόρων εκπροσώπων του κλάδου για τις δεξιότητες που απαιτούνται για τον συγκεκριμένο τομέα. Ο σχεδιασμός ενός προγράμματος σπουδών ή εκπαιδευτικού περιεχομένου για τη βελτίωση των δεξιοτήτων, των γνώσεων και της συμπεριφοράς του εργατικού δυναμικού είναι ένας τρόπος για να μειωθούν τα κενά που υπάρχουν μεταξύ των ικανοτήτων που κατέχουν οι εργαζόμενοι και των ικανοτήτων που χρειάζεται η εταιρεία.



Εικόνα 21: Απεικόνιση των διαδικασιών του πλαισίου [73].

Οι Onik κ.α. [74] δημιούργησαν ένα σύστημα διαχείρισης προσλήψεων και ένα σύστημα διαχείρισης ανθρώπινου δυναμικού με βάση το Blockchain. Σε αυτή την παράγραφο θα δοθεί έμφαση στο πρώτο. Συγκεκριμένα, το σύστημα εστιάζει στην συλλογή, στην επαλήθευση και κατάταξη των υποψηφίων. Ο οργανισμός που χρησιμοποιεί το σύστημα για την πρόσληψη νέων ατόμων λαμβάνει κατάλογο των υποψηφίων που σχετίζονται με τον κλάδο. Τα στοιχεία του αιτούντος, όπως προηγούμενη απασχόληση, εκπαιδευτικό ίδρυμα, εταιρεία κατάρτισης, τυχόν ποινικό μητρώο ή παραβίαση του νόμου κ.λπ. επικυρώνονται και επαληθεύονται από βάσεις δεδομένων. Το επόμενο βήμα είναι η δημιουργία προφίλ των υποψηφίων, όπου οι πληροφορίες των αιτούντων συγκρίνονται με την οργανική κενή θέση. Τα στοιχεία των αιτούντων που δεν ταιριάζουν απορρίπτονται και οι υπόλοιποι αιτούντες κατατάσσονται. Με βάση την κατάταξη οι υποψήφιοι επιλέγονται και ο οργανισμός αποφασίζει να προχωρήσει περαιτέρω με τη διαδικασία επιλογής. Τα συστήματα υλοποιήθηκαν και διεξήχθη έρευνα η οποία περιελάμβανε 300 μέλη 12 μεσαίων και μεγάλων οργανισμών στη Νότια Κορέα και το Μπαγκλαντές κατά τη διάρκεια του Ιανουαρίου και Φεβρουαρίου 2018. Περίπου το 60% των συμμετεχόντων συμφώνησε με την προτεινόμενη προσέγγιση, το 20% θεωρεί ότι η συνολική εφαρμογή είναι δαπανηρή, το 15% πιστεύει ότι δεν είναι ακόμη τεχνικά έτοιμο και ένα άλλο 10% θεωρεί ότι χρειάζονται περισσότερες τροποποιήσεις για την προσαρμογή.



Εικόνα 22: Σχεδιάγραμμα Συστήματος διαχείρισης προσλήψεων με βάση το Blockchain [74].

3.3.3 Μισθοδοσία

Η εφαρμογή συστημάτων ERP και η εξωτερική ανάθεση της διαχείρισης της μισθοδοσίας έδωσε ώθηση στην τεχνολογική ανάπτυξη αυτής. Οι οργανισμοί μπόρεσαν να μειώσουν τα έξοδα μέσω της εξωτερικής ανάθεσης και των συστημάτων ERP, ωστόσο υπάρχουν ανησυχίες για την ασφάλεια και την εμπιστευτικότητα.

Η τεχνολογία blockchain μπορεί να αντιμετωπίσει αυτές τις ανησυχίες. Σε ένα αποκεντρωμένο σύστημα, τα λογιστικά βιβλία συναλλαγών blockchain μπορούν να παρακολουθούνται εύκολα, δημιουργώντας ένα πιο διαφανές και αμετάβλητο ιστορικό συναλλαγών. Το σύστημα διαχείρισης της μισθοδοσίας των εργαζομένων πρέπει να τηρεί πολυάριθμους κανόνες και η τεχνολογία blockchain θα βοηθήσει στη μείωση των ασυνεπειών και στην εξοικονόμηση χρόνου για το τμήμα ανθρώπινου δυναμικού. Ακόμα, μπορεί να συμβάλλει στην επικύρωση της ταυτότητας των εργαζομένων, στον υπολογισμό των ωρών εργασίας και στην πληρωμή σε πραγματικό χρόνο. Η διαχείριση της μισθοδοσίας γίνεται ευκολότερη, ευέλικτη τόσο για εγχώριες όσο και για διεθνείς πληρωμές με τη χρήση της τεχνολογίας blockchain.

Παραδείγματα εφαρμογών blockchain στην μισθοδοσία αποτελούν η Bitwage και το Etch. Η Bitwage ιδρύθηκε το 2013 και χρησιμοποιείται για διεθνείς πληρωμές εργαζομένων, συνδυάζοντας την τεχνολογία κινητής τηλεφωνίας, cloud και blockchain [75]. Με τη χρήση bitcoin, οι εργαζόμενοι πληρώνονται στο τοπικό τους νόμισμα και η Bitwage διευκολύνει τη μετατροπή του νομίσματος. Αρχικά δημιουργήθηκε ως ένας τρόπος για να πληρώνονται οι ελεύθεροι επαγγελματίες σε Bitcoin, αλλά σύντομα η εταιρεία διαπίστωσε ότι οι διεθνείς επιχειρήσεις με

κατανεμημένο εργατικό δυναμικό ήταν μεγάλοι χρήστες της υπηρεσίας τους για τη διασυνοριακή (διεθνή) μισθοδοσία. Η καταβολή μισθών σε παγκόσμιο επίπεδο είναι ταχύτερη, φθηνότερη και ευκολότερη με την Bitwage. Ωστόσο, η Bitwage δεν είναι πάροχος πλήρους υπηρεσίας μισθοδοσίας. Οι υπολογισμοί και η παρακράτηση των φόρων εισοδήματος σε ομοσπονδιακό, πολιτειακό και τοπικό επίπεδο εξακολουθούν να πραγματοποιούνται από τον εργοδότη με τον παραδοσιακό τρόπο. Είναι μόνο ο "καθαρός μισθός" μετά από όλες τις παρακρατήσεις, τις εκπτώσεις ή τις μειώσεις που χειρίζεται η Bitwage. Ένας εργαζόμενος που επιθυμεί να πληρωθεί σε Bitcoin θα πρέπει απλώς να παρουσιάσει ένα δελτίο άμεσης κατάθεσης στο γραφείο μισθοδοσίας του εργοδότη του. Όταν ερχόταν η ημέρα πληρωμής, κάποιο μέρος (έως και το 100%) του καθαρού μισθού του εργαζομένου θα καταβαλλόταν σε έναν λογαριασμό Bitwage. Στη συνέχεια, η Bitwage μετατρέπει τον μισθό σε Bitcoin και τον καταθέτει εκ νέου στο ψηφιακό πορτοφόλι του εργαζομένου.

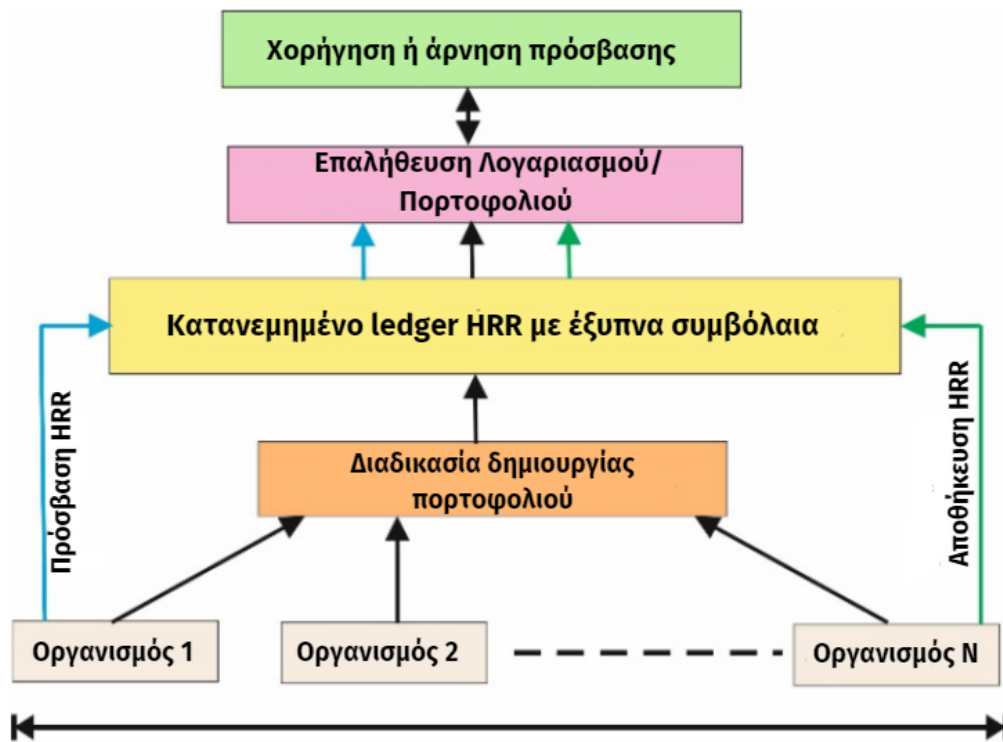
Το Etch [76], ένα σύστημα μισθοδοσίας που βασίζεται στην αλυσίδα μπλοκ, δημιουργήθηκε το 2019 και επιτρέπει στους εργαζόμενους να εισπράττουν χρήματα όποτε το επιλέξουν. Η πίστωση δίνεται σε μάρκες Etch, οι οποίες στη συνέχεια τοποθετούνται σε ένα ψηφιακό πορτοφόλι. Οι εργαζόμενοι μπορούν να χρησιμοποιούν την κάρτα Etch για να κάνουν αγορές σε εκατομμύρια τοποθεσίες σε όλο τον κόσμο και η αξία του κουπονιού αποφασίζεται από τα μετρητά που παρέχει ο εργοδότης.

3.3.4 Προστασία Δεδομένων

Η τεχνολογία blockchain έχει αναδειχθεί ως ένα ισχυρό εργαλείο για την ενίσχυση της προστασίας των δεδομένων των ανθρώπινων πόρων στη σημερινή ψηφιακή εποχή. Η τεχνολογία αυτή διασφαλίζει ότι τα δεδομένα είναι ανθεκτικά στην παραποίηση και διαφανή, μειώνοντας τον κίνδυνο μη εξουσιοδοτημένης πρόσβασης και απάτης. Επιπλέον, η αλυσίδα μπλοκ επιτρέπει στους εργαζόμενους να έχουν μεγαλύτερο έλεγχο των προσωπικών τους πληροφοριών, παρέχοντας δικαιώματα πρόσβασης μόνο σε εξουσιοδοτημένα μέρη και επιτρέποντάς τους να παρακολουθούν ποιος έχει πρόσβαση στα δεδομένα τους. Καθώς οι επιχειρήσεις εξακολουθούν να έρχονται αντιμέτωπες με την πολυπλοκότητα της ιδιωτικότητας και της ασφάλειας των δεδομένων, η τεχνολογία blockchain παρουσιάζει μια πολλά υποσχόμενη λύση για την ενίσχυση της προστασίας των δεδομένων HR και την οικοδόμηση εμπιστοσύνης μεταξύ των εργαζομένων και των ενδιαφερομένων μερών.

Οι Kim κ.α. [77] δημιούργησαν ένα πλαίσιο προστασίας απορρήτου που παρέχει ένα διαφανές σύστημα για τη διαχείριση αρχείων ανθρώπινου δυναμικού. Συγκεκριμένα, προτείνουν ένα μοντέλο βασισμένο στην αλυσίδα μπλοκ, μέσω του οποίου τα αρχεία ανθρώπινου δυναμικού μπορούν να δημιουργηθούν και να επαληθευτούν σε μία κατανεμημένη παγκόσμια πλατφόρμα που θα βοηθούσε στη

μείωση της απάτης στην εργασία τόσο από την πλευρά των εργαζομένων όσο και από την πλευρά των εργοδοτών. Πολλοί οργανισμοί έχουν την δυνατότητα να συμμετέχουν ταυτόχρονα στην αλυσίδα. Ο κάθε οργανισμός έχει στην κατοχή του ένα πορτοφόλι το οποίο αποτελείται από τα αναγνωριστικά και τα κρυπτογραφικά κλειδιά. Το πορτοφόλι είναι αναγκαίο τόσο για την αποθήκευση των δεδομένων όσο και για την πρόσβαση στα δεδομένα εντός και εκτός του κατακευματισμένου λογιστικού βιβλίου. Οποιοδήποτε αίτημα για αποθήκευση και πρόσβαση πρέπει να επικυρώνεται με τα κατάλληλα χαρακτηριστικά του πορτοφολιού και κατά συνέπεια είτε να εγκριθεί ή να απορριφθεί. Τα δεδομένα επίσης έχουν ταξινομηθεί με βάση το επίπεδο απορρήτου σε απόρρητο, κρυφό και άκρως απόρρητο. Ο κάθε οργανισμός έχει πρόσβαση στα δεδομένα μέσω του δικού του ιδιωτικού νέφους, το οποίο αντλεί τις πληροφορίες που χρειάζεται από το κοινό δημόσιο νέφος, εφόσον δωθεί άδεια από τον μηχανισμό ελέγχου πρόσβασης.

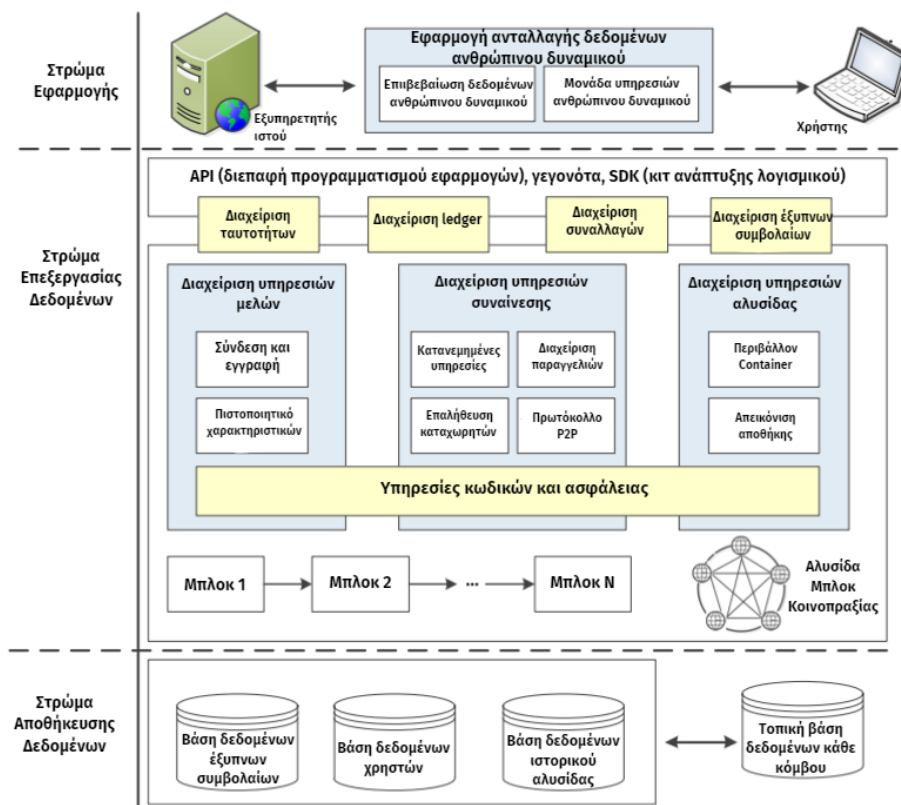


HRR: Αρχεία ανθρώπινου δυναμικού (Human Resource Records)

Εικόνα 23: Προτεινόμενο μοντέλο διαχείρισης αρχείων ανθρώπινου δυναμικού με βάση το Blockchain [77].

Οι Zhu κ.α. [78] κατασκεύασαν ένα σύστημα υπηρεσιών ανταλλαγής δεδομένων ανθρώπινου δυναμικού με χρήση της τεχνολογίας blockchain. Ο μηχανισμός εμπιστοσύνης του βασίζεται στην αλυσίδα κοινοπραξίας Fabric και το σύστημα αξιοποιεί πλήρως τα πλεονεκτήματα της αποκέντρωσης και της συναίνεσης. Η έρευνα επικεντρώνεται κυρίως στον σχεδιασμό της αρχιτεκτονικής διαμοιρασμού δεδομένων, στην ανάλυση του μηχανισμού συναίνεσης, στον σχεδιασμό έξυπνων συμβάσεων, στη διαδικασία διαμοιρασμού δεδομένων και την κατασκευή αλυσίδας μπλοκ. Στην παρουσίαση του συστήματος αναλύεται εκτενώς ο μηχανισμός αξιοπιστίας που χρησιμοποιείται, η συνολική αρχιτεκτονική και σχεδιασμός έξυπνης

σύμβασης για την κατασκευή της αλυσίδας μπλοκ. Όπως φαίνεται παρακάτω στην Εικόνα 23, η αρχιτεκτονική χωρίζεται σε τρία επίπεδα, δηλαδή το επίπεδο αποθήκευσης δεδομένων, το επίπεδο επεξεργασίας δεδομένων και το επίπεδο εφαρμογής. Το στρώμα αποθήκευσης δεδομένων είναι υπεύθυνο για την αποθήκευση δεδομένων της αλυσίδας και της τοπικής βάσης δεδομένων, η οποία περιλαμβάνει τα έξυπνα συμβολαία, τα αρχεία και τις πληροφορίες των χρηστών, καθώς και τη βάση δεδομένων της αλυσίδας καταγραφής για κάθε κόμβο. Έπειτα, ακολουθεί το στρώμα επεξεργασίας δεδομένων το οποίο αποτελείται από υπηρεσίες και διαχειριστικές μονάδες μέσω των οποίων γίνεται η επεξεργασία των δεδομένων. Το στρώμα επεξεργασίας δεδομένων μπορεί να θεωρηθεί ότι αποτελείται από δύο μέρη. Το ένα μέρος περιλαμβάνει τη διαχείριση των μελών, την υπηρεσία συναίνεσης, την υπηρεσία κωδικών της αλυσίδας, την ασφάλεια και την υπηρεσία κωδικών πρόσβασης. Το άλλο μέρος σχετίζεται κυρίως με τη διαχείριση ταυτότητας, τη διαχείριση λογιστικών βιβλίων, τη διαχείριση συναλλαγών και τη διαχείριση έξυπνων συμβολαίων μέσω διεπαφής API (Application Programming Interface: Διεπαφή Προγραμματισμού Εφαρμογών). Τέλος, το στρώμα εφαρμογών παρέχει στους χρήστες διάφορες επιχειρηματικές λειτουργίες που σχετίζονται με την ανταλλαγή δεδομένων ανθρώπινου δυναμικού μέσω API. Στο άρθρο που δημοσίευσαν περιγράφεται αναλυτικότερα η διαδικασία της κοινής χρήσης δεδομένων στην οποία συμμετέχουν τέσσερις βασικοί ρόλοι, ο ιδιοκτήτης των δεδομένων ανθρώπινου δυναμικού, ο αιτών αυτών των δεδομένων, η αλυσίδα κοινοπραξίας και η αποθήκη δεδομένων της αλυσίδας.



Εικόνα 24: Αρχιτεκτονική συστήματος ανταλλαγής δεδομένων με βάση το Blockchain [78].

Οι Wang κ.α. [79] προτείνουν ένα μοντέλο διαχείρισης πληροφοριών ανθρώπινου δυναμικού με βάση το ιδιωτικό blockchain. Οι ιδιοκτήτες της αλυσίδας είναι επιχειρήσεις και η αλυσίδα είναι ανοικτή στο εσωτερικό προσωπικό και δεν περιορίζεται στη διοίκηση. Έτσι, η αλυσίδα μπορεί να βελτιώσει τη διαφάνεια της διοίκησης συστήματος, ιδίως όσον αφορά την κατάρτιση, την ανάθεση εργασιών, την απόδοση, τον μισθό και τις ευαίσθητες πληροφορίες. Είναι εξαιρετικά σημαντικό το σύστημα να είναι δίκαιο, αμερόληπτο, ανοιχτό και να βελτιώνει την αξιοπιστία των επιχειρήσεων για τη δημιουργία καλής και θετικής ατμόσφαιρας στην επιχείρηση. Η αρχιτεκτονική του συστήματος χωρίζεται σε τέσσερα στρώματα, στην διαδικτυακή κατανομημένη βάση δεδομένων, στο βασικό στρώμα blockchain, στη διεπαφή εφαρμογής και στο σύστημα διαχείρισης ανθρώπινου δυναμικού. Όλα τα στρώματα είναι ανεξάρτητα, με κάποια συσχέτιση, διευκολύνοντας έτσι την ανάπτυξη λογισμικού και τη συντήρηση λειτουργίας. Στο επίπεδο στρώματος blockchain λειτουργούν πολλές ιδιωτικές αλυσίδες παράλληλα, όπως αλυσίδα συναλλαγών, λογαριασμών, ιστορικού, δεδομένων και συνοπτικής προβολής. Οι αλυσίδες αυτές μπορούν να συνεργάζονται, όπως για παράδειγμα στην περίπτωση τραπεζικών εφαρμογών, όπου διαλειτουργούν οι αλυσίδες συναλλαγών και λογαριασμών.

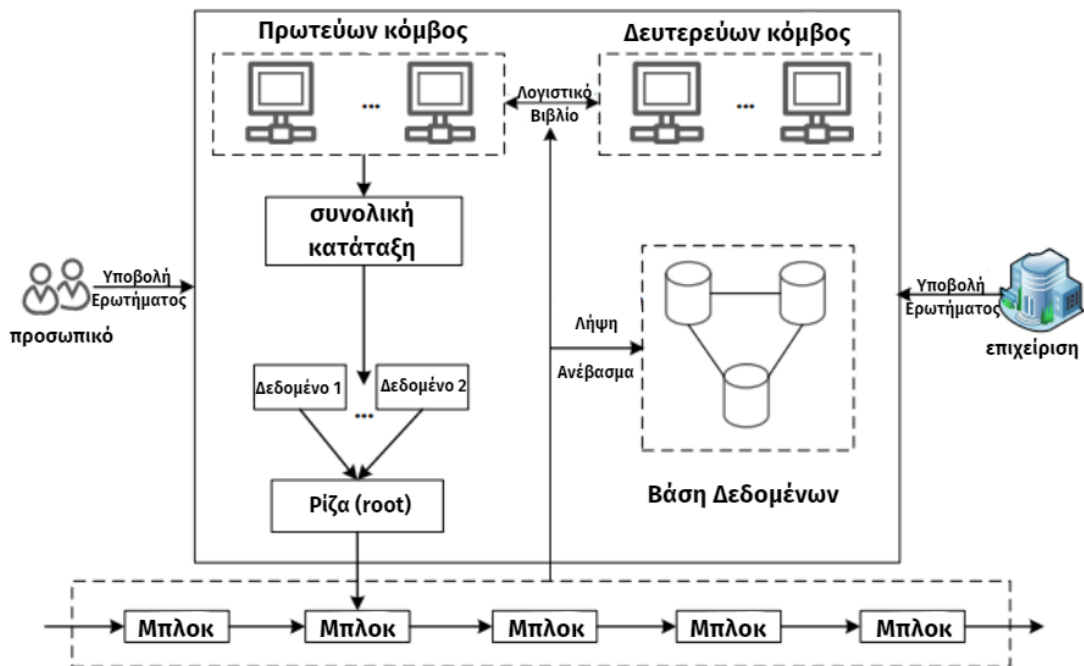
3.3.5 Διαχείριση Επιδόσεων

Αξιοποιώντας το blockchain, οι οργανισμοί μπορούν να καταγράψουν και να παρακολουθούν με ασφάλεια τα δεδομένα που σχετίζονται με τις επιδόσεις με τρόπο που δεν επιδέχεται παραποίηση. Αυτό εξαλείφει τον κίνδυνο χειραγώγησης των δεδομένων ή απάτης, διασφαλίζοντας την ακεραιότητα των αρχείων επιδόσεων. Επιπλέον, τα έξυπνα συμβόλαια μπορούν να αυτοματοποιήσουν διάφορες πτυχές της διαχείρισης επιδόσεων, όπως ο καθορισμός στόχων, η παρακολούθηση της προόδου και η ενεργοποίηση ανταμοιβών ή ποινών βάσει προκαθορισμένων κριτηρίων. Αυτό όχι μόνο απλοποιεί τη διαδικασία αξιολόγησης των επιδόσεων, αλλά και μειώνει τα διοικητικά έξοδα. Τα συστήματα διαχείρισης επιδόσεων που βασίζονται στην αλυσίδα μπλοκ δίνουν τη δυνατότητα στους εργαζόμενους να αναλάβουν την ευθύνη των στόχων και των επιδόσεών τους, καθώς μπορούν να έχουν πρόσβαση στα αρχεία τους με ασφάλεια και σε πραγματικό χρόνο, προωθώντας μια κουλτούρα υπευθυνότητας και συνεχούς βελτίωσης εντός του οργανισμού.

Επιπλέον, τα αρχεία αξιολόγησης της απόδοσης ενημερώνονται περιοδικά για να βοηθήσουν την εξέλιξη της σταδιοδρομίας των εργαζομένων στον οργανισμό. Ως αποτέλεσμα, οι επιχειρήσεις επιθυμούν τεχνολογία που είναι πιο ασφαλής, προσφέρει σχολιασμό σε πραγματικό χρόνο, υποστηρίζει την επαγγελματική ανάπτυξη και προωθεί αποτελεσματικά συστήματα διαχείρισης της απόδοσης. Υπάρχει επίσης ανάγκη για τεχνολογία που εξαλείφει την ανθρώπινη προκατάληψη στη διαδικασία αξιολόγησης, παρέχει εμπιστοσύνη και διαφάνεια και προσφέρει στο προσωπικό επιβράβευση. Αυτές οι λειτουργίες μπορούν να πραγματοποιηθούν με την τεχνολογία blockchain, η οποία προσθέτει αξία στη διαδικασία αξιολόγησης των επιδόσεων.

Οι Li κ.α. [80] κατασκεύασαν έναν μηχανισμό διαχείρισης ανθρώπινων πόρων με βάση το blockchain, με στόχο ένα ακριβές, αποτελεσματικό, ανοικτό και διαφανές σύστημα. Σύμφωνα με την τρέχουσα εξέλιξη της βιομηχανίας ανθρώπινου δυναμικού, μια εταιρεία από τη συνέντευξη ενός υποψηφίου έως τον τελικό διορισμό θα πραγματοποιήσει συχνά τα ακόλουθα βήματα: πρόσληψη, μεταφορά, εκπαίδευση, απασχόληση και, τέλος, για να διατηρήσει τα ικανά ταλέντα στην εταιρεία βασίζεται σε κάποιο σύστημα αμοιβών απόδοσης. Η διαδικασία διαχείρισης των ανθρώπινων πόρων μπορεί να απλοποιηθεί ως μια διαδραστική διαδικασία πληροφοριών δεδομένων. Από την πλευρά του εργοδότη, η πρόσληψη ενός εργαζόμενου γίνεται μέσω της επιβεβαίωσης των πληροφοριών κατά την διάρκεια της συνέντευξης. Από την πλευρά του εργαζόμενου, μέσω της συνέντευξης και της εκπαίδευσης αποφασίζει αν η εικόνα της επιχείρησης συνάδει με την εξωτερική πληροφόρηση. Κατά τη διάρκεια της περιόδου εργασίας, οι διευθυντές καταβάλλουν μόνους σύμφωνα με την απόδοση του εργαζομένου, και ο εργαζόμενος θα κρίνει τη δική του απόδοση και το εισόδημά του με βάση το υπόλοιπο προσωπικό, ώστε να αποφασίσει που θα πρέπει να εστιάσει την προσοχή του. Συνεπώς, παρατηρούμε πως ο μηχανισμός διαχείρισης ανθρώπινων πόρων βασίζεται σε διαδικασίες αλληλεπίδρασης πληροφοριών και δεδομένων που μπορούν να αυτοματοποιηθούν μέσω του blockchain.

Σε επίπεδο δεδομένων, η αρχιτεκτονική χωρίζεται σε δύο επίπεδα και συγκεκριμένα σε δύο κόμβους. Για την επικοινωνία μεταξύ αυτών, χρησιμοποιείται το πρωτόκολλο συναίνεσης DPoS. Σε λειτουργικό επίπεδο υπάρχουν τρεις υπηρεσίες: υπηρεσία αποθήκευσης πληροφοριών, υπηρεσία αναζήτησης πληροφοριών και υπηρεσία μεταφόρτωσης πληροφοριών. Σχετικά με την υπηρεσία αποθήκευσης πληροφοριών, μετά την είσοδο των νέων υπαλλήλων στην επιχείρηση, η επιχείρηση απευθύνεται στον κόμβο πρώτου επιπέδου για να αποθηκεύσει τις πληροφορίες δεδομένων σχετικά με την εκπαίδευση το ιστορικό και την πρακτική άσκηση που σχετίζονται με το βιογραφικό σημείωμα του εργαζομένου, το οποίο αποθηκεύεται μόνο στη βάση δεδομένων ως βάση, και δεν αποκαλύπτεται στο κοινό. Κατά την ολοκλήρωση των καθηκόντων, αποθηκεύονται οι πληροφορίες στην βάση, ώστε να ληφθούν υπόψη στην αξιολόγηση. Η υπηρεσία μεταφόρτωσης πληροφοριών είναι υπεύθυνη για την κρυπτογράφηση και την ασφάλεια των δεδομένων που μεταφορτώνονται στην βάση. Τέλος, μέσω της υπηρεσίας αναζήτησης πληροφοριών οι εσωτερικοί υπάλληλοι μπορούν να ζητήσουν πληροφορίες για τη δική τους θέση και βασικές πληροφορίες των συναδέλφων τους (όπως όνομα, θέση, ημερομηνία εισόδου, επιτεύγματα κ.λπ.), πληροφορίες σχετικά με τις ολοκληρωμένες εργασίες και τη μισθολογική κατάσταση, καθώς και πληροφορίες προσωπικού όπως η ποσότητα εργασιών και ο μισθός. Όταν ολοκληρωθεί μία εργασία, ένας υπάλληλος μπορεί να την αναζητήσει μέσω της υπηρεσίας και να λάβει τα δικά του ιστορικά δεδομένα.



Εικόνα 25: Βασική αρχιτεκτονική του μηχανισμού διαχείρισης ανθρώπινων πόρων βασισμένο στο Blockchain που προτείνουν οι Li κ.α.[80].

Οι Hewage κ.α. [81] σχεδίασαν ένα έξυπνο σύστημα διαχείρισης ανθρώπινων πόρων που μπορεί να μεγιστοποιήσει την παραγωγικότητα ενός οργανωτικού περιβάλλοντος χρησιμοποιώντας τεχνολογίες μηχανικής μάθησης και blockchain. Σκοπός αυτής της έρευνας είναι ένα έξυπνο σύστημα διαχείρισης ανθρώπινων πόρων που μειώνει την ανθρώπινη κρίση, τον χρόνο στη διαδικασία επιλογής υποψηφίων και προβλέπει την απόδοση και τη φθορά των εργαζομένων για να μεγιστοποιηθεί η παραγωγικότητα με ελάχιστη οικονομική απώλεια στο εργασιακό περιβάλλον. Το προκύπτον σύστημα είναι μια διαδικτυακή πλατφόρμα ως υπηρεσία (PaaS : Platform as a Service) η οποία περιλαμβάνει τέσσερα κύρια υποσυστήματα για την επίτευξη του τελικού στόχου. Πρόκειται για το υποσύστημα αξιολόγησης δεξιοτήτων, το υποσύστημα επαλήθευσης των στοιχείων του εργαζομένου, το υποσύστημα πρόβλεψης της απόδοσης και το υποσύστημα πρόβλεψης της παραίτησης.

Πριν από τη χρήση της πλατφόρμας, η εταιρεία θα πρέπει να έχει ενεργοποιήσει μοντέλα για κάθε ρόλο εργασίας. Θα πρέπει να ανεβάσουν ένα σύνολο βιογραφικών σημειωμάτων για να δημιουργήσουν το δικό τους μοντέλο που ταιριάζει σε μια θέση εργασίας. Με αυτόν τον τρόπο μπορούν να δημοσιεύσουν μια αγγελία για πρόσληψη στο κοινό. Οι υπεύθυνοι προσλήψεων θα χρησιμοποιούν τα εργαλεία που παρέχονται από την πλατφόρμα για να αξιολογήσουν τον υποψήφιο. Επίσης, οι χρήστες του συστήματος θα μπορούν να εισάγουν τα στοιχεία των υπαλλήλων τους μέσω μιας διαδραστικής διεπαφής χρήστη είτε χειροκίνητα είτε αναλύοντας ένα λεπτομερές έγγραφο, ώστε τελικά να παράγουν το αποτέλεσμα

σχετικά με το αν ο υπάλληλος αποδίδει αποτελεσματικά ή δεν ανταποκρίνεται στις προσδοκίες. Το αποτέλεσμα αυτό υπολογίζεται κατά μέσο όρο σε ένα ποσοστό για την καλύτερη κατανόηση. Το σύστημα είναι επίσης ικανό να εκτιμήσει τα έτη υπηρεσίας ενός συγκεκριμένου υπαλλήλου, και ως εκ τούτου να καθορίσει τους παράγοντες διατήρησης για τη συνέχιση της απασχόλησης ενός πολύτιμου υπαλλήλου. Επιπλέον, ένα εξουσιοδοτημένο άτομο ανθρώπινου δυναμικού της εταιρείας μπορεί να επαληθεύσει τα εκπαιδευτικά πιστοποιητικά των υποψηφίων μέσω του συστήματος και να προσθέσει τους υπαλλήλους και τα αρχεία τους στην αλυσίδα μπλοκ. Μόλις ένας εργαζόμενος πρόκειται να παραιτηθεί, μπορεί να εκδοθεί ένας κωδικός QR ο οποίος συνδέεται με τα αρχεία του εργαζόμενου και με μία υπηρεσιακή επιστολή.

Για τον μηχανισμό πρόβλεψης απόδοσης των εργαζομένων δημιουργήθηκε ένα προγνωστικό μοντέλο μηχανικής μάθησης, το οποίο εκπαιδεύτηκε από ένα σύνολο αναλυτικών δεδομένων ανθρώπινου δυναμικού της IBM που δημοσιεύθηκαν στο Kaggle. Αργότερα, το επεξεργασμένο σύνολο δεδομένων υποβλήθηκε σε τρεις διαφορετικούς αλγόριθμους ML (ML: Machine Learning) δηλαδή, Decision Tree, Random Forest και Naive Bayes. Ο Naive Bayes Gaussian αλγόριθμος παράγαγε το πιο ακριβές αποτέλεσμα. Για την πρόβλεψη εξάντλησης των εργαζομένων αναπτύχθηκε ξεχωριστή μονάδα μηχανικής μάθησης με τη χρήση μεθόδων μάθησης υπό επίβλεψη. Το αναλυτικό σύνολο δεδομένων της IBM περιλάμβανε διάφορα σημαντικά χαρακτηριστικά, όπως ο μέσος όρος των μηνιαίων ωρών εργασίας, ο αριθμός των έργων, τα έτη που δαπανήθηκαν στην εταιρεία, εργατικά ατυχήματα και εάν ο εργαζόμενος έλαβε προαγωγή. Στη συνέχεια, η ακρίβεια της μονάδας δοκιμάστηκε με τη χρήση μερικών αλγορίθμων και το ακριβέστερο αποτέλεσμα 88,88% παράγεται από τον αλγόριθμο random forest. Η πρόβλεψη της εξάντλησης των εργαζομένων παρέχει έναν οπτικό τρόπο σύγκρισης του κύκλου εργασιών και της δέσμευσης των εργαζομένων σε ολόκληρη την εταιρεία.

Οι Ni κ.α. [82] δημιούργησαν ένα μοντέλο διαχείρισης της συμπεριφοράς των υπαλλήλων για αξιόπιστα δεδομένα στον εικονικό κυβερνοχώρο. Σκοπός είναι η μοντελοποίηση της περιγραφής της συμπεριφοράς των εργαζομένων και η καθοδήγηση της συμπεριφοράς των εργαζομένων με βάση τις έξυπνες συμβάσεις. Στον εικονικό δικτυακό χώρο, οι εργαζόμενοι παράγουν μεγάλο όγκο δεδομένων καθημερινής εργασιακής συμπεριφοράς, τα οποία είναι ως επί το πλείστον αδόμητα δεδομένα, γενικά μικρής διάρκειας και γρήγορης συχνότητας ενημέρωσης, αλλά μπορούν να αντικατοπτρίζουν αληθινά το περιεχόμενο της εργασίας των εργαζομένων σε πραγματικό χρόνο και τις τρέχουσες προτεραιότητες εργασίας του τμήματος. Τα χαρακτηριστικά συμπεριφοράς των εργαζομένων χωρίζονται σε τέσσερις κατηγορίες: δείκτες φόρτου εργασίας, δείκτες αποδοτικότητας εργασίας, δείκτες συναισθημάτων και δείκτες αντίκτυπου, οι οποίοι βασίζονται σε τέσσερις διαστάσεις: ένταση εργασίας, αποδοτικότητα εργασίας, ικανοποίηση από την εργασία και σημασία της εργασίας για να περιγράψουν τα χαρακτηριστικά συμπεριφοράς μεμονωμένων εργαζομένων και ομάδων. Όσον αφορά το χρονικό

και χωρικό πλαίσιο, χρησιμοποιούνται στατιστικές πιθανοτήτων και μέθοδοι βαθιάς μάθησης για να διερευνηθούν τα πρότυπα συμπεριφοράς των εργαζομένων. Γενικότερα, τα δεδομένα συμπεριφοράς των εργαζομένων περιέχουν τρία διαμορφωτικά χαρακτηριστικά και μπορούν να αναπαρασταθούν από έναν τανυστή τρίτης τάξης. Με αυτόν τον τρόπο, διαμορφώνεται ένα σύστημα μέτρησης των χαρακτηριστικών της συμπεριφοράς των εργαζομένων σε πολλαπλές κλίμακες. Τα στοιχεία του συστήματος παρουσιάζουν το βαθμό συσχέτισης μεταξύ της συμπεριφοράς, του πεδίου του χρόνου και του πεδίου της περιοχής.

Ωστόσο, οι Ni κ.α. σημειώνουν πως μια αλυσίδα blockchain είναι αδύνατο να παρέχει σε υψηλό επίπεδο ασφάλεια, αποδοτικότητα και αποκέντρωση. Για αυτό το λόγο δημιουργήθηκε ένα προσαρμοσμένο blockchain κατάλληλο για σενάρια οργανωτικής διαχείρισης. Ειδικότερα, χρησιμοποιείται ιδιωτική αλυσίδα για την αποθήκευση πληροφοριών μεγάλης χωρητικότητας σε προσαρμοσμένη μορφή, ενώ στην δημόσια αλυσίδα ή στην αλυσίδα κοινοπραξίας μεταφορτώνονται οι κρυπτογραφικές υπογραφές των έγκυρων δεδομένων. Η τρέχουσα κατάσταση του συστήματος καταγράφεται συνεχώς σε στιγμιότυπα και τα δεδομένα δεν μπορούν να παραποιηθούν με βάση τη μεγάλη υπολογιστική ισχύ, καθώς και η online και offline αλυσίδα συνδυάζονται για να διατηρηθεί η λειτουργία του συστήματος. Για να ληφθεί η βέλτιστη απόφαση κατασκευής της ετερογενούς αλυσίδας κρίνεται απαραίτητο να τροποποιηθούν παράμετροι, όπως το μέγεθος του μπλοκ και ο χρόνος δημιουργίας του.

Κεφάλαιο 4: Παρουσίαση Αποτελεσμάτων και Συζήτηση

4.1 Συγκεντρωτική Παρουσίαση Αποτελεσμάτων

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζουμε συγκεντρωτικά την βιβλιογραφία που έχουμε αναλύσει στα προηγούμενα κεφάλαια, προκειμένου να εξάγουμε συμπεράσματα για την ωριμότητα του κλάδου. Σκοπός αυτής της ανάλυσης είναι να κατανοήσουμε το επίπεδο ανάπτυξης, τις τάσεις και τις ελλείψεις στην εφαρμογή της τεχνολογίας blockchain στους τομείς της εκπαίδευσης και της διαχείρισης ανθρώπινου δυναμικού. Ο παρακάτω πίνακας φανερώνει μια ολοκληρωμένη εικόνα της τρέχουσας κατάστασης και εξέλιξης του κλάδου. Παράλληλα, η αναφορά σε ελλείψεις μας επιτρέπει να εστιάσουμε σε πιθανές προκλήσεις ή περαιτέρω ανάγκες έρευνας και ανάπτυξης, προσφέροντας προοπτικές για μελλοντική εργασία σε αυτόν τον σημαντικό τομέα.

Διαχωρίζουμε τις ερευνητικές μελέτες και άρθρα σε τρία στάδια υλοποίησης, το πρωτότυπο, το Proof of Concept και την εφαρμογή. Το πρωτότυπο αναφέρεται στην αρχική ιδέα ή τον σχεδιασμό ενός νέου προϊόντος, υπηρεσίας ή τεχνολογίας. Συχνά είναι η πρώτη φάση όπου γίνεται δημιουργική εξερεύνηση, σχεδιασμός και δοκιμές για την εκτίμηση της εφικτότητας της ιδέας. Το Proof of Concept είναι η φάση όπου πραγματοποιούνται πειράματα ή δοκιμές για να αποδείξουν την εφικτότητα και τη λειτουργικότητα μιας ιδέας ή ενός σχεδίου. Στόχος είναι να δείξει ότι η ιδέα μπορεί να λειτουργήσει στην πράξη. Τέλος, η φάση της εφαρμογής αναφέρεται στο στάδιο όπου η ιδέα ή το σχέδιο έχει αναπτυχθεί πλήρως και είναι έτοιμο για εμπορική χρήση ή κυκλοφορία στην αγορά. Σε αυτό το στάδιο, η τεχνολογία ή η υπηρεσία έχει ελεγχθεί, βελτιωθεί και έχει προετοιμαστεί για ευρύτερη διάδοση.

Από τα δεδομένα που παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα είναι εμφανές ότι η πλειονότητα των ευρημάτων ανήκει στον τομέα των πρωτοτύπων και των Proof of Concept. Με 14 πρωτότυπα και 15 μελέτες Proof of Concept, είναι φανερό ότι έχουν επενδυθεί σημαντικές προσπάθειες στη δημιουργία ιδεών και στην επιβεβαίωση της εφικτότητάς τους. Ωστόσο, ο σχετικά μικρός αριθμός των εφαρμογών, που ανέρχεται σε σύνολο 5, υποδηλώνει ένα πιθανό κενό μεταξύ της φάσης της καινοτομίας και του τελικού προϊόντος έτοιμου για την αγορά. Αυτό δείχνει πως, ενώ υπάρχει σημαντική εξερεύνηση και πληθώρα ιδεών, μπορεί να υπάρχει χώρος για βελτιστοποίηση των διαδικασιών για τη μετάφραση αυτών των Proof of Concept σε εφαρμογές έτοιμες για την αγορά. Η βελτίωση της μετάβασης από Proof of Concept στην τελική εφαρμογή αποτελεί προτεραιότητα προκειμένου να ενισχυθεί η ομαλή και γρήγορη ενσωμάτωση της τεχνολογίας blockchain στην αγορά.

Τίτλος	Σύντομη Περιγραφή	Στάδιο Υλοποίησης	Τεχνολογικό Υπόβαθρο
Στην Εκπαίδευση			
Διαχείριση Πιστοποιητικών			
Certificate Transparency Using Blockchain	Σύστημα για την επίλυση ενός προβλήματος ασφαλείας στα τρέχοντα συστήματα έκδοσης πιστοποιητικών SSL/TLS, έτσι ώστε μια αρχή έκδοσης πιστοποιητικών να μην μπορεί να εκδώσει πιστοποιητικό για έναν τομέα χωρίς τη συγκατάθεση ιδιοκτήτη.	Proof of Concept	Hyperledger Fabric
CertLedger: A new PKI model with Certificate Transparency based on blockchain.	Σύστημα με αρχιτεκτονική δημοσίου κλειδιού που δίνει λύση για την αποφυγή split-world επιθέσεων.	Proof of Concept	-
Blockcerts	Πρότυπο ανοιχτού κώδικα για τη δημιουργία, έκδοση, προβολή και επαλήθευση πιστοποιητικών.	Εφαρμογή	Bitcoin, Ethereum
Qualichain	Έργο που διερευνά τα αποκεντρωμένα οφέλη της τεχνολογίας Blockchain, μέσω της ανάπτυξης κώδικα, των πειραμάτων και της αξιολόγησης μιας αποκεντρωμένης πλατφόρμας για την αποθήκευση, τον διαμοιρασμό και την επαλήθευση ικανοτήτων και επιτευγμάτων.	Εφαρμογή	-
Διαχείριση Ικανοτήτων και μαθησιακών αποτελεσμάτων			
A blueprint for a blockchain-based architecture to power a distributed network of tamper-evident learning trace repositories.	Σύστημα στο οποίο οι μαθητές μπορούν να καταγράφουν την εξέλιξη τους σε πολλαπλές μαθησιακές δραστηριότητες. Η κάθε δραστηριότητα είναι χρονικά περιορισμένη και κατά την εκτέλεση της αφήνει μαθησιακά ίχνη, το καθένα εκ των οποίων περιγράφει μια αλληλεπίδραση. Κατά την ολοκλήρωση της δραστηριότητας δημιουργείται ένα μπλοκ (learning block), το οποίο περιέχει όλα τα μετα-δεδομένα σχετικά με την δραστηριότητα.	Πρωτότυπο	Ethereum
Does competency-based education with blockchain signal a new mission for universities?	Λύση βασισμένη στην εκπαίδευση με βάση τις ικανότητες (CBE) και στην σύγκλιση τριών αναδυόμενων τεχνολογιών, της μαθησιακής ανάλυσης, της τεχνητής νοημοσύνης και του blockchain. Το σχέδιο αποτελείται από πέντε στάδια επεξεργασίας δεδομένων, με σκοπό να παρέχει άμεση υποστήριξη και ουσιαστική ανατροφοδότηση.	Proof of Concept	-

Design of Student Capability Evaluation System Merging Blockchain Technology.	Σχεδιασμός συστήματος αξιολόγησης των επαγγελματικών ικανοτήτων των φοιτητών μέσω του αλγορίθμου ομαδοποίησης K-means. Συλλέγονται δεδομένα, όπως οι ακαδημαϊκές επιδόσεις κ.α., για να αναλυθούν προκειμένου να αξιολογηθεί ο μαθητής συνολικά στις ικανότητες του και να παρέχει συμβουλές για την μελλοντική πρόσληψη του.	Πρωτότυπο	-
Smart blockchain badges for data science education.	Σχεδιασμός συστήματος το οποίο μέσω της κατοχής έξυπνων σημάτων προτείνει μια εξατομικευμένη σύσταση για εργασία για κάθε φοιτητή, ανάλογα με τις ικανότητες που διαθέτει.	Πρωτότυπο	-
Education-industry cooperative system based on blockchain.	Πρωτότυπο που στοχεύει στην γεφύρωση της εκπαίδευσης και της αγοράς εργασίας, μέσω ενός συστήματος διαμοίρασης πληροφοριών. Η αρχιτεκτονική του συστήματος χωρίζεται σε τρία επίπεδα, στην αλυσίδα μπλοκ, στην αρχή έκδοσης και στις υπηρεσίες για αυθεντικοποίηση και εξαγωγή πληροφοριών.	Πρωτότυπο	Hyperledger Fabric
Blockchain-based approach to create a model of trust in open and ubiquitous higher education.	Εφαρμογή στην οποία οι μαθητές πρέπει να λύσουν κατάλληλες ασκήσεις και προβλήματα προσαρμοσμένα στις ανάγκες της αγοράς εργασίας. Αν ο μαθητής επιτύχει, αυξάνεται η φήμη του εκπαιδευτή του και ο μαθητής πλέον ανήκει στην ομάδα που επικυρώνει τους υπόλοιπους μαθητές για αυτή την συγκεκριμένη ικανότητα.	Εφαρμογή	Ethereum, JavaScript, MySQL, HTML5
Education application of blockchain technology: Learning outcome and meta-diploma.	Λογισμικό αξιολόγησης βασισμένο σε δύο αλυσίδες μπλοκ, μία για τις ικανότητες των μαθητών και μία για τα μαθήματα που διδάσκονται. Η αλυσίδα ικανοτήτων καταγράφει και επικυρώνει τα μαθησιακά αποτελέσματα και τα επιτεύγματα των μεμονωμένων μαθητών. Η αλυσίδα μαθημάτων επικεντρώνεται στην καταγραφή και επαλήθευση του περιεχομένου και της ποιότητας.	Proof of Concept	PoA (Proof of Accreditation)
Research on online quiz scheme based on double-layer consortium blockchain	Πρόταση ενός συστήματος κοινοπραξίας blockchain διπλού στρώματος, για την διεξαγωγή διαδικτυακών κουίζ. Για κάθε μάθημα δημιουργείται μία ομάδα, στην οποία διαμοιράζονται οι ερωτήσεις. Εφόσον απαντηθούν τα αποτελέσματα δημοσιεύονται και επαληθεύονται εντός της ομάδας. Τέλος, το αρχείο απαντήσεων που επαληθεύεται δημόσια και αποστέλεται στους πλήρεις κόμβους για να αποθηκευτεί στην κύρια αλυσίδα. Με αυτόν τον	Proof of Concept	Ethereum

	τρόπο εξασφαλίζεται η ανωνυμία και η ιχνηλασιμότητα.		
A distributed credit transfer educational framework based on blockchain.	Πλαίσιο για την επαλήθευση ακαδημαϊκών πιστοποιητικών και πιστωτικών μονάδων μαθημάτων ενός φοιτητή εγγεγραμμένου σε ένα πανεπιστήμιο και την ψηφιακή μετάδοση αυτών σε ενδιαφερόμενα μέρη.	Πρωτότυπο	Ark, Proof of Work (PoW)
Διασφάλιση διαφάνειας στο μαθησιακό περιβάλλον			
A blockchain based decentralized platform for ubiquitous learning environment.	Περιγραφή μίας αποκεντρωμένη πλατφόρμα blockchain για μάθηση σε ένα Διαδίκτυο των Πραγμάτων. Στην αποκεντρωμένη αρχιτεκτονική του δικτύου blockchain τα δεδομένα και ο έλεγχος κατανέμονται, μειώνοντας τον αντίκτυπο μιας μεμονωμένης παραβίασης, παρέχοντας έτσι υψηλή ασφάλεια.	Πρωτότυπο	Practical Byzantine Fault Tolerance (PBFT)
Towards blockchain-enabled school information hub.	Σχεδίαση ενός ενιαίου σχολικού δικτύου για τη βελτίωση του μαθησιακού περιβάλλοντος με τη χρήση του blockchain, με σκοπό τη συλλογή, την ανάλυση και την εξαγωγή δεδομένων σχετικά με τα σχολικά συστήματα και στην διαδικασία λήψης αποφάσεων.	Πρωτότυπο	Hyperledger Fabric
A blockchain model for word-learning systems.	Σχεδιασμός εκπαιδευτικού συστήματος blockchain, με σκοπό την διαλειτουργικότητα, την αύξηση διαδραστικότητας, την αλληλεπίδραση από τους χρήστες και την ασφάλεια των δεδομένων. Το σύστημα αποτελείται από ένα ομότιμο δίκτυο στο οποίο τα μπλοκ συνδέονται με τους κόμβους.	Πρωτότυπο	Ethereum, Node.js, InterPlanetary File System (IPFS)
Εξασφάλιση μαθησιακών στόχων			
Connecting decentralized learning records: a blockchain based learning analytics platform.	Σχέδιο για δημιουργία, προσθήκη και ανάκτηση μαθησιακών δεδομένων μέσω blockchain για ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ διαφορετικών συστημάτων διαχείρισης μάθησης, αποθήκες αρχείων μάθησης, ιδρύματα και οργανισμούς.	Πρωτότυπο	Ethereum, Proof of Work (PoW)
Managing lifelong learning records through blockchain.	Το 2018, δημιούργησαν το προτεινόμενο σύστημα με την ονομασία BOLL, με σκοπό την μεταφορά των μαθησιακών επιτευγμάτων ενός μαθητή από ένα εκπαιδευτικό ίδρυμα σε ένα άλλο. Τα δεδομένα από το διαφορετικό μαθησιακό περιβάλλον επιτρέπουν την υλοποίηση ενός ενιαίου γράφου γνώσης που αντιπροσωπεύει τις γνώσεις του μαθητή. Ο προκύπτων γράφος βοηθά τους μαθητές να ανατρέξουν την προόδο τους στις προηγούμενες	Proof of Concept	Ethereum, Proof of Work (PoW)

	μαθησιακές δραστηριότητες που είναι χρήσιμες για τα τρέχοντα/μελλοντικά μαθησιακά καθήκοντα.		
Συναλλαγές πιστωτικών μονάδων και πληρωμή διδάκτρων			
EduCTX: A blockchain-based higher education credit platform.	Πλατφόρμα βασισμένη στο Ευρωπαϊκό Σύστημα Μεταφοράς και Συσώρευσης Πιστωτικών Μονάδων. Αποτελεί ένα παγκοσμίως αξιόπιστο, αποκεντρωμένο ανώτατο σύστημα πιστωτικών μονάδων και βαθμολόγησης της εκπαίδευσης που μπορεί να προσφέρει μια παγκόσμια ενιαία εικόνα για τους φοιτητές και τα ανώτατα εκπαιδευτικά ιδρύματα (ΑΕΙ), καθώς και για άλλους δυνητικούς ενδιαφερόμενους, όπως εταιρείες, ιδρύματα, φορείς και οργανισμούς.	Proof of Concept	Ark, Delegated Proof of Stake (DPoS)
Απόκτηση συγκατάθεσης και κηδεμονία ψηφιακών δεδομένων			
Blockchain for student data privacy and consent.	Πλαίσιο που επιτρέπει στα δημόσια σχολεία να δίνουν δικαιώματα εξουσιοδότησης σε οποιοδήποτε τρίτο φορέα που θα ήθελαν να επισκεφτούν οι μαθητές τους χωρίς να λαμβάνουν τη συγκατάθεση των γονέων κάθε φορά.	Πρωτότυπο	Hyperledger Fabric, Proof of Work (PoW)
Διαχείριση πνευματικών δικαιωμάτων			
Learning System based on Decentralized Learning Model using Blockchain and SNS.	Αποκεντρωμένο σύστημα μάθησης "CHiLO" το οποίο βασίζεται σε ηλεκτρονικά βιβλία. Για την προστασία των πνευματικών δικαιωμάτων και των ιδιοκτησιών των ηλεκτρονικών βιβλίων αναπτύχθηκε ένα νέο σύστημα μάθησης που χρησιμοποιεί blockchain με ειδικά χαρακτηριστικά την ανάρτηση σε σελίδες κοινωνικής δικτύωσης και την πληρωμή μέσω ενός εικονικού νομίσματος.	Πρωτότυπο	Hyperledger Fabric, Mastodon
Εξ' αποστάσεως διδασκαλία και συμμετοχή			
The blockchain and kudos: A distributed system for educational record, reputation and reward.	Ακαδημαϊκό σύστημα αξιολόγησης το οποίο χρησιμοποιεί ως μονάδα το "Kudos", το οποίο μεταφράζεται σε φήμη και απονέμεται είτε με την επιτυχία σε ένα διαγώνισμα είτε με την ολοκλήρωση ενός μαθήματος.	Πρωτότυπο	Ethereum
Design of evaluation system for digital education operational skill competition based on blockchain.	Σύστημα λήψης αποφάσεων για την εξέταση των επαγγελματικών γνώσεων και της εμπειρίας των φοιτητών. Αναπτύχθηκε ένα εικονικό περιβάλλον ηλεκτρονικού εμπορίου, όπου η κάθε ομάδα ήταν υπεύθυνη για ένα ηλεκτρονικό κατάστημα.	Proof of Concept	-

Διεξαγωγή εξετάσεων και βαθμολόγηση			
dAppER: decentralised application for examination review.	Αποκεντρωμένη εφαρμογή για τον έλεγχο εξετάσεων με την ονομασία dAppER. Το dAppER παρέχει έναν αυτοματοποιημένο μηχανισμό διασφάλισης ποιότητας για τις εσωτερικές διαδικασίες που έχουν τεθεί σε εφαρμογή για παραγωγή των εξεταστικών θεμάτων και των αντίστοιχων συστημάτων αξιολόγησης.	Proof of Concept	Hyperledger Fabric
BSSQS: a blockchain based smart and secured scheme for question sharing in the smart education system.	Σύστημα που αξιοποιεί την τεχνολογία blockchain για τον διαμοιρασμό ερωτήσεων. Προτείνεται μια τεχνική κρυπτογράφησης δύο φάσεων για την κρυπτογράφηση του κάθε γραπτού.	Proof of Concept	-
Στην Αγορά Εργασίας			
Επικύρωση πιστοποιητικών και ιστορικού απασχόλησης			
Blockchain Center of Excellence Case Study Series, Re-inventing Talent Acquisition: The SmartResume® Solution.	Η εταιρία iDatafy, σε συνεργασία με το Πανεπιστήμιο του Αρκάνσας, δημιούργησε τα πρώτα πιστοποιημένα με blockchain βιογραφικά σημειώματα. Η εταιρία έχει αναπτύξει την SmartResume, μία αξιόπιστη πλατφόρμα για την εξεύρεση ικανών στελεχών με βάση επαληθευμένα πιστοποιητικά που βασίζονται σε τεχνολογία blockchain	Εφαρμογή	Hyperledger Fabric
Χαρτογράφηση Δεξιοτήτων			
Blockchain-based human resource management practices for mitigating skills and competencies gap in workforce.	Σύστημα ανθρώπινου δυναμικού βασισμένου σε blockchain για την αντιστοίχιση των αναγκών της εταιρείας και των ικανοτήτων του εργατικού δυναμικού με τη συμμετοχή ενός εταιρικού κέντρου κατάρτισης για τον άμβλυση του χάσματος των δεξιοτήτων που απαιτούνται στην εταιρεία.	Proof of Concept	Ethereum
Μισθοδοσία			
A recruitment and human resource management technique using Blockchain technology for industry 4.0.	Σύστημα διαχείρισης προσλήψεων. Ο οργανισμός που χρησιμοποιεί το σύστημα για την πρόσληψη νέων ατόμων λαμβάνει κατάλογο των υποψηφίων. Τα στοιχεία του αιτούντος επικυρώνονται και επαληθεύονται από βάσεις δεδομένων. Δημιουργία προφίλ των υποψηφίων και σύγκριση με	Proof of Concept	-

	την οργανική κενή θέση. Τα στοιχεία των αιτούντων που δεν ταιριάζουν απορρίπτονται και οι υπόλοιποι αιτούντες κατατάσσονται.		
Προστασία Δεδομένων			
A privacy preserving distributed ledger framework for global human resource record management: The blockchain aspect.	Πλαίσιο προστασίας απορρήτου που παρέχει ένα διαφανές σύστημα για τη διαχείριση αρχείων ανθρώπινου δυναμικού, μέσω του οποίου τα αρχεία ανθρώπινου δυναμικού μπορούν να δημιουργηθούν και να επαληθευτούν σε μία κατανεμημένη παγκόσμια πλατφόρμα που θα βοηθούσε στη μείωση της απάτης στην εργασία τόσο από την πλευρά των εργαζομένων όσο και από την πλευρά των εργοδοτών.	Proof of Concept	Hyperledger Fabric, Ethereum
Construction of a Human Resource Sharing System Based on Blockchain Technology.	Σύστημα υπηρεσιών ανταλλαγής δεδομένων ανθρώπινου δυναμικού. Η έρευνα επικεντρώνεται κυρίως στον σχεδιασμό της αρχιτεκτονικής διαμοιρασμού δεδομένων, στην ανάλυση του μηχανισμού συναίνεσης, στον σχεδιασμό έξυπνων συμβάσεων, στη διαδικασία διαμοιρασμού δεδομένων και την κατασκευή αλυσίδας μπλοκ.	Proof of Concept	Hyperledger Fabric, Docker, VUE, Node.js, Go, Delegated Proof of Stake (DPoS)
Human resource information management model based on blockchain technology.	Μοντέλο διαχείρισης πληροφοριών ανθρώπινου δυναμικού με βάση το ιδιωτικό blockchain. Οι ιδιοκτήτες της αλυσίδας είναι επιχειρήσεις και η αλυσίδα είναι ανοικτή στο εσωτερικό προσωπικό και δεν περιορίζεται στη διοίκηση. Έτσι, η αλυσίδα μπορεί να βελτιώσει τη διαφάνεια της διοίκησης συστήματος, ιδίως όσον αφορά την κατάρτιση, την ανάθεση εργασιών, την απόδοση, τον μισθό και τις ευαίσθητες πληροφορίες.	Πρωτότυπο	-
Διαχείριση Επιδόσεων			
Mechanism construction of human resource management based on blockchain technology.	Μηχανισμός διαχείρισης ανθρώπινων πόρων, με στόχο ένα ακριβές, αποτελεσματικό, ανοικτό και διαφανές σύστημα. Η αρχιτεκτονική χωρίζεται σε δύο επίπεδα και συγκεκριμένα σε δύο κόμβους, ενώ λειτουργικό επίπεδο υπάρχουν τρεις υπηρεσίες: υπηρεσία αποθήκευσης πληροφοριών, υπηρεσία αναζήτησης πληροφοριών και υπηρεσία μεταφόρτωσης πληροφοριών.	Πρωτότυπο	Delegated Proof of Stake (DPoS)
Smart human resource management system to maximize productivity.	Έξυπνο σύστημα διαχείρισης ανθρώπινων πόρων που μπορεί να μεγιστοποιήσει την παραγωγικότητα ενός οργανωτικού περιβάλλοντος χρησιμοποιώντας τεχνολογίες μηχανικής μάθησης και blockchain.	Proof of Concept	Ethereum, MetaMask, Web3.js, Infura

Behavioral management for employees based on blockchain and smart contracts.	Μοντέλο διαχείρισης συμπεριφοράς των υπαλλήλων για αξιόπιστα δεδομένα στον εικονικό κυβερνοχώρο. Σκοπός είναι η μοντελοποίηση της περιγραφής της συμπεριφοράς των εργαζομένων και η καθοδήγηση της συμπεριφοράς των εργαζομένων με βάση τις έξυπνες συμβάσεις.	Proof of Concept	-
Συνολικά Αποτελέσματα			
Στάδιο Υλοποίησης			
Πρωτοτύπων			14
Proof Of Concept			15
Εφαρμογών			5
Εφαρμογές στις οποίες έγιναν δοκιμές σε πραγματικούς χρήστες			7

4.2 Προκλήσεις ενσωμάτωσης της αλυσίδας κατανεμημένων εγγραφών στις περιοχές της διπλωματικής

Η ενσωμάτωση της τεχνολογίας blockchain στην εκπαίδευση και τη διαχείριση των ανθρώπινων πόρων υπόσχεται να φέρει επανάσταση σε αυτούς τους κλάδους, ενισχύοντας την ασφάλεια των δεδομένων, τη διαφάνεια και την αποτελεσματικότητα. Ωστόσο, η έναρξη αυτού του ψηφιακού μετασχηματισμού παρουσιάζει εμπόδια και πολυπλοκότητες. Σε αυτή την υποενότητα, εμβαθύνουμε στις προκλήσεις που προκύπτουν όταν επιχειρείται η ενσωμάτωση της τεχνολογίας blockchain στα εκπαιδευτικά ιδρύματα και στα τμήματα ανθρώπινου δυναμικού. Από τις οικονομικές εκτιμήσεις έως τις ανησυχίες για την προστασία της ιδιωτικής ζωής και τη συμμόρφωση με τις κανονιστικές διατάξεις, θα αναλύσουμε τα πολύπλευρα εμπόδια που πρέπει να αντιμετωπιστούν για να αξιοποιηθούν πλήρως τις δυνατότητες του blockchain σε αυτούς τους τομείς. Η κατανόηση και η αντιμετώπιση αυτών των προκλήσεων είναι υψίστης σημασίας για τους ενδιαφερόμενους που επιδιώκουν να εγκαινιάσουν μια νέα εποχή καινοτομίας και εμπιστοσύνης στην εκπαίδευση και τη διαχείριση ανθρώπινου δυναμικού. Οι Mohammad και Vargas [83] χρησιμοποίησαν το πλαίσιο τεχνολογίας, οργάνωσης και περιβάλλοντος (TOE: Technology- Organization and Environment framework) για να περιγράψουν τα εμπόδια που μπορεί να αντιμετωπίσει στην ενσωμάτωση της τεχνολογίας blockchain μία επιχείρηση ή μία οργάνωση. Για την ανάδειξη των προβλημάτων διοργανώθηκαν 14 συνεντεύξεις με άτομα που ανήκουν σε ακαδημαϊκό ή διοικητικό προσωπικό και έχουν εξοικείωση, δηλαδή έχουν συμμετάσχει σε έρευνα ή σε κάποιο έργο σχετικά με το blockchain.

Σε πρώτη φάση, το πλαίσιο αναφέρεται στα τεχνολογικά εμπόδια. Σε αυτή την ενότητα τα προβλήματα που αναδείχθηκαν είναι η ανωριμότητα και η έλλειψη γνώσης, θέματα ασφάλειας, η προστασία της ιδιωτικότητας, η δυσκολία επεκτασιμότητας, η περιορισμένη διαλειτουργικότητα, η πολυπλοκότητα ενσωμάτωσης, η αμεταβλητότητα και έλλειψη ευελιξίας και η μη διαθεσιμότητα. Αρχικά, η πολυπλοκότητα και το σχετικά πρώιμο στάδιο της τεχνολογίας blockchain μπορεί να αποθαρρύνει τους χρήστες που ενδεχομένως δεν διαθέτουν βαθιά κατανόηση της τεχνολογίας. Συνεπώς, απαιτούνται ολοκληρωμένες προσπάθειες εκπαίδευσης και κατάρτισης. Επιπλέον, η ταχεία εξέλιξη των πρωτοκόλλων και των πλατφορμών blockchain μπορεί να οδηγήσει σε προβλήματα συμβατότητας και στην ανάγκη συχνών προσαρμογών, επιδεινώνοντας περαιτέρω την ανησυχία των χρηστών.

Στα προηγούμενα κεφάλαια τονίσαμε την αμεταβλητότητα της αλυσίδας και την χρήση της ως μία δικλείδα ασφαλείας. Ωστόσο, η ίδια η αμεταβλητότητα μπορεί να προκαλέσει ζητήματα, εφόσον όταν οι πληροφορίες έχουν καταγραφεί είναι δύσκολο να τροποποιηθούν ή να διαγραφούν, καθιστώντας τα λάθη και τις κακόβουλες καταχωρίσεις δύσκολο να διορθωθούν. Ακόμα, υπενθυμίζουμε πως αν το σύστημα χρησιμοποιεί αλγόριθμο συναίνεσης Proof of Work και αν ένας χρήστης μπορεί να καταναλώσει πάνω από το 51% της υπολογιστικής ισχύος που απαιτεί το σύστημα, τότε αποκτά τον έλεγχο της αλυσίδας και μπορεί να την αξιοποιήσει κακόβουλα, δηλαδή να την τροποποιήσει.

Γενικότερα, όπως είδαμε στο δεύτερο κεφάλαιο, η τεχνολογία blockchain είναι βασισμένη στην κρυπτογράφηση δημοσίου κλειδιού. Κάποιοι ερωτηθέντες ανέφεραν πως οι χρήστες συχνά δεν προστατεύουν επαρκώς τα ιδιωτικά τους κλειδιά και πως σε περίπτωση απώλειας κλειδιού, δεν μπορεί να γίνει επαλήθευση με συνέπεια να χάσουν την πρόσβαση στα δεδομένα τους. Επιπλέον, η ραγδαία ανάπτυξη των κβαντικών υπολογιστών δημιουργεί ερωτήματα για το μέλλον της τεχνολογίας blockchain, καθώς οι κβαντικοί υπολογιστές έχουν τη δυνατότητα να σπάσουν ορισμένα κρυπτογραφικά συστήματα, ιδίως εκείνα που βασίζονται στην παραγοντοποίηση μεγάλων αριθμών ή στην επίλυση προβλημάτων διακριτού λογαρίθμου [84]. Ήδη έχουν αναπτυχθεί αλγόριθμοι μετακβαντικών κρυπτοσυστημάτων που στοχεύουν στο περιορισμό τέτοιων επιθέσεων.

Η διαφύλαξη της ιδιωτικότητας αποτελεί κρίσιμη πτυχή της τεχνολογίας των blockchain. Ενώ η αλυσίδα μπλοκ προσφέρει διαφάνεια μέσω της αμετάβλητης και αποκεντρωμένης φύσης της, μπορεί επίσης να θέσει προκλήσεις για την προστασία της ιδιωτικής ζωής, ιδίως όταν πρόκειται για ευαίσθητα δεδομένα όπως τα εκπαιδευτικά αρχεία και τα αρχεία ανθρώπινου δυναμικού. Συνήθως τα δεδομένα των συναλλαγών αποθηκεύονται με διαφανή και μόνιμο τρόπο, γεγονός που καθιστά απαραίτητη την επίτευξη ισορροπίας μεταξύ διαφάνειας και ιδιωτικότητας. Οι δημόσιες αλυσίδες μπλοκ, ειδικότερα, μπορούν να εκθέσουν προσωπικές πληροφορίες σε οποιοδήποτε έχει πρόσβαση στην αλυσίδα. Αυτή η εγγενής διαφάνεια μπορεί να έρχεται σε αντίθεση με κανονισμούς προστασίας δεδομένων όπως το GDPR (General Data Protection Regulation 2016/679), οι οποίοι απαιτούν την ανωνυμοποίηση ή τη διαγραφή των προσωπικών δεδομένων.

Μία από τις σημαντικότερες προκλήσεις είναι το κόστος και η έλλειψη υποδομής. Τα εκπαιδευτικά ιδρύματα και τα τμήματα ανθρώπινου δυναμικού, είτε είναι μεγάλα είτε μικρά, έρχονται αντιμέτωπα με την ανάγκη διάθεσης σημαντικών πόρων προς τη δημιουργία και τη συντήρηση του βασικού τεχνολογικού πλαισίου. Μια άλλη σημαντική ανησυχία είναι η έλλειψη διαλειτουργικότητας μεταξύ των πολυάριθμων δικτύων blockchain. Αυτό οφείλεται στην έλλειψη κοινών προτύπων που θα επέτρεπαν σε πολλαπλά δίκτυα να αλληλεπιδρούν μεταξύ τους. Επιπλέον, υπάρχει και το ζήτημα του τρόπου ενσωμάτωσης της τεχνολογίας blockchain με τα ήδη υπάρχοντα συστήματα. Επομένως, το πρόβλημα της διαλειτουργικότητας τίθεται σε διάφορα επίπεδα, όπως μεταξύ των αλυσίδων μπλοκ και δεδομένων, των επιχειρηματικών διαδικασιών, των συστημάτων με διαφορετικούς αλγόριθμους συναίνεσης και μεταξύ των διαφορετικών πλατφόρμων.

Ακόμα, τα εκπαιδευτικά συστήματα συλλέγουν μεγάλες ποσότητες δεδομένων για τους μαθητές και τους σπουδαστές, με αποτέλεσμα την αύξηση των μεγεθών των μπλοκ. Με την αύξηση του αριθμού των μπλοκ, οι συναλλαγές στο blockchain χρειάζονται περισσότερο χρόνο επειδή κάθε συναλλαγή χρειάζεται επαλήθευση από τους ομότιμους κόμβους. Ως εκ τούτου, μια σημαντική τεχνολογική πρόκληση της αλυσίδας μπλοκ, ειδικά για τις δημόσιες αλυσίδες μπλοκ, είναι η τεχνική επεκτασιμότητα του δικτύου, η οποία μπορεί να εμποδίσει τη γενική υιοθέτησή του, όπως συμβαίνει στην περίπτωση με τον τομέα της εκπαίδευσης. Σε σύγκριση με άλλα συστήματα, οι αλυσίδες μπλοκ είναι αργές, με γενικά μεγάλους χρόνους συναλλαγών και περιορισμένη δυνατότητα αποθήκευσης,

γεγονός που θα μπορούσε να να αποτελέσει σημαντικό περιορισμό για την εφαρμογή τους στην εκπαίδευση.

Το ζήτημα της ευχρηστίας θεωρείται ένα από τα κύρια εμπόδια για την ευρεία υιοθέτηση οποιασδήποτε νέας τεχνολογίας και αποτελεί κύριο εμπόδιο και για την τεχνολογία blockchain. Οι ερωτηθέντες της έρευνας των Mohammad και Vargas τόνισαν πως σε ένα εκπαιδευτικό σύστημα θα πρέπει όλο το εκπαιδευτικό προσωπικό να μπορεί να χρησιμοποιούν εύκολα λύσεις που βασίζονται στην αλυσίδα μπλοκ. Συνεπώς, πρέπει να διαθέτουν εύχρηστες διεπαφές και χρήσιμες εργαλεία για τη χρήση και τη διαμόρφωση αυτών των λύσεων. Εμπόδιο για την δημιουργία αυτών των εργαλείων και την κατάλληλη εκπαίδευση του προσωπικού είναι το γεγονός ότι η ορολογία της τεχνολογίας blockchain είναι ακόμη νέα και βρίσκεται υπό ανάπτυξη. Οι χρήστες πρέπει να διαχειριστούν και να κατανοούν έννοιες όπως οι έξυπνες συμβάσεις και τα ιδιωτικά και δημόσια κλειδιά. Η πολυπλοκότητα των ρυθμίσεων, η δυσκολία της ορολογίας, η έλλειψη τεχνικής εμπειρογνομosύνης και το ευρύ φάσμα διαφορετικών προδιαγραφών μπορούν να καταστήσουν πολύ δύσκολο για τους εκπαιδευόμενους και τους εκπαιδευτικούς να κατανοήσουν και να χρησιμοποιήσουν ένα σύστημα βασισμένο στο blockchain. Η χρησιμότητα του blockchain θα πρέπει επομένως να βελτιωθεί μέσω νέων σχεδιαστικών διεπαφών που να ανταποκρίνονται καλύτερα στις ανάγκες των χρηστών, ενώ θα πρέπει να προσφέρεται εκπαίδευση στους φοιτητές, στο ακαδημαϊκό και στο διοικητικό προσωπικό.

Ένα επίσης τεχνολογικό ζήτημα αποτελεί η αποθήκευση και η διαθεσιμότητα των δεδομένων. Στα καθιερωμένα συστήματα, για την διαχείριση των δεδομένων είναι υπεύθυνη η διοίκηση του κάθε τμήματος. Ωστόσο, με την αλυσίδα μπλοκ, όλα τα δεδομένα αποθηκεύονται στην αλυσίδα μπλοκ, γεγονός που μειώνει τις αρμοδιότητες του τμήματος διοίκησης. Λόγω της κατανεμημένης φύσης της αλυσίδας τα δεδομένα αποθηκεύονται σε κάθε ομότιμο κόμβο, γεγονός που καθιστά τα δικαιώματα ιδιοκτησίας των δεδομένων των μαθητών ασαφή. Επιπλέον, διατηρώντας τη διαχείριση των δεδομένων στα χέρια των χρηστών, υπάρχει ο κίνδυνος της μη διαθεσιμότητας, επηρεάζοντας με αυτόν τον τρόπο τις εφαρμογές που βασίζονται σε αυτά τα δεδομένα. Σύμφωνα με τον Γενικό Κανονισμό Προστασίας Δεδομένων (GDPR) για κάθε στοιχείο προσωπικών δεδομένων υπάρχει τουλάχιστον ένα άτομο ή νομικό πρόσωπο, που είναι ο υπεύθυνος επεξεργασίας δεδομένων [85]. Σε περίπτωση προβλημάτων ή ανησυχιών σχετικά με τη χρήση αυτών των δεδομένων, οι ίδιοι οι κατόχοι των δεδομένων έχουν το δικαίωμα να απευθυνθούν στον υπεύθυνο επεξεργασίας για να επιβάλουν τα νομικά τους δικαιώματα, σύμφωνα με την ευρωπαϊκή νομοθεσία περί προστασίας των δεδομένων. Οι αλυσίδες μπλοκ, ωστόσο, διαμοιράζουν αυτόν τον ρόλο σε όλους τους κόμβους του δικτύου, καθιστώντας τον καταμερισμό της ευθύνης και της λογοδοσίας ασαφή. Κατά δεύτερον, σύμφωνα με τον GDPR, είναι απαραίτητο να είναι εφικτή η τροποποίηση ή η διαγραφή δεδομένων, όπου αυτό είναι αναγκαίο για τη συμμόρφωση προς τις νομικές απαιτήσεις. Αυτό, ωστόσο, αποτελεί πρόκληση στην περίπτωση της τεχνολογίας blockchain λόγω της αδυναμίας αλλαγής, λόγω της αδιαβλητότητάς της.

Σε δεύτερη φάση το πλαίσιο αναφέρεται στα οργανωτικά εμπόδια τα οποία διακρίνονται σε τρία επιμέρους θέματα: την έλλειψη επαρκών δεξιοτήτων, τα οικονομικά εμπόδια και την έλλειψη δέσμευσης και υποστήριξης από το διοικητικό προσωπικό. Το blockchain, ως μια νέα τεχνολογία, με δύσκολους όρους απαιτεί βαθιά κατανόηση της λειτουργίας της και των δυνατοτήτων της στο πλαίσιο της εκπαιδευτικής διαδικασίας. Επομένως, πρέπει να παρέχονται κατάρτιση και προγράμματα ενημέρωσης προκειμένου να εξοικειωθούν οι εκπαιδευτικοί με τις διαφορετικές διαστάσεις αυτής της τεχνολογίας και να μπορέσουν να εφαρμόσουν τα καινοτόμα εργαλεία που προσφέρει στην πραγματική εκπαιδευτική διαδικασία.

Ένα από τα μεγαλύτερα εμπόδια που αντιμετωπίζει η ενσωμάτωση της τεχνολογίας είναι τα οικονομικά, τα οποία διαχωρίζονται στο κόστος υποδομής, στην διαχείριση μεγάλων όγκων δεδομένων, το κόστος του χρόνου λόγω των αργών συναλλαγών και το κόστος υπολογιστικής ενέργειας. Καθώς, η τεχνολογία είναι ακόμα πρώιμη, η εισαγωγή μιας νέας λειτουργίας ή χαρακτηριστικού θα σήμαινε ακόμα περισσότερα έξοδα. Ακόμα, δεδομένου ότι ολόκληρη η αλυσίδα μπλοκ πρέπει να αποθηκεύεται σε κάθε κόμβο του δικτύου, οι περισσότερες αλυσίδες μπλοκ έχουν εξαιρετικά υψηλό κόστος αποθήκευσης και κατανάλωσης ενέργειας, λόγω των υπολογιστικών πόρων που απαιτούνται για την εκτέλεση της κρυπτογραφίας. Τα πρωτόκολλα συναίνεσης καταναλώνουν υπερβολική ενέργεια και πόρους, ιδίως σε δημόσιες αλυσίδες μπλοκ. Σύμφωνα με τους Grech κ.α. [7], το 2017, το κόστος 1TB αποθηκευτικού χώρου στην αλυσίδα μπλοκ Ethereum κοστίζει περίπου 6000 ευρώ σε σύγκριση με περίπου 60 ευρώ για έναν σκληρό δίσκο του ίδιου μεγέθους. Επίσης, υποστηρίζουν όσον αφορά την κατανάλωση ενέργειας, μια και μόνο συναλλαγή Bitcoin καταναλώνει 160 kWh ηλεκτρικής ενέργειας, η οποία είναι αρκετή για την τροφοδοσία μιας οικογένειας στις ΗΠΑ για έξι ημέρες.

Επιπλέον, παράγοντες που επηρεάζουν το κόστος είναι τα χαρακτηριστικά της επιδιωκόμενης εφαρμογής, η πολυπλοκότητα, ο τύπος του blockchain που χρησιμοποιείται, την πλατφόρμα blockchain, τον τρόπο με τον οποίο αποτιμώνται τα χαρακτηριστικά της (π.χ. αμετάβλητη, διαθεσιμότητα κ.λπ.). Για παράδειγμα, η αγορά τιμολόγησης συναλλαγών του Ethereum είναι ασταθής, με αποτέλεσμα απροσδόκητες αυξήσεις των τελών συναλλαγών. Ωστόσο, η δημιουργία μιας αποκεντρωμένης εφαρμογής σε μια δημόσια αλυσίδα μπλοκ, όπως το Ethereum, θα είναι πολύ λιγότερο δαπανηρή από τη δημιουργία μιας επιχειρηματικής αλυσίδας μπλοκ σε μια ιδιωτική πλατφόρμα. Κατά τη δημιουργία μιας εφαρμογής blockchain από το μηδέν, το κόστος θα αυξηθεί με την προσθήκη του κόστους για τη βελτίωση της υποδομής, τις έξυπνες συμβάσεις, τα τέλη συναλλαγών, την κρυπτογραφία, τους αλγορίθμους συναίνεσης και άλλα έξοδα.

Στην τρίτη και τελευταία φάση αναλύονται οι περιβαλλοντικοί παράγοντες. Αναμφίβολα, η χρήση της τεχνολογίας blockchain και γενικότερα η εξόρυξη των κρυπτονομισμάτων δαπανούν ένα μεγάλο ποσοστό της παγκόσμιας ενέργειας, όπως επίσης εκπέμπουν μεγάλες ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα. Συγκεκριμένα, οι Kohli κ.α. [86] στην ερευνά τους παρουσίασαν πως η συνολική εκπομπή διοξειδίων του άνθρακα από το Bitcoin και το Ethereum κατατάσσεται στον πίνακα μεταξύ των χωρών με βάση τον ετήσιο

αποτύπωμα άνθρακα τον Ιούλιο του 2021 στην θέση 41. Συγκεκριμένα, το Bitcoin από μόνο του βρίσκεται στην θέση 50, με συνολικούς ρύπους 64.18 MtCO₂, ενώ η Ελλάδα στην θέση 51 με συνολικούς ρύπους 61.60 MtCO₂.

4.3 Μεθοδολογικά Βήματα με σκοπό την περαιτέρω εγκαθίδρυση και επέκταση των blockchain λύσεων

Στο προηγούμενο κεφάλαιο, αναλύσαμε τις προκλήσεις και τα εμπόδια που αντιμετωπίζει η τεχνολογία blockchain στην ενσωμάτωση της στα εκπαιδευτικά ιδρύματα και στα τμήματα ανθρώπινου δυναμικού. Από τα παραπάνω συμπεράσματα εξάγουμε ότι ενώ η τεχνολογία blockchain θεωρείται δυνητικά ανατρεπτική, υπάρχει έλλειψη κατανόησης για την αποτελεσματική εφαρμογή της. Σε αυτό το κεφάλαιο θα προτείνουμε λύσεις για την αντιμετώπιση αυτών των προκλήσεων.

Αναμφίβολα, οι περισσότερες ενέργειες πρέπει να γίνουν στον τομέα της εκπαίδευσης. Χωρίς την κατάλληλη εκπαίδευση, οι ενδιαφερόμενοι φορείς δεν θα μπορούν να κατανοήσουν τη λειτουργία, τα πλεονεκτήματα και τις προκλήσεις της τεχνολογίας blockchain, ούτε να αξιοποιήσουν τις δυνατότητες που προσφέρει για τη βελτίωση της ποιότητας και της αποδοτικότητας των εκπαιδευτικών υπηρεσιών. Επιπλέον, είναι αναγκαία η ένταξη μαθημάτων σε τεχνολογικά πανεπιστήμια, προκειμένου να δοθεί η δυνατότητα στους φοιτητές να αποκτήσουν βασικές και πρακτικές γνώσεις σχετικά με την τεχνολογία blockchain. Τα μαθήματα αυτά θα πρέπει να περιλαμβάνουν τόσο θεωρητική όσο και εφαρμοσμένη προσέγγιση, επιτρέποντας στους φοιτητές να κατανοήσουν σε θεωρητικό επίπεδο την τεχνολογία, αλλά και να αποκτήσουν δεξιότητες για την εφαρμογή της σε πραγματικά προβλήματα και σενάρια χρήσης. Με αυτόν τον τρόπο, η νέα γενιά εκπαιδευμένων επαγγελματιών θα είναι σε θέση να αξιοποιήσει το δυναμικό της τεχνολογίας blockchain και να συμβάλει στην πρόοδο και την καινοτομία σε αυτόν τον τομέα.

Ακόμα, για την ευρύτερη χρήση της τεχνολογίας κρίνεται αναγκαία η δημιουργία ειδικών προγραμμάτων εκπαίδευσης και πιστοποίησης για επαγγελματίες που εργάζονται σε διάφορους κλάδους, εκτός της πληροφορικής. Αυτά τα προγράμματα θα μπορούσαν να προσφέρουν συγκεκριμένες γνώσεις και εξειδικευμένες δεξιότητες για την εφαρμογή της τεχνολογίας blockchain σε διάφορους τομείς, όπως οι χρηματοοικονομικές υπηρεσίες, η υγεία, η αλυσίδα εφοδιασμού και άλλοι. Αυτό θα ενισχύσει την ικανότητά τους να αντιμετωπίζουν τις προκλήσεις και να αξιοποιούν τις ευκαιρίες που προσφέρει η τεχνολογία αυτή. Ωστόσο, ένα φιλικό προς τον χρήστη περιβάλλον είναι απαραίτητο. Η απλοποίηση των εφαρμογών και η διευκόλυνση της χρήσης της τεχνολογίας θα βοηθήσουν στην ευρύτερη υιοθέτησή της από το ευρύ κοινό.

Ένα ακόμη σημαντικό εμπόδιο στην ανάπτυξη και την ευρεία υιοθέτηση της τεχνολογίας blockchain στην εκπαίδευση και στην αγορά εργασίας είναι η αντίσταση στην αλλαγή. Η αντίσταση στην αλλαγή είναι ένα ψυχολογικό και κοινωνικό φαινόμενο που σχετίζεται με την απροθυμία ή την αντίθεση που μπορεί να έχουν τα άτομα ή ομάδες όταν υπάρξουν αλλαγές στο περιβάλλον, στις ρουτίνες, στις διαδικασίες ή στις πεποιθήσεις τους [87,88].

Οι άνθρωποι συχνά αισθάνονται άνετα με καθιερωμένα συστήματα ή τεχνολογίες και μπορεί να αντιστέκονται στην υιοθέτηση νέων προτύπων για διάφορους λόγους, όπως ο φόβος για το άγνωστο, οι κανονιστικές αβεβαιότητες ή στην πρόκληση που ενέχει η αλλαγή παλαιών και εδραιωμένων διαδικασιών. Ασφαλώς, το blockchain είναι μια τεχνολογία που έχει το δυναμικό να ανατρέψει παραδοσιακούς θεσμούς και να αλλάξει τον τρόπο με τον οποίο λειτουργούν πολλοί τομείς. Η αποκεντρωμένη φύση του, που επιτρέπει τις ασφαλείς και διαφανείς συναλλαγές χωρίς την ανάγκη ενδιάμεσων, μπορεί να ανησυχεί ή να προκαλεί αντίσταση σε παραδοσιακούς θεσμούς. Επιπλέον, η πολυπλοκότητα της ενσωμάτωσης της αλυσίδας μπλοκ στις υπάρχουσες υποδομές, σε συνδυασμό με τις ανησυχίες σχετικά με το απόρρητο των δεδομένων και την επεκτασιμότητα, αυξάνει την αντίσταση στην αλλαγή. Η αντίσταση αυτή αποτρέπει την πρόοδο της τεχνολογίας blockchain, καθώς συναντά εμπόδια στην απόκτηση ευρείας αποδοχής, επιβραδύνοντας τελικά την ανάπτυξη και την ευρύτερη εφαρμογή της. Η υπέρβαση αυτής της αντίστασης απαιτεί εκπαίδευση, συνεργασία μεταξύ των ενδιαφερόμενων φορέων, σαφείς περιπτώσεις χρήσης που αποδεικνύουν τα οφέλη της και τη σταδιακή δημιουργία υποστηρικτικών ρυθμιστικών πλαισίων για την ενίσχυση της εμπιστοσύνης και της αποδοχής των δυνατοτήτων του blockchain.

Η επεκτασιμότητα παραμένει μια μόνιμη πρόκληση για την τεχνολογία blockchain, ιδίως όσον αφορά την απόδοση των συναλλαγών και τη συμφόρηση του δικτύου, καθώς περισσότεροι χρήστες εντάσσονται στο δίκτυο. Αυτή η συμφόρηση εμποδίζει την ευρεία υιοθέτηση της αλυσίδας μπλοκ για εφαρμογές μεγάλης κλίμακας. Ωστόσο, η αξιοποίηση σταθερών εφαρμογών σε τοπικό επίπεδο, υποστηριζόμενη από συλλογικές προσπάθειες, παρουσιάζει μια πολλά υποσχόμενη λύση. Εστιάζοντας στην ανάπτυξη και εφαρμογή λύσεων blockchain προσαρμοσμένων σε συγκεκριμένες τοπικές περιπτώσεις χρήσης ή κοινότητες, όπως η διαχείριση της αλυσίδας εφοδιασμού, η επαλήθευση της ταυτότητας, καθίσταται δυνατή η επίδειξη της αποτελεσματικότητας και της αποδοτικότητας του blockchain σε πρακτικά σενάρια.

Οι συνεργατικές προσπάθειες μεταξύ τοπικών επιχειρήσεων, κυβερνήσεων, προγραμματιστών και χρηστών μπορούν να τελειοποιήσουν αυτές τις εφαρμογές, βελτιστοποιώντας τις για επεκτασιμότητα και απόδοση σε ένα ελεγχόμενο περιβάλλον. Αυτές οι τοπικές επιτυχίες χρησιμεύουν ως πρωτότυπα, παρέχοντας πολύτιμες γνώσεις σχετικά με τις προκλήσεις κλιμάκωσης και διευκολύνοντας την ανάπτυξη λύσεων που μπορούν τελικά να εφαρμοστούν ευρύτερα. Επιπλέον, ένα δίκτυο διασυνδεδεμένων τοπικών υλοποιήσεων blockchain μπορεί να συμβάλει σε μια συλλογική διαδικασία μάθησης, επιτρέποντας την ανταλλαγή βέλτιστων πρακτικών και τεχνολογικών εξελίξεων για την αντιμετώπιση ζητημάτων επεκτασιμότητας σε ευρύτερη κλίμακα. Μέσω αυτής της επαναληπτικής και συνεργατικής προσέγγισης, οι λύσεις για την επεκτασιμότητα στην αλυσίδα μπλοκ μπορούν να βελτιωθούν και να επεκταθούν σταδιακά, προωθώντας ένα πιο βιώσιμο και επεκτάσιμο οικοσύστημα αλυσίδας μπλοκ.

Όπως είδαμε και στο προηγούμενο κεφάλαιο, ο αποκεντρωμένος και αμετάβλητος χαρακτήρας της τεχνολογίας blockchain δημιουργεί ορισμένες προκλήσεις όσον αφορά την τήρηση των απαιτήσεων του Γενικού Κανονισμού για την Προστασία των Δεδομένων

(GDPR), οδηγώντας σε πιθανές συγκρούσεις [89]. Ένα από τα προβλήματα είναι το δικαίωμα στην λήθη και η αποδοχή των μηδενικών τιμών. Τα παραπάνω παρουσιάζουν σημαντικές προκλήσεις λόγω της εγγενούς αμεταβλητότητας και των αρχών ακεραιότητας της τεχνολογίας. Η αμετάβλητη φύση του blockchain καθιστά δύσκολη την αποδοχή μηδενικών τιμών εντός της δομής δεδομένων. Συνήθως, οι μηδενικές τιμές αντιπροσωπεύουν ελλείποντα ή άγνωστα δεδομένα, αλλά μόλις οι πληροφορίες προστεθούν σε ένα blockchain, καθίστανται μόνιμες. Η αποδοχή μηδενικών τιμών θα μπορούσε να διαταράξει την ακεραιότητα της αλυσίδας μπλοκ, καθώς έρχεται σε αντίθεση με την αρχή της διατήρησης ενός αμετάβλητου ledger. Οι λύσεις θα μπορούσαν να περιλαμβάνουν αποθήκευση δεδομένων εκτός αλυσίδας ή τιμές placeholder που υποδηλώνουν τα δεδομένα που λείπουν, αλλά αυτές οι προσεγγίσεις μπορεί να θέσουν σε κίνδυνο την αμετάβλητη φύση που καθιστά το blockchain ασφαλές και αξιόπιστο. Παράλληλα, ο GDPR και παρόμοιοι κανονισμοί παρέχουν στα άτομα το δικαίωμα να διαγραφούν ή να λήξουν τα προσωπικά τους δεδομένα υπό ορισμένες προϋποθέσεις. Ωστόσο, η εφαρμογή μηχανισμών λήξης σε ένα πλαίσιο blockchain είναι περίπλοκη λόγω της αμετάβλητης φύσης του. Η ενεργοποίηση της λήξης των δεδομένων έρχεται σε σύγκρουση με τον θεμελιώδη σχεδιασμό της αλυσίδας μπλοκ, όπου τα δεδομένα προορίζονται να παραμένουν αμετάβλητα μόλις προστεθούν στην αλυσίδα. Αυτό δημιουργεί προκλήσεις όσον αφορά τη συμμόρφωση με τους κανονισμούς, ενώ παράλληλα διασφαλίζεται η ακεραιότητα του blockchain.

Ωστόσο, έχουν εξερευνηθεί λύσεις για το πρόβλημα της αμεταβλητότητας και για τον έλεγχο για την αποθήκευση προσωπικών δεδομένων. Μία από αυτές είναι η δημιουργία μίας αρχιτεκτονικής στην οποία τα προσωπικά δεδομένα θα αποθηκεύονται ξεχωριστά σε βάσεις δεδομένων που είναι σύμφωνες με το GDPR, ενώ παράλληλα χρησιμοποιείται η αλυσίδα μπλοκ για την καταγραφή των μεταδεδομένων των συναλλαγών. Μια εναλλακτική λύση είναι τα δεδομένα να αποθηκεύονται στην αλυσίδα κρυπτογραφημένα και η πρόσβαση σε αυτά να ελέγχεται με τον διαμοιρασμό των κατάλληλων κλειδιών. Με αυτόν τον τρόπο διασφαλίζεται ότι μόνο τα εξουσιοδοτημένα μέρη μπορούν να έχουν πρόσβαση σε προσωπικά δεδομένα. Ωστόσο, το blockchain ως μια νεά και ακόμα εξελισσόμενη τεχνολογία ενδέχεται να δημιουργήσει καινούργιες συγκρούσεις με τους υπάρχοντες νόμους. Για αυτό μία ουσιαστική λύση θα ήταν η δημιουργία εργαλείων διακυβέρνησης και συμμόρφωσης blockchain, ώστε να επιτευχθεί συμμόρφωση οικοσυστημάτων blockchain με τον GDPR [90].

Για να δομηθούν σωστά οι απαιτήσεις και να δοκιμαστεί ή δημιουργηθεί ένα οικοσύστημα γύρω από ένα τυποποιημένο πρότυπο όπως το Hyperledger Fabric, απαιτούνται διάφοροι ενδιαφερόμενοι φορείς (stakeholders) με διαφορετικές εμπειρίες και τομείς εφαρμογής. Συγκεκριμένα, είναι σημαντική η συμβολή εταιριών και οργανισμών προκειμένου να δημιουργηθούν πρακτικές λύσεις που ικανοποιούν τις επιχειρηματικές τους ανάγκες. Οι εταιρείες που προσφέρουν λύσεις blockchain, συμπεριλαμβανομένων των προγραμματιστών λογισμικού, των παρόχων πλατφορμών και των συμβούλων τεχνολογίας, προσφέρουν κρίσιμες πληροφορίες σχετικά με τις τεχνικές δυνατότητες, τους περιορισμούς και τις δυνατότητες καινοτομίας. Η συμμετοχή τους διασφαλίζει ότι το πρότυπο παραμένει εφικτό και προσαρμόσιμο στις εξελισσόμενες

τεχνολογίες. Ακόμα, η ακαδημαϊκή κοινότητα συνεισφέρει θεωρητικές γνώσεις, ερευνητικά ευρήματα και πιθανές μακροπρόθεσμες συνέπειες, διασφαλίζοντας ότι το πρότυπο συνάδει με τις εκπαιδευτικές απαιτήσεις. Επιπλέον, σαφώς και θα πρέπει να είναι ενεργοί και οι κυβερνητικοί και ρυθμιστικοί φορείς ώστε να διασφαλιστεί η συμμόρφωση με το νομικό πλαίσιο. Συνεπώς, το πρότυπο θα πληροί τις κανονιστικές απαιτήσεις, ενισχύοντας έτσι την εμπιστοσύνη και την αποδοχή στον κλάδο.

Ένας από τους κυριότερους λόγους για τους οποίους είναι σημαντική η άμεση ένταξη της τεχνολογίας blockchain στα σημερινά συστήματα είναι η αύξηση των πλαστών διπλωμάτων, πιστοποιητικών και ακαδημαϊκών τίτλων σπουδών. Σύμφωνα με τους Attewell και Domina, το 2011, στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής, το 6% των πτυχίων προπτυχιακών σπουδών ήταν πλαστογραφημένα [91]. Το φαινόμενο αυτό αποτελεί σημαντική απειλή όχι μόνο για την αξιοπιστία των εκπαιδευτικών ιδρυμάτων αλλά και για την ακεραιότητα του ακαδημαϊκού και του επαγγελματικού χώρου. Επιπλέον, συχνή είναι και η εμφάνιση διαδικτυακών πλατφορμών που προσφέρουν πλαστά διπλώματα, επιτρέποντας την κατασκευή ακαδημαϊκών επιτευγμάτων με ευκολία. Αυτά τα πλαστά έγγραφα μιμούνται τα αυθεντικά πιστοποιητικά, που συχνά φέρουν τις σφραγίδες και τις υπογραφές φημισμένων εκπαιδευτικών ιδρυμάτων, εξαπατώντας εργοδότες και ιδρύματα που βασίζονται σε αυτά τα πιστοποιητικά για επαλήθευση.

Η ανάγκη για ένα αξιόπιστο και πιστοποιημένο προφίλ φοιτητή δεν ήταν ποτέ τόσο κρίσιμη όσο τώρα. Η αυθεντικότητα των εκπαιδευτικών προσόντων είναι απαραίτητη όχι μόνο για την προσωπική αξιοπιστία αλλά και για τη διασφάλιση δίκαιων όρων ανταγωνισμού για όλους τους υποψηφίους. Οι φοιτητές επενδύουν σημαντικό χρόνο, προσπάθεια και πόρους για να αποκτήσουν νόμιμα το πτυχίο τους. Ωστόσο, η επικράτηση των πλαστών πτυχίων υπονομεύει άδικα τα επιτεύγματα των φοιτητών που εργάστηκαν επιμελώς για να αποκτήσουν τα προσόντα τους. Επιπλέον, ο αντίκτυπος των πλαστών διπλωμάτων επεκτείνεται πέρα από τους μαθητές και στους εργοδότες που βασίζονται στα εκπαιδευτικά πιστοποιητικά ως σημείο αναφοράς για τις αποφάσεις πρόσληψης. Η πρόσληψη με βάση ψευδή προσόντα μπορεί να οδηγήσει σε επιζήμιες συνέπειες για τις επιχειρήσεις, συμπεριλαμβανομένης της πρόσληψης μη ικανών ατόμων που δεν διαθέτουν τις απαραίτητες δεξιότητες ή γνώσεις που απαιτούνται για τη θέση εργασίας. Αυτό δεν επηρεάζει μόνο την παραγωγικότητα, αλλά εγκυμονεί και πιθανούς κινδύνους για τη φήμη και την επιτυχία της εταιρείας. Η χρήση πλαστών διπλωμάτων όχι μόνο θέτει σε κίνδυνο την ακεραιότητα του εκπαιδευτικού συστήματος, αλλά και δημιουργεί ένα περιβάλλον δυσπιστίας. Οι εργοδότες αντιμετωπίζουν προκλήσεις στην επαλήθευση της γνησιότητας των τίτλων σπουδών, γεγονός που οδηγεί σε αυξημένο σκεπτικισμό και στην ανάγκη για αυστηρότερες διαδικασίες επαλήθευσης, αυξάνοντας το διοικητικό φόρτο και τις καθυστερήσεις στις προσλήψεις.

Στα προηγούμενα κεφάλαια δείξαμε πως μέσω του blockchain, τα πτυχία και τα εκπαιδευτικά πιστοποιητικά μπορούν να ενσωματωθούν σε ένα ασφαλές, ανεξάρτητο και διαφανές σύστημα. Αυτό επιτρέπει στους φοιτητές να έχουν ένα ψηφιακό αποτύπωμα των εκπαιδευτικών τους επιτευγμάτων το οποίο μπορεί να επαληθευτεί εύκολα και να είναι διαθέσιμο σε πιθανούς εργοδότες ή εκπαιδευτικά ιδρύματα. Επομένως, σημαντική θα ήταν η συνεργασία εκπαιδευτικών ιδρυμάτων, οι εργοδοτών και αρμόδιων αρχών προκειμένου να δημιουργηθεί μία εννιαία εφαρμογή επαλήθευσης πιστοποιητικών.

Από τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα εξάγουμε επίσης ότι ένα μεγάλο πλήθος αυτών, συγκεκριμένα 9, χρησιμοποιεί το Hyperledger Fabric. Το Hyperledger Fabric έχει διαδραματίσει σημαντικό ρόλο στην προώθηση των εφαρμογών blockchain σε διάφορους κλάδους. Η αρχιτεκτονική του παρέχει ευελιξία και προσαρμογή, ενώ επιτρέπει στις επιχειρήσεις να δημιουργούν ιδιωτικά, εξουσιοδοτημένα δίκτυα προσαρμοσμένα στις συγκεκριμένες ανάγκες τους, καθιστώντας το κατάλληλο για διάφορες περιπτώσεις χρήσης στον κλάδο. Η δυνατότητα επιλογής μηχανισμών συναίνεσης, πολιτικών έγκρισης και γλωσσών έξυπνων συμβολαίων παρέχει στους προγραμματιστές την ευελιξία να σχεδιάζουν λύσεις που ευθυγραμμίζονται με τις απαιτήσεις τους. Επιπλέον, προωθεί τη διαλειτουργικότητα και τη συνεργασία μεταξύ διαφορετικών έργων και πλατυσίων blockchain και επιτρέπει την ενσωμάτωση με άλλα έργα Hyperledger και ακόμη και με τεχνολογίες μη Hyperledger, ενισχύοντας την ευελιξία του σε σύνθετα επιχειρηματικά οικοσυστήματα. Παρόλο που το Hyperledger Fabric μπορεί να μην είναι ένα καθολικά αποδεκτό πρότυπο λόγω της ποικιλομορφίας των τεχνολογιών blockchain, έχει καθιερωθεί ως κορυφαία πλατφόρμα για επιχειρηματικές λύσεις blockchain. Η συνεχής ανάπτυξή του, τα ισχυρά χαρακτηριστικά του και η εστίασή του στην αντιμετώπιση των αναγκών των επιχειρήσεων έχουν συμβάλει σημαντικά στην υιοθέτηση και την πρόοδο των εφαρμογών blockchain σε διάφορους κλάδους. Επομένως, τα παραπάνω δείχνουν πως η δημιουργία ενός τυποποιημένου προτύπου θα προωθούσε ακόμη μεγαλύτερη ανάπτυξη και υιοθέτηση των εφαρμογών blockchain στην εκπαίδευση και στην αγορά εργασίας.

Όπως είδαμε και στο πρώτο κεφάλαιο, έχουν αναπτυχθεί αρκετοί αλγόριθμοι συναίνεσης, ο καθένας με τα δικά του πλεονεκτήματα και περιορισμούς. Ανάλογα με την εφαρμογή blockchain που θέλουμε να σχεδιάσουμε επιλέγουμε τον πιο ταιριαστό αλγόριθμο. Για παράδειγμα αν χρειαζόμασταν κάποιον δοκιμασμένο και εύκολο στην συντήρηση αλγόριθμο, θα επιλέγαμε τον Proof Of Work. Ωστόσο, το μεγαλύτερο μειονέκτημα του είναι η δυσκολία επεκτασιμότητας και η μεγάλη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας και υπολογιστικών πόρων. Επομένως, οι πιο πρόσφατες εφαρμογές επιλέγουν έναν πιο ενεργειακά αποδοτικό αλγόριθμο όπως ο Proof Of Stake. Από τα αποτελέσματα που παρουσιάσαμε φαίνεται πως οι περισσότερες εφαρμογές, από αυτές που ανέφεραν τον αλγόριθμο συναίνεσης που χρησιμοποιούν είτε Proof Of Work, λόγω της διασημοτητάς του, είτε Delegated Proof Of Stake, για εξοικονόμηση ενέργειας.

Το θεωρούμενο υψηλό κόστος της αλυσίδας μπλοκ δεν είναι εγγενές πρόβλημα, αλλά εξαρτάται από την προληπτική ανάληψη πρωτοβουλιών. Ενώ η εφαρμογή της τεχνολογίας blockchain μπορεί να συνεπάγεται αρχικές επενδύσεις, το κόστος αυτό θα πρέπει να θεωρηθεί ως στρατηγική επένδυση και όχι ως εμπόδιο. Τα δυνητικά οφέλη από την ενισχυμένη ασφάλεια, τη διαφάνεια και την αποτελεσματικότητα μπορούν να αντισταθμίσουν σημαντικά τα αρχικά έξοδα. Οι οργανισμοί που αναλαμβάνουν ενεργά καλά σχεδιασμένες πρωτοβουλίες, μπορούν να αμβλύνουν αποτελεσματικά τις ανησυχίες που σχετίζονται με το κόστος του blockchain. Με την ιεράρχηση των μακροπρόθεσμων πλεονεκτημάτων και την ευθυγράμμιση αυτών των επενδύσεων με τους οργανωτικούς στόχους, η δαπάνη που συνδέεται με την υιοθέτηση της αλυσίδας μπλοκ γίνεται ένα

υπολογισμένο βήμα προς την προώθηση της καινοτομίας και της ανθεκτικότητας στο εξελισσόμενο ψηφιακό τοπίο.

Η χρηματοδότηση είναι καθοριστικής σημασίας για την προώθηση της αλυσίδας μπλοκ για διάφορους λόγους. Πρώτον, η τεχνολογία blockchain είναι σχετικά νέα και απαιτεί εκτεταμένη έρευνα, ανάπτυξη και δοκιμές για την τελειοποίηση των δυνατοτήτων της και τη διασφάλιση της επεκτασιμότητας, της ασφάλειας και της αποτελεσματικότητας. Αυτό απαιτεί οικονομικούς πόρους για την υποστήριξη εξειδικευμένων επαγγελματιών, υποδομών και τεχνολογικών εξελίξεων. Επιπλέον, η προώθηση της αλυσίδας μπλοκ περιλαμβάνει την εκπαίδευση των επιχειρήσεων, των κυβερνήσεων και του κοινού σχετικά με τα δυνητικά οφέλη της και την ενθάρρυνση της υιοθέτησής της. Η χρηματοδότηση είναι απαραίτητη για τη δημιουργία ευαισθητοποίησης, τη δημιουργία περιπτώσεων χρήσης και την επίδειξη πραγματικών εφαρμογών, η οποία συχνά περιλαμβάνει μάρκετινγκ, εκδηλώσεις και συνεργασίες. Επιπλέον, η χρηματοδότηση διευκολύνει τη δημιουργία ρυθμιστικών πλαισίων και προτύπων που μπορούν να παρέχουν ένα σταθερό και ευνοϊκό περιβάλλον για την καινοτομία blockchain. Χωρίς επαρκή χρηματοδότηση, η πρόοδος και η ευρεία αποδοχή της τεχνολογίας blockchain μπορεί να μείνει στάσιμη, περιορίζοντας το μετασχηματιστικό δυναμικό της σε διάφορους τομείς.

Συνοψίζοντας, η διερεύνηση του blockchain στον τομέα της εκπαίδευσης και στην αγορά εργασίας αποκαλύπτει ένα τοπίο που χαρακτηρίζεται από διάφορες πρωτοβουλίες, ωστόσο η αποτελεσματικότητα αυτών των δράσεων παραμένει σε μεγάλο βαθμό αναπόδεικτη. Παρά τα σημαντικά βήματα που έχουν γίνει για την εφαρμογή του blockchain σε διάφορους τομείς, τα αποτελέσματα φαίνεται να ποικίλλουν, αφήνοντας τον πλήρη αντίκτυπο αυτής της τεχνολογίας αβέβαιο. Ο σποραδικός χαρακτήρας αυτών των προσπαθειών τονίζει την ανάγκη για μια πιο συντονισμένη και βιώσιμη προσέγγιση. Από τα παραπάνω εξάγουμε ότι η συνεργασία, η συνεχής χρηματοδότηση, η εμπιστοσύνη και η περαιτέρω έρευνα στο πεδίο είναι απαραίτητες για την αποκάλυψη των πραγματικών δυνατοτήτων του blockchain. Αυτά τα στοιχεία αποτελούν βασικές προϋποθέσεις για να αξιολογήσουμε και να εκμεταλλευτούμε πλήρως τις δυνατότητες αυτής της τεχνολογίας.

Κεφάλαιο 5: Συμπεράσματα

5.1 Σύνοψη και συμπεράσματα εργασίας

Στο κεφάλαιο αυτό, ανακεφαλαιώνονται τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την παρούσα διπλωματική εργασία. Ο κύριος στόχος ήταν να πραγματοποιηθεί μια λεπτομερής βιβλιογραφική μελέτη σχετικά με την εφαρμογή της τεχνολογίας blockchain στον τομέα της εκπαίδευσης και στην αγορά εργασίας. Για τον σκοπό αυτό, αναλύσαμε λεπτομερώς 34 επιστημονικές δημοσιεύσεις, ταξινομώντας τις σύμφωνα με τις κατηγορίες που έχουμε ξεχωρίσει. Στο τέταρτο κεφάλαιο, παρουσιάσαμε τα αποτελέσματα σε μορφή πίνακα, κατηγοριοποιώντας την πρόοδο των επιστημονικών δημοσιεύσεων σε τρεις βασικές κατηγορίες: Πρωτότυπα, Proof of Concept και Εφαρμογές. Μέσα από τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα, προέκυψε ότι η συνολική βιβλιογραφία που εξετάσαμε αποτελούνταν από 14 πρωτότυπα, 15 μελέτες Proof of Concept και 5 εφαρμογές. Ο σχετικά μικρός αριθμός των εφαρμογών, που φτάνει τις 5, υποδηλώνει ένα πιθανό κενό μεταξύ της φάσης καινοτομίας και της παραγωγής έτοιμων προϊόντων για την αγορά. Ο μικρός αριθμός εφαρμογών που υπάρχει στην αγορά υποδηλώνει ότι υπάρχει ένα κενό μεταξύ της φάσης καινοτομίας και της επιτυχημένης προώθησης έτοιμων προϊόντων στην αγορά.

Από τις εφαρμογές που ερευνήσαμε, μόνο η Qualichain προσέφερε εκτενείς πληροφορίες σχετικά με τα πιλοτικά προγράμματα που διεξάχθηκαν. Στην εφαρμογή που ανέπτυξαν οι Lizcano κ.α., παρουσιάστηκε μια σημαντική μελέτη περίπτωσης με τη συμμετοχή 80 μαθητών. Όσον αφορά τις υπόλοιπες εφαρμογές που εξετάσαμε, δεν παρείχαν επαρκείς πληροφορίες σχετικά με πειράματα ή δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν κατά την ανάπτυξη τους.

Παρατηρούμε επίσης τη σημαντική έλλειψη αναφοράς για την εφαρμογή Blockcerts. Παρά το ότι αυτή η εφαρμογή είναι διαδεδομένη και αναγνωρίσιμη στον χώρο της εκπαίδευσης, δεν παρέχει ανοικτά τα αποτελέσματα και τη μελέτη πίσω από αυτήν. Η απουσία ανοικτών πληροφοριών δυσκολεύει την κατανόηση των αποτελεσμάτων και περιορίζει τη δυνατότητα περαιτέρω διάδοσης της ενσωμάτωσης της αλυσίδας κατανεμημένων εγγραφών σε εφαρμογές στον τομέα της εκπαίδευσης.

Η ενσωμάτωση της τεχνολογίας blockchain στην εκπαίδευση και τη διαχείριση ανθρώπινων πόρων φαίνεται να αντιμετωπίζει διάφορα εμπόδια. Συγκεκριμένα, εμπόδια που εντοπίσαμε αποτελούν η τεχνολογική ανωριμότητα, η έλλειψη γνώσης και ευχρηστίας, η ανησυχία για την ιδιωτικότητα, η περιορισμένη επεκτασιμότητα, και η έλλειψη διαλειτουργικότητας. Εκτός από αυτά, υπάρχουν και προκλήσεις όπως το κόστος, η έλλειψη υποδομής, η ανάγκη εκπαίδευσης, τα ζητήματα ασφάλειας και η δυσκολία ενσωμάτωσης με τα υπάρχοντα συστήματα. Σε οργανωτικό επίπεδο, αντιμετωπίζονται προκλήσεις όπως η έλλειψη δεξιοτήτων, οικονομικά εμπόδια, και έλλειψη δέσμευσης. Τα οικονομικά αποτελούν σημαντικό εμπόδιο, με υψηλές δαπάνες για υποδομή, αποθήκευση δεδομένων και ενέργεια που εμποδίζουν την υιοθέτηση. Τέλος, οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις της εξόρυξης κρυπτονομισμάτων, όπως του Bitcoin και του Ethereum, αποτελούν επίσης πρόκληση.

Για την αντιμετώπιση αυτών των προκλήσεων, μερικά βήματα που προτείνουμε είναι η κατάλληλη εκπαίδευση για την κατανόηση της λειτουργικότητας, των πλεονεκτημάτων και των προκλήσεών της. Επιπλέον, η δημιουργία προγραμμάτων και προγράμματος σπουδών προκειμένου να αποκτηθούν οι δεξιότητες για την ανάπτυξη blockchain εφαρμογών και οι γνώσεις για την σωστή χρήση τους. Επιπλέον, θεωρούμε αναγκαία την δημιουργία νομικών πλαισίων για την συμφωνία με τον Γενικό Κανονισμό για την Προστασία των Δεδομένων (GDPR). Προτείνονται λύσεις όπως η αποθήκευση δεδομένων εκτός αλυσίδας, λόγω της ανάγκης για δικαίωμα στη λήθη και τη διαγραφή δεδομένων. Ακόμα η συνεργασία εταιρειών, της ακαδημαϊκής κοινότητας και των κυβερνητικών φορέων θα ενισχύσει την ανάπτυξη προτύπων που πληρούν τις απαιτήσεις όλων των ενδιαφερομένων, δημιουργώντας ένα βιώσιμο οικοσύστημα blockchain.

Η ανάγκη για ένα αξιόπιστο προφίλ φοιτητή είναι ζωτική, όχι μόνο για την προσωπική αξιοπιστία, αλλά και για τη δίκαιη αξιολόγηση των υποψηφίων. Η χρήση πλαστών πτυχίων επηρεάζει όχι μόνο τους φοιτητές, αλλά και τους εργοδότες, με δυνητικά αρνητικά αποτελέσματα για την παραγωγικότητα και τη φήμη των επιχειρήσεων. Η τεχνολογία blockchain παρέχει ψηφιακά αποτυπώματα για εκπαιδευτικά πιστοποιητικά, επιτρέποντας εύκολη επαλήθευση και πρόσβαση για πιθανούς εργοδότες. Η συνεργασία μεταξύ εκπαιδευτικών ιδρυμάτων, εργοδοτών και αρμόδιων αρχών είναι ουσιώδης για τη δημιουργία ενός ενιαίου συστήματος επαλήθευσης πιστοποιητικών. Παρά το αρχικό κόστος, η εφαρμογή της τεχνολογίας blockchain θεωρείται στρατηγική επένδυση με δυνητικά οφέλη σε ασφάλεια, διαφάνεια και αποτελεσματικότητα. Ως νέα τεχνολογία απαιτούνται οικονομικοί πόροι για έρευνα, ανάπτυξη, και εκπαίδευση, ενώ η χρηματοδότηση είναι ουσιώδης για τη δημιουργία ευαισθητοποίησης και προώθησης.

Βιβλιογραφία

- [1] Krause, Solvej Karla; Natarajan, Harish; Gradstein, Helen Luskin. Distributed Ledger Technology (DLT) and blockchain (English). FinTech note, no. 1 Washington, D.C.: World Bank Group.
<http://documents.worldbank.org/curated/en/177911513714062215/Distributed-Ledger-Technology-DLT-and-blockchain>
- [2] Nakamoto, S. (2008). Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System.
- [3] Chen Y-C, Chou Y-P, Chou Y-C. An Image Authentication Scheme Using Merkle Tree Mechanisms. *Future Internet*. 2019; 11(7):149. <https://doi.org/10.3390/fi11070149>
- [4] Narayanan, A., Bonneau, J., Felten, E., Miller, A., & Goldfeder, S. (2016). Bitcoin and cryptocurrency technologies: a comprehensive introduction. Princeton University Press.
- [5] Nofer, M., Gomber, P., Hinz, O. et al. Blockchain. *Bus Inf Syst Eng* 59, 183–187 (2017). <https://doi.org/10.1007/s12599-017-0467-3>
- [6] Zheng, Zhibin & Xie, Shaoan & Dai, Hong-Ning & Chen, Xiangping & Wang, Huaimin. (2018). Blockchain challenges and opportunities: A survey. *International Journal of Web and Grid Services*. 14. 352. 10.1504/IJWGS.2018.095647.
- [7] Grech, A. (2017). Blockchain in Education. Joint Research Centre (JRC), the European Commission. <https://doi.org/10.2760/60649>
- [8] Nakov, S. (n.d.). Digital signatures. CryptoBook. Retrieved March 23, 2023, from <https://cryptobook.nakov.com/digital-signatures>.
- [9] D. Mingxiao, M. Xiaofeng, Z. Zhe, W. Xiangwei and C. Qijun, "A review on consensus algorithm of blockchain," 2017 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC), Banff, AB, Canada, 2017, pp. 2567-2572, doi: 10.1109/SMC.2017.8123011.
- [10] Ferdous, Md. Sadek & Chowdhury, Mohammad & Hoque, Mohammad & Colman, Alan. (2020). Blockchain Consensus Algorithms: A Survey.
- [11] E. Deirmentzoglou, G. Papakyriakopoulos and C. Patsakis, "A Survey on Long-Range Attacks for Proof of Stake Protocols," in *IEEE Access*, vol. 7, pp. 28712-28725, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2901858.
- [12] Myles Snider, Kyle Samani, and Tushar Jain. Delegated proof of stake: features & tradeoffs. *Multicoins*, 19, 2018.
- [13] NEM Project (n.d.). What is Proof-of-Importance (POI)?. NEM Documentation. Retrieved May 16, 2023, from <https://nemproject.github.io/nem-docs/pages/Concepts/what-is-poi/docs.en.html>
- [14] Sharma, S., & Sharma, R. (2021). Consensus Methods: Analyzation for Blockchain Technology, doi: 10.56452/2021SP-8-037

- [15] Chen, Lin & Xu, Lei & Shah, Nolan & Gao, Zhimin & Lu, Yang & Shi, Weidong. (2017). On Security Analysis of Proof-of-Elapsed-Time (PoET). 282-297. 10.1007/978-3-319-69084-1_19.
- [16] De Angelis, Stefano, Aniello, Leonardo, Baldoni, Roberto, Lombardi, Federico, Margheri, Andrea and Sassone, Vladimiro (2018). PBFT vs proof-of-authority: applying the CAP theorem to permissioned blockchain. Italian Conference on Cyber Security, Milan, Italy.
- [17] Iddo Bentov, Charles Lee, Alex Mizrahi, and Meni Rosenfeld (2014). Proof of Activity: Extending Bitcoin's Proof of Work via Proof of Stake [Extended Abstract]. SIGMETRICS Perform. Eval. Rev. 42, 3 (December 2014), 34–37.
<https://doi.org/10.1145/2695533.2695545>
- [18] Guegan, D. (2017). Public blockchain versus private blockhain. (halshs-01524440f)
- [19] Dib, O., Brousmiche, K. L., Durand, A., Thea, E., & Hamida, E. B. (2018). Consortium blockchains: Overview, applications and challenges. *Int. J. Adv. Telecommun*, 11(1), 51-64.
- [20] Alkhateeb A, Catal C, Kar G, Mishra A. Hybrid Blockchain Platforms for the Internet of Things (IoT): A Systematic Literature Review. *Sensors*. 2022; 22(4):1304.
<https://doi.org/10.3390/s22041304>
- [21] Tretina, K. (2023, 4 4). Top 10 Cryptocurrencies Of 2023. Retrieved from Forbes: <https://www.forbes.com/advisor/investing/cryptocurrency/top-10-cryptocurrencies/>
- [22] Bitcoin Average. Bitcoin price index chart. Retrieved April 17, 2023, from <https://bitcoinaverage.com/en/bitcoin-price/btc-to-eur-chart>.
- [23] Taherdoost H. Non-Fungible Tokens (NFT): A Systematic Review. *Information*. 2023; 14(1):26. <https://doi.org/10.3390/info14010026>
- [24] Fridgen, Gilbert and Kraeussl, Roman and Papageorgiou, Orestis and Tugnetti, Alessandro, The Fundamental Value of Art NFTs (February 2, 2023). Center for Financial Studies Working Paper No. 709, 2023, <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4337173>
- [25] Block, F. (2021, 12 7). PAK's NFT Artwork 'The Merge' Sells for \$91.8 Million. Retrieved from Barrons: <https://www.barrons.com/articles/paks-nft-artwork-the-merge-sells-for-91-8-million-01638918205>
- [26] Hackius, N., & Petersen, M. (2017). Blockchain in logistics and supply chain: trick or treat? In *Digitalization in Supply Chain Management and Logistics: Smart and Digital Solutions for an Industry 4.0 Environment*. Proceedings of the Hamburg International Conference of Logistics (HICL), Vol. 23 (pp. 3-18). Berlin: epubli GmbH.
- [27] Hyperledger. (2016). An Introduction to Hyperledger: A Distributed Ledger Framework for Enterprise. Retrieved from <https://www.hyperledger.org/wp-content/uploads/2016/08/introduction-to-hyperledger-whitepaper.pdf>

- [28] Hyperledger Fabric. (2021). Documentation. Retrieved from <https://hyperledger-fabric.readthedocs.io/en/release-2.2/whatis.html>
- [29] Fedorova, E. P., & Skobleva, E. I. (2020). Application of blockchain technology in higher education. *European Journal of Contemporary Education*, 9(3), 552-571.
- [30] University of Nicosia. (n.d.). Blockchain. University of Nicosia. Retrieved May 24, 2023, from <https://www.unic.ac.cy/blockchain/>
- [31] Jirgensons, M., & Kapenieks, J. (2018). Blockchain and the future of digital learning credential assessment and management. *Journal of teacher education for sustainability*, 20(1), 145-156.
- [32] Hameed, B., Khan, M. M., Noman, A., Ahmad, M. J., Talib, M. R., Ashfaq, F., ... & Yousaf, M. (2019). A review of Blockchain based educational projects. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 10(10).
- [33] Sony Corporation. (2017, November 15), Sony Global Education to Host the 5th Global Math Challenge. Retrieved May24, 2023 from <https://www.sony.com/en/SonyInfo/News/Press/201711/17-1106E/>
- [34] Allessie, D., Sobolewski, M., Vaccari, L., & Pignatelli, F. (2019). Blockchain for digital government. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 8-10.
- [35] Levenson, M. (2023, January 27). 7,600 Fake Nursing Diplomas Were Sold in Scheme, U.S. Says. *The New York Times*. <https://www.nytimes.com/2023/01/27/us/florida-nursing-diploma-scam.html>
- [36] Saleh, O. S., Ghazali, O., & Rana, M. E. (2020). Blockchain based framework for educational certificates verification. *Journal of critical reviews*, 7(3), 79-84.
- [37] Turcu, C.E., Turcu, C., & Chiuchisan, I. (2019). Blockchain and its Potential in Education. *ArXiv*, abs/1903.09300.
- [38] Madala, D. S. V., Jhanwar, M. P., & Chattopadhyay, A. (2018, November). Certificate transparency using blockchain. In *2018 IEEE International Conference on Data Mining Workshops (ICDMW)* (pp. 71-80). IEEE.
- [39] Kubilay, Murat Yasin, Mehmet Sabir Kiraz, and Hacı Ali Mantar. "CertLedger: A new PKI model with Certificate Transparency based on blockchain." *Computers & Security* 85 (2019): 333-352.
- [40] CertLedger. (2019, May 29). A Security Issue with Chrome's Certificate Transparency and Prevention Through CertLedger. *Medium*. Retrieved May 5, 2023, from <https://medium.com/@certledger/a-security-issue-with-chromes-certificate-transparency-and-prevention-through-certledger-f511cd02fe2b>
- [41] Pu, S., & Lam, J. S. L. (2023). The benefits of blockchain for digital certificates: A multiple case study analysis. *Technology in Society*, 72, 102176. <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2022.102176>

- [42] Blockcerts. (n.d.). Blockcerts Guide. Retrieved May 17, 2023, from <https://www.blockcerts.org/guide/>
- [43] Capece, G., Levialedi Ghiron, N., & Pasquale, F. (2020). Blockchain technology: redefining trust for digital certificates. *Sustainability*, 12(21), 8952. <https://doi.org/10.3390/su12218952>
- [44] QualiChain Project. (2020). Retrieved May 24, 2023, from: <https://qualichain-project.eu>
- [45] Kontzinos, C., Markaki, O., Kokkinakos, P., Karakolis, V., Skalidakis, S., & Psarras, J. (2019, November). University process optimisation through smart curriculum design and blockchain-based student accreditation. In *Proceedings of 18th International Conference on WWW/Internet (Vol. 10)*.
- [46] Guerreiro, S., Ferreira, J. F., Fonseca, T., & Correia, M. (2022). Integrating an academic management system with blockchain: A case study. *Blockchain: Research and Applications*, 3(4), 100099.
- [47] Alammary, A., Alhazmi, S., Almasri, M., & Gillani, S. (2019). Blockchain-based applications in education: A systematic review. *Applied Sciences*, 9(12), 2400.
- [48] Farah, J. C., Vozniuk, A., Rodríguez-Triana, M. J., & Gillet, D. (2018, July). A blueprint for a blockchain-based architecture to power a distributed network of tamper-evident learning trace repositories. In *2018 IEEE 18th International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT)* (pp. 218-222). IEEE.
- [49] Williams, P. (2019). Does competency-based education with blockchain signal a new mission for universities?. *Journal of higher education policy and management*, 41(1), 104-117.
- [50] Zhao, W., Liu, K., & Ma, K. (2019, February). Design of student capability evaluation system merging blockchain technology. In *Journal of Physics: Conference Series (Vol. 1168, No. 3, p. 032123)*. IOP Publishing.
- [51] Mikroyannidis, A., Domingue, J., Bachler, M., & Quick, K. (2018, October). Smart blockchain badges for data science education. In *2018 IEEE Frontiers in Education Conference (FIE)* (pp. 1-5). IEEE.
- [52] Liu, Q., Guan, Q., Yang, X., Zhu, H., Green, G., & Yin, S. (2018, August). Education-industry cooperative system based on blockchain. In *2018 1st IEEE international conference on hot information-centric networking (HotICN)* (pp. 207-211). IEEE.
- [53] Lizcano, D., Lara, J. A., White, B., & Aljawarneh, S. (2020). Blockchain-based approach to create a model of trust in open and ubiquitous higher education. *Journal of Computing in Higher Education*, 32, 109-134.
- [54] Duan, B., Zhong, Y., & Liu, D. (2017, December). Education application of blockchain technology: Learning outcome and meta-diploma. In *2017 IEEE 23rd International Conference on Parallel and Distributed Systems (ICPADS)* (pp. 814-817). IEEE.

- [55] Shen, H., & Xiao, Y. (2018, October). Research on online quiz scheme based on double-layer consortium blockchain. In 2018 9th International Conference on Information Technology in Medicine and Education (ITME) (pp. 956-960). IEEE.
- [56] Srivastava, A., Bhattacharya, P., Singh, A., Mathur, A., Prakash, O., & Pradhan, R. (2018, September). A distributed credit transfer educational framework based on blockchain. In 2018 Second International Conference on Advances in Computing, Control and Communication Technology (IAC3T) (pp. 54-59). IEEE.
- [57] Bdiwi, R., De Runz, C., Faiz, S., & Cherif, A. A. (2018, July). A blockchain based decentralized platform for ubiquitous learning environment. In 2018 IEEE 18th International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT) (pp. 90-92). IEEE.
- [58] Bore, N., Karumba, S., Mutahi, J., Darnell, S. S., Wayua, C., & Weldemariam, K. (2017, November). Towards blockchain-enabled school information hub. In Proceedings of the Ninth International Conference on Information and Communication Technologies and Development (pp. 1-4).
- [59] Zhong, J., Xie, H., Zou, D., & Chui, D. K. (2018, November). A blockchain model for word-learning systems. In 2018 5th international conference on Behavioral, Economic, and Socio-Cultural Computing (BESC) (pp. 130-131). IEEE.
- [60] Ocheja, P., Flanagan, B., & Ogata, H. (2018, March). Connecting decentralized learning records: a blockchain based learning analytics platform. In Proceedings of the 8th international conference on learning analytics and knowledge (pp. 265-269).
- [61] Ocheja, P., Flanagan, B., Ueda, H., & Ogata, H. (2019). Managing lifelong learning records through blockchain. *Research and Practice in Technology Enhanced Learning*, 14(1), 1-19.
- [62] Ocheja, P., Flanagan, B., Ogata, H., & Oyelere, S. S. (2022). Visualization of education blockchain data: trends and challenges. *Interactive Learning Environments*, 1-25.
- [63] Turkanović, M., Hölbl, M., Košič, K., Heričko, M., & Kamišalić, A. (2018). EduCTX: A blockchain-based higher education credit platform. *IEEE access*, 6, 5112-5127.
- [64] Gilda, S., & Mehrotra, M. (2018, January). Blockchain for student data privacy and consent. In 2018 International Conference on Computer Communication and Informatics (ICCCI) (pp. 1-5). IEEE.
- [65] Sharples, M., & Domingue, J. (2016). The blockchain and kudos: A distributed system for educational record, reputation and reward. In *Adaptive and Adaptable Learning: 11th European Conference on Technology Enhanced Learning, EC-TEL 2016, Lyon, France, September 13-16, 2016, Proceedings 11* (pp. 490-496). Springer International Publishing.
- [66] Wu, B., & Li, Y. (2018, October). Design of evaluation system for digital education operational skill competition based on blockchain. In 2018 IEEE 15th international conference on e-business engineering (ICEBE) (pp. 102-109). IEEE.

- [67] Mitchell, I., Hara, S., & Sheriff, M. (2019, January). dAppER: decentralised application for examination review. In 2019 IEEE 12th International Conference on Global Security, Safety and Sustainability (ICGS3) (pp. 1-14). IEEE.
- [68] Islam, A., Kader, M. F., & Shin, S. Y. (2018). BSSSQS: a blockchain based smart and secured scheme for question sharing in the smart education system. arXiv preprint arXiv:1812.03917.
- [69] Chillakuri, B., & Attili, V. P. (2022). Role of blockchain in HR's response to new-normal. *International Journal of Organizational Analysis*, 30(6), 1359-1378.
- [70] Salesforce. (2019, May 29). Salesforce Introduces the First Low-Code Blockchain Platform for CRM [Press release]. Retrieved August 2, 2023, from <https://www.salesforce.com/news/press-releases/2019/05/29/salesforce-introduces-the-first-low-code-blockchain-platform-for-crm/>
- [71] CareerBuilder. (2017, September 14). 75% of HR Managers Have Caught a Lie on a Resume According to a New CareerBuilder Survey. Retrieved August 2, 2023, from <https://press.careerbuilder.com/2017-09-14-75-of-HR-Managers-Have-Caught-a-Lie-on-a-Resume-According-to-a-New-CareerBuilder-Survey>
- [72] Lacity, M. (2020). Blockchain Center of Excellence Case Study Series, Re-inventing Talent Acquisition: The SmartResume® Solution. Retrieved August 2, 2023, from <https://idatafy.com/wp-content/uploads/2020/03/SmartResume-Case-Study.pdf>
- [73] Fachrunnisa, O., & Hussain, F. K. (2020). Blockchain-based human resource management practices for mitigating skills and competencies gap in workforce. *International Journal of Engineering Business Management*, 12, 1847979020966400.
- [74] Onik MMH, Miraz MH, Kim C. A recruitment and human resource management technique using Blockchain technology for industry 4.0. In: *Smart Cities Symposium 2018, Bahrain; 2018*. p. 1-6. doi: 10.1049/cp.2018.1371.
- [75] Ainsworth, R. T., & Viitasaari, V. (2017). Payroll tax & the blockchain. *Tax Notes International*, March, 13, 1007-1024.
- [76] Panda, S. K., Mishra, V., Dash, S. P., & Pani, A. K. (Eds.). (2023). *Recent Advances in Blockchain Technology: Real-World Applications*.
- [77] Kim, T. H., Kumar, G., Saha, R., Rai, M. K., Buchanan, W. J., Thomas, R., & Alazab, M. (2020). A privacy preserving distributed ledger framework for global human resource record management: The blockchain aspect. *IEEE access*, 8, 96455-96467.
- [78] Zhu, G., Gu, Z., & Dai, Y. (2023). Construction of a Human Resource Sharing System Based on Blockchain Technology. *Information*, 14(3), 177.
- [79] Wang, X., Feng, L., Zhang, H., Lyu, C., Wang, L., & You, Y. (2017, April). Human resource information management model based on blockchain technology. In 2017 IEEE symposium on service-oriented system engineering (SOSE) (pp. 168-173). IEEE.

- [80] Li, L., Zhang, H., & Dong, Y. (2021). Mechanism construction of human resource management based on blockchain technology. *Journal of Systems Science and Information*, 9(3), 310-320.
- [81] Hewage, H. A. S. S., Hettiarachchi, K. U., Jayarathna, K. M. J. B., Hasintha, K. P. C., Senarathne, A. N., & Wijekoon, J. (2020, December). Smart human resource management system to maximize productivity. In *2020 International Computer Symposium (ICS)* (pp. 479-484). IEEE.
- [82] Ni, X., Yuan, Y., & Wang, F. Y. (2019, November). Behavioral management for employees based on blockchain and smart contracts. In *2019 IEEE International Conference on Service Operations and Logistics, and Informatics (SOLI)* (pp. 248-252). IEEE.
- [83] Mohammad, A., & Vargas, S. (2022, August). Barriers affecting Higher Education Institutions' adoption of blockchain technology: A qualitative study. In *Informatics* (Vol. 9, No. 3, p. 64). MDPI.
- [84] Fernandez-Carames, T. M., & Fraga-Lamas, P. (2020). Towards post-quantum blockchain: A review on blockchain cryptography resistant to quantum computing attacks. *IEEE access*, 8, 21091-21116.
- [85] Finck, Michèle., & European Parliament. European Parliamentary Research Service. Scientific Foresight Unit. (2019). *Blockchain and the General Data Protection Regulation : Can distributed ledgers be squared with European data protection law? :study*. In European Parliament.\
- [86] Kohli, V., Chakravarty, S., Chamola, V., Sangwan, K. S., & Zeadally, S. (2023). An analysis of energy consumption and carbon footprints of cryptocurrencies and possible solutions. *Digital Communications and Networks*, 9(1), 79-89.
- [87] Oreg, S. (2003). Resistance to change: Developing an individual differences measure. *Journal of applied psychology*, 88(4), 680.
- [88] Walsh, C., O'Reilly, P., Gleasure, R., McAvoy, J., & O'Leary, K. (2021). Understanding manager resistance to blockchain systems. *European Management Journal*, 39(3), 353-365.
- [89] Belen-Saglam, R., Altuncu, E., Lu, Y., & Li, S. (2023). A systematic literature review of the tension between the GDPR and public blockchain systems. *Blockchain: Research and Applications*, 100129.
- [90] Panel for the Future of Science and Technology, European Parliamentary Research Service (EPRS), Scientific Foresight Unit (STOA). (2019, July). *Blockchain and the General Data Protection Regulation - Can distributed ledgers be squared with European data protection law?* (PE 634.445).
- [91] Attewell, P., & Domina, T. (2011). Educational imposters and fake degrees. *Research in Social Stratification and Mobility*, 29(1), 57-69.