



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ

ΣΧΟΛΗ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΩΝ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΧΡΗΜΑΤΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΚΑΙ ΛΟΓΙΣΤΙΚΗΣ
ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ BLOCKCHAIN ΣΤΗΝ
ΙΧΝΗΛΑΣΙΜΟΤΗΤΑ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΑΓΡΟΔΙΑΤΡΟΦΙΚΩΝ
ΕΦΟΔΙΑΣΤΙΚΩΝ ΑΛΥΣΙΔΩΝ

Μαρία Κατωγιάννη

Επιβλέπων: Ιωάννης Γκανάς
Καθηγητής

Πρέβεζα, Ιούλιος, 2021

Blockchain technologies and Agrifood Supply Chains' Traceability

Εγκρίθηκε από τριμελή εξεταστική επιτροπή

Πρέβεζα, 22/07/2021

ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ

1. Επιβλέπων καθηγητής

Ιωάννης Γκανάς

Καθηγητής

2. Μέλος επιτροπής

Αικατερίνη Γαλανού

Αναπληρώτρια Καθηγήτρια

3. Μέλος επιτροπής

Γεώργιος Κόλιας

Επίκουρος Καθηγητής

© Κατωγιάννη, Μαρία, 2021.

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Λήλωση μη λογοκλοπής

Δηλώνω υπεύθυνα και γνωρίζοντας τις κυρώσεις του Ν. 2121/1993 περί Πνευματικής Ιδιοκτησίας, ότι η παρούσα μεταπτυχιακή εργασία είναι εξ ολοκλήρου αποτέλεσμα δικής μου ερευνητικής εργασίας, δεν αποτελεί προϊόν αντιγραφής ούτε προέρχεται από ανάθεση σε τρίτους. Όλες οι πηγές που χρησιμοποιήθηκαν (κάθε είδους, μορφής και προέλευσης) για τη συγγραφή της περιλαμβάνονται στη βιβλιογραφία.

Κατωγιάννη, Μαρία

Υπογραφή

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η διασφάλιση ποιότητας καθώς και η ασφάλεια των αγροδιατροφικών προϊόντων έχουν γίνει ολοένα και πιο δύσκολες σε περιόδους αυξανόμενων ροών αγαθών παγκοσμίως. Ειδικότερα, η ιχνηλασιμότητα των τροφίμων αποδεικνύεται δυσκολότερη για τους λιανοπωλητές, τους μεταπωλητές και τις κρατικές αρχές επιτήρησης και ελέγχου. Η παρακολούθηση και ο έλεγχος ταυτότητας της αγροδιατροφικής εφοδιαστικής αλυσίδας για την κατανόηση της προέλευσης είναι κρίσιμης σημασίας με κύριο σκοπό τον εντοπισμό και την αντιμετώπιση πηγών μόλυνσης στην αγροδιατροφική εφοδιαστική αλυσίδα παγκοσμίως. Η τεχνολογία blockchain αναγνωρίζεται ως μια αναδυόμενη τεχνολογία στη βιομηχανία αγροδιατροφικών προϊόντων που μπορεί να προσφέρει έναν αποτελεσματικό και ισχυρό μηχανισμό για την ενίσχυση της ιχνηλασιμότητας των τροφίμων και τον διαφανή και αξιόπιστο τρόπο για την επικύρωση της ποιότητας, της ασφάλειας και της αειφορίας των αγροδιατροφικών προϊόντων. Τέλος, στην εργασία αυτή παρουσιάζονται δύο μελέτες περίπτωσης που παρουσιάζουν ένα σύστημα ιχνηλασιμότητας της Walmart (λιανοπωλητής) που αφορά προϊόντα όπως το μάνγκο και το χοιρινό κρέας, για να αναδείξει τον τρόπο με τον οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί η τεχνολογία blockchain στην ενίσχυση της ιχνηλασιμότητας των αγροδιατροφικών προϊόντων.

Λέξεις-Κλειδιά: ιχνηλασιμότητα, blockchain, αγροδιατροφική εφοδιαστική αλυσίδα, Walmart

ABSTRACT

Quality assurance as well as the safety of agri-food products have become increasingly difficult in times of increasing flow of goods worldwide. Agri-food traceability is proving more difficult for retailers, resellers and government surveillance and control authorities. Monitoring and authentication of the agri-food supply chain to understand the origin is crucial with the main purpose of identifying and dealing with sources of contamination in the agri-food supply chain worldwide. Blockchain technology is recognized as an emerging technology in the agri-food industry that can provide an effective and robust mechanism for enhancing food traceability and a transparent and reliable way to validate the quality, safety, and sustainability of agri-food products. Finally, this paper presents two case studies featuring a Walmart (retailer) tracking system for products such as mango and pork to highlight how blockchain technology can be used to enhance traceability of agri-food products.

Keywords: traceability, blockchain, agri-food supply chain, Walmart

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	vi
ABSTRACT.....	vii
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ.....	x
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ.....	xi
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
1. Το πλαίσιο της ιχνηλασιμότητας.....	3
1.1 Ορισμός της ιχνηλασιμότητας.....	3
1.2 Νομοθεσία και πρότυπα σχετικά με την ιχνηλασιμότητα	5
1.2.1 Ευρωπαϊκή Ένωση	5
1.2.2 Διεθνείς Οργανισμοί – Πρότυπα.....	9
1.3 Χαρακτηριστικά συστημάτων Ιχνηλασιμότητας - Μονάδα ανιχνεύσιμων πόρων (Traceable Resource Unit – TRU).....	11
1.4 Τύποι ιχνηλασιμότητας.....	15
1.5 Διαχείριση Αγροδιατροφικής Εφοδιαστικής Αλυσίδας	16
1.6 Σημασία της ιχνηλασιμότητας στον τομέα των τροφίμων και της γεωργίας.....	19
1.7 Εργαλεία ιχνηλασιμότητας	22
2. Τεχνολογία Blockchain.....	26
2.1 Ορισμός Blockchain.....	26
2.2 Βασικές έννοιες του Blockchain.....	27
2.2.1 Αποκεντρωμένο και Κατανεμημένο Δίκτυο (<i>Decentralised & Distributed Network</i>).....	27
2.2.2 Κατανεμημένο Καθολικό (<i>Distributed Ledger</i>).....	29
2.2.3. Δίκτυα ομότιμων κόμβων (<i>Peer-to-Peer networks</i>).....	30
2.2.4 Κόμβοι (<i>Nodes</i>).....	30
2.2.5 Κατακερματισμός (<i>Hashing</i>).....	31
2.2.6 Ασύμμετρη Κρυπτογραφία (<i>Asymmetric cryptography</i>).....	32
2.3 Τύποι Blockchain, Μηχανισμοί συναίνεσης και Έξυπνα συμβόλαια.....	33
2.3.1 Τύποι Blockchain	33
2.3.2 Μηχανισμοί συναίνεσης (<i>Consensus mechanism</i>).....	37
2.3.3 Έξυπνα Συμβόλαια (<i>Smart Contracts</i>).....	41
2.4 Πώς λειτουργεί το Blockchain	44
2.4.1 Δομή Block.....	48
3. Case Studies.....	50
3.1 Εφαρμογές Blockchain στην Ιχνηλασιμότητα της Αγροδιατροφικής Εφοδιαστικής Αλυσίδας (From Farm to Fork).....	50
3.2 Πλατφόρμες εφαρμογής	50
3.3 Πλατφόρμα - Hyperledger Fabric.....	56

3.4 Μελέτες περίπτωσης	61
3.4.1 Walmart's mango (IBM FOOD-TRUST).....	61
3.4.2 Walmart's pork (IBM FOOD-TRUST).....	66
3.5 Οφέλη από τη χρήση τεχνολογίας Blockchain.....	69
3.6 Προκλήσεις υλοποίησης Blockchain	70
4. Συμπεράσματα.....	71
Βιβλιογραφία.....	73

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

<u>Εικόνα 1-1:</u> Εννοιολογική αναπαράσταση της ροής του προϊόντος και της ροής πληροφοριών ιχνηλασιμότητας της αλυσίδας εφοδιασμού τροφίμων (Πηγή: Bosona & Gebresenbet, 2013).....	2
<u>Εικόνα 1-2:</u> Ιχνηλασιμότητα σε μια αλυσίδα εφοδιασμού τροφίμων: Προοπτικές ασφάλειας και ποιότητας (Πηγή: Aung & Chang, 2014).....	14
<u>Εικόνα 1-3:</u> Barcodes - Γραμμικοί κώδικες.....	20
<u>Εικόνα 1-4:</u> Συσκευή RFID.....	21
<u>Εικόνα 1-5:</u> Τυπική αρχιτεκτονική δικτύου ασύρματων αισθητήρων.....	22
<u>Εικόνα 2-1:</u> Βασικές Ιδιότητες του Blockchain (Πηγή: Hackius & Petersen, 2017)...	25
<u>Εικόνα 2-2:</u> Κεντρικά, αποκεντρωμένα και διανεμημένα δίκτυα.....	26
<u>Εικόνα 2-3:</u> Το οικοσύστημα αποθήκευσης δεδομένων. Το Blockchain παίζει ένα σημαντικό ρόλο στο οικοσύστημα. (Πηγή: Lin et al., 2020).....	27
<u>Εικόνα 2-4:</u> Τιμές επιστροφής κρυπτογραφικών συναρτήσεων κατακερματισμού για το κείμενο «Blockchain in agriculture».....	30
<u>Εικόνα 2-5:</u> Τιμές επιστροφής κρυπτογραφικών συναρτήσεων κατακερματισμού για το κείμενο «blockchain in agriculture».....	30
<u>Εικόνα 2-6:</u> Παράδειγμα έξυπνου συμβολαίου για την αυτοματοποίηση και την ενίσχυση της εμπιστοσύνης σε συναλλαγές με μικρούς αγρότες και συνεταιρισμούς μικρών αγροτών. (Πηγή: Kamilaris et al., 2019).....	41
<u>Εικόνα 2-7:</u> Κατακερματισμένες συναλλαγές και η ρίζα merkle.....	42
<u>Εικόνα 2-8:</u> Διαδικασία συναλλαγής στο blockchain (Πηγή: Jeppsson & Olsson, 2017).....	44
<u>Εικόνα 2-9:</u> Blockchain στο μικροσκόπιο (Πηγή: Jeppsson & Olsson, 2017).....	45
<u>Εικόνα 2-10:</u> Επισκόπηση στη δομή ενός Block Bitcoin.....	47
<u>Εικόνα 3-1:</u> Hyperledger Fabric Workflow.....	58
<u>Εικόνα 3-2:</u> Ο κύκλος ζωής ενός μάνγκο (Πηγή: Yiannas, 2017).....	60
<u>Εικόνα 3-3:</u> Το Blockchain επιτρέπει την παρακολούθηση τροφής από το αγρόκτημα στο πιρούνι (Πηγή: Yiannas, 2017).....	61
<u>Εικόνα 3-4:</u> Αγροτική αλυσίδα εφοδιασμού βασισμένη σε τεχνολογία κατανεμημένου καθολικού (DLT).....	63
<u>Εικόνα 3-5:</u> Διάγραμμα ροής του συστήματος ιχνηλασιμότητας χοιρινού κρέατος Walmart (Πηγή: Xu et al, 2020).....	65

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1-1: Ενημερωτικό δελτίο της ΕΕ για την ιχνηλασιμότητα των τροφίμων	22
Πίνακας 2-1: Επισκόπηση των χαρακτηριστικών μεταξύ permissionless/permissioned και Public/Private (Πηγή: Carson et al., 2018)	37
Πίνακας 3-1: Παραδείγματα νεοσύστατων επιχειρήσεων blockchain σε τρόφιμα και γεωργία και ο επίσημος ιστότοπος (Xu et al., 2020).	52

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η παρακολούθηση τόσο της ανάπτυξης όσο και της παραγωγής των αγροδιατροφικών προϊόντων καθώς και η αποτελεσματική διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας τους είναι ζωτικής σημασίας για τη διασφάλιση της ασφάλειας των προϊόντων. Η αυξανόμενη ανησυχία σχετικά με τους κινδύνους μόλυνσης και την ασφάλεια των τροφίμων έχουν φέρει στο επίκεντρο την απαίτηση για αυξημένη ιχνηλασιμότητα σε όλη την εφοδιαστική αλυσίδα (Aung & Chang, 2014). Επιπλέον, τα γεωργικά προϊόντα που διακινούνται σε πολλές χώρες απαιτούν ακριβή παρακολούθηση και συμμόρφωση με τους ειδικούς κανονισμούς των χωρών αυτών (Mao *et al.*, 2019). Η ιχνηλασιμότητα των προϊόντων στη αγροδιατροφική εφοδιαστική αλυσίδα απαιτεί τη συλλογή, την μετάδοση και τη διαχείριση κρίσιμων πληροφοριών προσδιορίζοντας με ακρίβεια την προέλευση διάφορων πληροφοριών που ανταλλάσσονται στην εφοδιαστική αλυσίδα. Η δυναμική φύση των πληροφοριών στην εφοδιαστική αλυσίδα γεωργικών προϊόντων / τροφίμων όπου τα προϊόντα παράγονται, υποβάλλονται σε επεξεργασία και αποστέλλονται μέσω διαφόρων ενδιάμεσων καθιστά δύσκολη την παρακολούθηση και τον εντοπισμό τους. Οι Dabbene και Gay (2011) υποστηρίζουν ότι η συλλογή υψηλής ακρίβειας δεδομένων μέσω εργαλείων μετάδοσης πληροφοριών όπως οι ραβδωτοί κώδικες και το RFID επιτρέπει την απόκτηση δεδομένων και την καλύτερη ιχνηλασιμότητα στις αγροδιατροφικές εφοδιαστικές αλυσίδες.

Η τρέχουσα πρακτική της ιχνηλασιμότητας στην αγροδιατροφική εφοδιαστική αλυσίδα πάσχει σε μεγάλο βαθμό από τον κατακερματισμό των δεδομένων και τους κεντρικούς ελέγχους που αποδεικνύονται ευάλωτοι τόσο στην τροποποίηση δεδομένων όσο και στη διαχείριση. Σε περίπτωση μόλυνσης, ο προσδιορισμός της πηγής και η γρήγορη απομόνωση του προϊόντος από την αλυσίδα εφοδιασμού απαιτεί στενό συντονισμό μεταξύ πολλών ενδιαφερομένων στην αγροτική αλυσίδα εφοδιασμού. Τα μεμονωμένα στάδια στις αλυσίδες εφοδιασμού τροφίμων συχνά έχουν καλή ιχνηλασιμότητα, αλλά η ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ των σταδίων αποδεικνύεται δύσκολη και χρονοβόρα (Storøy *et al.*, 2013).

Οι πρόσφατες τεχνολογικές εξελίξεις μέσω της εφαρμογής της τεχνολογίας blockchain (BC) μπορούν να προσφέρουν μια ουσιαστική και πρακτική λύση που να διασφαλίζει την ιχνηλασιμότητα των γεωργικών προϊόντων και να εξαλείψει την ανάγκη για

μεσολάβηση μιας αξιόπιστης κεντρικής αρχής (Khan & Salah, 2018). Η τεχνολογία BC έχει αποκτήσει τεράστια δημοτικότητα σε όλες τις διαδικασίες της εφοδιαστικής αλυσίδας λόγω της διαφάνειας και του αμετάβλητου των συναλλαγών, ενισχύοντας την εμπιστοσύνη μεταξύ των συμμετεχόντων μερών. Λόγω της απαραβίαστης, αξιόπιστης, ασφαλούς και ανιχνεύσιμης φύσης του, το BC μπορεί να αναπτυχθεί αποτελεσματικά στη διαχείριση της αγροδιατροφικής εφοδιαστικής αλυσίδας. Η συνολική δομή και λειτουργία της αλυσίδας εφοδιασμού τροφίμων είναι τεράστια και περίπλοκη με τη συμμετοχή πολλών ενδιαφερομένων, από αγρότες, κατασκευαστές, μεταποιητές και καταναλωτές¹. Η αγροδιατροφική εφοδιαστική αλυσίδα έχει τραβήξει την προσοχή της ερευνητικής κοινότητας λόγω της πολυπλοκότητάς της, από τις πρώτες ύλες έως τον τελικό καταναλωτή καθιστώντας εξαιρετικά δύσκολη και χρονοβόρα την παρακολούθηση της προέλευσης ενός προϊόντος.

Στόχος αυτής της εργασίας είναι να αναδείξει πως μπορεί να αξιοποιηθεί η τεχνολογία BC ώστε να μπορούμε να εντοπίζουμε και να παρακολουθούμε αποτελεσματικά όλα τα στάδια της αγροδιατροφικής εφοδιαστικής αλυσίδας, επιτρέποντας με αυτό τον τρόπο την αδιάλειπτη ολοκλήρωση των επιχειρηματικών συναλλαγών και των ροών εργασίας με ασφαλή τρόπο.

Στην εργασία αυτή στο πρώτο κεφάλαιο ορίζεται η έννοια της ιχνηλασιμότητας, τα χαρακτηριστικά και τα οφέλη που προκύπτουν από τη χρήση της ενώ επίσης παρουσιάζεται η ευρωπαϊκή νομοθεσία και τα πρότυπα σχετικά με την ιχνηλασιμότητα. Το δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζει την τεχνολογία BC και βασικά στοιχεία της δομής και λειτουργίας της. Τέλος στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται αναφορά σε δύο μελέτες περίπτωσης της εταιρείας Walmart που αξιοποιούν την τεχνολογία BC στην ιχνηλασιμότητα δύο αγροδιατροφικών προϊόντων όπως το μάνγκο και το χοιρινό κρέας καθώς και τα οφέλη - προκλήσεις της χρήσης αυτής της τεχνολογίας.

¹ <https://www.ft.com/content/225d32bc-4dfa-11e8-97e4-13afc22d86d4>

1. Το πλαίσιο της ιχνηλασιμότητας

1.1 Ορισμός της ιχνηλασιμότητας

Η ιχνηλασιμότητα, γνωστή επίσης ως η αρχή «ένα βήμα πίσω ένα βήμα μπροστά», είναι η ικανότητα ανάκλησης όλων των πληροφοριών σχετικά με την προέλευση ενός διατροφικού προϊόντος (Demestichas et al., 2020). Σύμφωνα με το Διεθνή Οργανισμό Τυποποίησης (ISO), στο ISO 8402:1994², η ιχνηλασιμότητα ορίζεται ως: «η ικανότητα εντοπισμού του ιστορικού, της εφαρμογής ή της θέσης μιας οντότητας μέσω καταγεγραμμένης ταυτοποίησης» ενώ στο ISO 22005:2007³ ως η «ικανότητα παρακολούθησης της κίνησης μιας ζωοτροφής ή τροφής μέσω καθορισμένων σταδίων παραγωγής, επεξεργασίας και διανομής». Οι οδηγίες ISO διευκρινίζουν περαιτέρω ότι μπορεί να αναφέρεται η ιχνηλασιμότητα στην προέλευση των υλικών και των μερών, στο ιστορικό επεξεργασίας και στη διανομή και τη θέση του προϊόντος μετά την παράδοση. Για τον Moe (1998), ιχνηλασιμότητα είναι η ικανότητα παρακολούθησης μιας παρτίδας προϊόντος και της ιστορίας της στο σύνολο, ή μέρος, μιας αλυσίδας παραγωγής από τη συγκομιδή έως τη μεταφορά, την αποθήκευση, την επεξεργασία, τη διανομή και τις πωλήσεις ή εσωτερικά σε ένα από τα στάδια της αλυσίδας π.χ το βήμα⁴ παραγωγής.

Ο κανονισμός της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΕΕ) 178/2002⁵ περιορίζει τον ορισμό στη βιομηχανία τροφίμων, ορίζοντας την ιχνηλασιμότητα ως την ικανότητα εντοπισμού και παρακολούθησης ενός τροφίμου, ζωοτροφής, ζώου ή ουσίας παραγωγής τροφίμων που προορίζεται να είναι ή αναμένεται να ενσωματωθεί σε τρόφιμα ή ζωοτροφές, σε όλα τα στάδια παραγωγής, επεξεργασίας και διανομής.

Οι Bosona και Gebresenbet (2013) επαναπροσδιόρισαν την ιχνηλασιμότητα των τροφίμων, ορίζοντας την ως μέρος της διαχείρισης εφοδιαστικής αλυσίδας που καταγράφει, αποθηκεύει και μεταδίδει επαρκείς πληροφορίες σχετικά με μια ζωοτροφή, μια τροφή, ζώο ή ουσία που παράγει τρόφιμα σε όλα τα στάδια της αλυσίδας εφοδιασμού τροφίμων έτσι ώστε το προϊόν να μπορεί να ελεγχθεί για την ασφάλεια και

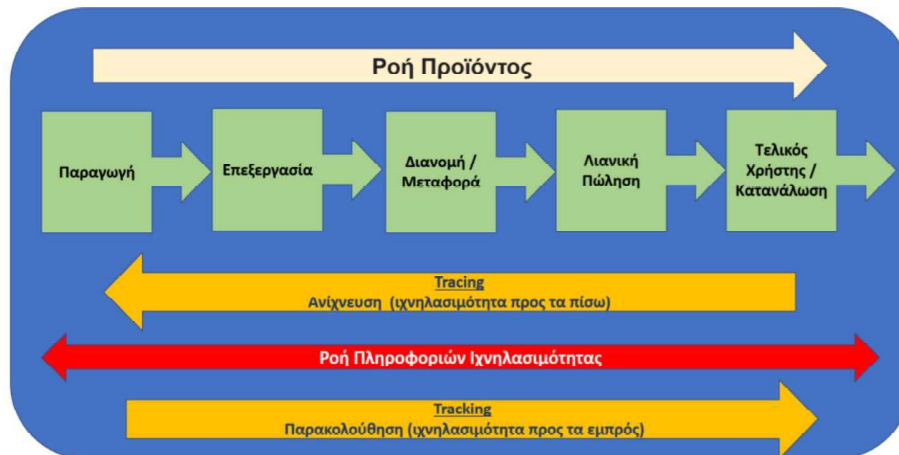
² ISO 8402. (1994). Retrieved from https://kupdf.net/download/iso-8402-1994-iso-definitions_58fa42e8dc0d607b44959eaa_pdf

³ ISO 22005 (2007). Retrieved from <http://www.smartjd.org/pdf/181/11285381.pdf>

⁴ Ένα βήμα αναφέρεται σε κάποια διακριτή λειτουργία ή τοποθεσία στην οποία εκτελείται κάποια εργασία ή διαδικασία στο προϊόν (Moe, 1998).

⁵ Κανονισμός της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΕΕ) 178/2002. Retrieved from <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CONSLEG:2002R0178:20090807:EN:PDF>

την ποιότητα του, να εντοπιστεί προς τα πάνω, και να παρακολουθείται προς τα κάτω ανά πάσα στιγμή. Η Εικόνα 1-1 που ακολουθεί αναπαριστά την παραπάνω έννοια:



Εικόνα 1-1: Εννοιολογική αναπαράσταση της ροής του προϊόντος και της ροής πληροφοριών ιχνηλασιμότητας της αλυσίδας εφοδιασμού τροφίμων (Πηγή: Bosona & Gebresenbet, 2013).

Ο ορισμός της ιχνηλασιμότητας των τροφίμων είναι διαφορετικός ανάλογα με τον τομέα της βιομηχανίας τροφίμων (Aung & Chang, 2014). Για την διατροφική αλυσίδα που στηρίζεται στα γεωργικά προϊόντα, όπως αναφέρουν οι παραπάνω, οι Wilson και Clarke (1998) όρισαν την ιχνηλασιμότητα των τροφίμων ως τη διαδικασία καταγραφής πληροφοριών για να περιγραφεί το ιστορικό παραγωγής μιας καλλιέργειας τροφίμων καθώς και τυχόν μεταγενέστεροι μετασχηματισμοί ή διεργασίες στις οποίες μπορεί να υποβληθεί η καλλιέργεια στο ταξίδι της από τον καλλιεργητή στο πιάτο του καταναλωτή.

Τέλος, έχοντας υπόψη όλα τα παραπάνω, οι Demestichas et al. (2020), υποστηρίζουν ότι η ιχνηλασιμότητα των τροφίμων περιέχει πληροφορίες σχετικά με τα συστατικά των τροφίμων, τις πηγές των τροφίμων, την επεξεργασία καθώς και τις συνθήκες μεταφοράς και αποθήκευσης. Ένα ιδανικό σύστημα ιχνηλασιμότητας της γεωργίας θα περιέχει επίσης πληροφορίες για κάθε συστατικό του τελικού προϊόντος. Επομένως, για να θεωρηθεί αποτελεσματικό, ένα σύστημα ιχνηλασιμότητας πρέπει να περιέχει πληροφορίες, ποσοτικές και ποιοτικές, σχετικά με το τελικό διατροφικό προϊόν και την προέλευσή του.

1.2 Νομοθεσία και πρότυπα σχετικά με την ιχνηλασιμότητα

1.2.1 Ευρωπαϊκή Ένωση

Η Ευρωπαϊκή Ένωση, με τον Κανονισμό 178/2002, ο οποίος δημοσιεύθηκε στις 28 Ιανουαρίου 2002 και τέθηκε σε ισχύ την 1^η Ιανουαρίου 2005, εισήγαγε επίσημα στην ευρωπαϊκή αγορά την έννοια της *Ιχνηλασιμότητας* στα τρόφιμα και όρισε το νομικό πλαίσιο της εφαρμογής της από παραγωγούς, επιχειρήσεις και κράτη-μέλη. Η προετοιμασία είχε ξεκινήσει με την έκδοση της «Λευκής Βίβλου για την Ασφάλεια Τροφίμων» τον Ιανουάριο του 2000, στην οποία αναφέρεται, μεταξύ άλλων ότι *«Μια επιτυχημένη πολιτική τροφίμων απαιτεί την ιχνηλασιμότητα των τροφίμων και ζωοτροφών και των συστατικών τους. Για να διευκολυνθεί η ιχνηλασιμότητα πρέπει να εισαχθούν οι κατάλληλες διαδικασίες»*, μέσα στη λογική της ασφάλειας σε όλη την αλυσίδα, «από τη φάρμα ως το τραπέζι».

Ο Ντάσιος (2011) αναφέρει ότι, ο Κανονισμός 178/2002:

- ορίζει τις αρχές με τις οποίες οι εμπλεκόμενοι φορείς με τα τρόφιμα οφείλουν να διασφαλίζουν την ιχνηλασιμότητα: την αρχή της παρακολούθησης (tracking) και της ανίχνευσης (tracing) ένα βήμα πίσω και ένα βήμα μπροστά.
- ορίζει ότι οι εμπλεκόμενοι με τα τρόφιμα και τις ζωοτροφές είναι υπεύθυνοι για τις ζωοτροφές, τα τρόφιμα και τα προϊόντα που βγάζουν στην αγορά.
- ισχύει τόσο σε προϊόντα που εισάγονται όσο και σε αυτά εξάγονται από την Ε.Ε.
- ιδρύει την Ευρωπαϊκή Αρχή για την Ασφάλεια των Τροφίμων, η οποία μπορεί να ζητά πληροφορίες από τους εμπλεκόμενους με τα τρόφιμα φορείς.

Ο Κανονισμός άρχισε να εφαρμόζεται στις αρχές του 2002, ενώ για ορισμένα άρθρα του η ισχύς μετατέθηκε για την 1.1.2005. Μεταξύ αυτών περιλαμβάνεται και το άρθρο 18 που αφορά την ιχνηλασιμότητα.

Το Άρθρο 18, αναφέρεται εξολοκλήρου στην Ιχνηλασιμότητα και αποτελείται από 5 βασικά σημεία:

1. Η ανιχνευσιμότητα των τροφίμων, των ζωοτροφών, των ζώων που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή τροφίμων και οποιασδήποτε άλλης ουσίας που προορίζεται για

ενσωμάτωση σε ένα τρόφιμο ή σε μια ζωοτροφή ή αναμένεται ότι θα ενσωματωθεί σε αυτά, διασφαλίζεται σε όλα τα στάδια παραγωγής, μεταποίησης και διανομής.

2. Οι υπεύθυνοι των επιχειρήσεων τροφίμων και ζωοτροφών είναι σε θέση να αναγνωρίζουν κάθε πρόσωπο από το οποίο έχουν προμηθευτεί ένα τρόφιμο, μια ζωοτροφή, ένα ζώο που χρησιμοποιείται για την παραγωγή τροφίμων ή οποιαδήποτε άλλη ουσία που προορίζεται για ενσωμάτωση σε ένα τρόφιμο ή σε μια ζωοτροφή ή αναμένεται ότι θα ενσωματωθεί σε αυτά. Για το σκοπό αυτό οι υπεύθυνοι των επιχειρήσεων εγκαθιδρύουν συστήματα και διαδικασίες που καθιστούν τις πληροφορίες αυτές διαθέσιμες στις αρμόδιες αρχές, εάν αυτές το ζητήσουν.

3. Οι υπεύθυνοι των επιχειρήσεων τροφίμων και ζωοτροφών καθιερώνουν συστήματα και διαδικασίες για την αναγνώριση των άλλων επιχειρήσεων στις οποίες προμηθεύουν τα προϊόντα τους. Αυτές οι πληροφορίες είναι διαθέσιμες στις αρμόδιες αρχές, εάν αυτές το ζητήσουν.

4. Τα τρόφιμα ή οι ζωοτροφές που διατίθενται ή ενδέχεται να διατεθούν στην αγορά της Κοινότητας πρέπει να φέρουν κατάλληλη επισήμανση ή σήμα αναγνώρισης ώστε να διευκολύνεται η ανιχνευσιμότητά τους, μέσω κατάλληλων εγγράφων ή πληροφοριών, σύμφωνα με τις σχετικές απαιτήσεις των ειδικότερων διατάξεων.

5. Οι διατάξεις για την εφαρμογή των απαιτήσεων του παρόντος άρθρου όσον αφορά συγκεκριμένους τομείς είναι δυνατό να θεσπίζονται σύμφωνα με τη διαδικασία του άρθρου 58 παράγραφος 2.

Παρόλα αυτά, ο παραπάνω κανονισμός δεν δίνει ούτε στις εταιρίες ούτε και στις ελεγκτικές αρχές, σαφείς πληροφορίες για το πως θα εφαρμοστεί η ιχνηλασιμότητα. Προκύπτουν ερωτήματα όπως ποιο είναι το εύρος των πληροφοριών που θα πρέπει να συλλέγονται, για πόσο θα πρέπει να διατηρούνται οι πληροφορίες.

Έτσι, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή εξέδωσε επτά (7) ερμηνευτικές οδηγίες με τις οποίες δίνονται οι κατευθύνσεις για την εφαρμογή της ιχνηλασιμότητας με βάση τα όσα ορίζει ο Κανονισμός και οι οποίες απευθύνονται τόσο στις επιχειρήσεις τροφίμων όσο και στις ελεγκτικές αρχές.

Τα κυριότερα σημεία των κατευθυντήριων γραμμών της ΕΕ για την εφαρμογή της ιχνηλασιμότητας με βάση το άρθρο 18 του κανονισμού 178/2002 είναι (Κυριακίδης, 2005):

- Οι επιχειρήσεις τροφίμων είναι υποχρεωμένες να γνωρίζουν από πού προμηθεύονται και σε ποιους προμηθεύουν τα προϊόντα τους. Ισχύει η αρχή – 1 / +1 ή one back /one forward, με άλλα λόγια επιβάλλεται η τήρηση στοιχείων για τον άμεσο προμηθευτή και τον άμεσο πελάτη.
- Η υποχρεωτική ιχνηλασιμότητα καλύπτει και τα συστατικά τροφίμων, τα πρόσθετα και τις αρωματικές ύλες.
- Η υποχρέωση καλύπτει όλες τις επιχειρήσεις που ασχολούνται με: πρωτογενή παραγωγή, μεταποίηση, βιομηχανική παραγωγή ή επεξεργασία, αποθήκευση, μεταφορά, διανομή και διάθεση τροφίμων.
- Δεν είναι υποχρεωτική η «εσωτερική ιχνηλασιμότητα». Ωστόσο οι επιχειρήσεις ενθαρρύνονται για την εφαρμογή της.
- Στο είδος των πληροφοριών που πρέπει να συλλέγονται και να φυλάσσονται περιλαμβάνονται υποχρεωτικά:
 - η επωνυμία και η διεύθυνση του προμηθευτή (ή πελάτη),
 - η φύση των προϊόντων που διακινήθηκαν καθώς και
 - η ημερομηνία της διακίνησης.

Συστήνεται ωστόσο να διατηρούνται επιπλέον και οι πληροφορίες που αφορούν:

1. Όγκος ή ποσότητα των προϊόντων.
 2. Ο Αριθμός παρτίδας των προϊόντων, εάν υπάρχει και
 3. Λεπτομερέστερη περιγραφή του προϊόντος (προϊόντα προσυσκευασμένα ή χύδην, ποικιλία φρούτων/λαχανικών, ακατέργαστα ή μεταποιημένα προϊόντα) καθώς επίσης και επιπλέον στοιχεία που θα καθορίζει η κάθε επιχείρηση ανάλογα με το είδος της δραστηριότητας και το διαχειριστικό της σύστημα.
- Το χρονικό διάστημα που θα πρέπει να φυλάσσονται οι πληροφορίες καθορίστηκε στα 5 χρόνια, με εξαίρεση τα προϊόντα που έχουν χρόνο ζωής μεγαλύτερο των 5 ετών (διατήρηση για χρονικό διάστημα ίσο με τον χρόνο ζωής και 6 μήνες επιπλέον) ή τα προϊόντα που φθάνουν στον τελικό καταναλωτή με ημερομηνία λήξης μικρότερη των τριών μηνών ή χωρίς συγκεκριμένη ημερομηνία (διατήρηση για χρονικό διάστημα έως και έξι μήνες μετά την ημερομηνία παραγωγής ή παράδοσης).

Στον ίδιο κανονισμό, στο άρθρο 3, δίνεται μεταξύ άλλων ο ορισμός της έννοιας της ιχνηλασιμότητας, ενώ στο άρθρο 14, αναφέρεται ότι τα τρόφιμα που τοποθετούνται

στην αγορά πρέπει να είναι ασφαλή. Επίσης, δηλώνεται με σαφήνεια ότι ένα σύστημα ιχνηλασιμότητας που δεν χρησιμοποιεί ιχνηλασιμότητα παρτίδας, θα οδηγήσει στην απόσυρση όλης της ποσότητας ενός προϊόντος σε περίπτωση κρίσης.

Συμπληρωματικά με τον Κανονισμό 178/2002 λειτουργεί και ο Κανονισμός 1935/2004, ο οποίος αφορά τα υλικά που προορίζονται να έρθουν σε επαφή με τρόφιμα, όπως τα υλικά συσκευασίας. Και εδώ απαιτείται νομοθετικά η θέσπιση διαδικασιών ιχνηλασιμότητας από τις εμπλεκόμενες επιχειρήσεις.

Συγκεκριμένα, στο σκεπτικό του Κανονισμού 1935/2004⁶ αναφέρεται ότι:

«Η ιχνηλασιμότητα των υλικών και των αντικειμένων που προορίζονται να έρθουν σε επαφή με τρόφιμα θα πρέπει να εξασφαλίζεται σε όλα τα στάδια προκειμένου να διευκολύνεται ο έλεγχος, η ανάκληση των ελαττωματικών προϊόντων, η ενημέρωση των καταναλωτών και ο καταλογισμός ευθυνών. Οι υπεύθυνοι των επιχειρήσεων θα πρέπει να είναι σε θέση να ταυτοποιούν τουλάχιστον τις επιχειρήσεις από τις οποίες προμηθεύτηκαν και προς τις οποίες διοχετεύουν τέτοια υλικά και αντικείμενα.»

Δηλαδή και για τα υλικά, συστήνεται η προσέγγιση «ένα βήμα πίσω, ένα βήμα μπρος» στην ιχνηλασιμότητα.

Στο Άρθρο 17 του παραπάνω κανονισμού, το οποίο τέθηκε σε ισχύ στις 27.10.2006, αναφέρονται τα παρακάτω:

1. *Η ιχνηλασιμότητα των υλικών και των αντικειμένων εξασφαλίζεται σε όλα τα στάδια προκειμένου να διευκολύνονται οι έλεγχοι, η ανάκληση των ελαττωματικών προϊόντων, η ενημέρωση των καταναλωτών και ο καταλογισμός των ευθυνών.*
2. *Εφόσον είναι τεχνολογικά εφικτό, οι οικονομικοί παράγοντες εφαρμόζουν συστήματα και διαδικασίες που επιτρέπουν την ταυτοποίηση των επιχειρήσεων από τις οποίες προμηθεύτηκαν και στις οποίες προμηθεύουν υλικά ή αντικείμενα και, κατά περίπτωση, ουσίες ή προϊόντα που εμπίπτουν στο πεδίο εφαρμογής του παρόντος κανονισμού και των μέτρων εφαρμογής του, και τα οποία χρησιμοποιούνται στην κατασκευή αυτών. Αυτές οι πληροφορίες είναι διαθέσιμες στις αρμόδιες αρχές, κατόπιν αιτήματος.*

⁶ <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EL/TXT/HTML/?uri=CELEX:32004R1935&from=HR#d1e1185-4-1>

3. *Τα υλικά και αντικείμενα που διατίθενται στην αγορά της Κοινότητας ταυτοποιούνται με κατάλληλο σύστημα που θα επιτρέπει την ανίχνευσή τους μέσω επισήμανσης ή καταλλήλων εγγράφων ή πληροφοριών.*

Το άρθρο 19, του κανονισμού 178/2002, σχετίζεται με την αναγκαιότητα η κάθε επιχείρηση τροφίμων να έχει τεκμηριωμένες διαδικασίες διαχείρισης αποσύρσεων/ανακλήσεων προϊόντων και διαχείρισης κρίσεων. Η Ε.Ε. στην Οδηγία 2001/95/EK περί γενικής ασφάλειας προϊόντων ορίζει ως «απόσυρση» κάθε μέτρο με στόχο να εμποδιστεί η διανομή, η έκθεση και η προσφορά επικίνδυνου προϊόντος στους καταναλωτές. Ενώ ορίζει την «ανάκληση» ως κάθε μέτρο που αποβλέπει στην επιστροφή ενός επικίνδυνου προϊόντος, το οποίο ο παραγωγός ή ο διανομέας του έχει ήδη προμηθεύσει ή διαθέσει στους καταναλωτές.

Σύμφωνα με όσα αναφέρει ο Ντάσιος (2011), κάθε επιχείρηση πρέπει άμεσα να εκκινεί διαδικασίες απόσυρσης από την αγορά οποιουδήποτε τροφίμου δεν συμμορφώνεται με τις ευρωπαϊκές απαιτήσεις και να ενημερώνει τις αντίστοιχες αρχές. Επίσης πρέπει να ενημερώνει τους καταναλωτές για τον λόγο της απόσυρσης, και αν είναι αναγκαίο, να ανακαλεί από τους καταναλωτές τα εν λόγω προϊόντα. Το ίδιο ισχύει και για κάθε επιχείρηση που δραστηριοποιείται στο λιανικό εμπόριο και την διανομή, η οποία οφείλει να παρέχει τις σχετικές πληροφορίες για την ανίχνευση ενός τροφίμου και να συνεργάζεται με τους παραγωγούς, μεταποιητές, παρασκευαστές και/ή τις αρμόδιες αρχές, όσον αφορά τα μέτρα που αυτοί λαμβάνουν.

1.2.2 Διεθνείς Οργανισμοί – Πρότυπα

Αρκετά πρότυπα και οδηγίες υπήρχαν και εφαρμόζονταν πριν από τη θέσπιση εθνικών – κοινοτικών νόμων, σχετικά με την ασφάλεια και ιχνηλασιμότητα των τροφίμων, οι οποίες εκδόθηκαν από διεθνείς οργανισμούς και αποτέλεσαν, τη βάση πάνω στην οποία στηρίχθηκε η μετέπειτα νομοθεσία. Τα πρότυπα αυτά συνεχίζουν να εξελίσσονται και να διορθώνονται έτσι ώστε να καλύψουν τις νέες απαιτήσεις και κυρίως, για να ορίσουν μια κοινή παγκόσμια πρακτική ιχνηλασιμότητας.

Ένα ψήφισμα της Γ.Σ. του Ο.Η.Ε. το 1985 οδήγησε στη δημιουργία των «Οδηγιών για την προστασία του καταναλωτή», που δημοσιεύτηκαν το 1986. Αυτές οι οδηγίες ορίζουν την τροφή ως μία από τις τρεις βασικές περιοχές ενδιαφέροντος για την υγεία των καταναλωτών. Η συνεργασία του Οργανισμού Τροφίμων και Γεωργίας (F.A.O.) του Ο.Η.Ε. και του Διεθνούς Οργανισμού Υγείας (W.H.O.) δημιούργησε την Επιτροπή

για τον Κώδικα Τροφίμων (Codex Alimentarius Committee - CAC), η οποία έχει 180 κράτη-μέλη και εκδίδει διεθνώς αποδεκτά πρότυπα, οδηγίες και κώδικες πρακτικής για τα τρόφιμα υπό την ονομασία Codex Alimentarius (CAC, 2006). Τα πρότυπα αυτά υιοθετούνται συνήθως μέσω συναίνεσης. Η CAC εξέδωσε το 2006 με το πρότυπο CAC/GL 60-2006 τις γενικές αρχές ιχνηλασιμότητας τροφίμων (CAC, 2006). Σύμφωνα με το πρότυπο, ένα σύστημα ιχνηλασιμότητας πρέπει να εφαρμόζεται σε όλα τα στάδια της τροφικής αλυσίδας, να ακολουθεί την αρχή «ένα βήμα πίσω – ένα βήμα εμπρός» και να είναι διάφανο και διαθέσιμο στις αρμόδιες αρχές.

Παράλληλα με τον Codex Alimentarius, ο Διεθνής Οργανισμός Τυποποίησης (International organization of standardization) έχει εκδώσει το πρότυπο ISO 22000:2005⁷ «Συστήματα διαχείρισης της ασφάλειας τροφίμων - Απαιτήσεις για τους οργανισμούς της αλυσίδας τροφίμων». Το πρότυπο αποσκοπεί στην εναρμόνιση, σε παγκόσμια κλίμακα, του τρόπου εφαρμογής των διεθνώς αποδεκτών αρχών HACCP (Ανάλυση Κινδύνων και Κρίσιμα Σημεία Ελέγχου) από τις επιχειρήσεις της αλυσίδας τροφίμων και ενσωματώνει τις διαδικασίες που αναπτύσσονται στον Codex Alimentarius, ώστε να διατίθενται ασφαλή τρόφιμα στον καταναλωτή. Ειδικότερα, σε σχέση με την ιχνηλασιμότητα, το πρότυπο αναφέρει ότι κάθε οργανισμός πρέπει να αναπτύξει και να εφαρμόζει ένα σύστημα ιχνηλασιμότητας, που θα βοηθά στην αναγνώριση παρτίδων προϊόντων και στην σχέση τους με αρχεία πρώτων υλών, επεξεργασίας και παραδόσεων. Το σύστημα ιχνηλασιμότητας θα ακολουθεί την αρχή «-1,+1» σε σχέση με τους άμεσους προμηθευτές α' υλών και τους άμεσους πελάτες ενός προϊόντος. Αρχεία ιχνηλασιμότητας θα πρέπει να διατηρούνται και να είναι σύμφωνα με τις απαιτήσεις των πελατών και των αρμοδίων αρχών.

Σε συνέχεια του ISO 22000:2005, εκδόθηκε το πρότυπο ISO 22005:2007⁸ το οποίο, σύμφωνα με τους Dabbene et al. (2014), εισάγει αρχές και βασικές απαιτήσεις για το σχεδιασμό και την εφαρμογή ενός συστήματος ιχνηλασιμότητας τροφίμων (και ζωοτροφών). Ακόμη και αν δεν διευκρινίζει τον τρόπο με τον οποίο θα πρέπει να επιτευχθεί αυτό, εισάγει την απαίτηση οι οργανισμοί που συμμετέχουν σε μια αλυσίδα εφοδιασμού τροφίμων να πρέπει να καθορίζουν πληροφορίες που θα πρέπει, σε κάθε στάδιο, να λαμβάνονται και να συλλέγονται από τον προμηθευτή και στη συνέχεια να παρέχονται στους πελάτες, εκτός από τα δεδομένα του ιστορικού προϊόντων και

⁷ https://luk.staff.ugm.ac.id/pbk/inherent/UGM-K1-2007/ftp/files/cea/content/ISO_22000_2005_E.pdf

⁸ <http://www.smartjd.org/pdf/181/11285381.pdf>

επεξεργασίας Στο πρότυπο ISO 9001:2008⁹ εισάγεται η έννοια της ταυτοποίησης του προϊόντος, η οποία απαιτεί «κατά περίπτωση, ο οργανισμός να προσδιορίζει το προϊόν με τα κατάλληλα μέσα καθ' όλη τη διάρκεια της υλοποίησης του προϊόντος και όπου απαιτείται η ιχνηλασιμότητα, ο οργανισμός ελέγχει τη μοναδική ταυτοποίηση του προϊόντος και τηρεί αρχεία» και ότι «η διατήρηση ισχύει επίσης για τα συστατικά μέρη ενός προϊόντος». Στο βαθμό αυτό, έχουν παραδοθεί ορισμένα πρότυπα ISO (π.χ. ISO / International Electrotechnical Commission (IEC) 15961, 15962, 24791, 15459, 15418 και 15434) για τη ρύθμιση κωδικοποίησης δεδομένων σε συσκευές αναγνώρισης ραδιοσυχνότητας και τη διαλειτουργικότητά τους με βάση barcode συστήματα.

Παράλληλα με αυτά, έχουν παραδοθεί εμπορικά πρότυπα από οργανισμούς και ενώσεις για να ορίσουν απαιτήσεις ιχνηλασιμότητας, να διευκολύνουν την κοινή χρήση και την υιοθέτηση προτύπων αναγνώρισης προϊόντος για εμπορικούς σκοπούς.

Αυτό ισχύει, για παράδειγμα, για τα πρότυπα GS1¹⁰, GlobalGAP¹¹ και British Retail Consortium (BRC). Με τις Βέλτιστες πρακτικές Οδηγίες για την Ιχνηλασιμότητα της BRC εξετάζονται οι απαιτήσεις ιχνηλασιμότητας, οι αρχές του αποτελεσματικού σχεδιασμού συστημάτων ιχνηλασιμότητας και οι οδηγίες για τη διενέργεια δοκιμών ιχνηλασιμότητας. Η ικανοποίηση αυτών των εμπορικών προτύπων, η οποία συνήθως αντιστοιχεί στη λήψη συγκεκριμένης πιστοποίησης, αποτελεί απαραίτητη προϋπόθεση για μια εταιρεία να έχει πρόσβαση σε μια δεδομένη αγορά (Dabbene et al., 2014).

1.3 Χαρακτηριστικά συστημάτων Ιχνηλασιμότητας - Μονάδα ανιχνεύσιμων πόρων (Traceable Resource Unit – TRU)

Ο ανεξάρτητος οργανισμός ασφάλειας τροφίμων, Food Standard Agency (FSA, 2002) προσδιόρισε τρία βασικά χαρακτηριστικά για τα συστήματα ιχνηλασιμότητας:

- Να μπορούν να προσδιορίζουν μονάδες / παρτίδες όλων των συστατικών και προϊόντων,
- Να καταχωρούν πληροφορίες σχετικά με το πότε και το πού μετακινούνται και μεταμορφώνονται οι παραπάνω μονάδες / παρτίδες και τέλος

⁹ <http://www.aims.org.pk/wp-content/uploads/2014/08/ISO-9001-2008.pdf>

¹⁰ https://www.gs1.org/docs/traceability/Global_Traceability_Standard.pdf

¹¹ https://www.globalgap.org/content/galleries/documents/130927_NIGL_USA_PSS_V4_0-2_Jul13_en.pdf

- Τη χρήση ενός συστήματος που να συνδέει τα δεδομένα αυτά και να μεταφέρει όλες τις σχετικές πληροφορίες ιχνηλασιμότητας μαζί με το προϊόν στο επόμενο στάδιο ή στο στάδιο επεξεργασίας.

Αυτά τα χαρακτηριστικά, δηλαδή ταυτοποίηση, πληροφορίες και οι δεσμοί μεταξύ των συμμετεχόντων στην αλυσίδα εφοδιασμού είναι κοινά, ανεξάρτητα από τη διαδικασία ή το προϊόν που εμπλέκεται. Ωστόσο, τα συστήματα ιχνηλασιμότητας ενδέχεται να διαφέρουν ως προς την ποσότητα του καταγραφέα πληροφοριών, σε ποιο βαθμό (one back /one forward) το σύστημα «παρακολουθεί» τις πληροφορίες και το βαθμό ακρίβειας με το οποίο το σύστημα μπορεί να εντοπίσει την κίνηση ενός συγκεκριμένου προϊόντος.

Σύμφωνα με τον Moe (1998), η μοναδική αναγνώριση και η ιχνηλασιμότητα σε οποιοδήποτε σύστημα εξαρτάται από τον ορισμό του μεγέθους της παρτίδας ή την ανιχνεύσιμη μονάδα πόρων (Traceable Resource Unit - TRU). Για διαδικασίες παρτίδας, ένα TRU είναι μια μοναδική μονάδα, που σημαίνει ότι καμία άλλη μονάδα δεν μπορεί να έχει ακριβώς τα ίδια ή συγκρίσιμα, χαρακτηριστικά από την άποψη της ιχνηλασιμότητας. Για παράδειγμα, όπως αναφέρουν οι Patelli και Mandrioli (2020), στην περίπτωση της αλυσίδας εφοδιασμού ζαμπόν, το TRU είναι το χοιρινό πόδι και μπορεί να εντοπιστεί από το αγρόκτημα στο ράφι της αγοράς. Μια παρόμοια προσέγγιση μπορεί επίσης να εφαρμοστεί σε βόειο κρέας, αρνί και κοτόπουλο. Ο Moe (1998) συνεχίζει αναφέροντας ότι, όταν πρόκειται για συνεχή επεξεργασία, ο ορισμός ενός TRU μπορεί να είναι δυσδιάκριτος και δύσκολος. Μπορεί να εξαρτάται από την πρώτη ύλη TRU ή από μια αλλαγή στις συνθήκες επεξεργασίας, καθώς διαφορετικές δραστηριότητες σύμφωνα με τον ορισμό δίνουν διαφορετικές TRU. Ένας συνεπής ορισμός πρέπει να διατηρηθεί, αλλά αυτό που συνιστά TRU αποφασίζεται από τον σχεδιαστή του συστήματος. Η αναγνώριση ενός TRU ενδέχεται να αλλάξει κατά τη διάρκεια της διαδρομής του προϊόντος όταν για παράδειγμα συγκεντρώνονται οι TRU. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα μια νέα TRU στην οποία πρέπει να δοθεί μια νέα ταυτότητα διαφορετική από εκείνη που έχει οποιαδήποτε από τις αρχικές TRU.

Οι Aung και Chang (2014) αναφέρουν ότι υπάρχουν τρεις τύποι ανιχνεύσιμων μονάδων (TRU):

- Η παρτίδα,
- Η εμπορική μονάδα και
- Η λογιστική μονάδα.

Μια παρτίδα ορίζεται ως μια ποσότητα που διέρχεται από τις ίδιες διαδικασίες. Μια εμπορική μονάδα είναι μια μονάδα που αποστέλλεται από μια εταιρεία στην επόμενη εταιρεία σε μια αλυσίδα εφοδιασμού (π.χ. ένα κουτί, ένα μπουκάλι ή ένα πακέτο φιαλών). Η λογιστική μονάδα είναι ένας τύπος εμπορικής μονάδας και προσδιορίζει την ομαδοποίηση που δημιουργεί μια επιχείρηση πριν από τη μεταφορά ή την αποθήκευση (π.χ. παλέτα, εμπορευματοκιβώτιο κ.λπ.).

Τα χαρακτηριστικά των συστημάτων καλής ιχνηλασιμότητας ποικίλλουν και δεν μπορούν να καθοριστούν χωρίς αναφορά στους στόχους του συστήματος. Διαφορετικοί στόχοι συμβάλλουν στην αύξηση των διαφορών στο *εύρος*, το *βάθος* και την *ακρίβεια* των συστημάτων ιχνηλασιμότητας (Golan et al., 2004).

- **Εύρος:** Το εύρος περιγράφει την ποσότητα των πληροφοριών που καταγράφει το σύστημα ιχνηλασιμότητας. Υπάρχουν πολλά που πρέπει να γνωρίζουμε για το φαγητό που τρώμε και ένα σύστημα τήρησης αρχείων που καταγράφει όλα τα χαρακτηριστικά ενός φαγητού θα ήταν τεράστιο, περιττό και ακριβό. Για παράδειγμα, ένα φλιτζάνι με καφέ. Οι κόκκοι του καφέ θα μπορούσαν να προέρχονται από διάφορες χώρες, να καλλιεργούνται με πολλά φυτοφάρμακα ή λίγα, να καλλιεργούνται σε τεράστια εταιρικά βιολογικά αγροκτήματα ή σε μικρές οικογενειακές συμβατικές εκμεταλλεύσεις, να συλλέγονται από παιδιά ή μηχανές, να αποθηκεύονται σε εγκαταστάσεις με καλές συνθήκες υγιεινής ή μολυσμένες από παράσιτα, χωρίς καφεΐνη χρησιμοποιώντας χημικό διαλύτη ή ζεστό νερό. Ένα σύστημα ιχνηλασιμότητας για ένα χαρακτηριστικό δεν απαιτεί τη συλλογή πληροφοριών για άλλα χαρακτηριστικά (Golan et al., 2004).
- **Βάθος:** Το βάθος ενός συστήματος ιχνηλασιμότητας είναι σε ποιο βαθμό (one back /one forward) το σύστημα «παρακολουθεί» τις πληροφορίες. Σε πολλές περιπτώσεις, το βάθος ενός συστήματος καθορίζεται σε μεγάλο βαθμό από το εύρος του: όταν η εταιρεία ή ο ρυθμιστής αποφασίσει ποια χαρακτηριστικά αξίζει να παρακολουθούνται, το βάθος του συστήματος καθορίζεται

ουσιαστικά. Για παράδειγμα, ένα σύστημα ιχνηλασιμότητας για τον καφέ χωρίς καφεΐνη θα πρέπει να επεκταθεί μόνο στο στάδιο της επεξεργασίας. Ένα σύστημα ιχνηλασιμότητας για τον καφέ δίκαιου εμπορίου θα πρέπει να επεκταθεί μόνο σε πληροφορίες σχετικά με την τιμή και τους όρους του εμπορίου μεταξύ των καλλιεργητών καφέ και των μεταποιητών. Σε άλλες περιπτώσεις, το βάθος του συστήματος καθορίζεται από σημεία ελέγχου ποιότητας ή ασφάλειας κατά μήκος της αλυσίδας εφοδιασμού. Σε αυτές τις περιπτώσεις, τα συστήματα ιχνηλασιμότητας μπορεί να χρειαστεί να επεκταθούν μόνο στο τελευταίο σημείο ελέγχου, δηλαδή στο σημείο όπου η ποιότητα ή η ασφάλεια καθορίστηκε ή επαληθεύτηκε. Για παράδειγμα, ένα σύστημα ιχνηλασιμότητας μιας εταιρείας για τον έλεγχο των παθογόνων μπορεί να χρειαστεί να επεκταθεί μόνο στο τελευταίο βήμα όπου το προϊόν υποβλήθηκε σε οποιαδήποτε επεξεργασία. (Golan et al., 2004).

- **Ακρίβεια:** Η ακρίβεια αντικατοπτρίζει τον βαθμό διασφάλισης με τον οποίο το σύστημα ανίχνευσης μπορεί να εντοπίσει την κίνηση ή τα χαρακτηριστικά ενός συγκεκριμένου τροφίμου. Η ακρίβεια καθορίζεται από τη μονάδα ανάλυσης που χρησιμοποιείται στο σύστημα και το αποδεκτό ποσοστό σφάλματος. Η μονάδα ανάλυσης, είτε πρόκειται για εμπορευματοκιβώτιο, φορτηγό, κιβώτιο, ημέρα παραγωγής, μετακίνηση ή οποιαδήποτε άλλη μονάδα, είναι η μονάδα παρακολούθησης για το σύστημα ιχνηλασιμότητας. Τα συστήματα που διαθέτουν μεγάλες μονάδες παρακολούθησης, όπως ολόκληρη η τροφοδοσία ή το σιλό κόκκων, θα έχουν χαμηλή ακρίβεια στην απομόνωση προβλημάτων ασφάλειας ή ποιότητας. Τα συστήματα με μικρότερες μονάδες, όπως μεμονωμένες αγελάδες, θα έχουν μεγαλύτερη ακρίβεια. Παρομοίως, συστήματα με χαμηλά αποδεκτά ποσοστά σφάλματος, όπως χαμηλές ανοχές για πυρήνες GE σε αποστολή συμβατικού καλαμποκιού, είναι ακριβέστερα από συστήματα με υψηλά αποδεκτά ποσοστά σφάλματος. Σε ορισμένες περιπτώσεις, οι στόχοι του συστήματος θα υπαγορεύσουν ένα ακριβές σύστημα, ενώ για άλλους στόχους αρκεί ένα λιγότερο ακριβές σύστημα (Golan et al., 2004).

1.4 Τύποι ιχνηλασιμότητας

Οι Zhang και Bhatt (2014) αναφέρουν ότι η εφαρμογή ενός συστήματος ιχνηλασιμότητας εντός μιας αλυσίδας εφοδιασμού απαιτεί από όλα τα εμπλεκόμενα μέρη να συνδέσουν τη φυσική ροή των προϊόντων με τη ροή πληροφοριών που σχετίζονται με αυτά. Η θέσπιση ενιαίων απαιτήσεων της βιομηχανίας για τις διαδικασίες ιχνηλασιμότητας εξασφαλίζει συμφωνία σχετικά με τον προσδιορισμό των ανιχνεύσιμων στοιχείων μεταξύ των μερών. Αυτό υποστηρίζει τη διαφάνεια και τη συνέχεια των πληροφοριών σε ολόκληρη την αλυσίδα εφοδιασμού. Και διακρίνουν δύο τύπους ιχνηλασιμότητας, την εξωτερική και την εσωτερική.

Εξωτερική ιχνηλασιμότητα

Απαιτεί να εντοπίζονται με μοναδικό τρόπο όλα τα ανιχνεύσιμα προϊόντα και να κοινοποιούνται πληροφορίες μεταξύ όλων των συμμετεχόντων στο κανάλι διανομής, που επηρεάζονται. Ο προσδιορισμός των προϊόντων με σκοπό την ιχνηλασιμότητα μπορεί να περιλαμβάνει την εκχώρηση:

- μοναδικού αναγνωριστικού αριθμού προϊόντος και
- αριθμού παρτίδας.

Για τη διατήρηση της εξωτερικής ιχνηλασιμότητας, οι αριθμοί αναγνώρισης των ανιχνεύσιμων προϊόντων πρέπει να κοινοποιούνται στους συμμετέχοντες στο κανάλι διανομής σε ετικέτες προϊόντων και σχετικά έγγραφα ή ηλεκτρονικά επιχειρηματικά έγγραφα. Αυτό συνδέει τα φυσικά προϊόντα με τις απαιτήσεις πληροφόρησης που απαιτούνται για την ιχνηλασιμότητα. Η εξωτερική ιχνηλασιμότητα επιτρέπει τον εντοπισμό (ιχνηλασιμότητα προμηθευτή) και την παρακολούθηση της προώθησης (ιχνηλασιμότητα του πελάτη) (Banerjee et al., 2015).

Εσωτερική ιχνηλασιμότητα

Σύμφωνα με όσα αναφέρουν οι Banerjee et al. (2015) καθώς και οι Zhang και Bhatt (2014), εσωτερική ιχνηλασιμότητα σημαίνει ότι οι διαδικασίες πρέπει να διατηρούνται εντός μιας επιχείρησης για τη σύνδεση της ταυτότητας των πρώτων υλών με την ταυτότητα των τελικών προϊόντων. Όταν ένα υλικό συνδυάζεται με άλλα και υποβάλλεται σε επεξεργασία, επανασυνσκευάζεται, το νέο προϊόν πρέπει να έχει το δικό του μοναδικό αναγνωριστικό προϊόντος. Η σύνδεση πρέπει να διατηρηθεί μεταξύ αυτού του νέου προϊόντος και των αρχικών εισροών υλικού που έχουν σχέση με αυτό

(όπως κουρκούτι, ψωμί, καρυκεύματα, μαρινάδες, αλάτι, υλικά συσκευασίας και πολλές άλλες εισροές) για τη διατήρηση της ιχνηλασιμότητας. Μια ετικέτα που δείχνει τον αριθμό παρτίδας του ανιχνεύσιμου στοιχείου εισόδου θα πρέπει να παραμένει στη συσκευασία μέχρι να εξαντληθεί ολόκληρο το ανιχνεύσιμο στοιχείο. Αυτή η αρχή ισχύει ακόμα και όταν το ανιχνεύσιμο στοιχείο αποτελεί μέρος μιας μεγαλύτερης ιεραρχίας συσκευασίας (όπως θήκες, παλέτες ή εμπορευματοκιβώτια αποστολής).

Με βάση τα παραπάνω το εννοιολογικό πλαίσιο ενός πληροφοριακού συστήματος ιχνηλασιμότητας τροφίμων θα μπορούσε να δοθεί με τη βοήθεια της Εικόνας 1-2:



Εικόνα 1-2: Ιχνηλασιμότητα σε μια αλυσίδα εφοδιασμού τροφίμων: Προοπτικές ασφάλειας και ποιότητας (Πηγή: Aung & Chang, 2014)

1.5 Διαχείριση Αγροδιατροφικής Εφοδιαστικής Αλυσίδας

Ο Orara (2002) αναφέρει πως από την καλλιέργεια βασικών πρώτων υλών έως την παράδοση τελικών προϊόντων στον καταναλωτή, κάθε διαφορετικό βήμα σε ολόκληρη τη διαδικασία παραγωγής θεωρείται ως σύνδεσμος στην εφοδιαστική αλυσίδα. Ως εκ τούτου, η διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας (ΔΕΑ) αντιπροσωπεύει τη διαχείριση ολόκληρου του συνόλου των δραστηριοτήτων και των πρώτων υλών της παραγωγής, μεταποίησης/μετασχηματισμού, διανομής και εμπορίας με τις οποίες ο καταναλωτής εφοδιάζεται με το επιθυμητό προϊόν. Ορισμένοι αναλυτές αναφέρονται σε αυτό ως διαχείριση της αλυσίδας ζήτησης για να εστιάσουν στην ικανοποίηση των προσδοκιών των καταναλωτών. Η πρακτική της ΔΕΑ περιλαμβάνει τους κλάδους της οικονομίας, του μάρκετινγκ, της εφοδιαστικής και της οργανωτικής συμπεριφοράς για τη μελέτη του τρόπου οργάνωσης των αλυσίδων εφοδιασμού και του τρόπου με τον οποίο οι

θεσμικές ρυθμίσεις επηρεάζουν την αποτελεσματικότητα της βιομηχανίας, τους διαγωνισμούς και την κερδοφορία (Opara, 2002). Οι τεχνολογικές καινοτομίες στις επιστήμες της πληροφορίας και της μηχανικής διαδραματίζουν ολοένα και περισσότερο ζωτικό ρόλο στην παραπάνω διαδικασία, ενώ παράλληλα ο Opara (2002) αναφέρει ότι για το αυξανόμενο ενδιαφέρον για τις αγροδιατροφικές εφοδιαστικές αλυσίδες μπορούν να δοθούν δύο γενικές εξηγήσεις: η εκβιομηχάνιση της γεωργίας και η αβεβαιότητα που συνδέεται με τις διακυμάνσεις της ποιότητας και της ασφάλειας των προϊόντων. Η τάση κάθετου συντονισμού των αγροδιατροφικών εφοδιαστικών αλυσίδων (Agricultural Supply Chains - ASC), η μείωση της κρατικής στήριξης (επιδότησεις) για τη γεωργία, η παγκοσμιοποίηση και ο ανταγωνισμός μεταξύ παραγωγών, μεταποιητών και προμηθευτών, η ανάπτυξη της τεχνολογίας και η χρήση της στη βιομηχανία γεωργικών προϊόντων διατροφής, η αλλαγή της ζήτησης και της κατανάλωσης των καταναλωτών κ.λπ., είναι μερικοί από τους παράγοντες που σχετίζονται με τη στροφή στην εκβιομηχάνιση της γεωργίας (Opara, 2002). Η υψηλή μεταβλητότητα της ποιότητας και του μεγέθους που χαρακτηρίζει το γεωργικό περιβάλλον (παραγωγή, χειρισμός και επεξεργασία) και των βασικών πρώτων υλών τροφίμων δημιουργεί αβεβαιότητα στην ικανότητα της βιομηχανίας να διασφαλίζει τη συνεπή προμήθεια καλής ποιότητας και ασφαλών προϊόντων στον καταναλωτή. Ο ανταγωνισμός πλέον έχει μετατοπιστεί από «μεταξύ επιχειρήσεων» σε ολόκληρες αλυσίδες αξίας,

Η γεωργία είναι εγγενώς μια κατακερματισμένη βιομηχανία, η οποία περιλαμβάνει ένα ευρύ φάσμα διαφορετικών επιχειρήσεων (αγρότες, μεταποιητές, έμποροι και διανομείς) και βασίζεται σε εισροές από διάφορες πηγές, συχνά σε ξεχωριστές γεωγραφικές τοποθεσίες. Για παράδειγμα, αν και ορισμένα προϊόντα διατροφής όπως το κοτόπουλο και το χοιρινό, έχουν υποστεί εκτεταμένη κάθετη ενσωμάτωση στην αλυσίδα παραγωγής και εμπορίας, τα βοοειδή από την άλλη, μπορούν να παραχθούν σε ένα αγρόκτημα, να αναπτυχθούν σε άλλο, να θανατωθούν σε άλλο, και μεταξύ κάθε σταδίου, να μεταφερθούν και να πωληθούν μέσω ανοικτών αγορών, πριν αγοραστούν είτε στην ανοιχτή αγορά είτε απευθείας, νεκρό βάρος, για σφαγή (Calder & Marr, 1998).

Όσον αφορά τα δημητριακά και τα φρέσκα φρούτα και λαχανικά, σύμφωνα με τον Opara (2002), οι περισσότεροι έμποροι και μεταποιητές εφοδιάζονται από διάφορες πηγές (αγρότες, λιανοπωλητές, μεσίτες) προκειμένου να επιτύχουν τους στόχους

μάρκετινγκ και παραγωγής. Από την άποψη του μάρκετινγκ και της επεξεργασίας, η ΔΕΑ είναι ένα ουσιαστικό εργαλείο για την ενσωμάτωση των δραστηριοτήτων των διαφόρων προμηθευτών στις λειτουργίες της εταιρείας, προκειμένου να διασφαλιστεί η συνεπής παράδοση ποιοτικών προϊόντων και υπηρεσιών στον καταναλωτή. Για τον καταναλωτή και άλλους ενδιαφερόμενους, η ΔΕΑ επικεντρώνεται στη βελτίωση της απόδοσης της αλυσίδας εφοδιασμού μέσω της παράδοσης εγγυημένων ασφαλών, επιθυμητών και καλής ποιότητας τροφίμων με οικονομικά αποδοτικό τρόπο. Το αυξανόμενο κόστος συναλλαγών της εντατικής γεωργίας και η ανάγκη μείωσης αυτών των δαπανών, βρίσκεται στο επίκεντρο του ενδιαφέροντος για τη αγροδιατροφική ΔΕΑ.

Με βάση την εμπειρία ενός συστήματος ΔΕΑ μπρόκολου στο Ηνωμένο Βασίλειο, ο Grimsdell (1996) πρότεινε έξι θεμελιώδεις απαιτήσεις για μια αποτελεσματική αλυσίδα εφοδιασμού μεταξύ των καλλιεργητών λαχανικών και των μεγάλων πελατών λιανικής: κλίμακα λειτουργίας, στρατηγικές συμμαχίες, ευελιξία παραγωγής, συνέχεια του εφοδιασμού, ποιοτικός έλεγχος και επικοινωνία. Καταλήγοντας στο συμπέρασμα ότι η πιο δύσκολη πτυχή του έργου ήταν «η καταγραφή σε χαρτί των σύνθετων διαδικασιών» (καταγραφή της ποιότητας και της ποσότητας των εισροών, των εργασιών που αναλήφθηκαν στις καλλιέργειες κ.λπ.) για τη διασφάλιση της δέουσας επιμέλειας και ιχνηλασιμότητας. Αυτό το συμπέρασμα τονίζει τη σημασία της τεχνολογίας πληροφοριών και επικοινωνιών για την επιτυχή εφαρμογή ενός συστήματος διαχείρισης αλυσίδας εφοδιασμού.

Ο Orpara (2002) αναφέρει ότι, η βελτιστοποίηση ολόκληρης της αλυσίδας εφοδιασμού, απαιτεί ένα επίπεδο ανταλλαγής πληροφοριών, ομαδικής εργασίας, συνεργασίας μεταξύ των συμμετεχόντων επιχειρήσεων. Λαμβάνοντας υπόψη αυτό το σενάριο αλληλεξάρτησης, η ταχεία ανταλλαγή δεδομένων για προϊόντα και δραστηριότητες μεταξύ εταιρειών σε μια αλυσίδα εφοδιασμού θα μειώσει το κόστος συναλλαγής. Η εφαρμογή της ιχνηλασιμότητας της αλυσίδας εφοδιασμού ως μέρος του συνολικού συστήματος διαχείρισης ποιότητας στη γεωργία διευκολύνει την ανταλλαγή δεδομένων / πληροφοριών παρέχοντας έναν μηχανισμό καταγραφής, αποθήκευσης, ανάλυσης και μετάδοσης σχετικών δεδομένων για προϊόντα και δραστηριότητες σε καθορισμένους ενδιαφερόμενους.

1.6 Σημασία της ιχνηλασιμότητας στον τομέα των τροφίμων και της γεωργίας

Σήμερα, η ασφάλεια των τροφίμων αποτελεί παγκόσμιο πρόβλημα λόγω ορισμένων σκανδάλων που έχουν σχέση με την ασφάλεια των τροφίμων. Κρούσματα που σχετίζονται με το *Escherichia coli*, την αφρικανική πανώλη των χοίρων, εξαιρετικά μεταδοτικές ασθένειες όπως η γρίπη των πτηνών στα πουλερικά, η σπογγώδης εγκεφαλοπάθεια των βοοειδών (ΣΕΒ) και ο αφθώδης πυρετός στα ζώα, η παρουσία διοξίνης και μικροοργανισμοί όπως η *Salmonella*, *Norovirus*, *Campylobacter*, *Listeria*, *Clostridium* έχουν αυξήσει την προσοχή στα χαρακτηριστικά των τροφίμων τόσο από πλευράς κρατών όσο και των καταναλωτών (Banerjee et al., 2015).

Το εμπόριο γεωργικών ειδών διατροφής και εμπορευμάτων παρουσιάζει μια τεράστια ανάπτυξη. Οι αλλαγές στο εμπορικό περιβάλλον οδήγησαν στην ανάπτυξη του παγκόσμιου δικτύου παραγωγής. Ο μεγάλος αριθμός των εμπλεκόμενων παραγόντων, η απρόβλεπτη προσφορά, η φθαρτή φύση των τροφίμων αύξησαν την ανάγκη για διασφάλιση της ποιότητας και της ασφάλειας σε σχέση με τα τρόφιμα και τις διαδικασίες παραγωγής και για διασφάλιση της ιχνηλασιμότητας και της συμβατότητας μεταξύ των μέτρων ασφάλειας των τροφίμων.

Σύμφωνα με τους Banerjee et al. (2015) και τους Salah et al. (2019), η εφαρμογή αποτελεσματικών συστημάτων ιχνηλασιμότητας βελτιώνει την ικανότητα υλοποίησης επαληθεύσιμων προγραμμάτων ασφάλειας και ποιότητας. Η πρόσβαση στις σχετικές πληροφορίες επιτρέπει στις επιχειρήσεις γεωργικών ειδών διατροφής να διαχειρίζονται καλύτερα τους κινδύνους και να αντιδρούν άμεσα και γρήγορα σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης, ανακαλώντας και αποσύροντας τα επίμαχα προϊόντα. Τα αποτελεσματικά συστήματα ιχνηλασιμότητας μειώνουν σημαντικά τους χρόνους απόκρισης όταν εμφανίζεται ασθένεια ζωική ή φυτική, παρέχοντας ταχύτερη πρόσβαση σε σχετικές και αξιόπιστες πληροφορίες που βοηθούν στον προσδιορισμό της πηγής και της θέσης των εμπλεκόμενων προϊόντων. Έτσι, οι πληροφορίες (σχετικά με την υγεία των ζώων και των φυτών, τη χώρα προέλευσης κ.λπ.) σε οποιοδήποτε σημείο της αλυσίδας από παραγωγό σε καταναλωτή έχουν καταστεί ζωτικής σημασίας. Επιπλέον, όπως αναφέρουν οι Salah et al. (2019), τα γεωργικά προϊόντα που διακινούνται σε πολλές χώρες απαιτούν ακριβή παρακολούθηση και συμμόρφωση με τους ειδικούς κανονισμούς των χωρών. Η ιχνηλασιμότητα των προϊόντων στη

γεωργική αλυσίδα εφοδιασμού απαιτεί τη συλλογή, την επικοινωνία και τη διαχείριση κρίσιμων πληροφοριών προσδιορίζοντας με ακρίβεια την προέλευση, διάφορες ανταλλαγές πληροφοριών στην αλυσίδα εφοδιασμού. Η δυναμική φύση των πληροφοριών στην αλυσίδα εφοδιασμού γεωργικών προϊόντων / τροφίμων όπου τα προϊόντα παράγονται, υποβάλλονται σε επεξεργασία και αποστέλλονται μέσω διαφόρων μεσαζόντων καθιστά δύσκολη την παρακολούθηση και τον εντοπισμό. Η μόλυνση των προϊόντων και οι επιπτώσεις της στη δημόσια υγεία υποδεικνύουν την ιχνηλασιμότητα ως απαραίτητο εργαλείο πολιτικής για την παρακολούθηση της ποιότητας και της ασφάλειας των τροφίμων (Opaga & Mazaud, 2001). Ενώ ο Opaga (2002) χαρακτηρίζει την ιχνηλασιμότητα ως ουσιαστικό δείκτη για το εμπόριο τροφίμων και τη γεωργία γενικότερα και αναφέρει ότι είναι ένα οικονομικά αποδοτικό εργαλείο διαχείρισης ποιότητας και ασφάλειας και διευκολύνει τη διαχείριση κρίσεων όταν παραβιάζεται το πρότυπο ασφάλειας των τροφίμων.

Οι Dabbene και Gay (2011), υποστηρίζουν ότι η συλλογή υψηλής ακρίβειας δεδομένων μέσω εργαλείων μετάδοσης πληροφοριών, όπως οι γραμμωτοί κώδικες και η RFID, επιτρέπει την απόκτηση δεδομένων και την καλύτερη ιχνηλασιμότητα στις γεωργικές αλυσίδες εφοδιασμού και στις αλυσίδες εφοδιασμού τροφίμων. Η τρέχουσα πρακτική όμως της ιχνηλασιμότητας στην αλυσίδα εφοδιασμού της γεωργίας πάσχει σε μεγάλο βαθμό από τον κατακερματισμό των δεδομένων και τους κεντρικούς ελέγχους που αποδεικνύονται ευάλωτοι τόσο στην τροποποίηση δεδομένων όσο και στη διαχείριση. Σε περίπτωση μόλυνσης, ο εντοπισμός της πηγής και η ταχεία απομόνωση του προϊόντος από την αλυσίδα εφοδιασμού απαιτεί στενό συντονισμό μεταξύ της αλυσίδας εφοδιασμού πολλαπλών ενδιαφερόμενων μερών. Τα μεμονωμένα στάδια της προμήθειας τροφίμων έχουν συχνά καλή ιχνηλασιμότητα, αλλά η ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ σταδίων αποδεικνύεται δύσκολη και χρονοβόρα. Η ιχνηλασιμότητα επιτρέπει στοχευμένες αποσύρσεις και παροχή πληροφοριών στο κοινό με ακρίβεια, ελαχιστοποιώντας έτσι τη διαταραχή του εμπορίου και μπορεί να μειώσει το πεδίο εφαρμογής της ανάκλησης κατά 50% έως και 95% σε ορισμένες περιπτώσεις (Banerjee et al., 2015).

Στη γεωργία και στις επιχειρήσεις τροφίμων, ένα ολοκληρωμένο σύστημα ιχνηλασιμότητας της αλυσίδας εφοδιασμού πρέπει να περιλαμβάνει τα ακόλουθα στοιχεία (Opaga, 2002):

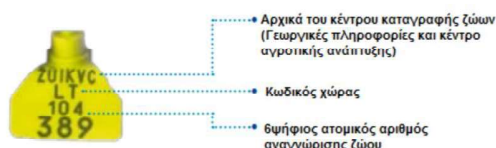
- *ιχνηλασιμότητα του προϊόντος* για τον προσδιορισμό της φυσικής θέσης των ειδών σε οποιοδήποτε στάδιο της προμήθειας, ώστε να διευκολύνεται η ανάκληση ή/και η διάδοση πληροφοριών στους πελάτες και τους καταναλωτές.
- *ιχνηλασιμότητα της διεργασίας* για τον προσδιορισμό του τύπου και της αλληλουχίας των γεγονότων που συνέβησαν κατά την παραγωγή και το χειρισμό του προϊόντος: τι, που, πότε. Σε αυτές περιλαμβάνονται α) φυσικοί/μηχανικοί, χημικοί, περιβαλλοντικοί και ατμοσφαιρικοί παράγοντες, επεξεργασίες και σκευάσματα που θα μπορούσαν να οδηγήσουν σε μετατροπή της πρώτης ύλης σε προϊόντα προστιθέμενης αξίας και β) απουσία ή παρουσία προσμεμίξεων.
- *ιχνηλασιμότητα εισροών* για τον προσδιορισμό (α) του τύπου και της προέλευσης (πηγή, προμηθευτής) των συστατικών που χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία του ακατέργαστου προϊόντος (σπόροι, μοσχεύματα στελέχους και άλλα υλικά φύτευσης, λιπάσματα, χημικά σπρέι, νερό άρδευσης, ζώα, ζωοτροφές) και (β) υλικά (πρόσθετα, χημικά) που χρησιμοποιούνται για το χειρισμό μετά τη συγκομιδή, τη συντήρηση και / ή τον μετασχηματισμό της βασικής πρώτης ύλης τροφίμων σε μεταποιημένα (ανασυσταθέντα ή νέα) προϊόντα διατροφής. Η ιχνηλασιμότητα των εισροών περιλαμβάνει την ανάλυση των γενετικών συστατικών των προϊόντων.
- *ιχνηλασιμότητα της νόσου* για τον προσδιορισμό της εστίας και την παρακολούθηση της επιδημιολογίας των βιοτικών κινδύνων, όπως τα βακτήρια, οι ιοί και άλλα νεοεμφανιζόμενα παθογόνα, οι οποίοι αποτελούν δυνητικούς κινδύνους για τον άνθρωπο μέσω της μόλυνσης των τροφίμων και άλλων προϊόντων κατάποσης που προέρχονται από βιολογικές και γεωργικές πρώτες ύλες.
- *γενετική ιχνηλασιμότητα* για τον προσδιορισμό της γενετικής σύστασης του προϊόντος, συμπεριλαμβανομένης της ποικιλίας, του τύπου, της προέλευσης και των αλλοιώσεων στη βασική δομή του DNA.
- *ιχνηλασιμότητα μέτρησης* για τη συσχέτιση μεμονωμένων αποτελεσμάτων μετρήσεων (όπως η ποιότητα του προϊόντος και τα χαρακτηριστικά ασφαλείας) μέσω μιας αδιάσπαστης αλυσίδας βαθμονομήσεων με αποδεκτά πρότυπα αναφοράς.

1.7 Εργαλεία ιχνηλασιμότητας

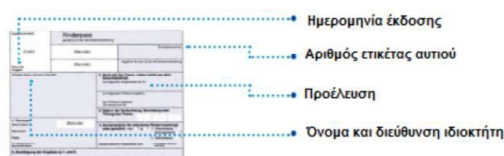
Κάποια παραδείγματα εργαλείων και ετικετών ιχνηλασιμότητας¹² παρουσιάζονται παρακάτω (Πίνακας 1-1):

Πίνακας 1-1: Ενημερωτικό δελτίο της ΕΕ για την ιχνηλασιμότητα των τροφίμων

Ετικέτα αιγοπροβάτων, Λιθουανία



Διαβατήριο βοοειδών, Γερμανία



Ετικέτα σε μοσχαρίσιο φιλέτο, Βέλγιο



Ετικέτα στα πορτοκάλια, Βέλγιο



Πηγή: Γενική Διεύθυνση Υγείας και Προστασίας των Καταναλωτών της Ευρωπαϊκής Επιτροπής

➤ *Barcodes - Γραμμικοί κώδικες*



Εικόνα 1-3: Barcodes
- Γραμμικοί κώδικες

Ο γραμμωτός κώδικας είναι μια οπτική μηχανικά αναγνώσιμη αναπαράσταση δεδομένων που σχετίζονται με το αντικείμενο στο οποίο είναι προσαρτημένο (Εικόνα 1-3).

Οι γραμμωτοί κώδικες αντιπροσωπεύουν συστηματικά δεδομένα μεταβάλλοντας το πλάτος και την απόσταση παράλληλων γραμμών (1D) ή ορθογωνίων, κουκκίδων, εξάγωνων και άλλων γεωμετρικών μοτίβων σε δύο διαστάσεις (2D). Οι γραμμωτοί κώδικες αναγνώστηκαν και αποκωδικοποιήθηκαν αρχικά από ειδικούς οπτικούς σαρωτές που ονομάζονταν αναγνώστες γραμμωτού κώδικα.

Αργότερα, σαρωτές και ερμηνευτικό λογισμικό έγιναν διαθέσιμα σε συσκευές συμπεριλαμβανομένων επιτραπέζιων εκτυπωτών και smartphones. Οι πρωτοβουλίες ιχνηλασιμότητας προϊόντων χρησιμοποιούν έναν αριθμό είδους παγκόσμιου εμπορίου (GTIN) για την επίτευξη ιχνηλασιμότητας. Ένα GTIN περιλαμβάνει ένα πρόθεμα της εταιρείας GS1 και έναν μοναδικό αριθμό αναφοράς στοιχείου συμβατό με τους γραμμικούς κώδικες κωδικού καθολικού προϊόντος και RFID ή αναγνώσιμους από τον άνθρωπο κωδικούς.

➤ *Συσκευή αναγνώρισης ραδιοσυχνότητων (RFID)*



Εικόνα 1-4: Συσκευή RFID

RFID είναι τεχνολογία που εισάγει ένα τσιπ ικανό να αναγνωριστεί μέσω της συχνότητας των ραδιοκυμάτων που εκπέμπονται.

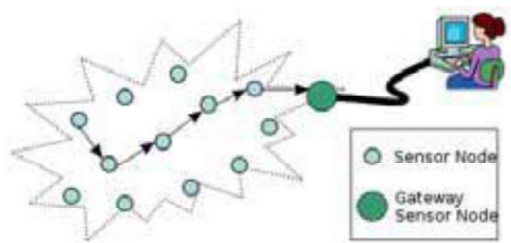
Ορισμένες συσκευές RFID (Εικόνα 1-4) έχουν ακόμη και μια λειτουργία μνήμης (που αποθηκεύει δεδομένα) η οποία επιτρέπει μεγαλύτερη μετάδοση πληροφοριών. Οι συσκευές

RFID είναι είτε ενεργές (μπορούν να στείλουν ηλεκτρονικά κύματα) είτε παθητικές (μπορούν να απεικονίσουν μόνο ηλεκτρονικά κύματα από έναν αναγνώστη RFID). Σε πολλές περιπτώσεις, εκτός από τη χρήση ετικετών χαρτιού ή εμπορικών σημάτων σε βοοειδή, οι ετικέτες RFID μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για τους σκοπούς της αυτόματης αναγνώρισής τους. Οι ετικέτες χαρτιού, οι επωνυμίες και οι ετικέτες RFID λειτουργούν ως αναγνωριστικό σε τέτοια συστήματα. Η λειτουργία ενός συστήματος ιχνηλασιμότητας είναι η αλίευση και ο εντοπισμός τέτοιων αναγνωριστικών στοιχείων σε ολόκληρη την αλυσίδα εφοδιασμού. Το σύστημα ιχνηλασιμότητας μπορεί να προσδιορίσει ποια είναι/ήταν η θέση συγκεκριμένου στοιχείου και ποια πορεία ακολουθεί/ακολούθησε αυτόματα. Για να πραγματοποιήσουν μια τέτοια λειτουργία, τα συστήματα παρακολούθησης συλλέγουν δεδομένα στρατηγικά.

➤ *Ασύρματο δίκτυο αισθητήρων (WSN)*

Ένα ασύρματο δίκτυο αισθητήρων (WSN) είναι ένα χωρικά καταμεμημένο αυτόνομο δίκτυο αισθητήρων για τη συλλογή και την παρακολούθηση δεδομένων από φυσικές ή περιβαλλοντικές συνθήκες όπως η θερμοκρασία, ο ήχος, η πίεση κ.λπ. Τα πιο σύγχρονα δίκτυα είναι αμφίδρομα, επιτρέποντας επίσης τον έλεγχο της δραστηριότητας των αισθητήρων.

Επιπλέον, μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν πιο προηγμένες τεχνολογίες, όπως το Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών, το Παγκόσμιο Σύστημα Εντοπισμού Θέσης, η Τηλεπισκόπηση κ.λπ.



Εικόνα 1-5: Τυπική αρχιτεκτονική δικτύου ασύρματων αισθητήρων

Οι Demestichas et al. (2020) αναφέρουν ότι, λόγω των χαρακτηριστικών τους, τα συστήματα RFID παρέχουν ένα ασφαλές σύστημα διαχείρισης πληροφοριών και δεδομένων της γεωργικής τροφής για παραγωγούς, χονδρεμπόρους, εμπόρους λιανικής και καταναλωτές. Η τεχνολογία RFID συμβάλλει στη διαχείριση της αλυσίδας εφοδιασμού γεωργικών τροφίμων με τον εντοπισμό και την παρακολούθηση της διαδρομής «από το αγρόκτημα στο πιρούνι».

Μόλις παρουσιαστεί πρόβλημα ασφάλειας των τροφίμων, η πηγή του και κατά συνέπεια η λύση μπορεί να βρεθεί γρήγορα. Μια εναλλακτική λύση ή ένα συμπλήρωμα στις ετικέτες RFID είναι τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων (Wireless Sensor Networks-WSN). Το WSN (Εικόνα 1-5) αποτελείται από ασύρματους αισθητήρες και ενεργοποιητές, όπως αισθητήρες υγρασίας, αισθητήρες θερμοκρασίας, αισθητήρες ήχου, αισθητήρες πίεσης, ρυθμιστές και άλλα, που επικοινωνούν μέσω ασύρματου μόντεμ με εξωτερικό σύστημα όπου τα δεδομένα αποθηκεύονται και καθίστανται διαθέσιμα για τους ενδιαφερόμενους (Demestichas et al., 2020). Μέσω των WSN, πληροφορίες, όπως η θερμοκρασία, η υγρασία, η ταχύτητα του ανέμου, οι ασθένειες

των φυτών, τα έντομα και τα ζωτικά σημάδια των ζώων, μπορούν να ληφθούν, να υποβληθούν σε επεξεργασία και να σταλούν σε υψηλότερο επίπεδο για υποστήριξη αποφάσεων. Συνήθως τα WSN αποτελούνται από πολλούς κόμβους αισθητήρων που τροφοδοτούνται με μπαταρία και έχουν χαμηλή κατανάλωση ενέργειας.

Συγκεκριμένα, οι αισθητήρες στη γεωργία συνήθως φυτεύονται στο έδαφος, προκειμένου να συλλέγουν δεδομένα σχετικά με τις συνθήκες φυτείας (Shi et al., 2019). Επιπλέον, τα WSN μπορούν να συνδυαστούν με πιο προηγμένες τεχνολογίες όπως GPS και τηλεπισκόπηση για να παρέχουν επιπλέον λειτουργικότητα.

Καθώς η αλυσίδα εφοδιασμού τροφίμων είναι εξαιρετικά περίπλοκη και ταυτόχρονα οι ανάγκες και η ευαισθητοποίηση των καταναλωτών για φρέσκα, ασφαλή και ποιοτικά τρόφιμα αυξάνονται συνεχώς, τα συστήματα ιχνηλασιμότητας προσφέρουν πολλά πλεονεκτήματα, συμπεριλαμβανομένης της μείωσης του χρόνου που απαιτείται για την ανάκληση και την απόσυρση προϊόντων επικίνδυνων για τη δημόσια υγεία, βελτιώνοντας έτσι την ασφάλεια και την εμπιστοσύνη των καταναλωτών. Επιπλέον, η ιχνηλασιμότητα παρέχει στη γεωργική εφοδιαστική αλυσίδα διαφάνεια και αξιοπιστία, χαρακτηριστικά υψίστης σημασίας λαμβάνοντας υπόψη την πολυπλοκότητα της αλυσίδας εφοδιασμού τροφίμων σήμερα (Demestichas et al., 2020). Ως εκ τούτου, τα συστήματα ιχνηλασιμότητας αντιμετωπίζουν μια σειρά θεμάτων, σύμφωνα με τον Burke (2019), συμπεριλαμβανομένης της απάτης σε τρόφιμα, της επισιτιστικής ασφάλειας και απόσυρσης, της συμμόρφωσης με κανονισμούς, κοινωνικά ζητήματα και ευαισθητοποίηση των καταναλωτών. Για τις επιχειρήσεις, η ανάχνευση και παρακολούθηση προϊόντων μπορεί να οδηγήσει σε αυξημένη αξία των περιουσιακών στοιχείων της επιχείρησης και σε αυξημένο κέρδος μέσω της μείωσης του κόστους μακροπρόθεσμα.

2. Τεχνολογία Blockchain

2.1 Ορισμός Blockchain

Το πρώτο Blockchain (BC) σχεδιάστηκε το 2008 από ένα ανώνυμο άτομο ή ομάδα γνωστή ως Satoshi Nakamoto και υλοποιήθηκε το 2009 ως βασικό συστατικό του Bitcoin όπου χρησιμεύει ως δημόσιο καθολικό για όλες τις συναλλαγές.¹³

Σύμφωνα με διάφορες δημοσιεύσεις, το BC λαμβάνει ελαφρώς διαφορετικούς ορισμούς. Για παράδειγμα, ο Unurjargal (2019) ορίζει το BC λέγοντας ότι «είναι μια συνεχώς αυξανόμενη λίστα εγγραφών, που ονομάζονται μπλοκ (block), τα οποία συνδέονται και ασφαλίζονται χρησιμοποιώντας κρυπτογράφηση» και «επιβεβαιώνονται από όλους τους συμμετέχοντες κόμβους(nodes)» (Raikwar et al., 2019). Επίσης αναφέρεται ότι «είναι μια κατανεμημένη (distributed) βάση δεδομένων, η οποία μοιράζεται και συμφωνείται σε ένα ομότιμο δίκτυο (peer-to-peer). Αποτελείται από μια συνδεδεμένη ακολουθία block (μια μονάδα αποθήκευσης συναλλαγών), που κρατούν συναλλαγές με χρονική σήμανση-timestamp) που εξασφαλίζονται με κρυπτογράφηση δημόσιου κλειδιού (public key cryptography) και επαληθεύονται από την κοινότητα του δικτύου. Μόλις ένα στοιχείο προσαρτηθεί στην αλυσίδα block, δεν μπορεί να τροποποιηθεί, μετατρέποντας μια αλυσίδα block σε αμετάβλητη καταγραφή προηγούμενης δραστηριότητας» (Seebacher & Schüritz, 2017).

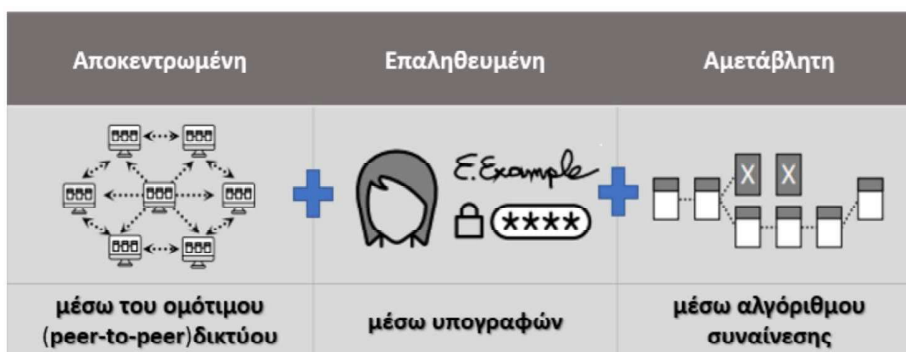
Το BC είναι ένα κατανεμημένο ψηφιακό καθολικό συναλλαγών που δεν μπορούν να παραποιηθούν λόγω της χρήσης κρυπτογραφικών μεθόδων (Pilkington 2016). Αυτή η σύντομη εξήγηση περιλαμβάνει τις τρεις σημαντικότερες ιδιότητες ενός BC, σύμφωνα με τους Hackius και Petersen (2017): *αποκεντρωμένο (Decentralized)*, *επαληθευμένο (verified)* και *αμετάβλητο (Immutable)* (Εικόνα 2-1).

- Αποκεντρώνεται επειδή το δίκτυο διοικείται εξ ολοκλήρου από τα μέλη του, χωρίς να βασίζεται σε κεντρική αρχή ή κεντρική υποδομή που καθιέρωσε εμπιστοσύνη. Για να προστεθεί μια συναλλαγή στο καθολικό, η συναλλαγή πρέπει να κοινοποιηθεί στο ομότιμο δίκτυο του BC. Όλα τα μέλη διατηρούν το δικό τους τοπικό αντίγραφο του καθολικού.
- Επαληθεύεται επειδή τα μέλη υπογράφουν τις συναλλαγές χρησιμοποιώντας κρυπτογράφηση δημόσιου-ιδιωτικού κλειδιού πριν τις μοιραστούν με το

¹³ <https://en.wikipedia.org/wiki/Blockchain>

δίκτυο. Επομένως, μόνο ο κάτοχος του ιδιωτικού κλειδιού μπορεί να τα ξεκινήσει. Ωστόσο, τα μέλη μπορούν να παραμείνουν ανώνυμα επειδή τα κλειδιά δεν συνδέονται με πραγματικές ταυτότητες.

- Είναι αμετάβλητο μέσω του αλγορίθμου συναίνεσης (consensus algorithm): Μία ή περισσότερες συναλλαγές ομαδοποιούνται για να σχηματίσουν ένα νέο block. Όλα τα μέλη του δικτύου μπορούν να επαληθεύσουν τις συναλλαγές στο block. Εάν δεν επιτευχθεί συναίνεση σχετικά με την εγκυρότητα του νέου block, το block απορρίπτεται. Ομοίως, εάν υπάρχει συναίνεση ότι οι συναλλαγές στο block είναι έγκυρες, το block προστίθεται στην αλυσίδα. Για κάθε block δημιουργείται ένας κρυπτογραφικός κατακερματισμός (hash). Κάθε block όχι μόνο διατηρεί εγγραφές συναλλαγών αλλά και τον κατακερματισμό (hash) του προηγούμενου block. Αυτό δημιουργεί μια αλληλεξάρτηση των block που συνδέονται με μια αλυσίδα - την αλυσίδα block (BC). Η αναδρομική αλλαγή μιας συναλλαγής στο BC θα απαιτούσε όχι μόνο την τροποποίηση των τοπικών εγγραφών στις περισσότερες συσκευές των μελών του δικτύου, αλλά και την αλλαγή του κρυπτογραφικού κατακερματισμού κάθε block στην αλυσίδα.



Εικόνα 2-1: Βασικές Ιδιότητες του Blockchain (Πηγή: Hackius & Petersen, 2017)

2.2 Βασικές έννοιες του Blockchain

2.2.1 Αποκεντρωμένο και Κατανεμημένο Δίκτυο (*Decentralised & Distributed Network*)

Η Κουτσοιράδη (2020) αναφέρει ότι, η πιο βασική έννοια όταν μιλάμε για BC είναι αυτή της αποκέντρωσης, η οποία αποτελεί και τον πυρήνα ύπαρξης της τεχνολογίας αυτής. Ο όρος αποκέντρωση σημαίνει διανομή του ελέγχου και της εξουσίας αντί

ύπαρξη μιας κεντρικής αρχής που να έχει τον πλήρη έλεγχο. Στα αποκεντρωμένα (decentralized) συστήματα (Εικόνα 2-2), καμία κεντρική οντότητα δεν έχει τον έλεγχο, αλλά πολλές, που διατηρούν αντίγραφο του συστήματος. Δεν είναι άπρωτα σε επιθέσεις αλλά είναι αρκετά ασφαλή σε σχέση με τα κεντρικά και έχουν καλύτερες επιδόσεις, ευελιξία αλλά και υψηλότερα κόστη.

Σε αντίθεση, στα κεντρικά (centralized) συστήματα (Εικόνα 2-2) όλοι οι χρήστες συνδέονται σε ένα κεντρικό δίκτυο/server που αποθηκεύει και ελέγχει τα δεδομένα. Τέτοιου είδους συστήματα είναι εύκολο να υλοποιηθούν αλλά είναι ιδιαίτερα ευάλωτα, καθώς εάν καταστραφεί το κεντρικό δίκτυο, χάνονται τα δεδομένα (Κουτσουράδη, 2020).

Τα διανεμημένα (distributed) συστήματα (Εικόνα 2-2) είναι παρόμοια με τα αποκεντρωμένα αλλά δεν υπάρχει καμία κεντρική αρχή, όλοι οι χρήστες έχουν ισότιμη πρόσβαση και μοιράζονται υπολογιστικούς πόρους.

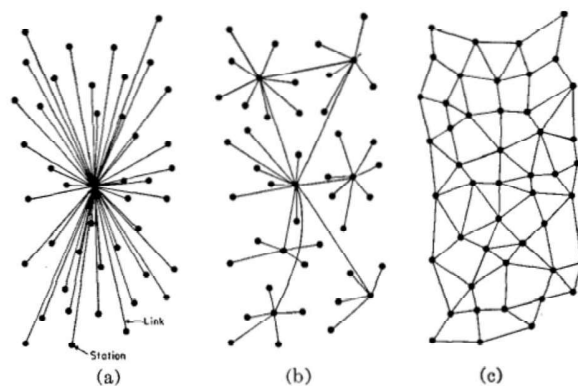
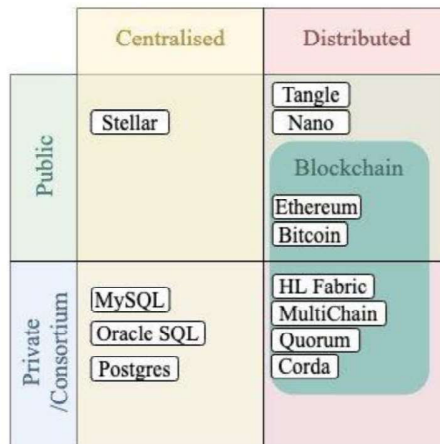


Fig. 1—(a) Centralized. (b) Decentralized. (c) Distributed networks.

Εικόνα 2-2: Κεντρικά, αποκεντρωμένα και διανεμημένα δίκτυα¹⁴.

Οι Lin et al. (2020) υποστηρίζουν ότι οι λύσεις αποθήκευσης και ανάκτησης δεδομένων παίζουν κεντρικό ρόλο στα γεωργικά οικοσυστήματα. Το οικοσύστημα αποθήκευσης δεδομένων απεικονίζεται στην Εικόνα 2-3:

¹⁴ <https://medium.com/@VitalikButerin/the-meaning-of-decentralization-a0c92b76a274>



Εικόνα 2-3: Το οικοσύστημα αποθήκευσης δεδομένων. Το Blockchain παίζει ένα σημαντικό ρόλο στο οικοσύστημα. (Πηγή: Lin et al., 2020)

2.2.2 Κατανεμημένο Καθολικό (Distributed Ledger)

Η τεχνολογία του κατανεμημένου καθολικού (Distributed Ledger Technology - DLT), αναφέρεται σε μια νέα και ταχέως εξελισσόμενη προσέγγιση για την καταγραφή και την κοινή χρήση δεδομένων σε πολλαπλές αποθήκες δεδομένων (ή καθολικά). Αυτή η τεχνολογία επιτρέπει την καταγραφή, κοινή χρήση και συγχρονισμό συναλλαγών και δεδομένων σε ένα κατανεμημένο δίκτυο διαφορετικών συμμετεχόντων στο δίκτυο. (World Bank Group, 2017). Χαρακτηριστικό του κατανεμημένου καθολικού είναι ότι δεν υπάρχει κεντρικός διαχειριστής ή κεντρική αποθήκευση δεδομένων. Μόλις υπάρξει η συναίνεση, το κατανεμημένο καθολικό ενημερώνεται και όλοι οι κόμβοι διατηρούν το δικό τους όμοιο αντίγραφο του (Bauerle, 2017). Ένα ακόμη χαρακτηριστικό της τεχνολογίας αυτής είναι η χρήση κρυπτογραφίας ως μέσο αποθήκευσης περιουσιακών στοιχείων και επικύρωσης συναλλαγών. Μόλις μία συναλλαγή επικυρωθεί και υπάρξει συναίνεση, το κατανεμημένο καθολικό ενημερώνεται και όλοι οι κόμβοι διατηρούν στον υπολογιστή τους ένα αντίγραφο της συναλλαγής (Bauerle, 2017). Μέσω των BC το κατανεμημένο καθολικό κατάφερε να αναδείξει τις δυνατότητές του. Υπάρχουν δημόσια και ιδιωτικά καθολικά. Στα δημόσια καθολικά ο κάθε χρήστης έχει ένα αντίγραφο της βάσης δεδομένων ενώ στα ιδιωτικά ο κάθε κόμβος έχει δικαιώματα, μέσα από τον μηχανισμό ελέγχου πρόσβασης μπορεί να συνδεθεί στο δίκτυο και να κάνει αλλαγές στο καθολικό (Σιάλδας, 2020). Τα κατανεμημένα καθολικά προσφέρουν μια σειρά από οφέλη στην κυβέρνηση και σε άλλους οργανισμούς του δημόσιου και του ιδιωτικού τομέα. Όπως υποδηλώνει το όνομά τους, μπορούν να διανεμηθούν ευρέως με έναν απόλυτα ελεγχόμενο τρόπο. Είναι πολύ αποδοτικά, επειδή οι αλλαγές

από οποιονδήποτε συμμετέχοντα με την απαραίτητη άδεια για τροποποίηση του καθολικού αντικατοπτρίζονται αμέσως σε όλα τα αντίγραφα του καθολικού (Σιάλδας, 2020).

2.2.3. Δίκτυα ομότιμων κόμβων (*Peer-to-Peer networks*)

Στην περίπτωση του BC, οι υπολογιστές ή αλλιώς κόμβοι (nodes) που συμμετέχουν στην αλυσίδα, δημιουργούν ένα δίκτυο, είναι συνδεδεμένοι και ισότιμοι μεταξύ τους, διαμοιράζονται τις ίδιες πληροφορίες, εκτελούν τις ίδιες εργασίες και η επικοινωνία επιτυγχάνεται χωρίς τη βοήθεια κεντρικού κόμβου.

Η διαδικασία αυτή μπορεί να είναι πολυπλοκότερη από την παραδοσιακή αλλά είναι ασφαλέστερη καθώς αν ένας κόμβος χαθεί, το σύστημα συνεχίζει να λειτουργεί. Όσο πιο πολλοί κόμβοι, τόσο ασφαλέστερο το δίκτυο. Το γεγονός ότι η αλυσίδα διαμοιράζεται στους χρήστες, τη διαχωρίζει από τις κλασικές βάσεις δεδομένων, διότι δεν υπάρχει ανάγκη για τρίτο μέρος για την επικύρωση των συναλλαγών π.χ. μέσω μιας τράπεζας (Κουτσοιράδη, 2020).

2.2.4 Κόμβοι (*Nodes*)

Ένας κόμβος μπορεί πραγματικά να είναι οποιοδήποτε σύστημα που έχει χωρητικότητα αποθήκευσης και συνδεσιμότητα στο Διαδίκτυο. Με απλά λόγια, ένας κόμβος δικτύου είναι ένα σημείο όπου ένα μήνυμα μπορεί να δημιουργηθεί, να ληφθεί ή να μεταδοθεί. Κάθε ένας από τους κόμβους που συμμετέχει σε ένα δίκτυο αναλαμβάνει ένα διαφορετικό ρόλο μέσα σε αυτό. Κάθε τύπος κόμβου παρέχει συγκεκριμένες λειτουργίες βάσει του ρόλου του. Όλοι οι τύποι κόμβων έχουν τη δυνατότητα να δρομολογήσουν μία συναλλαγή (Σιάλδας, 2020). Οι Gruber et al. (2018) διακρίνουν στο BC ότι υπάρχουν τρία διαφορετικά ήδη κόμβων:

- Mining nodes: οι ανθρακωρύχοι (miners) ή οι επικυρωτές (validators) είναι κόμβοι που συμμετέχουν στη συναίνεση ρουτίνας για να επιβεβαιώσουν μπλοκ / συναλλαγές. Συνήθως ανταμείβονται για τη συμμετοχή τους στην διαδικασία επικύρωσης).
- Full nodes: Οι πλήρεις κόμβοι είναι πελάτες (clients) του BC που διατηρούν ένα πλήρες αντίγραφο της αλυσίδας μπλοκ. Οι κόμβοι αυτοί δεν χρειάζεται να συμμετέχουν στη συναίνεση (δηλαδή δεν χρειάζεται να κάνουν εξόρυξη), αλλά να επαληθεύουν την ορθότητα κάθε ληφθείσας συναλλαγής/μπλοκ στο δίκτυο

και να συμβάλλουν στη διάδοση ορθών πληροφοριών εντός της αλυσίδας μπλοκ.

- **Lightweight nodes:** Σε αντίθεση με τους πλήρεις κόμβους, οι lightweight πελάτες δεν κατεβάζουν και δεν επεξεργάζονται την πλήρη αλυσίδα μπλοκ. Αντίθετα, συνδέονται με πλήρεις κόμβους οι οποίοι τους προωθούν μόνο τις συναλλαγές που ζητούν. Ο Σιάλδας (2020) αναφέρει ότι, οι κόμβοι αυτοί επαληθεύουν συναλλαγές χρησιμοποιώντας μια μέθοδο που ονομάζεται απλοποιημένη επαλήθευση πληρωμής (SPV). Το SPV επιτρέπει σε έναν κόμβο να επαληθεύει εάν μια συναλλαγή έχει συμπεριληφθεί σε ένα μπλοκ, χωρίς να χρειαστεί να κατεβάσει ολόκληρο το BC. Με το SPV, οι πλήρεις κόμβοι εξυπηρετούν lightweight κόμβους επιτρέποντάς τους να συνδεθούν και να μεταδώσουν τις συναλλαγές τους στο δίκτυο και τους ειδοποιούν όταν μια συναλλαγή τους επηρεάζει. Γενικά, χρειάζεται μεγάλος αποθηκευτικός χώρος για να διατηρηθεί ένα πλήρες αντίγραφο του κατανεμημένου καθολικού ενός BC.

2.2.5 Κατακερματισμός (*Hashing*)

Η Μπεκρή (2020) αναφέρει ότι μία συνάρτηση κατακερματισμού είναι ένας μαθηματικός αλγόριθμος που έχοντας ως είσοδο μία αυθαίρετου μεγέθους ομάδα δεδομένων, παράγει ως έξοδο μία καθορισμένου μεγέθους στοιχειοσειρά (string), σχεδιασμένη επιπλέον να είναι μονόδρομη, έτσι ώστε να είναι αδύνατο να αντιστραφεί. Σύμφωνα με τη Μπισδούνη (2019), οι συναρτήσεις κατακερματισμού θα πρέπει να εκτελούνται ταχύτατα, να είναι ντετερμινιστικές δηλαδή για την ίδια είσοδο να παράγουν την ίδια έξοδο και για παραπλήσιες εισόδους να επιστρέφουν τιμές αρκετά διαφορετικές μεταξύ τους. Είναι η διαδικασία κατά την οποία γίνεται η λήψη μιας ομάδας πληροφοριών ανεξαρτήτου μεγέθους και η απόδοση μίας αλυσίδας εξόδου σταθερού μήκους αλφαριθμητικού χαρακτήρα. Υπάρχουν διάφορες τέτοιες συναρτήσεις, στην περίπτωση του SHA-256, ανεξάρτητα από το πόσο μεγάλη ή μικρή είναι η είσοδος που πραγματοποιείται, η έξοδος θα έχει πάντα σταθερό μήκος 256 bits (32 bytes). Αυτή η διαδικασία αποβαίνει κρίσιμη όταν πρόκειται για ένα τεράστιο όγκο δεδομένων και συναλλαγών. Στην Εικόνα 2-4 φαίνεται η hash τιμή που επιστρέφει η συνάρτηση SHA-256¹⁵ για το κείμενο «Blockchain in agriculture» και η τιμή hash για

¹⁵ <https://andersbrownworth.com/blockchain/hash>

το κείμενο «blockchain in agriculture». Η τιμή του hash αλλάζει αν τροποποιήσουμε τα δεδομένα, π.χ. μετατρέποντας το γράμμα Β από κεφαλαίο σε μικρό b (Εικόνα 2-5), δηλαδή οποιαδήποτε αλλαγή στα δεδομένα δημιουργεί διαφορετικό hash.

SHA256 Hash



The image shows a web-based SHA256 hash calculator. It has a light gray background. On the left, there is a large blue arrow pointing to the right. To the right of the arrow, there are two input fields. The top field is labeled 'Data:' and contains the text 'Blockchain in agriculture'. The bottom field is labeled 'Hash:' and contains the long hexadecimal string '616a6fd5313eb231126c4bad22ef928907ad9bf1b02cbaa9bfa50e37ace8936'.

Εικόνα 2-4: Τιμές επιστροφής κρυπτογραφικών συναρτήσεων κατακερματισμού για το κείμενο “Blockchain in agriculture”

SHA256 Hash



The image shows a web-based SHA256 hash calculator, similar to the one in the previous image. It has a light gray background. On the left, there is a large blue arrow pointing to the right. To the right of the arrow, there are two input fields. The top field is labeled 'Data:' and contains the text 'blockchain in agriculture' (note the lowercase 'b'). The bottom field is labeled 'Hash:' and contains the long hexadecimal string '04aa03f64b002154f34650821b58a5ff612aa319b1d13322320f370f22b15b49'.

Εικόνα 2-5: Τιμές επιστροφής κρυπτογραφικών συναρτήσεων κατακερματισμού για το κείμενο “blockchain in agriculture”

2.2.6 Ασύμμετρη Κρυπτογραφία (Asymmetric cryptography)

Η ασύμμετρη κρυπτογραφία, γνωστή και ως κρυπτογράφηση δημόσιου κλειδιού, είναι μια διαδικασία που χρησιμοποιεί ένα ζεύγος σχετιζόμενων κλειδιών –ένα δημόσιο κλειδί και ένα ιδιωτικό κλειδί– για να κρυπτογραφήσει και να αποκρυπτογραφήσει ένα μήνυμα και να το προστατεύσει από μη εξουσιοδοτημένη πρόσβαση ή χρήση. Ένα δημόσιο κλειδί είναι ένα κρυπτογραφικό κλειδί που μπορεί να χρησιμοποιηθεί από οποιοδήποτε άτομο για την κρυπτογράφηση ενός μηνύματος, έτσι ώστε να μπορεί να αποκρυπτογραφηθεί μόνο από τον παραλήπτη για τον οποίο προορίζεται με το ιδιωτικό του κλειδί. Ένα ιδιωτικό κλειδί -- επίσης γνωστό ως μυστικό κλειδί -- μοιράζεται μόνο με τον key initiator.

Όταν κάποιος θέλει να στείλει ένα κρυπτογραφημένο μήνυμα, μπορεί να τραβήξει το δημόσιο κλειδί του παραλήπτη από έναν δημόσιο κατάλογο και να το χρησιμοποιήσει για να κρυπτογραφήσει το μήνυμα πριν το στείλει. Ο παραλήπτης του μηνύματος μπορεί στη συνέχεια να αποκρυπτογραφήσει το μήνυμα χρησιμοποιώντας το σχετικό ιδιωτικό κλειδί. Από την άλλη, εάν ο αποστολέας κρυπτογραφεί το μήνυμα χρησιμοποιώντας το ιδιωτικό του κλειδί, τότε το μήνυμα μπορεί να αποκρυπτογραφηθεί μόνο χρησιμοποιώντας το δημόσιο κλειδί αυτού του αποστολέα, πιστοποιώντας έτσι τον αποστολέα. Αυτές οι διαδικασίες κρυπτογράφησης και αποκρυπτογράφησης πραγματοποιούνται αυτόματα. Η διαδικασία κρυπτογράφησης χρησιμοποιείται επίσης σε προγράμματα περιήγησης που πρέπει να δημιουργήσουν μια ασφαλή σύνδεση μέσω ενός μη ασφαλούς δικτύου όπως το Διαδίκτυο ή πρέπει να επικυρώσουν μια ψηφιακή υπογραφή¹⁶.

Ψηφιακή υπογραφή: Οι ψηφιακές υπογραφές επιτρέπουν τον έλεγχο σχετικά με το εάν ορισμένα δεδομένα ανήκουν σε κάποιον ο οποίος το ισχυρίζεται. Η δημιουργία μιας ψηφιακής υπογραφής γίνεται λαμβάνοντας την hash τιμή των δεδομένων και κρυπτογραφώντας την με το ιδιωτικό κλειδί του κατόχου των δεδομένων. Τόσο τα αρχικά δεδομένα όσο και η κρυπτογραφημένη τιμή (υπογραφή) τοποθετούνται μαζί σε ένα αρχείο και αποτελούν πλέον το ψηφιακά υπογεγραμμένο μήνυμα του κατόχου των δεδομένων. Η επαλήθευση ότι όντως τα δεδομένα ανήκουν σε αυτόν που το ισχυρίζεται γίνεται λαμβάνοντας το ψηφιακά υπογεγραμμένο αρχείο και εφαρμόζοντας μόνο στα δεδομένα του την hash συνάρτηση. Αν η τιμή που θα προκύψει είναι ίδια με την τιμή που θα επιστραφεί αποκρυπτογραφώντας την ψηφιακή υπογραφή που περιέχεται στο αρχείο τότε αυτό σημαίνει ότι πράγματι τα δεδομένα ανήκουν σε αυτόν που το είχε ισχυριστεί. Αντίστοιχα, η αναγνώριση απάτης είναι εύκολη καθώς οποιαδήποτε αλλαγή στα δεδομένα του αρχείου θα αλλάξει την hash τιμή των δεδομένων και πλέον δεν θα υπάρχει συμφωνία ανάμεσα σε αυτή και στην τιμή της αποκρυπτογραφημένης ψηφιακής υπογραφής (Μπισδούνη 2019).

2.3 Τύποι Blockchain, Μηχανισμοί συναίνεσης και Έξυπνα συμβόλαια

2.3.1 Τύποι Blockchain

Σύμφωνα με τους Olsen et al. (2019), ένα σύστημα BC μπορεί να κατηγοριοποιηθεί σε τρεις τύπους: (1) *δημόσιο (public)*, (2) *ιδιωτικό (private)* και (3) *κοινοπραξία*

¹⁶ <https://searchsecurity.techtarget.com/definition/asymmetric-cryptography>

(*consortium*), μερικές φορές αναφέρεται επίσης ως υβριδικό-hybrid, με βάση κριτήρια όπως ο έλεγχος ταυτότητας και ο μηχανισμός ελέγχου των συστημάτων BC (Hassan et al. 2019).

Δημόσιο (Public)

Μια αλυσίδα μπλοκ χωρίς άδεια (Permissionless BC) ή μια δημόσια αλυσίδα μπλοκ (Public BC) είναι βασικά μια αποκεντρωμένη πλατφόρμα ανοιχτού κώδικα στην οποία μπορεί να συμμετάσχει κάθε άτομο ανεξάρτητα από τον οργανισμό ή το υπόβαθρό του και μπορεί να εκτελέσει λειτουργίες εξόρυξης ή συναλλαγής (Tschorsch & Scheuermann, 2016). Κάθε κόμβος που συμμετέχει στην αλυσίδα μπλοκ έχει πλήρη εξουσία να εκτελεί τη λειτουργία ανάγνωσης, γραφής, ελέγχου ή αναθεώρησης της αλυσίδας μπλοκ σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή, για παράδειγμα, κρυπτονόμισμα Bitcoin (Nakamoto, 2008). Το Δημόσιο (Public) BC είναι ένα διαφανές δίκτυο P2P στο οποίο κάθε χρήστης είναι σε θέση να συλλέξει πληροφορίες συναλλαγών και να ξεκινήσει τη διαδικασία εξόρυξης για να κερδίσει την ανταμοιβή. Οι κόμβοι *miner* συλλέγουν τις πληροφορίες συναλλαγής σε μπλοκ, ελέγχουν την εγκυρότητά τους και στη συνέχεια ξεκινούν τη συναίνεση για την εξόρυξη και την προσάρτηση της ανταμοιβής / μπλοκ στην υπάρχουσα αλυσίδα μπλοκ (Dinh et al., 2018). Οι αλγόριθμοι συναίνεσης προσδίδουν αξιοπιστία στο δίκτυο BC και δημιουργούν εμπιστοσύνη μεταξύ των κόμβων σε ένα κατακεντρωμένο δίκτυο. Ουσιαστικά, διασφαλίζει ότι κάθε νέο μπλοκ που προστίθεται στο BC είναι η μοναδική έκδοση της αλήθειας που συμφωνείται από όλους τους κόμβους του BC¹⁷. Στη δημόσια αλυσίδα μπλοκ, οι συμμετέχοντες είναι άγνωστοι πριν από την εξόρυξη και κάθε κόμβος επιτρέπεται να δημιουργήσει ένα μπλοκ, το οποίο με τη σειρά του καθιστά τη δημόσια αλυσίδα μπλοκ επιρρεπή σε επιθέσεις Sybil (Hassan et al., 2019). Ένας από τους πιο αποτελεσματικούς μηχανισμούς για την αντιμετώπιση τέτοιων ζητημάτων στις δημόσιες αλυσίδες μπλοκ είναι η συναίνεση απόδειξης εργασίας (PoW). Σε αυτόν τον μηχανισμό, εάν ο αντίπαλος θέλει να ελέγξει την αλυσίδα μπλοκ, τότε απαιτεί να έχει το 51% της εξορυκτικής δύναμης του δικτύου BC.

Παραδείγματα δημόσιων BC είναι το Bitcoin (bitcoin.org), το Ethereum (ethereum.org), το Monero (monero.org), το Dash (dash.org), το Litecoin (litecoin.org) και το Dogecoin (dogecoin.com). Η δημόσια τεχνολογία BC έχει τη δυνατότητα να

¹⁷ <https://www.geeksforgeeks.org/consensus-algorithms-in-blockchain/>

διαταράζει τα τρέχοντα επιχειρηματικά μοντέλα μέσω του παραγκωνισμού των διαμεσολαβητών. Επιπλέον, δεν υπάρχει ανάγκη διατήρησης διακομιστών ή διαχειριστών συστημάτων, γεγονός που μειώνει ριζικά το κόστος δημιουργίας και εκτέλεσης αποκεντρωμένων εφαρμογών (Olsen et al., 2019).

Ιδιωτικό (private)

Ένα ιδιωτικό BC θεωρείται συγκεντρωτικό (centralized) δίκτυο, καθώς ελέγχεται πλήρως από έναν οργανισμό. Με τα ιδιωτικά BC, η άδεια εγγραφής διατηρείται συνήθως κεντρικά σε έναν οργανισμό. Η ανάγνωση της αλυσίδας μπλοκ μπορεί να είναι (εν μέρει) δημόσια ή να περιορίζεται σε επιλεγμένους λίγους. Για παράδειγμα, με πρόσκληση συμμετοχής στο δίκτυο ή έχοντας παραχωρήσει πρόσβαση. Ένα ιδιωτικό BC είναι σχεδόν πάντα ένα BC με άδεια (permissioned). Ως εκ τούτου, τα ιδιωτικά BC είναι εξαιρετικά περιορισμένα. Ο μηχανισμός ελέγχου πρόσβασης μπορεί να διαφέρει, για παράδειγμα, οι υφιστάμενοι συμμετέχοντες μπορούν να προσκαλέσουν νέα μέλη, μια ρυθμιστική αρχή μπορεί να εκδώσει άδεια συμμετοχής ή μια ομάδα μελών μπορεί να λάβει τέτοιες αποφάσεις. Τα ιδιωτικά BC είναι ένας τρόπος αξιοποίησης της τεχνολογίας BC δημιουργώντας ομάδες και συμμετέχοντες που μπορούν να επαληθεύσουν τις συναλλαγές εσωτερικά. Το Hyperledger είναι ένα από τα πιο διάσημα παραδείγματα ιδιωτικής αλυσίδας μπλοκ. Η ντετερμινιστική κατανεμημένη συναίνεση, όπως η PFBT πραγματοποιείται σε ιδιωτική αλυσίδα μπλοκ για τη διασφάλιση της διαφάνειας και της ασφάλειας (Hassan et al., 2019). Οι εγγραφές σε μια ιδιωτική αλυσίδα μπλοκ είναι περιορισμένες και μόνο οι κόμβοι ελέγχου έχουν την άδεια να γράψουν ή να συναλλάσσονται με κάτι στο δίκτυο. Σε αντίθεση με τις δημόσιες αλυσίδες μπλοκ, τα μέλη που ελέγχουν το BC κινδυνεύουν από παραβιάσεις ασφαλείας, παρόμοιες με αυτές ενός κεντρικού συστήματος. Παραδείγματα ιδιωτικών BC είναι το MONAX και το Multichain (Olsen et al., 2019).

Κοινοπραξία (consortium)

Ο Hassan et al. (2019) αναφέρει ότι, το σύστημα αλυσίδας μπλοκ κοινοπραξίας θεωρείται γενικά ως συγχώνευση της δημόσιας και ιδιωτικής αλυσίδας μπλοκ. Στην αλυσίδα μπλοκ κοινοπραξίας, μια ομάδα οργανισμών ή ατόμων είναι υπεύθυνοι για τη λήψη αποφάσεων σχετικά με την επικύρωση μπλοκ και τη συναίνεση. Αυτή η ομάδα οργανισμών αποφασίζει τους κόμβους συμμετοχής και εξόρυξης στο δίκτυο. Ένα

σχήμα πολλαπλών υπογραφών χρησιμοποιείται για την εξόρυξη του μπλοκ στο δίκτυο, στο οποίο το μπλοκ που έχει εξορυχθεί θεωρείται έγκυρο μόνο εάν οι κόμβοι ελέγχου εγκρίνουν και το υπογράφουν. Αυτοί οι κόμβοι ελέγχου μπορούν επίσης να αποφασίσουν σχετικά με την άδεια ανάγνωσης ή εγγραφής του δικτύου, μπορούν να εγκρίνουν ή να εμποδίσουν κάποιον να διαβάσει ή να γράψει στο δίκτυο BC. Ωστόσο, ένα σημαντικό μειονέκτημα αυτού του τύπου αλυσίδας μπλοκ είναι η πιθανότητα παραβίασης. Καθώς η αλυσίδα μπλοκ ελέγχεται από ομάδα κόμβων, μπορούν να συνεργαστούν μεταξύ τους και μπορούν να αντιστρέψουν ή να παραποιήσουν μια συναλλαγή. Τα BC κοινοπραξίας είναι ταχύτερα (υψηλότερη επεκτασιμότητα) και παρέχουν περισσότερο απόρρητο συναλλαγών. Αυτοί οι τύποι BC χρησιμοποιούνται συνήθως στον τραπεζικό τομέα. Η διαδικασία συναίνεσης ελέγχεται από ένα προκαθορισμένο σύνολο κόμβων, για παράδειγμα, θα μπορούσε κανείς να φανταστεί μια κοινοπραξία 15 χρηματοπιστωτικών ιδρυμάτων, καθένα από τα οποία λειτουργεί έναν κόμβο και εκ των οποίων τα 10 πρέπει να υπογράψουν κάθε μπλοκ για να είναι έγκυρο το μπλοκ. Το δικαίωμα ανάγνωσης του BC μπορεί να είναι δημόσιο ή περιορισμένο στους συμμετέχοντες. Πολλές πλατφόρμες BC, όπως Hyperledger Fabric, MultiChain, Qorum και Corda, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ανάπτυξη συστημάτων BC κοινοπραξίας ή ιδιωτικών.

Παραδείγματα BC κοινοπραξίας είναι οι R3 (Τράπεζες), EWF (Ενέργεια), B3i (Ασφάλιση) και Corda. Οι επιτυχείς υλοποιήσεις των BC κοινοπραξίας μπορούν να μειώσουν το κόστος των συναλλαγών, να μειώσουν τον πλεονασμό δεδομένων, να αντικαταστήσουν τα συστήματα παλαιού τύπου, να απλοποιήσουν τον χειρισμό εγγράφων και να δημιουργήσουν πλήρεις μηχανισμούς συμμόρφωσης (Olsen et al., 2019).

Μια σύγκριση μεταξύ δημόσιων και ιδιωτικών BC και permissionless και permissioned, με βάση τα δικαιώματα ανάγνωσης, εγγραφής και δέσμευσης καθώς και με βάση την ιδιοκτησία των υποδομών δεδομένων φαίνεται στον Πίνακα 2-1:

Αρχιτεκτονική που βασίζεται σε δικαιώματα ανάγνωσης, εγγραφής ή δέσμευσης που παρέχονται στους συμμετέχοντες		
Αρχιτεκτονική βασισμένη στην ιδιοκτησία της υποδομής δεδομένων	Δημόσιο (Public)	Permissionless (χωρίς άδεια) • Οποιοσδήποτε μπορεί να συμμετάσχει, να διαβάσει, να γράψει και να δεσμευτεί • Φιλοξενείται σε δημόσιους διακομιστές • Ανώνυμος, εξαιρετικά ανθεκτικός • Χαμηλή επεκτασιμότητα Permissioned (με άδεια) • Όλοι μπορούν να συμμετάσχουν και να διαβάσουν • Μόνο εξουσιοδοτημένοι και γνωστοί συμμετέχοντες μπορούν να γράψουν και να δεσμευτούν • Μεσαία επεκτασιμότητα
	Ιδιωτικό (Private)	• Μόνο εξουσιοδοτημένοι συμμετέχοντες μπορούν να συμμετάσχουν, να διαβάσουν και να γράψουν • Φιλοξενείται σε ιδιωτικούς διακομιστές • Υψηλή επεκτασιμότητα • Μόνο εξουσιοδοτημένοι συμμετέχοντες μπορούν να συμμετάσχουν και να διαβάσουν • Μόνο ο διαχειριστής δικτύου μπορεί να γράψει και να δεσμευτεί • Πολύ υψηλή επεκτασιμότητα

Πίνακας 2-1: Επιλογές αρχιτεκτονικής BC (Πηγή: Carson et al., 2018)

2.3.2 Μηχανισμοί συναίνεσης (*Consensus mechanism*)

Ένα πολύ σημαντικό χαρακτηριστικό, όπως αναφέρουν οι Demestichas et al. (2020), όχι μόνο για την τεχνολογία BC, αλλά και για κάθε τύπο αποκεντρωμένου συστήματος, είναι η βυζαντινή ανοχή σφαλμάτων. Οι Zheng et al. (2017) αναφέρουν ότι, στο BC, ο τρόπος επίτευξης συναίνεσης μεταξύ των αναξιόπιστων κόμβων είναι ένας μετασχηματισμός του προβλήματος των Βυζαντινών Στρατηγών (BG- Byzantine Generals), το οποίο τέθηκε από τους Lamport et al. (1982). Στο πρόβλημα BG, μια ομάδα στρατηγών που διοικούν ένα τμήμα του βυζαντινού στρατού περιβάλλουν την πόλη. Μερικοί στρατηγοί προτιμούν να επιτεθούν, ενώ άλλοι στρατηγοί προτιμούν να υποχωρήσουν. Ωστόσο, η επίθεση θα αποτύχει αν μόνο μέρος των στρατηγών επιτεθεί στην πόλη. Έτσι, πρέπει να καταλήξουν σε συμφωνία για επίθεση ή υποχώρηση. Η επίτευξη συναίνεσης σε καταναμημένο περιβάλλον όπως το BC είναι μια πρόκληση. Στο BC, δεν υπάρχει κεντρικός κόμβος που να διασφαλίζει ότι τα καθολικά στους καταναμημένους κόμβους είναι όλα τα ίδια. Μερικά πρωτόκολλα απαιτούνται για να διασφαλιστεί ότι τα καθολικά σε διαφορετικούς κόμβους είναι συνεπή. Το πρόβλημα των Βυζαντινών Στρατηγών είναι ανάλογο με ένα (δημόσιο) δίκτυο BC, όπου οι κόμβοι στο δίκτυο πρέπει να συμφωνήσουν για την κατάσταση του καθολικού, συμφωνώντας σε μία έκδοση του καθολικού (Zheng et al., 2017). Αναπτύσσονται διάφορα πρωτόκολλα για την επίτευξη συναίνεσης, ενδεικτικά θα αναφερθούν τα ακόλουθα:

- **Proof-of-work (PoW):** Η απόδειξη εργασίας (PoW) είναι ο μηχανισμός συναίνεσης που χρησιμοποιείται στο δημόσιο BC bitcoin. Το PoW παρέχει έναν τρόπο για να διασφαλιστεί ότι έχει πραγματοποιηθεί κάποια υπολογιστική εργασία για την επικύρωση των συναλλαγών και για να επιτρέπεται η προσθήκη του νέου μπλοκ στο BC. Στην ουσία, η υπολογιστική εργασία περιλαμβάνει την επίλυση ενός κρυπτογραφικού παζλ που απαιτεί χρόνο και υπολογιστική δύναμη για να επιλυθεί. Μόλις το παζλ λυθεί, άλλοι κόμβοι στο δίκτυο μπορούν εύκολα να επαληθεύσουν την απάντηση. Τεχνικά, το κρυπτογραφικό παζλ υπολογίζει μια τιμή κατακερματισμού των συναλλαγών που αποτελούν το νέο μπλοκ. Οι κόμβοι που υπολογίζουν τέτοια παζλ ονομάζονται ανθρακωρύχοι (miners), και αυτοί είναι υπεύθυνοι για τη δέσμευση συναλλαγών σε μπλοκ και την προσθήκη αυτών των μπλοκ στην αλυσίδα των προηγούμενων μπλοκ.

Ένα από τα σημαντικότερα μειονεκτήματα του μηχανισμού συναίνεσης PoW είναι η τεράστια ποσότητα ενέργειας που χρησιμοποιούν οι υπολογιστές στο δίκτυο για την επίλυση του κρυπτογραφικού παζλ. Επιπλέον, επειδή το κρυπτογραφικό παζλ είναι δύσκολο να λυθεί, χρειάζεται χρόνος για την επικύρωση / δημιουργία και προσθήκη νέων μπλοκ στο BC. Αν και αυτό διασφαλίζει ότι δεν προστίθενται γρήγορα μη έγκυρα μπλοκ στο BC, σε μια κοινοπραξία ή ιδιωτικό BC δεν υπάρχει ανάγκη για τέτοια καθυστέρηση δημιουργίας μπλοκ (Olsen et al., 2019).

- **Proof of Stake (PoS):** Ο μηχανισμός αυτός συναίνεσης (απόδειξη πονταρίσματος) εξαλείφει την ανάγκη αγοράς ενός ακριβού και ισχυρού υπολογιστικού συστήματος για την επίλυση κρυπτογραφικών παζλ σε σύντομο χρονικό διάστημα. Οι ανθρακωρύχοι PoS, που καλούνται επικυρωτές, επενδύουν σε κέρματα του συστήματος. Τα νομίσματα μέσα στο σύστημα υπάρχουν από τη δημιουργία του BC και δεν ανταμείβονται από μπλοκ εξόρυξης. Αντίθετα, τα μπλοκ επικυρώνονται απλά. Το κίνητρο για επικύρωση μπλοκ προέρχεται μόνο από τα τέλη συναλλαγών που συνδέονται με τις συναλλαγές και δεν δημιουργείται «νόμισμα» κατά την κατασκευή των νέων μπλοκ. Τέτοια συστήματα μπορεί να θεωρηθεί ότι εκτελούν εικονική εξόρυξη. Το δίκτυο BC επιλέγει, με βάση το ποσό πονταρίσματος που ένα μέλος είναι διατεθειμένο να βάλει στο σύστημα, ένα άτομο για να επιβεβαιώσει την

εγκυρότητα των συναλλαγών και τη δημιουργία του νέου μπλοκ. Οι επικυρωτές που τοποθετούν (αναλογικά) περισσότερα στοιχήματα είναι πιο πιθανό να επιλεγούν για δημιουργία και προσθήκη νέου μπλοκ στο BC. Αυτή είναι μια από τις κύριες διαφορές σε σύγκριση με τον μηχανισμό PoW. Δεν υπάρχει ανάγκη να επιλυθούν υπολογιστικοί γρίφοι το συντομότερο δυνατόν, αλλά αντ' αυτού, το σύστημα αποφασίζει ποιος μπορεί να λύσει τον υπολογιστικό παζλ. Μόλις επιλεγεί ένας επικυρωτής και το μπλοκ επικυρωθεί, συνήθως οι άλλοι επικυρωτές στο δίκτυο θα πραγματοποιήσουν κάποιο έλεγχο για να διασφαλίσουν ότι το μπλοκ μπορεί να προσαρτηθεί στο BC. Διαφορετικά συστήματα απόδειξης πονταρίσματος διαφέρουν ως προς τον τρόπο που το χειρίζονται αυτό. Οι επικυρωτές που θέλουν να παραποιήσουν το σύστημα κινδυνεύουν να χάσουν το μερίδιό τους, το οποίο είναι συνήθως πολύ υψηλότερο από την ανταμοιβή που λαμβάνεται από όλα τα τέλη συναλλαγών (Olsen et al., 2019). Σε σύγκριση με το PoW, το PoS εξοικονομεί περισσότερη ενέργεια και είναι πιο αποτελεσματικό. Δυστυχώς, καθώς το κόστος εξόρυξης είναι σχεδόν μηδενικό, ενδέχεται να προκύψουν επιθέσεις. Πολλά BC υιοθετούν PoW στην αρχή και μετατρέπονται στα PoS σταδιακά. Για παράδειγμα, το ethereum σκοπεύει να μετακινηθεί από τον Ethash (ένα είδος PoW) στο Casper (ένα είδος PoS) (Zheng et al., 2017).

- **PBFT**: Το PBFT (Practical byzantine fault tolerance - πρακτική ανοχή βυζαντινών σφαλμάτων) είναι ένας αλγόριθμος αναπαραγωγής για την ανοχή βυζαντινών σφαλμάτων. Το Hyperledger Fabric χρησιμοποιεί το PBFT ως τον αλγόριθμο συναίνεσης, καθώς το PBFT θα μπορούσε να χειριστεί έως και 1/3 κακόβουλα βυζαντινά αντίγραφα. Ένα νέο μπλοκ καθορίζεται σε έναν γύρο. Σε κάθε γύρο, ένας πρωταρχικός κόμβος θα επιλέγεται σύμφωνα με ορισμένους κανόνες. Ουσιαστικά, όλοι οι κόμβοι στο μοντέλο PBFT ταξινομούνται σε μια σειρά με έναν κόμβο να είναι ο κύριος κόμβος (leader), ο οποίος είναι υπεύθυνος για την καταγραφή της συναλλαγής και οι άλλοι αναφέρονται ως εφεδρικοί κόμβοι¹⁸. Η όλη διαδικασία θα μπορούσε να χωριστεί σε τρεις φάσεις: προετοιμαζόμενοι (pre-prepared), έτοιμοι (prepared) και δεσμευμένοι (commit). Σε κάθε φάση, ένας κόμβος θα εισέλθει στην επόμενη φάση εάν έχει

¹⁸ <https://blockonomi.com/practical-byzantine-fault-tolerance/>

λάβει ψήφους πάνω από τα $\frac{2}{3}$ όλων των κόμβων. Έτσι, το PBFT απαιτεί κάθε κόμβος να είναι γνωστός στο δίκτυο. Όπως το PBFT, το Stellar Consensus Protocol (SCP) είναι επίσης ένα πρωτόκολλο βυζαντινής συμφωνίας. Στο PBFT, κάθε κόμβος πρέπει να υποβάλλει ερώτημα σε άλλους κόμβους, ενώ το SCP δίνει στους συμμετέχοντες το δικαίωμα να επιλέξουν ποιο σύνολο άλλων συμμετεχόντων να πιστεύουν. Με βάση το PBFT, η Antshares έχει εφαρμόσει το δικό της dBFT (κατ' εξουσιοδότηση βυζαντινή ανοχή σφαλμάτων). Στο dBFT, ορισμένοι επαγγελματικοί κόμβοι ψηφίζονται για την καταγραφή των συναλλαγών (Zheng et al., 2017).

- **DPOS:** (Κατ' εξουσιοδότηση απόδειξη πονταρίσματος): Το DPOS είναι μια παραλλαγή του POS. Με το DPOS, οι κάτοχοι νομισμάτων μπορούν να χρησιμοποιήσουν το υπόλοιπό τους για να εκλέξουν μια λίστα κόμβων για να τους επιτραπεί ενδεχομένως να προσθέσουν νέα μπλοκ συναλλαγών στην αλυσίδα μπλοκ. Οι κάτοχοι νομισμάτων μπορούν επίσης να ψηφίσουν για την αλλαγή της παραμέτρου του δικτύου. Το POS μοιάζει περισσότερο με τη νίκη σε μια λοταρία, ενώ το DPOS δίνει σε όλους τους κατόχους νομισμάτων περισσότερη επιρροή και ιδιοκτησία στο δίκτυο¹⁹.
- **PoET:** Το PoET υποστηρίζεται από το HyperledgerSawtooth, μια αρθρωτή πλατφόρμα BC που αναπτύχθηκε αρχικά από την Intel. Εφαρμόζεται σε εγκεκριμένες και δημόσιες πλατφόρμες. Επιτρέπει στους χρήστες σε ένα permissioned BC να επιτύχουν συναίνεση, ακόμα και όταν τα μέρη δεν γνωρίζουν το ένα το άλλο, ενώ άλλα συνηθισμένα permissioned BC απαιτούν από τους χρήστες να γνωρίζουν και να εμπιστεύονται ο ένας τον άλλον. Το PoET είναι παρόμοιο με το PoW αλλά χωρίς την υψηλή κατανάλωση πόρων. Με απλά λόγια, αξιοποιεί αξιόπιστους υπολογιστές για την επιβολή τυχαίων χρόνων αναμονής για κατασκευή μπλοκ. Κάθε συμμετέχων στο δίκτυο BC περιμένει ένα τυχαίο χρονικό διάστημα. Ο πρώτος συμμετέχων που ολοκληρώνει την αναμονή παίρνει την πρώτη θέση (leader) στο νέο μπλοκ. Για να λειτουργήσει αυτό, πρέπει να επαληθευτούν δύο απαιτήσεις. Ο νικητής λαχειοφόρων αγορών θα πρέπει στην πραγματικότητα να επιλέξει τυχαίο χρόνο αναμονής και όχι να επιλέξει σκόπιμα σύντομο χρόνο. Στη συνέχεια, ο νικητής λαχειοφόρων αγορών θα πρέπει να ολοκληρώσει την αναμονή του

¹⁹ <https://www.logicsolutions.com/5-types-blockchain-consensus-mechanisms/>

καθορισμένου χρόνου. Ο PoET έρχεται από την Inter και βασίζεται σε ένα ειδικό σύνολο εντολών CPU που ονομάζεται Intel Software Guard Extensions (SGX). Το SGX επιτρέπει στις εφαρμογές να εκτελούν αξιόπιστο κώδικα σε προστατευμένο περιβάλλον. Για το PoET, ο αξιόπιστος κώδικας είναι αυτός που διασφαλίζει ότι πληρούνται οι δύο προϋποθέσεις για να διατηρηθεί η λαχειοφόρος αγορά (Yoon, 2018)

- **DAG²⁰** (Directed Acyclic Graph-Κατευθυνόμενο Ακυκλικό Γράφημα): Αν θεωρήσουμε ότι το Bitcoin είναι blockchain 1.0, το Ethereum είναι blockchain 2.0, το Κατευθυνόμενο Ακυκλικό Γράφημα (DAG) μπορεί να γίνει Blockchain 3.0. Στη θεωρία γραφημάτων, το DAG είναι ένα πεπερασμένο κατευθυνόμενο γράφημα χωρίς κατευθυνόμενους κύκλους. Είναι μια γνωστή δομή δεδομένων στην επιστήμη των υπολογιστών και συχνά χρησιμοποιείται για την επίλυση προβλημάτων όπως η εύρεση της καλύτερης διαδρομής, διαδικασία δεδομένων. Το Bitcoin αντιμετωπίζει το σημείο συμφόρησης της αναποτελεσματικότητας του πρωτοκόλλου POW. Ένα μπλοκ χρειάζεται 10 λεπτά για να δημιουργηθεί και τα μπλοκ δεν μπορούν να δημιουργηθούν ταυτόχρονα. Με την DAG, οι συναλλαγές μπορούν να εκτελούνται σε διαφορετικές αλυσίδες ταυτόχρονα. Αυτό μπορεί να είναι το μέλλον των άμεσων συναλλαγών με ελάχιστη χρέωση συναλλαγής. Το ITC (Internet of Things - IoT αλυσίδα), ένα πρόγραμμα στην Κίνα, στηρίζεται στη συναίνεση DAG και μπορεί να επεξεργαστεί πάνω από 10.000 συναλλαγές ανά δευτερόλεπτο.

2.3.3 Έξυπνα Συμβόλαια (Smart Contracts)

Ένα έξυπνο συμβόλαιο είναι ένα ηλεκτρονικό πρωτόκολλο συναλλαγών που εκτελεί τους όρους μιας σύμβασης (Szabo, 1997). Στην ουσία κάθε έξυπνο συμβόλαιο αποτελείται από ένα σύνολο κανονισμών οι οποίοι καθορίζουν τον τρόπο με τον οποίο θα πραγματοποιηθεί μία συναλλαγή. Η λειτουργία έξυπνων συμβάσεων δύσκολα μπορεί να αποσυνδεθεί από την έννοια του BC. Η κατάσταση ενός BC ενημερώνεται όταν καταγράφεται μια νέα έγκυρη συναλλαγή στην αλυσίδα και τα έξυπνα συμβόλαια μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αυτόματη ενεργοποίηση συναλλαγών υπό ορισμένες προϋποθέσεις. Σκοπός των smart contracts είναι να παρέχουν ασφάλεια στους κόμβους οι οποίοι επηρεάζονται από τη συγκεκριμένη συναλλαγή που ορίζουν

²⁰ <https://www.logicsolutions.com/5-types-blockchain-consensus-mechanisms/>

τα συμβόλαια και παράλληλα να μειώνουν το κόστος σε σχέση με τις παραδοσιακές μεθόδους. Όταν ένα έξυπνο συμβόλαιο οριστεί, κωδικοποιηθεί και συμπεριληφθεί σε ένα BC τότε δεν μπορεί να μεταβληθεί ή μελλοντικά να αλλάξουν οι όροι που εμπεριέχονται σε αυτό (Σιάλδας, 2020).

Ο Σιάλδας (2020) αναφέρει ότι ο συνδυασμός smart contracts και της τεχνολογίας BC προσφέρει αυτονομία και εξοικονόμηση πόρων του χρήστη, καθώς ο κάθε χρήστης είναι αυτός που πραγματοποιεί τη συμφωνία, χωρίς τη διαμεσολάβηση τρίτων (πχ. δικηγόρων ή μεσιτών). Κάτι επίσης θετικό το οποίο ενισχύει το αίσθημα ασφάλειας είναι ότι τα smart contracts εφόσον βρίσκονται κωδικοποιημένα σε ένα κοινόχρηστο δίκτυο, μπορούν να είναι ορατά από πολλούς κόμβους και να κρατούνται σε αυτούς τους κόμβους αντίγραφα ασφαλείας (backup).

Οι Hewa et al. (2020) υποστηρίζουν ότι, τα smart contracts μπορούν να μετατρέψουν τους επιχειρηματικούς κανόνες σε προγράμματα υπολογιστών. Έχουν αναπτυχθεί διαφορετικές έξυπνες πλατφόρμες συμβάσεων για την αντιμετώπιση συγκεκριμένων απαιτήσεων σε κάθε κλάδο. Κάθε έξυπνη πλατφόρμα συμβάσεων περιλαμβάνει ένα σύνολο συγκεκριμένων χαρακτηριστικών που στοχεύουν στη συγκεκριμένη εφαρμογή.

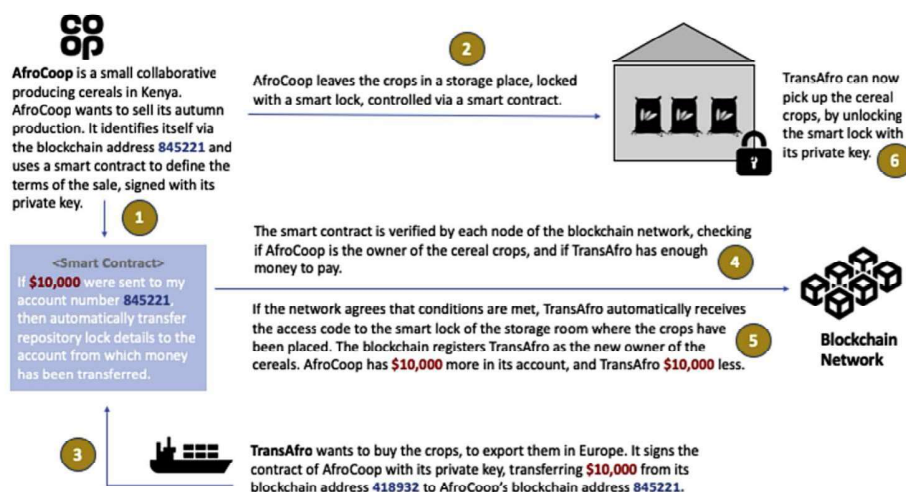
Σχεδόν όλες οι πλατφόρμες περιέχουν τα βασικά χαρακτηριστικά ενός έξυπνου συστήματος συμβάσεων, συμπεριλαμβανομένου του αμετάβλητου κώδικα προγράμματος, του αποκεντρωμένου καθολικού και του επιπέδου συναίνεσης.

Υπάρχουν τρεις βασικές πλατφόρμες για την ανάπτυξη έξυπνων συμβάσεων: Ethereum, Hyperledger Fabric και R3 Corda²¹.

Παράδειγμα ενός smart contract

Οι Kamilaris et al. (2019) δίνουν το ακόλουθο παράδειγμα περιγράφοντας τον τρόπο με τον οποίο θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί η τεχνολογία BC για μια αυτόματη συναλλαγή μεταξύ ενός συνεταιρισμού αγροτών (δηλαδή παραγωγοί) και ενός διανομέα / λιανοπωλητή, μέσω της χρήσης έξυπνων συμβάσεων (Εικόνα 2-6). Η Εικόνα 2-6 παρουσιάζει ένα υποθετικό σενάριο στο οποίο ένας συνεταιρισμός που εδρεύει στην Αφρική χρησιμοποιεί μια έξυπνη σύμβαση για να διευκολύνει την πώληση της παραγωγής δημητριακών του. Η εκτέλεση της σύμβασης περιλαμβάνει την αυτόματη πρόσβαση του αγοραστή σε αποθήκη, όπου αποθηκεύονται οι καλλιέργειες.

²¹ <https://www.n-ix.com/top-3-platforms-successful-smart-contract-development/>



Εικόνα 2-6: Παράδειγμα έξυπνου συμβολαίου για την αυτοματοποίηση και την ενίσχυση της εμπιστοσύνης σε συναλλαγές με μικρούς αγρότες και συνεταιρισμούς μικρών αγροτών. (Πηγή: Kamilaris et al., 2019)

Τα στάδια εκτέλεσης ενός έξυπνου συμβολαίου είναι τα εξής:

1. Η AfroCoop είναι ένας μικρός συνεταιρισμός παραγωγών δημητριακών στην Κένυα. Η AfroCoop θέλει να πουλήσει την φθινοπωρινή της παραγωγή. Αναγνωρίζεται μέσω της διεύθυνσης blockchain 845221 και χρησιμοποιεί το έξυπνο συμβόλαιο για να καθορίσει τους όρους της πώλησης, υπογεγραμμένο με το ιδιωτικό κλειδί της.
 - a. «Έξυπνη σύμβαση»
εάν σταλούν 10000 \$ στον αριθμό λογαριασμού μου 845221, τότε αυτόματα μεταφέρω τα στοιχεία κλειδώματος αποθετηρίου στον λογαριασμό από τον οποίο έχουν μεταφερθεί τα χρήματα
2. Η AfroCoop αφήνει τις καλλιέργειες σε ένα χώρο αποθήκευσης, κλειδωμένο με έξυπνη κλειδαριά, ελεγχόμενη μέσω έξυπνης σύμβασης.
3. Η TransAfro θέλει να αγοράσει την παραγωγή, να τις εξαγάγει στην Ευρώπη. Υπογράφει το συμβόλαιο της AfroCoop με το ιδιωτικό κλειδί της, μεταφέροντας 10000\$ από τη διεύθυνση της blockchain 418932 στη διεύθυνση blockchain της AfroCoop 845221.
4. Το έξυπνο συμβόλαιο επαληθεύεται από κάθε κόμβο του δικτύου blockchain, ελέγχοντας εάν η AfroCoop είναι ο ιδιοκτήτης της καλλιέργειας δημητριακών και αν η TransAfro έχει αρκετά χρήματα για να πληρώσει.
5. Εάν το δίκτυο συμφωνεί ότι πληρούνται οι προϋποθέσεις για την πραγματοποίηση της συναλλαγής με βάση τα όσα αναφέρει το συμβόλαιο, η TransAfro λαμβάνει αυτόματα τον κωδικό πρόσβασης στην έξυπνη κλειδαριά

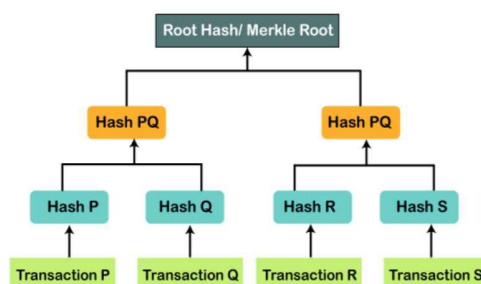
του χώρου αποθήκευσης όπου έχουν τοποθετηθεί οι καλλιέργειες δημητριακών. Το BC καταγράφει την TransAfro ως νέο ιδιοκτήτη των δημητριακών. Η AfroCoop έχει 10.000\$ περισσότερα στον λογαριασμό του και η TransAfro 10.000\$ λιγότερα.

6. Η TransAfro μπορεί τώρα να παραλάβει τις καλλιέργειες δημητριακών, ξεκλειδώνοντας την έξυπνη κλειδαριά με το ιδιωτικό κλειδί της.

2.4 Πως λειτουργεί το Blockchain

To block και το merkle tree

Σύμφωνα με τους Jeppsson και Olsson (2017), το περιεχόμενο ενός μπλοκ στην περίπτωση του Bitcoin είναι το block hash, το προηγούμενο block hash, ένα nonce και το merkle root. Το merkle root είναι μια ψηφιακή υπογραφή όλων των συναλλαγών (transactions) που περιέχει το block και χρησιμοποιείται για εξοικονόμηση χώρου στο δίσκο. Ένα block αποτελείται συχνά από πολλές συναλλαγές, οι οποίες κατακερματίζονται ξεχωριστά και στη συνέχεια συνδυάζονται με άλλες συναλλαγές, και κατακερματίζονται ξανά και ούτω καθεξής. Τελικά, οι συναλλαγές συνοψίζονται σε ένα μόνο κατακερματισμό, που ονομάζεται merkle tree root (Εικόνα 2-7). Δεδομένου ότι η έξοδος κατακερματισμού είναι μοναδική και το block αναφέρεται στο προηγούμενο block, είναι αδύνατο να αλλάξει το περιεχόμενο μιας μόνο συναλλαγής χωρίς να διακοπεί ολόκληρη η αλυσίδα και έτσι να δημιουργηθεί ένα εντελώς διαφορετικό ιστορικό κατακερματισμού. Αυτό σημαίνει ότι επιβεβαιώνεται η νομιμότητα όχι μόνο της αναφοράς στο προηγούμενο μπλοκ, αλλά και όλων των συναλλαγών που έγιναν ποτέ (Tschorsch & Scheuermann, 2016).



Εικόνα 2-7: Κατακερματισμένες συναλλαγές και η ρίζα merkle²²

Genesis Block

²² <https://www.tutorialandexample.com/blockchain-merkle-trees/>

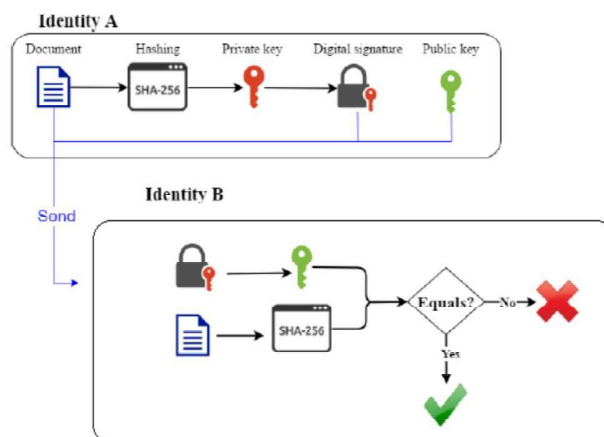
Σε ένα BC, το μπλοκ γένεσης θεωρείται ως μπλοκ βάσης επειδή είναι το πρώτο μπλοκ στην αλυσίδα. Το ύψος μπλοκ του πρώτου μπλοκ είναι πάντα μηδέν και κανένα μπλοκ δεν προηγείται του μπλοκ γένεσης. Κάθε μπλοκ που είναι τμήμα του BC αποτελείται από μια κεφαλίδα Block μαζί με τον μετρητή συναλλαγών και τις συναλλαγές (Singh & Kumar, 2021)

Διαδικασία συναλλαγής

Για να μπορέσει να εκτελεστεί μια συναλλαγή από τον Α στο Β πρέπει να υπάρχει ένα δημόσιο και ιδιωτικό κλειδί, το οποίο χρησιμοποιεί κρυπτογράφηση για να διατηρήσει την ασφάλεια (Tapscott & Tapscott, 2016) και είναι απαραίτητα για την αυθεντικότητα. Μια μεταφορά που θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για να εξηγήσει το ιδιωτικό κλειδί είναι να το δούμε ως ένα κουτί όπου μπορεί να αποθηκευτεί η αξία. Αυτό το κουτί δεν έχει κλειδαριά και είναι ανοιχτό για όλους. Το πλεονέκτημα του δικτύου κουτιών είναι ότι πρέπει κανείς να γνωρίζει τη θέση του κουτιού για να έχει πρόσβαση στο περιεχόμενό του. Το δημόσιο κλειδί μπορεί να περιγραφεί ως ενδιάμεσο που αποδεικνύει ότι κάποιος έχει το ιδιωτικό κλειδί χωρίς να το αποκαλύψει στο κοινό. Στο παράδειγμα στην Εικόνα 13 η διαδικασία συναλλαγής P2P απεικονίζεται χρησιμοποιώντας την έννοια του διπλού κλειδιού. Το πρώτο που θέλει να κάνει κατά την προετοιμασία για αποστολή, σε αυτό το παράδειγμα ενός εγγράφου, είναι να το κατακερματίσει. Μόλις κατακερματιστεί, ο ιδιοκτήτης κρυπτογραφεί τον κωδικό κατακερματισμού χρησιμοποιώντας το ιδιωτικό του κλειδί (Lemieux, 2016) (κόκκινο κλειδί στην Εικόνα 2-8) και δημιουργείται μια μοναδική ψηφιακή υπογραφή, που μερικές φορές ονομάζεται ψηφιακό δακτυλικό αποτύπωμα (fingerprint) της αποστολής. Το επόμενο βήμα είναι να σταλεί το πρωτότυπο έγγραφο μαζί με το δημόσιο κλειδί (πράσινο κλειδί στην Εικόνα 2-8) και την ψηφιακή υπογραφή στον παραλήπτη. Επιπλέον, για να αξιολογήσει εάν ο αποστολέας είναι ο νόμιμος κάτοχος, ο παραλήπτης κατακερματίζει το έγγραφο χρησιμοποιώντας τον ίδιο αλγόριθμο κατακερματισμού με τον αποστολέα, στην περίπτωση αυτή SHA-256, έναν αλγόριθμο που δημιουργεί την ίδια ακριβώς έξοδο κατακερματισμού εάν η είσοδος είναι η ίδια. Στη συνέχεια, η ψηφιακή υπογραφή αποκρυπτογραφείται από το παρεχόμενο δημόσιο κλειδί και, τέλος, πραγματοποιείται σύγκριση των δύο κωδικών κατακερματισμού, και εάν είναι πανομοιότυποι, ο αποστολέας είναι ο νόμιμος κάτοχος του εγγράφου (Swan, 2015). Η μαθηματική πολυπλοκότητα πίσω από τον αλγόριθμο κατακερματισμού SHA-256 που χρησιμοποιείται από το Bitcoin (Tschorsch & Scheuermann, 2016) κάνει

το BC ασφαλές έτσι ώστε αν κάποιος προσπαθήσει να πάει προς τα πίσω για να βρει τη σωστή είσοδο από ένα δεδομένο hash, αυτό θα είναι μια μαθηματική παγίδα (Brennan & Lunn, 2016). Χρησιμοποιώντας αυτήν την τεχνική, ο αποστολέας δεν χρειάζεται να εμπιστεύεται τον παραλήπτη και ο παραλήπτης δεν χρειάζεται να εμπιστεύεται τον αποστολέα (Weber et al., 2016). Κάθε συναλλαγή μεταδίδεται σε κάθε κόμβο του δικτύου Bitcoin και στη συνέχεια καταγράφεται σε δημόσιο καθολικό μετά την επαλήθευση. Κάθε συναλλαγή πρέπει να επαληθεύεται ως έγκυρη πριν καταγραφεί στη δημόσιο καθολικό. Η επαλήθευση του κόμβου πρέπει να εξασφαλίσει δύο πράγματα πριν από την καταγραφή οποιασδήποτε συναλλαγής (Crosby et al., 2016):

- Ο αποστολέας είναι κάτοχος των κρυπτονομισμάτων – επαλήθευση ψηφιακής υπογραφής στη συναλλαγή.
- Ο αποστολέας έχει επαρκή κρυπτονομίσματα στον λογαριασμό του: ελέγχει κάθε συναλλαγή έναντι του λογαριασμού του αποστολέα («δημόσιο κλειδί») στο καθολικό για να βεβαιωθεί ότι έχει επαρκές υπόλοιπο στο λογαριασμό του.

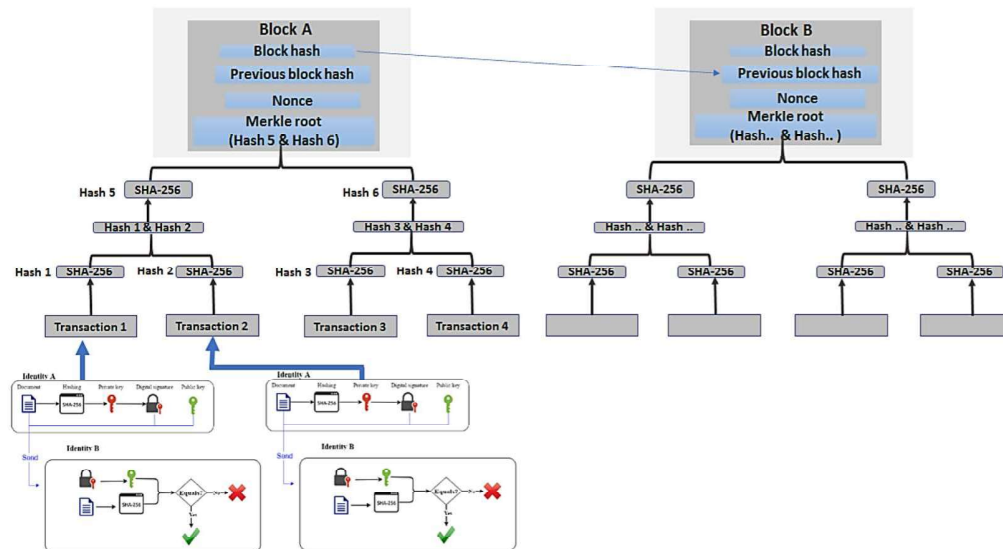


Εικόνα 2-8: Διαδικασία συναλλαγής στο blockchain (Πηγή: Jeppsson & Olsson, 2017)

Διαδικασία επικύρωσης

Όσον αφορά το Bitcoin, υπάρχουν δύο τύποι κόμβων στο δίκτυο bitcoin, ελαφροί και πλήρεις σταθμισμένοι κόμβοι. Οι ελαφροί είναι απλώς συμμετέχοντες στο δίκτυο, ενώ οι πλήρεις σταθμισμένοι, αποκαλούμενοι ανθρακωρύχοι επαληθεύουν τις συναλλαγές, μια διαδικασία που ονομάζεται εξόρυξη ή απόδειξη εργασίας (Lemieux, 2016). Μόλις μια νέα συναλλαγή κοινοποιηθεί στο δίκτυο, δηλαδή περάσει την προαναφερθείσα διαδικασία συναλλαγής, οι ανθρακωρύχοι ξεκινούν τη δημιουργία ενός νέου μπλοκ

(Lemieux, 2016). Αυτό ονομάζεται απόδειξη της εργασίας και θα μπορούσε να συγκριθεί με την επίλυση ενός παζλ (Tschorsch & Scheuermann, 2016). Συλλέγοντας το Block Hash, το Hash προηγούμενου block, το nonce και τη merkle root πολλών άλλων συναλλαγών κατακερματισμού, κατακερματίζονται μαζί επανειλημμένα έως ότου το hash εξόδου ξεκινήσει με έναν αριθμό μηδενικών (Lemieux, 2016) που ταιριάζει σε μια συγκεκριμένη τιμή-στόχο (Tschorsch & Scheuermann, 2016). Μετά τον αγώνα, ο ανθρακορύχος-miner μεταδίδει το nonce μαζί με το block, το οποίο μπορεί να επαληθευτεί από τους άλλους κόμβους (Tschorsch & Scheuermann, 2016). Στη συνέχεια, το μπλοκ προστίθεται στην αλυσίδα και η νέα του ταυτότητα αντιπροσωπεύεται από το Block Hash. Μια ανταμοιβή σε Bitcoins δίνεται στον ανθρακωρύχο που βρίσκει το αντίστοιχο κατακερματισμό, επαληθεύοντας την ορθότητα των συναλλαγών (Tschorsch & Scheuermann, 2016). Αυτή η διαδικασία επαναλαμβάνεται συνεχώς (Εικόνα 2-9) καθώς περισσότερες συναλλαγές εισέρχονται στο δίκτυο (Weber et al., 2016). Σύμφωνα με την Swan (2015), ένα νέο μπλοκ προστίθεται στην αλυσίδα από έναν ανθρακωρύχο με χρονολογική σειρά κάθε δέκα λεπτά, η οποία μπορεί να θεωρηθεί ως ο χρόνος που απαιτείται για την επαλήθευση μιας παραγγελίας. Ο μόνος τρόπος με τον οποίο μπορεί κανείς να ελέγξει τις συναλλαγές στο δίκτυο Bitcoin είναι να έχει τον έλεγχο πάνω από το 50% της συνολικής ισχύος του υπολογιστή στο δίκτυο (Nakamoto, 2008).



Εικόνα 2-9: Blockchain στο μικροσκόπιο (Πηγή: Jeppsson & Olsson, 2017)

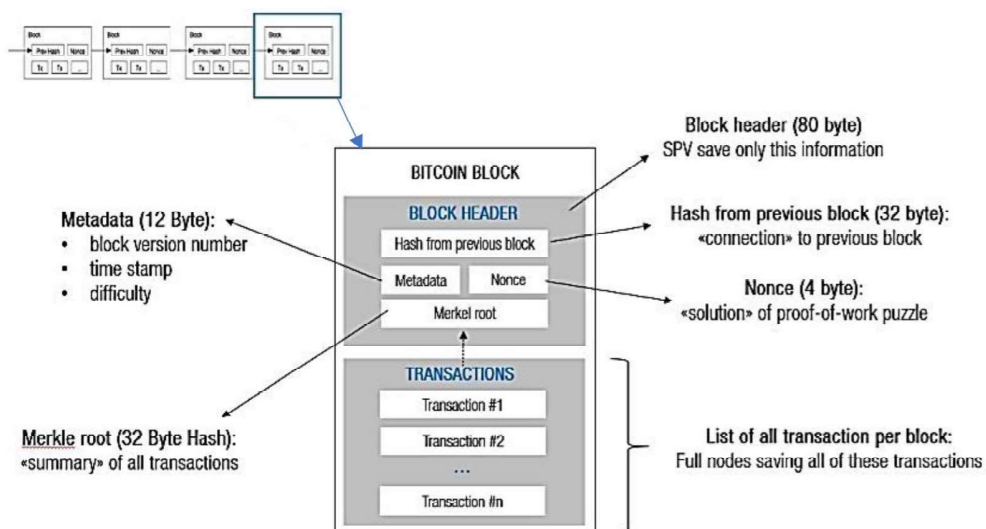
2.4.1 Δομή Block

Σύμφωνα με τη Μάλλιου (2020), το block είναι γενικά μία συλλογή από συναλλαγές που οργανώνονται με λογικό τρόπο. Είναι, δηλαδή, μία δομή δεδομένων, η οποία συγκεντρώνει έναν αριθμό συναλλαγών προς ενσωμάτωση στο ημερολόγιο του BC. Το μέγεθος του block ποικίλει ανάλογα με τον τύπο και τον σχεδιασμό του BC που χρησιμοποιείται. Η τοποθεσία του κάθε block στο BC καθορίζεται από ένα index. Το πρώτο block έχει index “0”, το επόμενο έχει index “1” κ.ο.κ. Το ύψος του block είναι ο αριθμός των προηγούμενων του block στην αλυσίδα του BC. Υπάρχουν δύο τρόποι αναγνώρισης ενός block. Αυτοί είναι πρώτον το hash του και δεύτερον το ύψος του. Οι Zheng et al. (2017) αναφέρουν ότι, ένα block αποτελείται από την κεφαλίδα block (Block Header – 80 byte) και το σώμα block (Block Body). Συγκεκριμένα, η κεφαλίδα block περιλαμβάνει:

- I. Μεταδεδομένα (Metadata- 12 byte)
 - a. Έκδοση Block (Block version-4 byte): υποδεικνύει ποιο σύνολο κανόνων επικύρωσης block πρέπει να ακολουθούν.
 - b. Χρονική σήμανση (Timestamp-4 byte): τρέχουσα ώρα ως δευτερόλεπτα σε καθολική ώρα από την 1η Ιανουαρίου 1970.
 - c. nBits (difficulty target-4 byte): Το επίπεδο δυσκολίας του hash puzzle. Η δυσκολία προσαρμόζεται κάθε 2016 μπλοκ (περίπου κάθε 2 εβδομάδες) για να διασφαλιστεί ότι χρειάζονται 10 λεπτά (καιά μέσο όρο) για να προστεθεί ένα νέο μπλοκ στην αλυσίδα μπλοκ²³.
- II. Κατακερματισμός ρίζας (Merkle tree Root Hash - 32 byte Hash): η τιμή κατακερματισμού (Hash) όλων των συναλλαγών στο block.
- III. Nonce: πεδίο 4 byte, το οποίο συνήθως ξεκινά με 0 και αυξάνεται για κάθε υπολογισμό κατακερματισμού (Hash). Η «λύση» του παζλ απόδειξης εργασίας (Proof-of-Work).
- IV. Κατακερματισμός προηγούμενου-γονικού block (Parent Block Hash): τιμή κατακερματισμού 256-bit (32 byte) που δείχνει το προηγούμενο block.

Στο ενδεικτικό αυτό παράδειγμα που προέρχεται από το Bitcoin (Εικόνα 2-10), η κεφαλίδα του block έχει μέγεθος 80 bytes.

²³ <https://learnmeabitcoin.com/beginners/difficulty>



Εικόνα 2-10: Επισκόπηση στη δομή ενός Block Bitcoin²⁴

Το σώμα του μπλοκ αποτελείται από τον αριθμό του μετρητή των συναλλαγών και τις συναλλαγές. Ο μέγιστος αριθμός των συναλλαγών που μπορεί να περιέχει ένα μπλοκ, εξαρτάται από το μέγεθος του μπλοκ και από το μέγεθος της κάθε συναλλαγής.

²⁴ <https://marcsteiner.tech/blog/description-of-bitcoin-blocks-and-transactions>

3. Case Studies

3.1 Εφαρμογές Blockchain στην Ιχνηλασιμότητα της Αγροδιατροφικής Εφοδιαστικής Αλυσίδας (From Farm to Fork)

Οι Hua et al. (2018) αναφέρουν ότι ο στόχος μιας πλατφόρμας ιχνηλασιμότητας στον αγροδιατροφικό τομέα είναι η καταγραφή πληροφοριών που σχετίζονται με την αλυσίδα εφοδιασμού της παραγωγής, συμπεριλαμβανομένων δεδομένων για την παραγωγή, επεξεργασία, αποθήκευση, μεταφορά και διανομή γεωργικών προϊόντων, έτσι ώστε όλη η διαδικασία να μπορεί να επιβλέπεται από τρίτα μέρη (πελάτες, ασφαλιστικές εταιρείες κ.λ.π.). Όπως έχει ήδη αναφερθεί, τα χαρακτηριστικά της τεχνολογίας BC ταιριάζουν απόλυτα στις ανάγκες της πλατφόρμας ιχνηλασιμότητας της γεωργίας. Ο στόχος της δημιουργίας μιας πλατφόρμας ιχνηλασιμότητας της γεωργίας με βάση την τεχνολογία BC είναι η καταγραφή όλων των σχετικών πληροφοριών σχετικά με τις δομές BC. Αυτό προϋποθέτει τη συμμετοχή διαφορετικών εταιρειών και οργανισμών για να επιτευχθεί συνεργασία. Αυτό που αποθηκεύεται στο BC του bitcoin είναι το ιστορικό συναλλαγών, το οποίο είναι σχετικά απλό. Το περιεχόμενο του συστήματος γεωργικής ιχνηλασιμότητας είναι πολύ πιο περίπλοκο, περιλαμβάνει εταιρείες, σπόρους, λιπάσματα, φυτοφάρμακα, χρόνο, γεωργικές εργασίες, δοκιμές καταλοίπων (Hua et al., 2018).

3.2 Πλατφόρμες εφαρμογής

Σύμφωνα με τους Lin et al. (2020), δεδομένου ότι χρησιμοποιούνται πολλές κρυπτογραφικές τεχνικές στην τεχνολογία BC, απαιτεί πολύ χρόνο η κατασκευή ενός συστήματος BC από το μηδέν για επαγγελματίες και ερευνητές. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, να παρέχονται πολλές ανοιχτές πηγές και εμπορικές πλατφόρμες για την απλοποίηση και επιτάχυνση της ανάπτυξης αποκεντρωμένων εφαρμογών (DApp) σε έργα που σχετίζονται με τη γεωργία. Οι κυρίαρχες πλατφόρμες που χρησιμοποιούνται σε αυτές τις πρακτικές BC είναι οι εξής:

- Το Ethereum, σύμφωνα με τους Lin et al. (2020), ξεκίνησε το 2014 και είναι η πιο ενεργή πλατφόρμα BC στον κόσμο για επαγγελματίες BC και ερευνητές.

Είναι ένα permissionless (χωρίς άδεια) BC που είναι φιλικό στην ανάπτυξη εφαρμογών με βάση το δημόσιο (public) BC. Ο έλεγχος πρόσβασης μπορεί να προστεθεί μόνο μέσω της έξυπνης σύμβασης. Πολλά συστήματα γεωργικής ιχνηλασιμότητας, χρηματοοικονομικά συστήματα εμπορίας και ορισμένα συστήματα διαχείρισης πληροφοριών, αναπτύχθηκαν πάνω στην πλατφόρμα αυτή. Ωστόσο, υπάρχουν ορισμένα μειονεκτήματα από τη χρήση της πλατφόρμας Ethereum για ανάπτυξη: η πλατφόρμα χρησιμοποιεί το PoW ως σχήμα συναίνεσης, επομένως η ταχύτητα στην αλυσίδα είναι σχετικά χαμηλή, δηλ. ~ 20 tps (Transactions Per Second). Ένας άλλος περιορισμός για την ανάπτυξη DApp στην πλατφόρμα είναι το κόστος κατά την εκτέλεση δεδομένων και συναλλαγών στο BC μέσω αερίου ETH, μια μονάδα μέτρησης της υπολογιστικής χρήσης. Όταν δημιουργείτε ένα σύστημα με εντατικά δεδομένα στην αλυσίδα, δεν είναι οικονομικό να χρησιμοποιείτε αυτήν την πλατφόρμα (Lin et al., 2020).

- Το Hyperledger υποστηρίζεται από το ίδρυμα Linux για την παροχή διαφόρων κατανεμημένων πλαισίων καθολικών, π.χ. Fabric, Sawtooth, Indy και Burrow, για την ανάπτυξη BC σε επίπεδο επιχειρήσεων. Σε αυτά τα πλαίσια, το Hyperledger Fabric και το Hyperledger Sawtooth είναι οι δύο πιο δημοφιλείς πλατφόρμες για την ανάπτυξη των σχετικών με τη γεωργία έργων. Το προεπιλεγμένο σχήμα συναίνεσης στο Fabric είναι PBFT ενώ στο Sawtooth το PoET. Επιπλέον, είναι ευέλικτα για την υιοθέτηση οποιωνδήποτε άλλων συστημάτων για την περαιτέρω βελτίωση της ταχύτητας on-chain αποτελεσματικά. Όσον αφορά την απόδοση, και οι δύο πλατφόρμες έχουν υψηλότερη απόδοση συναλλαγών στην αλυσίδα σε σύγκριση με το Ethereum. Η διαφορά μεταξύ αυτών των δύο πλατφορμών είναι ότι το Fabric υποστηρίζει το permissioned BC, ενώ το Sawtooth υποστηρίζει τόσο το permissioned όσο και το permissionless BC. Έτσι, η χρήση των πλαισίων Hyperledger αυξάνεται σημαντικά στις γεωργικές εφαρμογές (Lin et al., 2020).
- Το Quorum δημιουργήθηκε από την JP Morgan στοχεύοντας σε συστήματα BC σε επίπεδο επιχειρήσεων. Παρέχει μια πλατφόρμα Ethereum για την υποστήριξη εφαρμογών χρηματοδότησης, αλυσίδας εφοδιασμού και λιανικής με επιπλέον προστασία σχετικά με το απόρρητο των συναλλαγών και συμβάσεων. Τα δεδομένα συναλλαγής κρυπτογραφούνται για τη διατήρηση του απορρήτου των

δεδομένων. Επιπλέον, προσφέρει κεντρική εφαρμογή στον έλεγχο πρόσβασης, έτσι ώστε να είναι πιο κατάλληλο για ιδιωτικά / κοινοπραξιακά συστήματα BC (Lin et al., 2020).

Παρόλο που υπάρχουν πολλές άλλες πλατφόρμες για ανάπτυξη συστημάτων βασισμένων σε BC, όπως Multichain, R3 Corda και BigChainDB, οι παραπάνω πλατφόρμες χρησιμοποιούνται ευρέως για την ανάπτυξη γεωργικών συστημάτων. Πολλές εταιρείες παγκοσμίως ενσωματώνουν την τεχνολογία BC στη βιομηχανία γεωργικών τροφίμων όπως οι IBM, Ripe.io, Transparent Path, Greenfence, OpenSC, Hungry Coin, FoodlogIQ και άλλες. Αυτές οι εταιρείες συνοψίζονται στον Πίνακα3-1.

Πίνακας 3-1: Παραδείγματα επιχειρήσεων που ενσωματώνουν την τεχνολογία blockchain σε τρόφιμα και γεωργία και ο επίσημος ιστότοπος (Xu et al., 2020).

Name	Website	Application
Transparent Path	https://xparent.io/	Farm-to-distributor traceability
IBM Food Trust	https://www.ibm.com/blockchain/solutions/food-trust	Track-and-trace
Ripe.io	https://www.ripe.io/	Transparent digital food supply chain
Greenfence	https://origin.greenfence.com/	Food traceability
Hungry Coin	http://hungrycoin.net/	Restaurants, traceable tokens
AgriChain	https://agrichain.com/	Enabling peer-to-peer agricultural transactions
AgriDigital	https://www.agridigital.io/	Process complex agricultural transactions through smart contracts
AgriLedger	http://www.agriledger.io/	Supporting farmers in tracing food origins, transactions
TE-FOOD	https://tefoodint.com/	Identification tools, farm-to-table food traceability
Mixing Bowl	http://mixingbowlhub.com/the-blockchain-of-food/	Food supply chain management
Provenance	https://www.provenance.org/	Transparency traceability
OriginTrail	https://origintrail.io/	supply chains data sharing
Avenews = GT	https://www.avenews-gt.com/	supply chain transparency
Owlchain	https://www.owlting.com/obs	A tracing system for pork
Ambrosus	https://ambrosus.com/#features	Customized combination of robust sensors, biosensors and food tracers
Foodcoin	https://fcgroup.ch/	Smart contracts
Lokaal Market	https://lokaal.market/	Traceability regulations
FoodLogiQ	https://www.foodlogiq.com/	Food supply chain management

Σε ολόκληρη την αλυσίδα εφοδιασμού αγροδιατροφικών προϊόντων, προκειμένου να διατηρηθεί η εμπιστοσύνη και η αξιοπιστία, είναι σημαντικό τα αποθηκευμένα αρχεία να είναι απαραβίαστα και ο κάθε φορέας που εκδίδει συναλλαγές να μπορεί να το κάνει χωρίς να βασίζεται σε κανέναν κεντρικό τρίτο διαμεσολαβητή (Caro et al., 2018). Οι

Hua et al. (2018) αναφέρουν ότι ο στόχος μιας πλατφόρμας ιχνηλασιμότητας της γεωργίας είναι η καταγραφή πληροφοριών που σχετίζονται με την αλυσίδα εφοδιασμού της παραγωγής, συμπεριλαμβανομένων δεδομένων για την παραγωγή, επεξεργασία, αποθήκευση, μεταφορά και διανομή γεωργικών προϊόντων, έτσι ώστε όλη η διαδικασία να μπορεί να επιβλέπεται από τρίτα μέρη (πελάτες, ασφαλιστικές εταιρείες κ.λπ.). Οι Caro et al. (2018) υποστηρίζουν ότι μια πιθανή λύση για την αντιμετώπιση όλων αυτών των ζητημάτων και ανησυχιών είναι η τεχνολογία BC, η οποία είναι ένα ομότιμο ψηφιακό καθολικό που δεν βασίζεται σε κεντρικούς διακομιστές. Δεδομένου ότι όλα τα αρχεία που είναι αποθηκευμένα σε μια αλυσίδα μπλοκ βασίζονται σε συναίνεση που επιτεύχθηκε τουλάχιστον από την απόλυτη πλειοψηφία των ομότιμων σταθμών του ίδιου δικτύου, αυτό το κατανεμημένο καθολικό είναι αμετάβλητο από το σχεδιασμό του και προσφέρει μια ελέγξιμη και διαφανή πηγή πληροφοριών. Έτσι, τα BC διαθέτουν όλες τις απαιτούμενες ιδιότητες και τα χαρακτηριστικά για την αποκέντρωση των συστημάτων ιχνηλασιμότητας των τροφίμων, ενώ καθιστούν διαθέσιμα τα ανιχνεύσιμα δεδομένα σε κάθε βήμα της αλυσίδας εφοδιασμού.

Οι Hua et al. (2018) αναφέρουν πως αυτό που αποθηκεύεται στο BC του bitcoin είναι το ιστορικό συναλλαγών, το οποίο είναι σχετικά απλό. Το περιεχόμενο του συστήματος γεωργικής ιχνηλασιμότητας είναι πολύ πιο περίπλοκο, περιλαμβάνει εταιρείες, σπόρους, λιπάσματα, φυτοφάρμακα, χρόνο, γεωργικές εργασίες, δοκιμές καταλοίπων.

Σύμφωνα με τους Demestichas et al. (2020), καθώς η τεχνολογία BC ωριμάζει και γίνεται πιο mainstream σε άλλους τομείς εφαρμογών, όλο και περισσότερες έρευνες πραγματοποιήθηκαν, εστιάζοντας στη χρήση του DLT για συστήματα ιχνηλασιμότητας γεωργίας. Ο Tian (2016) πρότεινε μια ιδέα για ένα σύστημα που βασίζεται στην τεχνολογία RFID και BC για τις κινεζικές αγορές αγροδιατροφικών προϊόντων με στόχο τη βελτίωση της ασφάλειας και της ποιότητας των τροφίμων τους, καθώς και τη μείωση των απωλειών κατά τη διάρκεια των διαδικασιών logistics. Το έργο του Tian είναι ένα από τα πιο αναφερόμενα στη βιβλιογραφία σχετικά με τις εφαρμογές BC στον τομέα της γεωργίας. Σύμφωνα με τον Tian (2016), η τεχνολογία RFID και η τεχνολογία BC χρησιμοποιούνται για τη διασφάλιση της ασφάλειας και της ποιότητας των τροφίμων σε ολόκληρη την αλυσίδα εφοδιασμού. Στην έρευνά του εξετάζει δύο τύπους γεωργικών προϊόντων: i) φρέσκα φρούτα και λαχανικά και ii) κρέας, όπως χοιρινό, κοτόπουλο και βόειο κρέας. Το προτεινόμενο δίκτυο χρησιμοποιεί τα χαρακτηριστικά των BC, έτσι ώστε όλοι οι ενδιαφερόμενοι φορείς να

μπορούν να έχουν πρόσβαση σε κάθε συναλλαγή και πληροφορίες σχετικά με ένα συγκεκριμένο προϊόν. Βασικός στόχος του είναι να καλύψει όλη τη διαδικασία συλλογής δεδομένων και διαχείρισης πληροφοριών, για κάθε συναλλαγή μεταξύ των ενδιαφερόμενων μερών στην αγροδιατροφική εφοδιαστική αλυσίδα. Ολόκληρο το σύστημα παρέχει έλεγχο, παρακολούθηση και ανίχνευση της ποιότητας των γεωργικών τροφίμων και μπορεί να χαρακτηριστεί ως λύση «από το αγρόκτημα στο πιρούνι». Η λύση που προτείνει παρουσιάζει τόσο πλεονεκτήματα όσο και προκλήσεις (λαμβάνοντας υπόψη κοινωνικές, οικονομικές και τεχνικές πτυχές) σε σύγκριση με τις κεντρικές λύσεις. Ο Tian (2017) συνεχίζει την έρευνά του και προτείνει μια λύση αλυσίδας μπλοκ για την ιχνηλασιμότητα της γεωργίας, προκειμένου να διασφαλιστεί ότι οι αρχές και οι απαιτήσεις HACCP λαμβάνονται υπόψη κατά την παραγωγή, τη μεταφορά και τη διατήρηση ενός προϊόντος. Ο Kamath (2018) περιέγραψε τον τρόπο με τον οποίο η Walmart αντιμετωπίζει την ασφάλεια των τροφίμων στην αλυσίδα εφοδιασμού χρησιμοποιώντας τη λύση BC της IBM που βασίζεται στην Hyperledger Fabric. Οι Caro et al. (2018) προτείνουν μια ολοκληρωμένη λύση μιας πλατφόρμας BC που ονομάζεται AgriBlockIoT στην αλυσίδα εφοδιασμού της γεωργίας. Το AgriBlockIoT είναι ένα πλήρως καταναμημένο σύστημα που χρησιμοποιεί την τεχνολογία BC σε συνδυασμό με συσκευές IoT για τη συλλογή και τη διανομή δεδομένων ιχνηλασιμότητας.

Η προτεινόμενη λύση δοκιμάστηκε χρησιμοποιώντας δύο διαφορετικές πλατφόρμες BC, δηλαδή Ethereum και Hyperledger Sawtooth. Τα αποτελέσματα της δοκιμής έδειξαν ότι το Ethereum είχε πολύ καλύτερη απόδοση σε σύγκριση με το Hyperledger Sawtooth, όσον αφορά την καθυστέρηση, την κεντρική μονάδα επεξεργασίας (Central Processing Unit-CPU) και τη χρήση δικτύου. Το AgriBlockIoT επιτρέπει την ενσωμάτωση τεχνολογιών IoT και BC, δημιουργώντας διαφανή, ανεκτικά σφάλματα, αμετάβλητα και ελεγχόμενα αρχεία που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για ένα σύστημα ιχνηλασιμότητας γεωργικών τροφίμων.

Επιπλέον, οι Lin et al. (2018) προτείνουν ένα άλλο σύστημα βασισμένο σε τεχνολογίες BC και IoT για την αλυσίδα εφοδιασμού της γεωργίας. Συγκεκριμένα, οι συγγραφείς προσπαθούν να συνδυάσουν τις τεχνολογίες του BC, του IoT, του δικτύου ευρείας περιοχής χαμηλής ισχύος (LPWAN) και του υπάρχοντος συστήματος διαχείρισης επιχειρησιακών πόρων (ERP). Η προτεινόμενη πλατφόρμα, η οποία στοχεύει στην επίλυση ζητημάτων ασφάλειας και εμπιστοσύνης των τροφίμων της παραδοσιακής

γεωργικής αλυσίδας εφοδιασμού τροφίμων, εμπλέκει όλα τα μέρη σε ένα τυπικό οικοσύστημα αλυσίδας εφοδιασμού γεωργίας.

Οι Baralla *et al.* (2018) προτείνουν ένα πλαίσιο χρησιμοποιώντας μια κοινοπραξία, BC με βάση το Ethereum και έξυπνες συμβάσεις για την αλυσίδα εφοδιασμού τροφίμων στην περιοχή της Σαρδηνίας. Οι παραπάνω αναφέρουν τις θετικές πτυχές της χρήσης αυτής της προσέγγισης για την προώθηση του έξυπνου τουρισμού και την προστασία της αυθεντικότητας των τοπικών προϊόντων της Σαρδηνίας. Μια άλλη ενδιαφέρουσα δημοσίευση που αφορά τις κοινοπραξίες BC και τα έξυπνα συμβόλαια διατυπώθηκε στη δημοσίευση των Lin *et al.* (2019). Πιο συγκεκριμένα, πρότειναν ένα σύστημα που συνδυάζει BC, έξυπνες συμβάσεις και ηλεκτρονικές υπηρεσίες πληροφοριών κωδικού προϊόντος (EPCIS). Προκειμένου να κάνουν το BC πιο αποτελεσματικό, προωθούν την ιδέα της μείωσης των δεδομένων που είναι αποθηκευμένα στο BC, χρησιμοποιώντας μια προσέγγιση on-chain / off-chain όπου τα δεδομένα εντός αλυσίδας είναι εκείνα που απαιτούνται για την παρακολούθηση και τον εντοπισμό ενός προϊόντος, και τα δεδομένα εκτός αλυσίδας είναι επιχειρηματικά δεδομένα, τα περισσότερα από τα οποία είναι εμπιστευτικά. Μέσω αυτής της προσέγγισης, το BC περιορίζει τον όγκο των δεδομένων και προστατεύει τα ευαίσθητα δεδομένα των επιχειρήσεων.

Οι Greydt και Fischer (2019) παρουσιάζουν μια ανάλυση σχετικά με την αναγκαιότητα των BCs στον γεωργικό τομέα, κάνοντας αναφορά στις τρεις γενιές BC (Blockchain 1.0, Blockchain 2.0 και Blockchain 3.0) και τα χαρακτηριστικά τους. Οι παραπάνω αναφέρονται επίσης στην εξέλιξη της τεχνολογίας BC στην οποία τα δεδομένα δεν θα αποθηκεύονται πλέον σε μπλοκ αλλά ως κατευθυνόμενο ακυκλικό γράφημα (DAG). Μέσω αυτής της προσέγγισης, εκτιμάται ότι τα δεδομένα μπορούν να υποστούν επεξεργασία πολύ πιο γρήγορα, κάτι που θα μπορούσε να αντιμετωπίσει το πρόβλημα της απόδοσης, καθυστέρησης και χωρητικότητας σχετικά με την εκτέλεση των συναλλαγών. Η state-of-the-art αναλυτική προσέγγιση σχετικά με την εφαρμογή BC και έξυπνων συμβάσεων στην αλυσίδα εφοδιασμού γεωργικών προϊόντων διατροφής περιγράφεται από τους Salah *et al.* (2019). Η μελέτη αυτή δείχνει πως οι έξυπνες συμβάσεις BC και Ethereum μπορούν εύκολα να εντοπίσουν και να παρακολουθήσουν, καθώς και να επιτρέψουν, μια πλήρως λειτουργική ενσωμάτωση των συναλλαγών των ενδιαφερόμενων μερών στην αλυσίδα εφοδιασμού της γεωργίας. Οι συγγραφείς προτείνουν μια σειρά αλγορίθμων σχετικά με την επικύρωση και εκτέλεση έξυπνων συμβάσεων ως μέρος του πλαισίου εφαρμογής. Η προτεινόμενη λύση εφαρμόζεται για

τον εντοπισμό και την ανίχνευση στην αλυσίδα εφοδιασμού σόγιας, αλλά θα μπορούσε να γενικευθεί για να παρέχει αξιόπιστη και αποκεντρωμένη ιχνηλασιμότητα σε άλλους τύπους καλλιεργειών και προϊόντων στην αλυσίδα εφοδιασμού της γεωργίας.

3.3 Πλατφόρμα - Hyperledger Fabric

Με βάση όσα αναφέρουν οι Nasir et al. (2018), το project Hyperledger είναι ένα καθολικό ανοιχτού κώδικα, με άδεια χρήσης (permissioned), που ιδρύθηκε από το Ίδρυμα Linux. Το project αυτό χωρίζεται σε πέντε επιμέρους project: Fabric, Sawtooth, Indy, Burrow και Iroha.

Το Hyperledger Fabric είναι μια πλατφόρμα ανοιχτού κώδικα εταιρικού επιπέδου που υποστηρίζεται από την IBM και το Ίδρυμα Linux. Σε αντίθεση με το Bitcoin και το Ethereum, το Hyperledger Fabric δεν διαθέτει κρυπτογράφηση, η πρόσβαση στο δίκτυο περιορίζεται μόνο στα μέλη του δικτύου και δεν μπορεί κανείς να συμμετάσχει στο δίκτυο. Ο μηχανισμός που χρησιμοποιείται για την επικύρωση των συναλλαγών και τη δημιουργία μπλοκ στο Hyperledger Fabric είναι PBF²⁵. Το Fabric δίνει προτεραιότητα σε διάφορα βασικά χαρακτηριστικά ως μέρος της αρχιτεκτονικής του²⁵:

Απόρρητο: Το Fabric απαιτεί την αναγνώριση όλων των υπολογιστών στο δίκτυό του. Τα υποψήφια μέλη ενός υποστηριζόμενου δικτύου Fabric πρέπει να συμμετάσχουν και να ταυτοποιηθούν μέσω ενός παρόχου υπηρεσιών μέλους (Membership Service Provider - MSP). Αυτό ονομάζεται «άδεια». Η διατήρηση του απορρήτου των δεδομένων είναι απαραίτητη για πολλούς κλάδους και αυτή η πτυχή από μόνη της καθιστά το Fabric μια ελκυστική επιλογή. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι το Fabric δεν απαιτεί την άδεια όλων των τμημάτων ενός BC. Η ανάγκη για δικαιώματα αποφασίζεται κατά τη διακριτική ευχέρεια όποιου σχεδιάζει το δίκτυο.

Κανάλια (Channels): Το Fabric παρέχει τη δυνατότητα διαμέρισης των καθολικών σε «κανάλια», όπου τα μέλη του δικτύου μπορούν να δημιουργήσουν ένα ξεχωριστό σύνολο συναλλαγών που δεν είναι ορατές στο μεγαλύτερο δίκτυο. Αυτό επιτρέπει τον διαχωρισμό πιο ευαίσθητων δεδομένων από κόμβους που δεν χρειάζονται πρόσβαση.

Επεκτασιμότητα: Ένα άλλο ελκυστικό χαρακτηριστικό του Fabric για μεγαλύτερες επιχειρήσεις είναι το εξαιρετικά επεκτάσιμο δίκτυο που παρέχει το Fabric. Όπως και άλλες εφαρμογές, ο αριθμός των κόμβων που συμμετέχουν στο δίκτυο μπορεί να

²⁵ <https://medium.com/coinmonks/how-does-hyperledger-fabric-works-cdb68e6066f5>

κλιμακωθεί γρήγορα, αλλά το σύστημα είναι σε θέση να επεξεργάζεται μεγάλες ποσότητες δεδομένων με ένα μικρότερο σύνολο πόρων. Αυτό επιτρέπει την καλύτερη προσέγγιση και των δύο κόσμων. Το BC μπορεί να δημιουργηθεί με ένα μικρό σύνολο κόμβων και κλίμακα κατά παραγγελία.

*Modularity*²⁶: Η αρχιτεκτονική του Fabric έχει σχεδιαστεί για να επιτρέπει την προσθήκη και την εφαρμογή ξεχωριστών στοιχείων σε διαφορετικές χρονικές στιγμές. Πολλά από τα στοιχεία είναι προαιρετικά και μπορούν να παραλειφθούν εντελώς ή να εισαχθούν αργότερα χωρίς να επηρεαστεί η λειτουργικότητα. Αυτή η δυνατότητα προορίζεται να δώσει σε μια εταιρεία εξουσία για το τι είναι και δεν είναι απαραίτητο να εφαρμοστεί. Μερικά από τα στοιχεία που θεωρούνται αρθρωτά, ή «plug-and-play», περιλαμβάνουν τη μέθοδο επίτευξης συναίνεσης, υπηρεσίες ιδιότητας μέλους για αναγνώριση, το ίδιο το κατάστημα καθολικών, συγκεκριμένα API πρόσβασης και ενοποίηση chaincode.

Το Hyperledger Fabric, όπως αναφέρει ο Μάρκοβιτς (2020), περιλαμβάνει αρθρωτά building blocks για κάθε ένα από τα δομικά του στοιχεία :

- Μια υπηρεσία ταξινόμησης (ordering service), η οποία μεταδίδει τις ενημερώσεις κατάστασης στους peers του δικτύου και διαμορφώνει τη συναίνεση όσον αφορά τη σειρά των συναλλαγών.
- Ένα πάροχο υπηρεσίας συνδρομής (membership service provider), ο οποίος είναι υπεύθυνος για τη συσχέτιση των peers με κρυπτογραφικές ταυτότητες. Διατηρεί την permissioned ιδιότητα του Fabric.
- Μια προαιρετική υπηρεσία peer-to-peer επικοινωνίας (gossip service) disseminates που διαδίδει τα blocks που παρέχει η υπηρεσία ταξινόμησης σε όλους τους peers.
- Τα Smart contracts στο Fabric εκτελούνται σε ένα περιβάλλον container για λόγους απομόνωσης. Μπορούν να συγγραφούν σε standard γλώσσες προγραμματισμού αλλά δεν έχουν άμεση πρόσβαση στην κατάσταση του ledger.

²⁶ Η αρθρωτότητα είναι ένα μέτρο της δομής των δικτύων ή γραφημάτων που μετρά τη δύναμη της διαίρεσης ενός δικτύου σε ενότητες. Τα δίκτυα με υψηλή αρθρωτότητα έχουν πυκνές συνδέσεις μεταξύ των κόμβων εντός των ενότητων, αλλά αραιές συνδέσεις μεταξύ των κόμβων σε διαφορετικές ενότητες. [https://en.wikipedia.org/wiki/Modularity_\(networks\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Modularity_(networks))

- Κάθε peer διατηρεί τοπικά ένα αντίγραφο του ledger υπό τη μορφή ενός append-only BC και ενός snapshot της πιο πρόσφατης κατάστασης σε ένα key-value store.

Οι ομότιμοι υπολογιστές-πελάτες στον οργανισμό-μέλος λαμβάνουν αιτήσεις κλήσης συναλλαγών από τους υπολογιστές-πελάτες εντός του οργανισμού. Ένας υπολογιστής-πελάτης μπορεί να είναι οποιαδήποτε συγκεκριμένη εφαρμογή/πύλη που εξυπηρετεί συγκεκριμένες δραστηριότητες οργανισμού/επιχείρησης. Η εφαρμογή-πελάτης χρησιμοποιεί hyperledger Fabric SDK²⁷ ή REST υπηρεσία ιστού για να αλληλεπιδράσει με το δίκτυο Hyperledger Fabric. Ο αλυσιδωτός κώδικας-chaincode (παρόμοιος με το Ethereum Smart Contract) που είναι εγκατεστημένος σε ομότιμους υπολογιστές προκαλεί την έναρξη αίτησης κλήσης συναλλαγής²⁸.

Όλοι οι ομότιμοι υπολογιστές διατηρούν ένα καθολικό ανά κανάλι στο οποίο είναι εγγεγραμμένοι, ως κατανεμημένη τεχνολογία καθολικού (DLT). Αλλά σε αντίθεση με το Ethereum στο Hyperledger Fabric οι ομότιμοι του δικτύου BC έχουν διαφορετικούς ρόλους.

- Endorser peer
- Anchor peer
- Orderer peer

Endorser peer: Οι ομότιμοι κόμβοι μπορούν να επισημανθούν ως κόμβοι επικύρωσης (δηλαδή κόμβος έγκρισης). Μετά τη λήψη του «αιτήματος επίκλησης συναλλαγής» από την εφαρμογή client, ο ομότιμος κόμβος:

- Επικυρώνει τη συναλλαγή. Γίνεται έλεγχος λεπτομερειών πιστοποιητικού και ρόλων του αιτούντος.
- Εκτελεί τον αλυσιδωτό κώδικα - chaincode (δηλαδή έξυπνη σύμβαση) και προσομοιώνει το αποτέλεσμα της συναλλαγής. Αλλά δεν ενημερώνει το καθολικό.

Στο τέλος των παραπάνω δύο εργασιών, ο επικυρωτής μπορεί να εγκρίνει ή να απορρίψει τη συναλλαγή. Καθώς μόνο ο κόμβος επικύρωσης εκτελεί τον Chaincode

²⁷ <https://blockchain.kompitech.com/how-hyperledger-fabric-works>

Το Hyperledger διευκολύνει τους προγραμματιστές που γράφουν εφαρμογές σε Go, Python, Node.js ή Java να αλληλεπιδρούν με τα καθολικά Fabric, καθώς υποστηρίζει κιτ ανάπτυξης λογισμικού (SDK). Οι προγραμματιστές απλώς εισάγουν αυτά τα SDK στην εφαρμογή τους και παρέχουν μια ρύθμιση παραμέτρων που περιέχει πληροφορίες όπως MSP, πιστοποιητικά TLS, ομότιμους υπολογιστές και τελικά σημεία και κανάλια υπηρεσιών παραγγελίας.

²⁸ <https://medium.com/coinmonks/how-does-hyperledger-fabric-works-cdb68e6066f5>

(Smart Contract), δεν υπάρχει ανάγκη εγκατάστασης του Chaincode σε κάθε κόμβο του δικτύου με αποτέλεσμα να αυξάνετε έτσι η επεκτασιμότητα του δικτύου.

Anchor peer: Έχει ρυθμιστεί κατά τη στιγμή του καθορισμού των παραμέτρων του καναλιού. Γνωρίζουμε ότι στο Hyperledger Fabric μπορούν να διαμορφωθούν μυστικά κανάλια μεταξύ των ομότιμων και οι συναλλαγές μεταξύ αυτών των υπολογιστών αυτού του καναλιού να είναι ορατές μόνο σε αυτούς.

Ο Anchor peer λαμβάνει ενημερώσεις και μεταδίδει τις ενημερωμένες εκδόσεις στους άλλους ομότιμους υπολογιστές του οργανισμού. Οι Anchor peers είναι ανιχνεύσιμοι. Έτσι, οποιοσδήποτε ομότιμος υπολογιστής που έχει επισημανθεί ως Anchor peer μπορεί να ανακαλυφθεί από τον ομότιμο υπολογιστή Orderer ή οποιονδήποτε άλλο ομότιμο υπολογιστή²⁹.

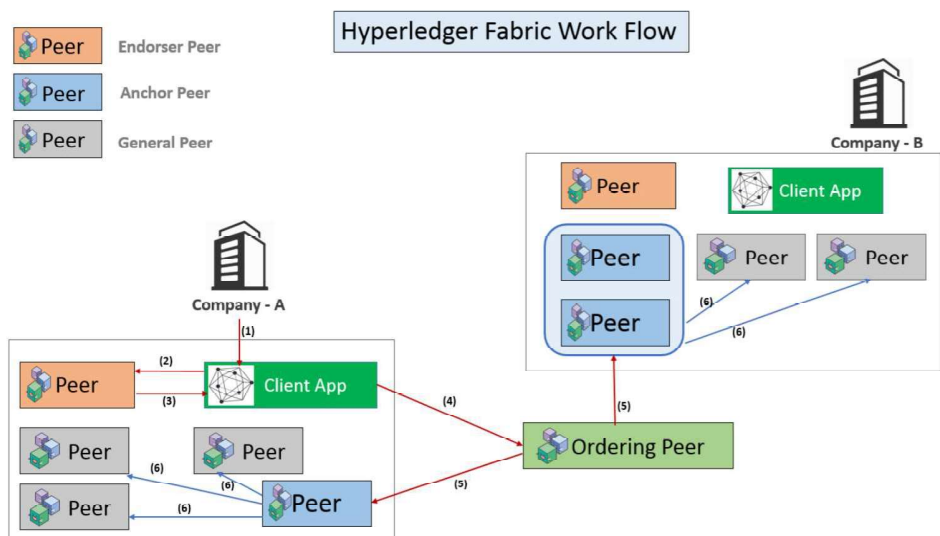
Orderer peer: Ο Orderer peer θεωρείται ως το κεντρικό κανάλι επικοινωνίας για το δίκτυο Hyperledger Fabric. Ο ομότιμος / ο κόμβος παραγγελίας είναι υπεύθυνος για τη συνεπή κατάσταση του καθολικού στο δίκτυο. Ο Orderer peer δημιουργεί το μπλοκ και το παραδίδει σε όλους τους ομότιμους. Το Hyperledger Fabric υποστηρίζει επί του παρόντος τρεις διαφορετικούς μηχανισμούς ή υλοποιήσεις συναίνεσης — SOLO, Kafka και Raft. Και για τα δίκτυα παραγωγής οι SOLO και Kafka σίγουρα δεν συνιστώνται. Το SOLO δεν παρέχει ούτε υψηλή διαθεσιμότητα (HA), ούτε αποκέντρωση. Το Kafka παρέχει HA αλλά όχι αποκέντρωση, ενώ το Raft παρέχει και τα δύο³⁰.

Ποή εργασίας Hyperledger Fabric

Το Hyperledger Fabric χρησιμοποιεί ελέγχους και επαληθεύσεις για να βοηθήσει στην επικύρωση δεδομένων πριν από την υποβολή στην αλυσίδα. Για κάθε συναλλαγή, αυτά τα βήματα περιλαμβάνουν (Εικόνα 3-1):

²⁹ <https://medium.com/coinmonks/how-does-hyperledger-fabric-works-cdb68e6066f5>

³⁰ <https://blockchain.kompitech.com/how-hyperledger-fabric-works>



Εικόνα 3-1: Hyperledger Fabric Workflow³¹

1. Ένας συμμετέχων στον οργανισμό μέλους καλεί ένα αίτημα συναλλαγής μέσω της εφαρμογής πελάτη.
2. Η εφαρμογή πελάτη μεταδίδει το αίτημα επίκλησης συναλλαγής στον ομότιμο Endorser.
3. Ο Endorser peer ελέγχει τα στοιχεία του Πιστοποιητικού και άλλα για την επικύρωση της συναλλαγής. Στη συνέχεια εκτελεί τον Κωδικό αλυσίδας-Chaincode (δηλ. Έξυπνη σύμβαση) και επιστρέφει τις απαντήσεις έγκρισης στον πελάτη. Ο ομότιμος endorser στέλνει έγκριση ή απόρριψη συναλλαγής ως μέρος της απόκρισης έγκρισης στον πελάτη.
4. Ο πελάτης στέλνει τώρα την εγκεκριμένη συναλλαγή στον ομότιμο Orderer για να ταξινομηθεί σωστά και να συμπεριληφθεί σε ένα μπλοκ.
5. Ο κόμβος Orderer περιλαμβάνει τη συναλλαγή σε ένα μπλοκ και προωθεί το μπλοκ στους κόμβους Anchor διαφορετικών μελών οργανώσεων του δικτύου Hyperledger Fabric.
6. Στη συνέχεια, οι κόμβοι Anchor μεταδίδουν το μπλοκ στους άλλους ομότιμους του οργανισμού τους. Αυτοί οι μεμονωμένοι ομότιμοι στη συνέχεια ενημερώνουν το τοπικό τους βιβλίο με το τελευταίο μπλοκ. Έτσι, σε όλο το δίκτυο συγχρονίζεται το καθολικό (Εικόνα 3-1).

³¹ <https://medium.com/coinmonks/how-does-hyperledger-fabric-works-cdb68e6066f5>

3.4 Μελέτες περίπτωσης

Σύμφωνα με τους Kamath (2018) και Xu et al. (2020), το 2016, η εταιρεία λιανικής Walmart ίδρυσε το Walmart Food Safety Center στο Πεκίνο και επένδυσε 25 εκατομμύρια δολάρια στην ασφάλεια τροφίμων χρησιμοποιώντας τη λύση BC της IBM. Η Walmart έβαλε σε εφαρμογή πιλοτικά προγράμματα BC για δύο προϊόντα: φέτες μάνγκο και φρέσκα προϊόντα χοιρινού κρέατος, στις ΗΠΑ και την Κίνα, αντίστοιχα (IBM, 2017). Λόγω των διαφορών μεταξύ αυτών των δύο χωρών, σε κάθε σύστημα χρησιμοποιούνται διαφορετικές πληροφορίες. Μία διαφορά μεταξύ των δύο αυτών πιλοτικών προγραμμάτων, χοιρινού και μάνγκο, είναι ότι το χοιρινό εστιάζει περισσότερο στην ιχνηλασιμότητα του προϊόντος εντός της χώρας ενώ στην περίπτωση του μάνγκο, η ιχνηλασιμότητα του προϊόντος είναι διεθνής λόγω της μεταφοράς προϊόντων μάνγκο μεταξύ Μεξικού και Ηνωμένων Πολιτειών.

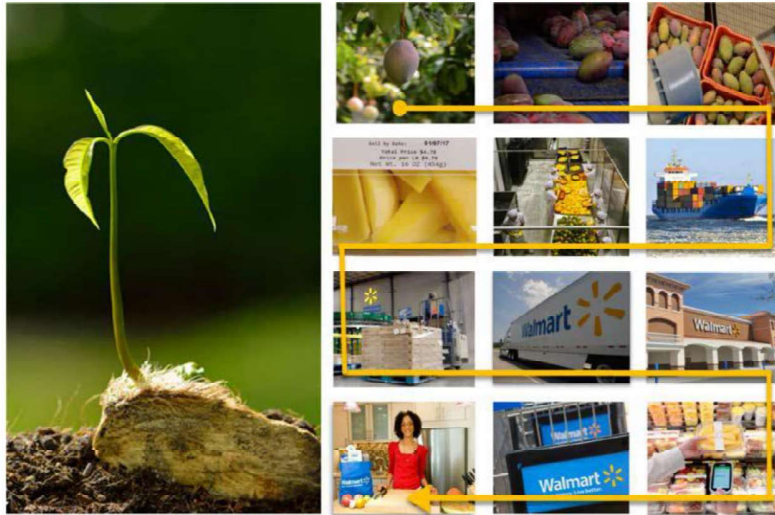
3.4.1 Walmart's mango (IBM FOOD-TRUST)

Σύμφωνα με τον Kamath (2018), η Walmart διεξήγαγε πιλοτική έρευνα χρησιμοποιώντας την πλατφόρμα BC Hyperledger Fabric της IBM για τον εντοπισμό κομμένων σε φέτες μάνγκο από τη Νότια και Κεντρική Αμερική στη Βόρεια Αμερική. Το μάνγκο, τόσο στην αρχική του μορφή όσο και τα παράγωγά του αποστέλλονται σε όλο τον κόσμο και είναι επιρρεπή σε μολύνσεις από *Listeria* and *Salmonella* (Yiannas, 2017). Ως εκ τούτου, το πιλοτικό πρόγραμμα της Walmart στο μάνγκο έπρεπε να αποδείξει τη δυνατότητα υπεύθυνης μεταφοράς του διασυνοριακά, έτσι ώστε, εάν υπήρχε άλλη ανάκληση τέτοιων προϊόντων, η ιχνηλασιμότητα μέσω BC θα ενίσχυε την εμπιστοσύνη του κοινού στις πληροφορίες σχετικά με την προέλευσή τους (McDermott, 2017).

Ο Yiannas (2017) περιγράφοντας μια τυπική αλυσίδα εφοδιασμού μάνγκο (Εικόνα 3-2 & 3-3), ξεκινάει την περιγραφή του από το δένδρυλλιο που χρειάζεται πέντε έως οκτώ χρόνια για να ωριμάσει. Στη συνέχεια μόλις το μάνγκο συλλεχθεί, ταξινομείται και συσκευάζεται σε εμπορευματοκιβώτια πριν φορτωθεί σε φορτηγό (πλοίο) και αποσταλλεί, συχνά πέρα από τα σύνορα. Στη συνέχεια, το μάνγκο υποβάλλεται σε περαιτέρω επεξεργασία - καθαρίζεται, μερικές φορές τεμαχίζεται και βγαίνει σε clamshell³² - προτού παλετοποιηθεί, τοποθετηθεί σε φορτηγό Walmart και αποσταλλεί

³² Clamshell: μονοκόμματο δοχείο που αποτελείται από δύο μισά που ενώνονται από μια περιοχή μεντεσέδων που επιτρέπει στη δομή να ενώσει για να κλείσει. Τα κοχύλια κατασκευάζονται συχνά από πλαστικό υλικό σε σχήμα, με τρόπο παρόμοιο με το πακέτο κυψέλης https://en.wikipedia.org/wiki/Clamshell_container

σε κατάστημα Walmart. Στο κατάστημα, ο πελάτης θα πάρει το μάνγκο, θα κάνει check out και θα πάρει το φρούτο σπίτι για να το απολαύσει.



Εικόνα 3-2: Ο κύκλος ζωής ενός μάνγκο (Πηγή: Yiannas, 2017)

Ακόμα και για ένα αρκετά απλό προϊόν διατροφής όπως ένα μάνγκο, μπορούμε να δούμε, επισημαίνει, ότι είναι μια μακρά και περίπλοκη αλυσίδα εφοδιασμού με πολλούς ενδιαφερόμενους. Ο ίδιος θέλοντας να μάθει τι θα χρειαζόταν για να εντοπίσει τον καλλιεργητή ενός πακέτου με φέτες μάνγκο που προσφέρεται σε ένα από τα καταστήματα Walmart, αγόρασε ένα πακέτο μάνγκο σε ένα τοπικό κατάστημα Walmart στο βορειοδυτικό Αρκάνσας και κατά τη διάρκεια μιας συνάντησης με την ομάδα του, τους ζήτησε να μάθουν από ποια φάρμα προέρχονταν αυτά τα συγκεκριμένα μάνγκο, χρονομετρώντας τους.



Εικόνα 3-3: Το Blockchain επιτρέπει την παρακολούθηση τροφής από το αγρόκτημα στο πιάτο (Πηγή: Yiannas, 2017)³³

Χρειάστηκαν 6 ημέρες, 18 ώρες και 26 λεπτά για να ταυτοποιήσουν το αγρόκτημα που συνέλεξε αυτά τα μάνγκο καθώς κάθε ενδιαφερόμενος της αλυσίδας εφοδιασμού μάνγκο έπρεπε να συνεργαστεί με τον επόμενο κόμβο της αλυσίδας για να προσδιορίσει την προέλευση των μάνγκο. Ενώ αυτό ήταν αρκετά καλό με βάση τα βιομηχανικά πρότυπα, όπου ένας μέσος όρος ανίχνευσης μπορεί να διαρκέσει εβδομάδες ή και μήνες, στη σημερινή ψηφιακή εποχή, όπου οι πληροφορίες είναι διαθέσιμες, αυτό δεν ήταν αποδεκτό για τη Walmart.

Ένα από τα βασικά πλεονεκτήματα του συστήματος BC που η Walmart και η IBM ήθελαν να αποδείξουν ήταν η ικανότητά του να παρακολουθήσει τη διαδρομή των προϊόντων από το αγρόκτημα στο καιάσιγμα. Για αυτό το λόγο, κάθε ενδιαφερόμενος στην αλυσίδα εφοδιασμού, συμπεριλαμβανομένων αγροκτημάτων, συσκευαστηρίων, εταιρειών μεταφοράς, εισαγωγέων / εξαγωγέων, εγκαταστάσεων επεξεργασίας, κέντρων διανομής και καταστημάτων λιανικής, εισάγει τα δεδομένα του στο BC. Στη συνέχεια, το σύστημα BC συνδέει τα σύνολα δεδομένων για να διηγηθεί την ιστορία του ταξιδιού αυτού του μάνγκο από το αγρόκτημα στο κατάστημα. Το αποτέλεσμα ήταν μια απότομη μείωση του χρόνου που χρειάστηκε για τον εντοπισμό των μάνγκο - από 7 ημέρες σε 2,2 δευτερόλεπτα! Αυτό ο Yiannas (2017) το αναφέρει ως «ιχνηλασιμότητα τροφίμων @ η ταχύτητα της σκέψης».

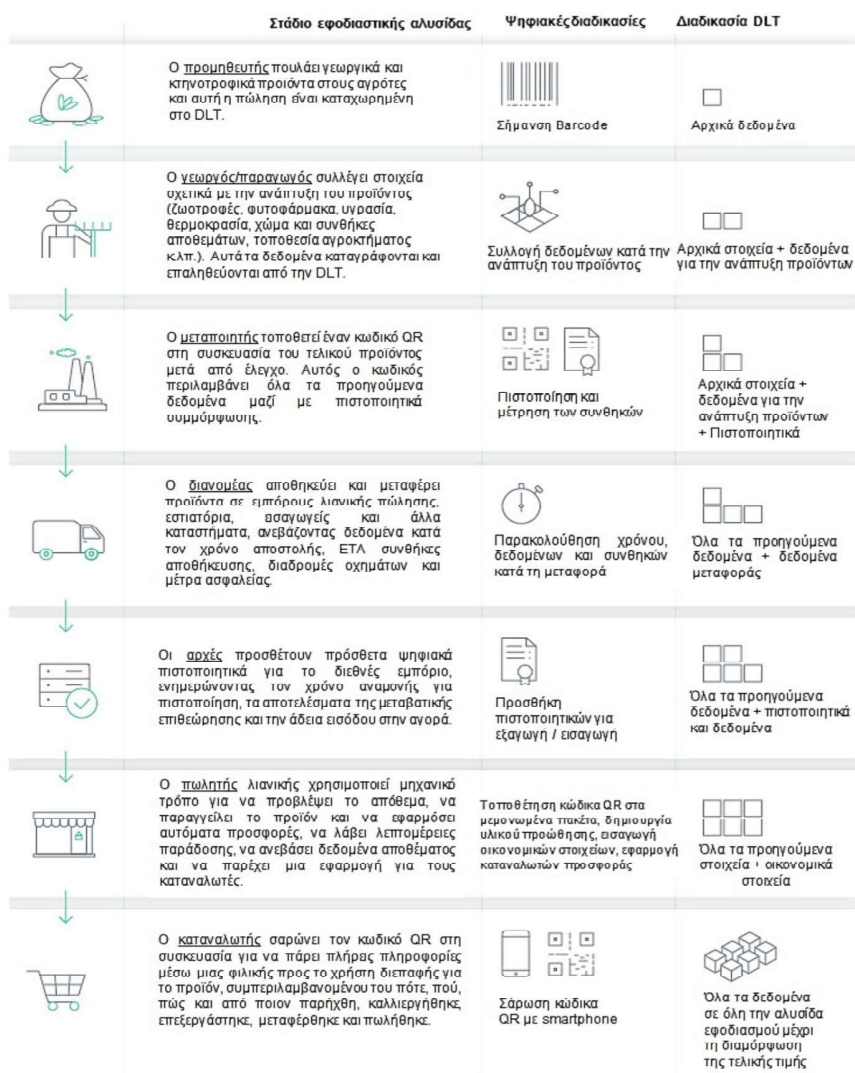
Σε κάθε στάδιο της αλυσίδας ενός αγροδιατροφικού προϊόντος εμπλέκονται διαφορετικές τεχνολογίες και καταγράφονται διαφορετικές πληροφορίες στο BC (Kamilaris et al., 2019), όπως περιγράφεται παρακάτω:

³³ <https://www.aitoros.com/blog/blockchain-at-walmart-tracking-food-from-farm-to-fork/>

- **Πάροχος πρώτων υλών (Provider):** Παρέχει πληροφορίες για την καλλιέργεια των πρώτων υλών, τα φυτοφάρμακα και τα λιπάσματα που χρησιμοποιούνται, τα μηχανήματα κ.α. Επίσης καταγράφεται η συναλλαγή με τον παραγωγό στον οποίο δίνει τις πρώτες ύλες.
- **Παραγωγός (Producer/Farmer):** Στο συγκεκριμένο στάδιο, τα έγγραφα τα οποία καταχωρούνται στο μπλοκ περιλαμβάνουν πληροφορίες για την εκμετάλλευση και τις πρακτικές καλλιέργειας που χρησιμοποιούνται. Πρόσθετες πληροφορίες σχετικά με τη διαδικασία καλλιέργειας των καλλιεργειών, τις καιρικές συνθήκες ή τα ζώα και η καλή διαβίωσή τους είναι επίσης δυνατό να προστεθούν.
- **Επεξεργασία προϊόντων (Processing):** Σε αυτό το στάδιο παρέχονται πληροφορίες για το εργοστάσιο και τον εξοπλισμό του, τις μεθόδους επεξεργασίας, τους αριθμούς παρτίδας κ.α. Καταγράφονται επίσης στο BC οι συναλλαγές που πραγματοποιούν με τους παραγωγούς και τους διανομείς των προϊόντων.
- **Διανομή (Distribution):** Λεπτομέρειες αποστολής, διαδρομές που ακολουθήθηκαν, συνθήκες αποθήκευσης (π.χ. θερμοκρασία, υγρασία), χρόνος διαμετακόμισης σε κάθε μέθοδο μεταφοράς κ.λπ. Όλες οι συναλλαγές μεταξύ των διανομέων και επίσης με τους τελικούς παραλήπτες (δηλαδή λιανοπωλητές) γράφονται στο BC.
- **Λιανοπωλητές- Retailer (π.χ Walmart):** Σε αυτό το σημείο της αλυσίδας καταγράφονται πληροφορίες για κάθε είδος διατροφικού προϊόντος. Τέτοια στοιχεία είναι η τρέχουσα ποιότητα και ποσότητα, η ημερομηνία λήξης, οι συνθήκες αποθήκευσης ακόμη και ο χρόνος που ένα προϊόν βρίσκεται στο ράφι ενός καταστήματος.
- **Καταναλωτής (Consumer):** Στο τελικό στάδιο ο κάθε καταναλωτής μπορεί χρησιμοποιώντας ένα smart phone, να σαρώσει τον εκάστοτε QR code ενός προϊόντος και να δει λεπτομερώς όλες τις πληροφορίες που σχετίζονται με το προϊόν, από τον πάροχο και τον παραγωγό μέχρι το συγκεκριμένο κατάστημα της Walmart.

Σύμφωνα με τους Kamilaris et al.(2019), οι διαδικασίες που εφαρμόζουν οι διαφορετικοί κόμβοι μιας εφοδιαστικής αλυσίδας ακολουθούν τους κανόνες του BC,

χρησιμοποιώντας διαφορετικές τεχνολογίες, όπως κωδικούς QR, RFID, NFC (Near Field Communication), ηλεκτρονικές πιστοποιήσεις, ψηφιακές υπογραφές, αισθητήρες κ.α., με σκοπό να παρέχουν σε πραγματικό χρόνο συνεχείς πληροφορίες για την κατάσταση των προϊόντων. Έτσι, οποιαδήποτε ενέργεια πραγματοποιείται από κάθε κόμβο του δικτύου καταγράφεται στο BC (Εικόνα 3-4).



Εικόνα 3-4: Αγροτική αλυσίδα εφοδιασμού βασισμένη σε τεχνολογία καταναμεμένο καθολικού (DLT)³⁴

Οι πληροφορίες που συλλέγονται κατά τη διάρκεια μίας συναλλαγής επικυρώνονται από τους υπόλοιπους κόμβους του δικτύου μέσω της διαδικασίας συναίνεσης. Έτσι,

³⁴ <https://www.intellias.com/how-to-apply-the-blockchain-to-agricultural-supply-chains-while-avoiding-embarrassing-mistakes/>

όταν μία ομάδα σχετικών συναλλαγών ολοκληρώνεται, αυτές σχηματίζουν ένα block το οποίο προστίθεται στο BC.

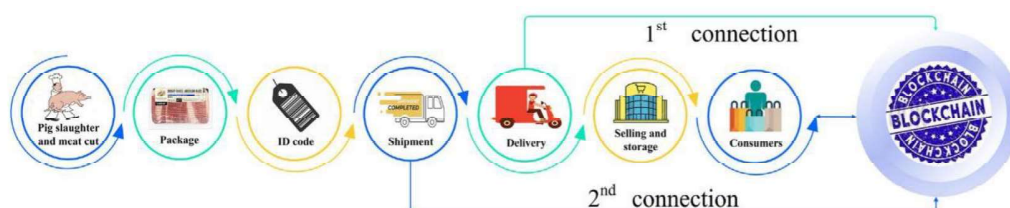
3.4.2 Walmart's pork (IBM FOOD-TRUST)

Το 2011 στη Walmart China, ανακαλύφθηκε ένα σκάνδαλο, με τις αρχές του Τσονγκκίγ (Chongqing) να απαιτούν το κλείσιμο 13 καταστημάτων λόγω της μη συμμόρφωσής τους με τους κανόνες τροφίμων, πουλώντας μη βιολογικό χοιρινό με βιολογικές ετικέτες (Jones, 2011). Το εν λόγω σκάνδαλο, απεικόνιζε τις προκλήσεις των αλυσίδων εφοδιασμού τροφίμων στη Κίνα, οι οποίες χαρακτηρίζονται από αναποτελεσματικότητα και απάτες (Kamath, 2017).

Σύμφωνα με το Σιάλδα (2020), η Κίνα παράγει το μισό χοιρινό παγκοσμίως και θεωρείται ο κορυφαίος εισαγωγέας χοιρινού κρέατος. Το γεγονός αυτό, ώθησε την κινεζική κυβέρνηση, να επικεντρωθεί στη βιομηχανία χοιρινού κρέατος της χώρας και να εκσυγχρονίσει το σύστημα παραγωγής της, από τα εκτροφεία και τα αγροκτήματα μέχρι το πιρούνι του καταναλωτή. Η κινεζική κυβέρνηση επενδύει πολλά χρήματα στο σύστημα τροφίμων της, ενισχύοντας τις μεθόδους επιθεώρησης και ασφάλειας των τροφίμων συνεργαζόμενη με μεγάλες εταιρείες λιανικού εμπορίου όπως η Walmart. Με δεδομένο τον μεγάλο πληθυσμό της Κίνας και της τεράστιας ζήτησης του χοιρινού κρέατος (12,7 εκατομμύρια τόνοι χοιρινού κρέατος) η Walmart είχε το κίνητρο να διερευνήσει νέες τεχνολογίες για την καλύτερη ανίχνευση της προέλευσης των χοιρινών κρεάτων και έτσι στράφηκε στο BC (Bunge, 2020).

Η Walmart ξεκίνησε αυτή την προσπάθεια συλλέγοντας πληροφορίες για τα αγροκτήματα της Κίνας στα οποία εκτρέφονταν οι χοίροι, στη συνέχεια για το σφαγείο και όλους τους επόμενους κόμβους της εφοδιαστικής αλυσίδας. Πριν ξεκινήσει το project, κωδικοί QR προστέθηκαν στα χοιρινά κρέατα στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας οι οποίοι επέτρεπαν σε κάθε κόμβο να επαληθεύει την κατάσταση και την αυθεντικότητα του κρέατος σε πραγματικό χρόνο. Συνεπώς, οι συνεργάτες της Walmart στα κέντρα διανομής, μπορούσαν σαρώνοντας την ετικέτα της συσκευασίας να εντοπίσουν τα στοιχεία της παραγγελίας και της αποστολής του κρέατος και να επαληθεύσουν τη σωστή προέλευση αυτού. Ενώ παλαιότερα, οι κόμβοι του δικτύου έπρεπε να καταγράφουν τις λεπτομέρειες των συναλλαγών και τις πληροφορίες για την κατάσταση του προϊόντος σε χαρτί, πλέον όλες οι συναλλαγές γίνονται μέσω smart contracts, με τη χρήση ψηφιακών υπογραφών και η ασφάλεια και η εμπιστοσύνη είναι

πολύ μεγαλύτερη. Τα κτηνιατρικά πιστοποιητικά τα οποία είναι απαραίτητα καθώς επιβεβαιώνουν την υγεία των ζώων, σκανάρονται και προστίθενται στα μπλοκ της αλυσίδας με αποτέλεσμα να είναι ορατά σε όλους. Μέσω της τεχνολογίας αυτής, οι υπεύθυνοι ασφάλειας τροφίμων της Walmart μπορούν να επιβεβαιώνουν την υγεία των χοίρων και να επιβλέπουν οποιαδήποτε πληροφορία ψηφιακά. Κατά την διαδικασία της σφαγής και κατανομής των διάφορων κομματιών του χοίρου, τα σφαγεία χρησιμοποιούν RFID tags, microchip δηλαδή με ενσωματωμένη κεραία τα οποία τοποθετούνται στις σακούλες στις οποίες συσκευάζονται τα ξεχωριστά κομμάτια χοιρινού. Αυτά μόλις βρεθούν σε μία κοντινή απόσταση με έναν «αναγνώστη» τότε οι ετικέτες RFID ενεργοποιούνται και επιστρέφουν τα δεδομένα που διατηρούν για το κρέας. Στη συνέχεια τα δεδομένα αυτά καταχωρούνται στα BC και είναι διαθέσιμα από όλους. Στα σφαγεία επίσης είναι εγκατεστημένες κάμερες που βιντεοσκοπούν ολόκληρη τη διαδικασία κοπής του κρέατος. Στα φορτηγά μεταφοράς, υπάρχουν αισθητήρες θερμοκρασίας και υγρασίας όπως και GPS με αποτέλεσμα να ειδοποιούν συνέχεια το BC για την κατάσταση των κρεάτων σε πραγματικό χρόνο. Η Walmart μπορεί να εντοπίσει που βρίσκονται τα φορτηγά και να παρακολουθεί τις συνθήκες σε κάθε ψυγείο-εμπορευματοκιβώτιο και εάν οι συνθήκες υπερβαίνουν τα καθορισμένα όρια, λαμβάνουν ειδοποιήσεις για άμεση διορθωτική ενέργεια (Σιάλδης, 2020).



Εικόνα 3-5: Διάγραμμα ροής του συστήματος ιχνηλασιμότητας χοιρινού κρέατος Walmart (Πηγή: Xu et al, 2020)

Το τρέχον σύστημα ιχνηλασιμότητας χοιρινού κρέατος που εφαρμόζεται στην Κίνα έχει επικυρωθεί χρησιμοποιώντας φρεσκοκομμένα προϊόντα χοιρινού κρέατος. Ένα διάγραμμα που απεικονίζει το τρέχον σύστημα ιχνηλασιμότητας χοιρινού κρέατος φαίνεται στην Εικόνα 3-5. Η λεπτομερής περιγραφή των βασικών βημάτων συνοψίζονται παρακάτω (Xu et al., 2020):

Α. Προσδιορισμός του παράγοντα παρακολούθησης: το πρώτο βήμα είναι να προσδιοριστεί ο παράγοντας ιχνηλασιμότητας. Αυτό είναι πιθανό στην ανάλυση κινδύνου και στο κρίσιμο σημείο ελέγχου (HACCP). Σε αυτό το πρώτο στάδιο, η προέλευση των προϊόντων ή οι πληροφορίες επιθεώρησης

κατά τη διάρκεια της γραμμής επεξεργασίας χοιρινού κρέατος είναι το σημείο εντοπισμού παρακολούθησης.

- B. *Εκπαίδευση*: παρέχεται ειδική εκπαίδευση από την υποστήριξη πληροφορικής στους υπαλλήλους των κατασκευαστών στο εργοστάσιο χοιρινού κρέατος. Αυτό το βήμα λέει στους υπαλλήλους πώς να χρησιμοποιούν την εφαρμογή ή τη φορητή συσκευή ανίχνευσης, η οποία περιλαμβάνει τη μεταφόρτωση δεδομένων, τη σάρωση δεδομένων, τη συλλογή δεδομένων, την απόδειξη δεδομένων κ.λπ.
- C. *Επεξεργασία χοιρινού κρέατος*: σε αυτό το στάδιο, οι χοίροι στο σφαγείο σφάζονται. Οι πληροφορίες επιθεώρησης συλλέγονται από τους προμηθευτές χοίρων σε αυτό το στάδιο. Στη συνέχεια, οι χοίροι κόβονται σε διαφορετικά μέρη και προσυσκευάζονται σε διαφορετικά προϊόντα για κατανάλωση από τον τελικό χρήστη.
- D. *Δημιουργία ταυτότητας*: οι πληροφορίες γεωγραφικής θέσης μπορούν να συλλεχθούν δημιουργώντας ένα αναγνωριστικό (ID) προμηθευτή. Για κάθε στοιχείο, πρέπει να δημιουργηθεί ο συγκεκριμένος αριθμός είδους (item number), ο οποίος συνδέεται με πληροφορίες προϊόντος, όπως δεδομένα παραγωγής και χρόνος, τοποθεσία, προέλευση, δεδομένα επιθεώρησης κ.λπ. Όλη η ποσότητα του ίδιου είδους καταγράφεται με την εφαρμογή του ίδιου τμήματος κωδικού. Σε αυτήν την περίπτωση, κάθε είδος θα έχει διαφορετικό αριθμό γραμμωτού κώδικα για παρακολούθηση.
- E. *Πρώτη σύνδεση με blockchain*: όταν τα προϊόντα υποβάλλονται σε επεξεργασία και είναι έτοιμα για αποστολή, ο αριθμός γραμμωτού κώδικα για κάθε προϊόν καταγράφεται και συνδέεται με το όχημα. Αυτό το βήμα είναι το πρώτο κατά το οποίο πληροφορίες του προϊόντος μεταφορτώνονται στο BC, το οποίο παρέχει τη θέση των πληροφοριών αποστολής. Σε αυτήν την περίπτωση, καταγράφεται η προέλευση ή η πηγή του προϊόντος.
- F. *Δεύτερη σύνδεση με το blockchain*: όταν τα προϊόντα παραδίδονται στα σούπερ μάρκετ, θα καταγράφεται η τοποθεσία των καταστημάτων παραλαβής αυτόματα με GPS. Είναι η δεύτερη φορά που οι πληροφορίες μεταφορτώνονται στο σύστημα BC, το οποίο θα παρέχει το κατάστημα παραλαβής, τον αριθμό των αντικειμένων που παραδόθηκαν και τον χρόνο παράδοσης.
- G. *Πώληση και αποθήκευση*: το χοιρινό κρέας που παραδίδεται τοποθετείται στην αποθήκη και φέρει την ένδειξη τιμής. Ένας ειδικός γραμμωτός κώδικας

επισυνάπτεται με κάθε στοιχείο που επιτρέπει στον καταναλωτή να έχει πρόσβαση σε όλες τις πληροφορίες προϊόντος που είναι αποθηκευμένες στο BC, συμπεριλαμβανομένων των πληροφοριών επεξεργασίας και μεταφοράς.

Η. *Καταναλωτές*: όταν οι καταναλωτές αγοράσουν το χοιρινό, μπορούν να σαρώσουν τον γραμμωτό κώδικα στο αντικείμενο και να αποκτήσουν πρόσβαση στις πληροφορίες του προϊόντος μέσω κινητής συσκευής.

3.5 Οφέλη από τη χρήση τεχνολογίας Blockchain

Από τις δύο παραπάνω μελέτες περίπτωσης αντιλαμβανόμαστε ότι ένα ψηφιακό σύστημα τροφίμων που στηρίζεται στην τεχνολογία BC θα μπορούσε να προσφέρει κάτι περισσότερο από την ιχνηλασιμότητα και την ασφάλεια. Θα μπορούσε να θέσει τις βάσεις για οφέλη όπως τα ακόλουθα (Yiannas, 2017):

- *Διαφάνεια*: Η διαφάνεια είναι ένα πολύ βασικό χαρακτηριστικό που προσφέρει στην εφοδιαστική αλυσίδα τροφίμων, κάνοντας τα στοιχεία των τροφίμων εύκολα προσβάσιμα σε πραγματικό χρόνο για όλους τους εμπλεκόμενους, συμπεριλαμβανομένων και των καταναλωτών.
- *Βελτιωμένη ροή πληροφοριών για τα τρόφιμα*: Το BC επιτρέπει άμεση πρόσβαση σε μεγάλο όγκο δεδομένων που στο παρελθόν δεν υπήρχε. Αυτό σημαίνει ότι όχι μόνο μπορούν να ληφθούν οι καλύτερες δυνατές αποφάσεις σχετικά με τη ροή πληροφοριών των τροφίμων από τα αγροκτήματα μέχρι και τα καταστήματα, αλλά αυτό μπορεί να γίνεται και αυτοματοποιημένα.
- *Μειωμένες σπατάλες τροφίμων*: Ένα αποτέλεσμα της χρήσης BC είναι η τεράστια μείωση σπατάλης σε τρόφιμα. Αυτό ευθυγραμμίζεται με τη δέσμευση της Walmart ώστε να επιτύχει μηδενικές σπατάλες σε τρόφιμα μέχρι το 2025. Στόχος της είναι οι πωλήσεις σε βιωσιμότερα πλαίσια, όσων αφορά τα παραγόμενα προϊόντα, διατηρώντας παράλληλα χαμηλές τιμές.
- *Αποτροπή από απάτες*: Η ενισχυμένη διαφάνεια που δίνεται σε όλο το φάσμα του συστήματος τροφίμων, αποτρέπει τις προσπάθειες παραποίησης και απάτης σε τρόφιμα.

Ενώ το BC μπορεί να είναι ένα ιδανικό σύστημα υποστήριξης ώστε να επιτυγχάνεται πάντα η ακρίβεια και η αξιοπιστία των δεδομένων, υπάρχουν προκλήσεις που δημιουργούνται. Μία πρόκληση δημιουργείται από το ερώτημα «αν το αγαθό/προϊόν που έχει καταγραφεί στην αρχή στο σύστημα αντικατασταθεί με κάποιο άλλο κατά τη

μεταφορά;» έτσι επιβάλλεται η πρόσθεση επιπλέον αισθητήρων και περισσότερων διαδικασιών συλλογής δεδομένων ώστε να υπάρχει πλήρης διαφάνεια (Yiannas, 2017).

3.6 Προκλήσεις υλοποίησης Blockchain

Οι Demestichas et al.(2020) αναφέρουν ότι η τεχνολογία BC αν και κερδίζει όλο και περισσότερο έδαφος στον τομέα των αλυσίδων εφοδιασμού δεν αποτελεί πανάκεια. Η χρήση τεχνολογιών BC πρέπει να λαμβάνει υπόψη διάφορους κοινωνικούς, τεχνικούς και οικονομικούς παράγοντες.

Όσον αφορά τον κοινωνικό αντίκτυπο της υιοθέτησης BC, ο Burke (2019) επισημαίνει ότι ο γεωργικός τομέας έχει τους δικούς του άγραφους κανόνες και αρκετά εύθραυστες σχέσεις που δεν πρέπει να διαταράσσονται. Θα μπορούσαμε να πούμε λοιπόν ότι, η αλυσίδα εφοδιασμού αγροδιατροφικών προϊόντων είναι πολύ περίπλοκη και πολλές φορές απρόθυμη να υιοθετήσει τεχνολογίες BC για τους ακόλουθους λόγους:

- Οι τεχνολογικές γνώσεις πολλών ενδιαφερομένων είναι χαμηλού επιπέδου.
- Τα προϊόντα σε όλη την αλυσίδα υφίστανται πολλούς μετασχηματισμούς.
- Οι ρόλοι και οι επιχειρήσεις μεγάλου αριθμού ενδιαφερομένων είναι εξαιρετικά ετερογενείς.

Η αλυσίδα εφοδιασμού τροφίμων διανέμεται σε μεγάλες γεωγραφικές περιοχές, ακόμη και σε διαφορετικές ηπείρους σε όλο τον κόσμο, γεγονός που θέτει σημαντικά εμπόδια διαλειτουργικότητας και ανάπτυξης.

Επιπλέον, ζητήματα που σχετίζονται με τη διαχείριση δεδομένων, ιδίως την ιδιοκτησία δεδομένων και τη διατήρηση δεδομένων μέσα στο BC, είναι επίσης σημαντικά και πρέπει να εξεταστούν προσεκτικά.

Από τεχνική άποψη, όπως αναφέρουν οι Demestichas et al. (2020), οι αλυσίδες μπλοκ (blockchain) μπορεί να είναι αμετάβλητα καθολικά, αλλά η ακρίβεια των δεδομένων που εισάγονται από αισθητήρες ή από άτομα δεν είναι εγγυημένη. Έτσι, για παράδειγμα, εάν ένας αισθητήρας δεν λειτουργεί σωστά, τότε οι πληροφορίες σε ολόκληρο το BC δεν είναι ακριβείς. Σε γενικές γραμμές, υπάρχουν δυσκολίες στην παρακολούθηση, ολοκλήρωση και αξιολόγηση ορισμένων κατηγοριών δεδομένων εντός της αγροδιατροφικής εφοδιαστικής αλυσίδας. Για παράδειγμα, είναι δύσκολο να ανακτηθούν και να αξιολογηθούν περιβαλλοντικά δεδομένα χρησιμοποιώντας αντικειμενικές μεθόδους (Creydt & Fischer, 2019).

Από οικονομικής άποψης, η τεχνολογία BC ενδέχεται να αυξήσει τη διαφάνεια της αλυσίδας εφοδιασμού τροφίμων καθώς και την εμπιστοσύνη των καταναλωτών, αλλά η χρήση της συνοδεύεται από τεράστιο ενεργειακό και οικονομικό κόστος. Είναι υποχρεωτικό για τις εταιρείες να επενδύσουν πολλά χρήματα, καθώς και χρόνο, για να εκπαιδεύσουν όλο το εμπλεκόμενο προσωπικό και επίσης για την απόκτηση του απαιτούμενου εξοπλισμού. Από την άλλη πλευρά, τέτοιες επενδύσεις σε χρόνο και χρήμα μπορεί να οδηγήσουν σε υψηλό κόστος ιχνηλασιμότητας που μπορεί να υπερβαίνει το ίδιο το κόστος του προϊόντος, τόσο βραχυπρόθεσμα όσο και μακροπρόθεσμα, επομένως είναι απαραίτητη η ανάλυση κόστους-οφέλους.

Τέλος, οι Kamilaris et al. (2019) επισημαίνουν ως κύριες προκλήσεις την προσβασιμότητα στην τεχνολογία BC, την διακυβέρνηση και την βιωσιμότητα, τους πολιτικούς κανόνες, τις τεχνικές προκλήσεις και τις αποφάσεις σχεδιασμού που πρέπει να ληφθούν, καθώς και τη γεφύρωση του ψηφιακού χάσματος μεταξύ ανεπτυγμένων και αναπτυσσόμενων χωρών προκειμένου να επιτευχθεί επιτυχής υιοθέτηση τέτοιων αναδυόμενων τεχνολογιών.

Υποστηρίζουν επίσης ότι οι επενδύσεις στην τεχνολογία και την εκπαίδευση πρέπει να πραγματοποιηθούν για την περαιτέρω παραγωγή και επίδειξη αποδεικτικών στοιχείων λαμβάνοντας υπόψη τα οφέλη της νέας τεχνολογίας BC.

4. Συμπεράσματα

Ο στόχος αυτής της εργασίας ήταν να διερευνηθεί μέσω μελετών περίπτωσης πως θα μπορούσε να αξιοποιηθεί η τεχνολογία BC στην ιχνηλασιμότητα των αγροδιατροφικών προϊόντων. Η ιχνηλασιμότητα είναι ένας τομέας που έχει μελετηθεί αρκετά όλα αυτά τα χρόνια. Έχουν θεσπιστεί αρκετοί κανονισμοί, οδηγίες και νόμοι σε όλο τον κόσμο σχετικά με την ιχνηλασιμότητα των αγροδιατροφικών προϊόντων. Από την άλλη πλευρά, παρόλο που η τεχνολογία BC αποτέλεσε αντικείμενο εκτεταμένης έρευνας κατά την τελευταία δεκαετία, μόνο τα τελευταία χρόνια ορισμένες έρευνες σχετικά με την εφαρμογή του BC στα συστήματα ιχνηλασιμότητας των αγροδιατροφικών προϊόντων έχουν εμφανιστεί. Η εφαρμογή της τεχνολογίας BC μπορεί να φέρει επανάσταση, γενικά, στη βιομηχανία τροφίμων. Οι εταιρείες γνωρίζουν τις δυνατότητες αυτής της νέας τεχνολογίας. Ως εκ τούτου, ορισμένοι λιανοπωλητές έχουν ήδη αρχίσει να απαιτούν από τους προμηθευτές τους να

χρησιμοποιούν τεχνολογίες BC για να δημιουργήσουν με αυτό τον τρόπο μια πιο διάφανη εφοδιαστική αλυσίδα καθώς και να επιτύχουν μεγαλύτερη επισιτιστική ασφάλεια. Τα συστήματα ιχνηλασιμότητας θεωρούνται σημαντικά για τη διασφάλιση της ασφάλειας ενός τροφίμου και την πρόληψη της απάτης σε τρόφιμα στην εφοδιαστική αλυσίδα.

Η χρήση BC μπορεί να βοηθήσει στην επίτευξη ιχνηλασιμότητας με την μη αναστρέψιμη και αμετάβλητη αποθήκευση δεδομένων. Η τεχνολογία αυτή δημιουργεί ένα μοναδικό επίπεδο αξιοπιστίας που συμβάλλει σε μια πιο βιώσιμη βιομηχανία τροφίμων. Σύμφωνα με τους Demestichas *et al.* (2020) παρόλο που η διασφάλιση της ιχνηλασιμότητας των τροφίμων με τεχνολογία BC φαίνεται πολλά υποσχόμενη, ορισμένα όρια πρέπει να ληφθούν υπόψη και να αντιμετωπιστούν, συμπεριλαμβανομένων κανονισμών, σχέσεων μεταξύ ενδιαφερομένων, ιδιοκτησίας δεδομένων, επεκτασιμότητας κ.λπ. Αναφέρουν επίσης πως για να χαρακτηριστεί ως επιτυχημένο, ένα τέτοιο σύστημα θα πρέπει να παρέχει τα εξής: (i) μείωση του κόστους, (ii) μείωση του κινδύνου, (iii) εξοικονόμηση χρόνου και (iv) αύξηση της εμπιστοσύνης και της διαφάνειας. Οι ενδιαφερόμενοι είναι πρόθυμοι να υιοθετήσουν έναν νέο τρόπο εργασίας μόνο όταν είναι πεπεισμένοι ότι η προτεινόμενη μέθοδος είναι φιλική προς το χρήστη, αυξάνει την παραγωγικότητα και φέρνει προστιθέμενη αξία.

Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω, είναι σαφές ότι η ενοποίηση των νέων τεχνολογιών στον παραδοσιακό αγροδιατροφικό τομέα είναι μια τεράστια πρόκληση που πρέπει να πραγματοποιηθεί βήμα προς βήμα, και μόνο με τη δέουσα συμμετοχή των άμεσα ενδιαφερομένων φορέων στην αλυσίδα εφοδιασμού.

Βιβλιογραφία

- Aung, M. M., & Chang, Y. S. (2014). Traceability in a food supply chain: Safety and quality perspectives. *Food control*, 39, 172-184.
- Banerjee, R., Menon, H., & Ramful, K. (2015). Traceability in Food and Agricultural Products. *International Trade Center Report*.
- Baralla, G., Ibba, S., Marchesi, M., Tonelli, R., & Missineo, S. (2018, August). A blockchain based system to ensure transparency and reliability in food supply chain. In *European conference on parallel processing* (pp. 379-391). Springer, Cham.
- Bauerle, N., 2017. *What is a Distributed Ledger?* Available at: <https://www.coindesk.com/information/what-is-a-distributed-ledger>
- Bosona, T., & Gebresenbet, G. (2013). Food traceability as an integral part of logistics management in food and agricultural supply chain. *Food control*, 33(1), 32-48.
- Brennan, C., & Lunn, W. (2016). Blockchain: the trust disrupter. *Credit Suisse Securities (Europe) Ltd.: London, UK*.
- Bunge, J., 2020. How To Satisfy The World'S Surging Appetite For Meat. [online] WSJ. Διαθέσιμο: <https://www.wsj.com/articles/how-to-satisfy-the-worlds-surging-appetite-for-meat-1449238059> (Accessed 1/04/2021)
- Burke, T. (2019). Blockchain in food traceability. In *Food traceability* (pp. 133-143). Springer, Cham.
- Calder, R., & Marr, P. (1998). A beef producer initiative in traceability: Scottish Borders TAG. *Supply Chain Management: An International Journal*.
- Caro, M. P., Ali, M. S., Vecchio, M., & Giaffreda, R. (2018). Blockchain-based traceability in Agri-Food supply chain management: A practical implementation. In 2018 IoT Vertical and Topical Summit on Agriculture-Tuscany (IOT Tuscany) (pp. 1-4). IEEE.
- Carson, B., Romanelli, G., Walsh, P., & Zhumaev, A. (2018). Blockchain beyond the hype: What is the strategic business value. McKinsey & Company, 1-13.
- Codex Alimentarius Committee (2006): "Principles for traceability / product tracing as a tool within a food inspection and certification system – CAC/GL 60-2006". Διαθέσιμο: http://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/en/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252FStandards%252FCXG%2B60-2006%252FCXG_060e.pdf
- Creydt, M., & Fischer, M. (2019). Blockchain and more-Algorithm driven food traceability. *Food Control*, 105, 45-51.
- Crosby, M., Pattanayak, P., Verma, S., & Kalyanaraman, V. (2016). Blockchain technology: Beyond bitcoin. *Applied Innovation*, 2(6-10), 71.
- Dabbene, F., & Gay, P. (2011). Food traceability systems: Performance evaluation and optimization. *Computers and Electronics in Agriculture*, 75(1), 139-146.
- Dabbene, F., Gay, P., & Tortia, C. (2014). Traceability issues in food supply chain management: A review. *Biosystems engineering*, 120, 65-80.
- Demestichas, K., Peppes, N., Alexakis, T., & Adamopoulou, E. (2020). Blockchain in Agriculture Traceability Systems: A Review. *Applied Sciences*, 10(12), 4113.
- Dinh, T. T. A., Liu, R., Zhang, M., Chen, G., Ooi, B. C., & Wang, J. (2018). Untangling blockchain: A data processing view of blockchain systems. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, 30(7), 1366-1385.
- FSA. (2002). Traceability in the food chain a preliminary study. UK: Food Standard Agency. Διαθέσιμο: <https://webarchive.nationalarchives.gov.uk/20101210164532/http://www.food.gov.uk/multimedia/pdfs/tracabilityinthefoodchain.pdf> (Accessed 1/04/2021)
- Golan, E. H., Krissoff, B., Kuchler, F., Calvin, L., Nelson, K. E., & Price, G. K. (2004). *Traceability in the US food supply: economic theory and industry studies* (No. 1473-2016-120760).

- Creydt, M., & Fischer, M. (2019). Blockchain and more-Algorithm driven food traceability. *Food Control*, 105, 45-51.
- Grimsdell, K. (1996). The supply chain for fresh vegetables: what it takes to make it work. *Supply Chain Management: An International Journal*.
- Gruber, D., Li, W., & Karame, G. (2018). Unifying lightweight blockchain client implementations. In Proc. NDSS Workshop Decentralized IoT Security Stand. (pp. 1-7).
- 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.
- Hassan, M. U., Rehmani, M. H., & Chen, J. (2019). Privacy preservation in blockchain based IoT systems: Integration issues, prospects, challenges, and future research directions. *Future Generation Computer Systems*, 97, 512-529.
- Hewa, T., Ylianttila, M., & Liyanage, M. (2020). Survey on blockchain based smart contracts: Applications, opportunities and challenges. *Journal of Network and Computer Applications*, 102857.
- Ganne, E. (2018). Can Blockchain revolutionize international trade?, *Geneva: World Trade Organization*.
- Hua, J., Wang, X., Kang, M., Wang, H., & Wang, F. Y. (2018). Blockchain based provenance for agricultural products: A distributed platform with duplicated and shared bookkeeping. In *2018 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV)* (pp. 97-101). IEEE.
- Jeppsson, A., & Olsson, O. (2017). Blockchains as a solution for traceability and transparency.
- Jones, T. Y. (2011). Penalized in China, Wal-Mart reopens Chongqing stores. <https://www.reuters.com/article/us-walmart-china/penalized-in-china-wal-martreopens-chongqing-stores-idUSTRE79O0TY20111025> (Accessed 1/04/2021)
- IBM, 2017. Maersk and IBM Unveil First Industry-Wide Cross-Border Supply Chain Solution on Blockchain. press release, IBM.com, March 5. <https://newsroom.ibm.com/2017-03-05-Maersk-and-IBM-Unveil-First-Industry-Wide-Cross-Border-Supply-Chain-Solution-on-Blockchain>.
- Kamath, R. (2018). Food traceability on blockchain: Walmart's pork and mango pilots with IBM. *The Journal of the British Blockchain Association*, 1(1), 3712.
- Khan, M. A., & Salah, K. (2018). IoT security: Review, blockchain solutions, and open challenges. *Future Generation Computer Systems*, 82, 395-411.
- Kamilaris, A., Fonts, A., & Prenafeta-Boldú, F. X. (2019). The rise of blockchain technology in agriculture and food supply chains. *Trends in Food Science & Technology*, 91, 640-652.
- Lamport, L., Shostak, R., & Pease, M. (1982). The Byzantine Generals Problem. In: *ACM Transactions on Programming Languages and Systems*, 4(3): 382-401
- Lemieux, V. L. (2016). Trusting records: is Blockchain technology the answer? *Records Management Journal*.
- Lin, J., Shen, Z., Zhang, A., & Chai, Y. (2018). Blockchain and IoT based food traceability for smart agriculture. In *Proceedings of the 3rd International Conference on Crowd Science and Engineering* (pp. 1-6).
- Lin, Q., Wang, H., Pei, X., & Wang, J. (2019). Food safety traceability system based on blockchain and EPCIS. *IEEE Access*, 7, 20698-20707.
- Lin, W., Huang, X., Fang, H., Wang, V., Hua, Y., Wang, J., ... & Yau, L. (2020). Blockchain technology in current agricultural systems: from techniques to applications. *IEEE Access*, 8, 143920-143937.
- McDermott, B., IBM's vice president of blockchain business development, interviewed by R. Kamath, June 23, 2017; edited by B. McDermott, September 12, 2017.
- Mao, D., Hao, Z., Wang, F., & Li, H. (2019). Novel automatic food trading system using consortium blockchain. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 44(4), 3439-3455.

- Moe, T. (1998). Perspectives on traceability in food manufacture. *Trends in Food Science & Technology*, 9(5), 211-214.
- Nakamoto, S., & Bitcoin, A. (2008). A peer-to-peer electronic cash system. *Bitcoin*. – URL: <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf>, 4.
- Nasir, Q., Qasse, I. A., Abu Talib, M., & Nassif, A. B. (2018). Performance analysis of hyperledger fabric platforms. *Security and Communication Networks*, 2018.
- Olsen, P., Borit, M., & Syed, S. (2019). Applications, limitations, costs, and benefits related to the use of blockchain technology in the food industry. *Nofima rapportserie*.
- Opara, L. U., & Mazaud, F. (2001). Food traceability from field to plate. *Outlook on agriculture*, 30(4), 239-247.
- Opara, L. U. (2002). Engineering and technological outlook on traceability of agricultural production and products. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*.
- Patelli, N., & Mandrioli, M. (2020). Blockchain technology and traceability in the agrifood industry. *Journal of Food Science*, 85(11), 3670-3678.
- Pilkington, M. (2016). Blockchain technology: principles and applications. In *Research handbook on digital transformations*. Edward Elgar Publishing.
- Raikwar, M., Gligoroski, D., & Kravetska, K. (2019). SoK of used cryptography in blockchain. *IEEE Access*, 7, 148550-148575.
- Salah, K., Nizamuddin, N., Jayaraman, R., & Omar, M. (2019). Blockchain-based soybean traceability in agricultural supply chain. *IEEE Access*, 7, 73295-73305.
- Seebacher, S., & Schüritz, R. (2017). Blockchain technology as an enabler of service systems: A structured literature review. In *International Conference on Exploring Services Science* (pp. 12-23). Springer, Cham.
- Shi, X., An, X., Zhao, Q., Liu, H., Xia, L., Sun, X., & Guo, Y. (2019). State-of-the-art internet of things in protected agriculture. *Sensors*, 19(8), 1833.
- Singh, S. K., & Kumar, S. (2021). Blockchain Technology: Introduction, Integration and Security Issues with IoT. *arXiv preprint arXiv:2101.10921*.
- Storøy, J., Thakur, M., & Olsen, P. (2013). The TraceFood Framework—Principles and guidelines for implementing traceability in food value chains. *Journal of food engineering*, 115(1), 41-48.
- Swan, M. (2015). *Blockchain: Blueprint for a new economy*. "O'Reilly Media, Inc."
- Tian, F. (2016). An agri-food supply chain traceability system for China based on RFID & blockchain technology. In *2016 13th international conference on service systems and service management (ICSSSM)* (pp. 1-6). IEEE.
- Tian, F. (2017). A supply chain traceability system for food safety based on HACCP, blockchain & Internet of things. In *2017 International conference on service systems and service management* (pp. 1-6). IEEE.
- Tapscott, D., & Tapscott, A. (2016). *Blockchain revolution: how the technology behind bitcoin is changing money, business, and the world*. Penguin.
- Tschorsch, F., & Scheuermann, B. (2016). Bitcoin and beyond: A technical survey on decentralized digital currencies. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 18(3), 2084-2123.
- Unurjarga1, E. (2019). Blockchain-Supported Food Supply Chain Reference Architecture. Graduate School of UNIST, 2019. Available online: <https://core.ac.uk/download/pdf/213600248.pdf>
- Weber, I., Xu, X., Riveret, R., Governatori, G., Ponomarev, A., & Mendling, J. (2016, September). Untrusted business process monitoring and execution using blockchain. In *International Conference on Business Process Management* (pp. 329-347). Springer, Cham.
- World Bank Group, 2017. *Distributed Ledger Technology (DLT) and Blockchain*. Διαθέσιμο: <https://oc.worldbank.org/system/files/122140-WP-PUBLIC-Distributed-Ledger-Technology-and-Blockchain-Fintech-Notes.pdf>

- Xu, J., Guo, S., Xie, D., & Yan, Y. (2020). Blockchain: A new safeguard for agri-foods. *Artificial Intelligence in Agriculture*, 4, 153-161.
- Yiannas, F. (2017). A new era of food transparency powered by blockchain. *Innovations: Technology, Governance, Globalization*, 12(1-2), 46-56.
- Yoon Hyeon-Ju (2018). A Survey on Consensus Mechanism for Blockchain. In *International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering*, Vol. 7, Issue 6
- Zhang, J., & Bhatt, T. (2014). A guidance document on the best practices in food traceability. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 13(5), 1074-1103.
- Zheng, Z., Xie, S., Dai H., Chen, X., & Wang, H. (2017). An overview of blockchain technology: Architecture, consensus, and future trends. In *2017 IEEE international congress on big data (BigData congress)* (pp. 557-564). IEEE.
- Κουτσουράδη, Ε. (2020). *Εφαρμογή τεχνολογιών Blockchain στη ναυτιλία και την εφοδιαστική αλυσίδα*, Αδημοσίευτη Διπλωματική εργασία, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Σχολή Επιστημών διοίκησης, Τμήμα Ναυτιλιακών και Επιχειρηματικών υπηρεσιών
- Κυριακίδης Συμεών (2005). *Ιχνηλασιμότητα και ασφάλεια των τροφίμων*, Γενικό Χημείο του Κράτους - Διεύθυνση Τροφίμων, *Δημερίδα Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδας: «Διαχείριση Ασφάλειας στην Αλυσίδα Τροφίμων – Εφαρμογή HACCP. Εμπειρίες – Προβλήματα – Εξελίξεις - Πιστοποίηση»*, ΕΒΕΑ, 7 & 8 Ιουλίου 2005
- Μάλλιου, Η. Ι. (2020). *Διερεύνηση χρήσης του Blockchain στη διαχείριση του μεταναστευτικού*. Αδημοσίευτη Διπλωματική εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών Και Μηχανικών Υπολογιστών
- Μάρκοβιτς, Π. (2020). *Εκτίμηση ευπαθειών στο Hyperledger Fabric*. Αδημοσίευτη Διπλωματική εργασία, Πανεπιστήμιο Πειραιώς, Τμήμα Πληροφορικής.
- Μπεκρή, Ε. (2020). *Σύγκριση τεχνολογιών κατανεμημένης εγγραφής Blockchain*. Αδημοσίευτη Διπλωματική εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών, Τομέας Ηλεκτρικών Βιομηχανικών Διατάξεων και Συστημάτων Αποφάσεων.
- Μπισδούνη, Α. (2019). *Blockchain και έξυπνα συμβόλαια: εφαρμογές και προεκτάσεις*. Πτυχιακή εργασία, Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων, Σχολή Οικονομικών και Διοικητικών Επιστημών, Τμήμα Χρηματοοικονομικής και Λογιστικής.
- Ντάσιος, Κ. (2011). *Διερεύνηση τεχνολογιών και ποσοτικών τεχνικών ιχνηλασιμότητας στην αλυσίδα παραγωγής γαλακτοκομικών προϊόντων*. Αδημοσίευτη Διπλωματική εργασία, Πανεπιστήμιο Μακεδονίας Οικονομικών και Κοινωνικών επιστημών.
- Σιάλδας, Π. Π. (2020). *Εφαρμογές της τεχνολογίας Blockchain στη διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας*, Αδημοσίευτη Διπλωματική εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών, Τομέας Βιομηχανικής Διοίκησης και Επιχειρησιακής Έρευνας, Εργαστήριο Οργάνωσης Παραγωγής