



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ

**ΣΧΟΛΗ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ**

**ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ**

**ΠΜΣ**

**ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΕΣ ΠΡΟΒΛΕΨΗΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ ΡΟΗΣ ΣΤΑ**

**ΔΙΚΤΥΑ ΟΡΙΖΟΜΕΝΑ ΑΠΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ**

Χριστίνα Ρούκη

Επιβλέπουσα: Σπυριδούλα Μαργαρίτη

ΕΔΠ, Α

Άρτα, Μάιος, 2026

**STRATEGIES OF TRAFFIC FLOW PREDICTION IN SOFTWARE  
DEFINED NETWORKS**

## **Εγκρίθηκε από τριμελή εξεταστική επιτροπή**

Άρτα, 14/05/2026

### **ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ**

1. Επιβλέπουσα καθηγήτρια  
Σπυριδούλα Μαργαρίτη,  
ΕΔΙΠ, Α
2. Μέλος επιτροπής  
Ελευθέριος Στεργίου,  
ΔΕΠ, Καθηγητής
3. Μέλος επιτροπής  
Γρηγόριος Δουμένης,  
ΔΕΠ, Επίκουρος καθηγητής

© Ρούκη, Χριστίνα, 2026.

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

## **Δήλωση μη λογοκλοπής**

Δηλώνω υπεύθυνα και γνωρίζοντας τις κυρώσεις του Ν. 2121/1993 περί Πνευματικής Ιδιοκτησίας, ότι η παρούσα μεταπτυχιακή εργασία είναι εκ 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.

Ρούκη, Χριστίνα

Υπογραφή

## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες στην επιβλέπουσα καθηγητριά μου κα. Μαργαρίτη Σπυριδούλα για την καθοδήγηση, την επιστημονική υποστήριξη καθώς και την εμπιστοσύνη που μου επέδειξε καθ'όλη τη διάρκεια εκπόνησης της μεταπτυχιακής μου εργασίας. Οι πολύτιμες συμβουλές της, η μεθοδολογική της αλλά και ο χρόνος που διέθεσε υπήρξαν καταλυτικοί παράγοντες για τη διακπεραίωση αυτής της έρευνας. Τέλος, οφείλω ένα μεγάλο ευχαριστώ στην οικογένεια μου για την υπομονή, την αμέριστη συμπαράστασή τους και την ηθική τους υποστήριξη που μου προσέφεραν καθ'όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία εξετάζει τις στρατηγικές πρόβλεψης κυκλοφορίας ροής στα δίκτυα οριζόμενα από λογισμικό (SDN). Το SDN είναι μια επαναστατική τεχνολογία που διαχωρίζει το επίπεδο ελέγχου από το επίπεδο των δεδομένων επιτρέποντας τη δυναμική και ευέλικτη διαχείριση του δικτύου. Αυτή η μελέτη διερευνά τη συνεργασία ανάμεσα στην αρχιτεκτονική των δικτύων οριζόμενων από λογισμικό και των αλγορίθμων πρόβλεψης κυκλοφορίας ώστε να υπάρξει καλύτερη βελτιστοποίηση στην απόδοση των δικτύων σήμερα. Μέσα από την ολοκλήρωση μιας διεξοδικής βιβλιομετρικής ανάλυσης και συστηματικής ανασκόπησης 158 επιστημονικών εγγράφων που αφορούν την περίοδο 2013-2025, στόχος της εργασίας είναι να χαρτογραφήσει την εξέλιξη του συγκεκριμένου πεδίου, να ανιχνεύσει τις επικρατούσες τάσεις της τεχνολογίας καθώς και τους ερευνητές με υψηλή επιστημονική επιρροή, όπως αυτή αποτυπώνεται σε βιβλιομετρικούς δείκτες. Επίσης, η μελέτη υπογραμμίζει την αλλαγή από τις παραδοσιακές στατιστικές μεθόδους σε μεθόδους μηχανικής και βαθιάς μάθησης, δίνοντας ιδιαίτερη σημασία στα δίκτυα μακροπρόθεσης-βραχυπρόθεσμης μνήμης για να προβλεφθούν τα πολύπλοκα μοτίβα της κυκλοφορίας. Μέσω της ανάλυσης αναδεικνύονται τα λειτουργικά πλεονεκτήματα των δικτύων οριζόμενων από λογισμικό, τα οποία σχετίζονται με την κεντρικοποιημένη διαχείριση μέσω του ελεγκτή και του πρωτοκόλλου OpenFlow, επιτρέποντας τη βέλτιστη εκχώρηση πόρων και την αποτροπή κυκλοφοριακής συμφόρησης σε πραγματικό χρόνο. Συνοψίζοντας, η συγκεκριμένη εργασία επισημαίνει την σημασία αυτών των μοντέλων στα δίκτυα πέμπτης και έκτης γενιάς, στο διαδίκτυο των πραγμάτων και στην κυβερνοασφάλεια, προχωρώντας σε προτάσεις για μελλοντική έρευνα σε πλήρως αυτοματοποιημένα και ευφυή δικτυακά συστήματα.

**Λέξεις-κλειδιά:** Δίκτυα οριζόμενα από λογισμικό, πρωτόκολλο OpenFlow, πρόβλεψη κυκλοφορίας ροής, βιβλιομετρική ανάλυση, βαθιά μάθηση, τεχνητή νοημοσύνη

## **ABSTRACT**

This thesis examines traffic flow forecasting strategies in Software-Defined Networks (SDN). SDN is a revolutionary technology that decouples the control plane from the data plane, enabling dynamic and flexible network management. This study explores the synergy between Software-Defined Network architecture and traffic forecasting algorithms to achieve better optimization of modern network performance. Through a comprehensive bibliometric analysis and systematic review of 158 scientific papers spanning the period 2013–2025, this work aims to map the evolution of this specific field, detect prevailing technological trends, and identify highly influential researchers as reflected in bibliometric indicators. Furthermore, the study highlights the shift from traditional statistical methods to machine learning and deep learning techniques, placing particular emphasis on Long Short-Term Memory networks for predicting complex traffic patterns. Through this analysis, the operational advantages of Software-Defined Networks are highlighted, which relate to centralized management via the controller and the OpenFlow protocol, allowing for optimal resource allocation and real-time traffic congestion avoidance. In summary, this thesis underscores the importance of these models in fifth and sixth generation networks, the Internet of Things and cybersecurity, while offering proposals for future research into fully automated and intelligent network systems.

**Keywords:** Software-Defined Networks, OpenFlow protocol, traffic flow prediction, bibliometric analysis, deep learning, artificial intelligence

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	vi
ΠΕΡΙΛΗΨΗ .....	vii
ABSTRACT .....	viii
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ .....	ix
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ .....	xiii
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ/ΕΙΚΟΝΩΝ .....	xiv
1.Εισαγωγή.....	1
1.1 Γενικά.....	1
1.2 Σκοπός και Στόχοι.....	1
1.3 Δομή της Εργασίας.....	2
2. Θεωρητικό Υπόβαθρο .....	4
2.1 Δικτύωση βασισμένη σε SDN .....	4
2.1.1 Βασική Αρχιτεκτονική .....	4
2.1.2 Ο ρόλος του OpenFlow και των ελεγκτών(Controllers).....	7
2.1.3 Πλεονεκτήματα του SDN στη διαχείριση της κυκλοφορίας .....	7
2.2 Πρόβλεψη ροών κυκλοφορίας .....	8
2.2.1 Κατηγορίες τεχνικών πρόβλεψης.....	9
2.3 Βιβλιομετρία .....	10
2.3.1 Δείκτες και μετρικές βιβλιομετρικής ανάλυσης .....	10
3.Μεθοδολογία έρευνας: Βιβλιομετρική ανάλυση και συστηματική ανασκόπηση .....	12
3.1 Πηγές δεδομένων.....	12
Χρονικό εύρος μελετών.....	13
3.2 Στρατηγική αναζήτησης.....	13
3.3 Κριτήρια επιλογής και αποκλεισμού.....	14
3.3.1 Τελικό σύνολο δεδομένων.....	16

3.4	Εργαλεία ανάλυσης.....	16
3.4.1	Το εργαλείο VOS viewer .....	16
3.4.2	Το εργαλείο Bibliometrix .....	17
3.4.3	Στάδια μελέτης.....	17
3.5	Προκλήσεις και περιορισμοί της βιβλιομετρίας στο πεδίο του SDN.....	19
4.	Αποτελέσματα βιβλιομετρικής ανάλυσης .....	20
4.1	Εισαγωγή .....	20
4.2	Γενική ανάλυση.....	20
4.2.1	Ανάλυση απόδοσης.....	20
4.2.2	Ετήσια επιστημονική παραγωγή.....	21
4.2.3	Μέσος όρος αναφορών ανά έτος .....	22
4.2.4	Κατανομή κορυφαίων μέσων δημοσίευσης.....	23
4.2.5	Νόμος Bradford για τις κύριες πηγές .....	26
4.3	Παραγωγικότητα των συγγραφέων .....	27
4.3.1	Παραγωγικότητα συγγραφέων μέσου του νόμου Lotka.....	28
4.4	Μετρήσεις που αφορούν εκπαιδευτικά και ερευνητικά ιδρύματα .....	29
4.4.1	Συνεργασίες φορέων.....	29
4.4.2	Παραγωγή δημοσιεύσεων ανά φορέα.....	30
4.5	Γεωγραφική κατανομή δημοσιεύσεων .....	31
4.5.1	Εξέλιξη παραγωγικότητας ανά χώρα .....	34
4.6.	Αναφορές ανά χώρα.....	34
4.7	Άρθρα με περισσότερες αναφορές.....	35
4.8	Θέματα τάσεων βάσει των λέξεων-κλειδιών των συγγραφέων.....	36
4.9	Ανάλυση συνεργασιών ( Co-Authorship) .....	37
4.9.1	Συνεργασία μεταξύ χωρών .....	37
4.9.2	Διαχρονική εξέλιξη συνεργασιών μεταξύ συγγραφέων.....	38
4.9.3	Ανάλυση της πυκνότητας δικτύου .....	40
4.10	Ανάλυση συνύπαρξης λέξεων-κλειδιών.....	41

4.10.1	Επιστημονική χαρτογράφηση .....	41
4.10.2	Χαρτογράφηση των λέξεων-κλειδιών .....	42
4.10.3	Χρονική εξέλιξη των ερευνητικών τάσεων (Overlay Visualization).....	44
4.10.4	Ανάλυση της πυκνότητας των όρων (Density Visualization) .....	45
4.11	Ανάλυση Συν συγγραφέων .....	46
4.11.1	Ανάλυση δικτύου συν αναφορών .....	47
5.	Ανάλυση περιεχομένου.....	52
5.1	Εισαγωγή .....	52
5.2	Προσέγγιση και τύποι μελετών .....	52
5.3	Μέθοδοι πρόβλεψης κυκλοφορίας ροής.....	53
5.3.1	Στατιστικές Μέθοδοι .....	53
5.3.2	Μηχανική μάθηση.....	53
5.3.3	Βαθιά μάθηση .....	54
5.4	Επίπεδα πρόβλεψης συμπεριφοράς του δικτύου .....	55
5.4.1	Όγκος Κυκλοφορίας στους Συνδέσμους του Δικτύου .....	55
5.4.2	Κυκλοφορία ροών .....	56
5.4.3	Πίνακας κυκλοφορίας.....	56
5.4.4	Κυκλοφορία ανά ελεγκτή.....	56
5.5	Προκλήσεις που αντιμετωπίζει η πρόβλεψη της κυκλοφορίας .....	58
5.6	Πεδία εφαρμογής των μοντέλων πρόβλεψης .....	59
5.6.1	Δίκτυα Πέμπτης και έκτης γενιάς (5G/6G) .....	59
5.6.2	Διαδίκτυο των πραγμάτων και Βιομηχανία 4.0 .....	59
5.6.3	Κυβερνοασφάλεια και ανίχνευση σφάλματος .....	59
5.5	Συζήτηση.....	60
5.5.1	Σημασία της πρόβλεψης κυκλοφορίας ροής στην αρχιτεκτονική των δικτύων οριζόμενων από λογισμικό.....	60
5.5.2	Στόχοι της πρόβλεψης κυκλοφορίας ροής .....	60
5.5.3	Συγκριτική παρουσίαση των μεθόδων .....	61

5.5.4 Προκλήσεις και περιορισμοί.....	61
5.5.5 Τάσεις και μελλοντικές κατευθύνσεις.....	62
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....	63

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

*Πίνακας 3-1: Ψηφιακές βιβλιοθήκες και κείμενο αναζήτησης*

*Πίνακας 3-2: Κριτήρια ένταξης και αποκλεισμού*

*Πίνακας 1. Ετήσια Επιστημονική Παραγωγή*

*Πίνακας 2. Μέσος όρος αναφορών ανά έτος*

*Πίνακας 3. Κατανομή ανά πηγή*

*Πίνακας 4. Παραγωγικότητα συγγραφέων μέσω του Νόμου Lotka*

*Πίνακας 5. Κατανομή δημοσιεύσεων*

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ/ΕΙΚΟΝΩΝ

*Σχήμα 2-1. Αρχιτεκτονική SDN*

*Σχήμα 3.1. Σχήμα ροής επεξεργασίας βιβλιομετρικών δεδομένων*

*Διάγραμμα 4-1. Ετήσια Επιστημονική Παραγωγή*

*Διάγραμμα 4-2. Μέσος όρος αναφορών ανά έτος*

*Διάγραμμα 4-3. Κατανομή ανά πηγή*

*Διάγραμμα 4-4. Παραγωγή πηγών με την πάροδο του χρόνου*

*Διάγραμμα 4-5. Νόμος Bradford για τα δίκτυα οριζόμενα από λογισμικό*

*Διάγραμμα 4-6. Παραγωγικότητα Συγγραφέων*

*Διάγραμμα 4-7. Παραγωγικότητα συγγραφέων μέσω του Νόμου Lotka*

*Διάγραμμα 4-8. Οι πιο σχετικές συνεργασίες*

*Διάγραμμα 4-9. Παραγωγή συνεργασιών με τη πάροδο του χρόνου*

*Διάγραμμα 4-10. Επιστημονική παραγωγή ανά χώρα. Η ένταση του χρώματος αντιστοιχεί στη συγκέντρωση δημοσιεύσεων ανά χώρα (σκούρο μπλε: υψηλή συγκέντρωση, ανοιχτό μπλε: χαμηλή συγκέντρωση, γκρι: μηδενική παραγωγή)*

*Διάγραμμα 4-11. Παραγωγή χωρών με την πάροδο του χρόνου*

*Διάγραμμα 4-12. Αναφορές ανά Χώρα*

*Διάγραμμα 4-13. Τα περισσότερα αναφερόμενα έγγραφα παγκόσμια*

*Διάγραμμα 4-14. Θέματα Τάσεων*

*Εικόνα 4-1. Οπτικοποίηση Δικτύου Επιστημονικής Συνεργασίας*

*Εικόνα 4-2. Χρονική ανάλυση δικτύου συνεργασίας*

*Εικόνα 4-3. Ανάλυση πυκνότητας συνεργασίας*

*Εικόνα 4-4. Οπτικοποίηση δικτύου συνύπαρξης λέξεων-κλειδιών*

*Εικόνα 4-5. Χρονική απεικόνιση των λέξεων-κλειδιών*

*Εικόνα 4-6. Ανάλυση της πυκνότητας των λέξεων-κλειδιών*

*Εικόνα 4-7. Ανάλυση δικτύου Συν-Συγγραφέων*

# **1.Εισαγωγή**

## **1.1 Γενικά**

Σήμερα, ο κόσμος των τηλεπικοινωνιών χαρακτηρίζεται από αλματώδη εξέλιξη, ενώ η ραγδαία αύξηση του όγκου των δεδομένων που διακινούνται παγκοσμίως έχει οδηγήσει τα παραδοσιακά δίκτυα στα όρια των επιχειρησιακών τους δυνατοτήτων. Με την πολυπλοκότητα που υπάρχει στη διαχείριση του ισχύοντος εξοπλισμού, καθώς το επίπεδο ελέγχου αλλά και το επίπεδο δεδομένων είναι ενσωματωμένα στην ίδια συσκευή, μετατρέπεται η υποδομή του δικτύου σε μια άκαμπτη και συνάμα δύσχρηστη υποδομή. Υπό αυτό το πρίσμα, η εμφάνιση των δικτύων οριζόμενων από λογισμικό έρχεται για να προσφέρει μια νέα και επαναστατική λύση στο πρόβλημα αυτό, απομονώνοντας το επίπεδο ελέγχου από την προώθηση των ροών δεδομένων. Η συγκεντρωτική λογική, που ενσωματώνεται στα δίκτυα οριζόμενα από λογισμικό μέσω της χρήσης του ελεγκτή, παρέχει καθολική παρακολούθηση της κατάστασης των δικτύων. Εν τούτοις, οι σύγχρονες απαιτήσεις της ποιότητας των υπηρεσιών δεν αρκούνται μόνο σε μια απλή εποπτεία των δικτύων. Η ανάγκη για πρόβλεψη της κυκλοφορίας ροής δεδομένων και για την αποτελεσματική αποφυγή της κυκλοφοριακής συμφόρησης έχει οδηγήσει στην ενσωμάτωση μεθόδων τεχνητής νοημοσύνης και της μηχανικής μάθησης. Επίσης, η απαίτηση για ευφυή διαχείριση της κυκλοφορίας ροής δεδομένων ενισχύεται από την εμφάνιση νέων τεχνολογιών, όπως η επαυξημένη πραγματικότητα και η εικονική πραγματικότητα. Οι τεχνολογίες απαιτούν πολύ χαμηλές καθυστερήσεις και μεγάλη αξιοπιστία, για να εξασφαλίσουν μια ομαλή εμπειρία στον χρήστη. Η δυνατότητα του δικτύου να προβλέπει τις αλλαγές στην κυκλοφορία επιτρέπει την σωστή κατανομή των πόρων σε πραγματικό χρόνο, εξασφαλίζοντας ότι οι ροές των δεδομένων για τις εφαρμογές της επαυξημένης και εικονικής πραγματικότητας θα έχουν προτεραιότητα για την αποτροπή της αποσυμφόρησης του δικτύου.

## **1.2 Σκοπός και Στόχοι**

Στη παρούσα διπλωματική εργασία, ο κύριος σκοπός είναι να διερευνηθούν καθώς και να αναλυθούν διεξοδικά οι μέθοδοι πρόβλεψης της κυκλοφορίας ροής των δεδομένων σε SDN περιβάλλοντα. Η συγκεκριμένη εργασία μέσα από την βιβλιογραφική ανάλυση και την συστηματική ανασκόπηση που πραγματοποιήθηκε έρχεται να αναδείξει τη σύμπραξη

μεταξύ της SDN αρχιτεκτονικής και των προηγμένων αλγορίθμων βαθιάς μάθησης για την βέλτιστη απόδοση των δικτύων.

Οι στόχοι αυτής της μελέτης είναι:

- 1) Η αναλυτική παρουσίαση του θεωρητικού υποβάθρου των δικτύων οριζόμενων από λογισμικό με έμφαση στα αρχιτεκτονικά χαρακτηριστικά που συμβάλουν στην καλύτερη διαχείριση της κυκλοφορίας ροών δεδομένων.
- 2) Η διεξαγωγή μιας ολοκληρωμένης βιβλιομετρικής ανάλυσης με στόχο να αποκαλυφθούν οι κυρίαρχες ερευνητικές τάσεις, οι ερευνητές υψηλής απήχησης αλλά και οι χώρες που ηγούνται στο πεδίο αυτό.
- 3) Η συστηματική κατηγοριοποίηση και η κριτική αξιολόγηση των διαφορετικών μεθόδων πρόβλεψης (στατιστικές μέθοδοι, βαθιά και μηχανική μάθηση) σύμφωνα με την αποτελεσματικότητά τους.
- 4) Η ανασκόπηση των επιπέδων πρόβλεψης και η δυνατότητα υιοθέτησή τους σε κρίσιμα περιβάλλοντα όπου η έγκαιρη και αξιόπιστη πρόβλεψη κυκλοφορίας αποτελεί καθοριστικό παράγοντα λειτουργικής σταθερότητας.

### **1.3 Δομή της Εργασίας**

Η παρούσα διπλωματική εργασία δομείται σε πέντε κύρια κεφάλαια ξεκινώντας από την ανάλυση του θεωρητικού της πλαισίου και συνεχίζοντας στην ανάλυση του πιο εξειδικευμένου επιστημονικού της πεδίου. Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μια αναφορά στο ευρύτερο περιβάλλον των SDN δικτύων καθώς και των προβληματισμών που αντιμετωπίζουν τα δίκτυα σήμερα ενώ παράλληλα ορίζεται ο σκοπός, οι στόχοι και η δομή της εργασίας. Στο δεύτερο κεφάλαιο αναλύεται το θεωρητικό υπόβαθρο παρουσιάζοντας τη βασική αρχιτεκτονική των SDN δικτύων, τον ρόλο του πρωτοκόλλου OpenFlow και των ελεγκτών. Επιπλέον εξετάζονται τα πλεονεκτήματα που προσφέρει η τεχνολογία SDN στην πρόβλεψη της κυκλοφορίας δεδομένων. Στο τρίτο κεφάλαιο ορίζεται ο τρόπος μεθοδολογίας της έρευνας, περιγράφονται τα λογισμικά που χρησιμοποιήθηκαν σε αυτή την εργασία για την διεξαγωγή της ανάλυσης όπως επίσης και τα κριτήρια που εφαρμόστηκαν ώστε να συλλεχθούν και να φιλτραριστούν τα δεδομένα από τις βάσεις δεδομένων Scopus και Google Scholar. Στο κεφάλαιο τέσσερα παρουσιάζονται τα

αποτελέσματα της βιβλιομετρικής ανάλυσης που πραγματοποιήθηκε και μέσα από τις οπτικοποιήσεις και τους χάρτες ανάλυσης πυκνότητας προκύπτουν οι τάσεις της έρευνας τα τελευταία δώδεκα χρόνια και η γεωγραφική κατανομή της τεχνογνωσίας. Στο πέμπτο κεφάλαιο αναλύεται και σχολιάζεται διεξοδικά οι τεχνικές λεπτομέρειες των αλγορίθμων και των επιπέδων δικτυακής συμπεριφοράς που μπορούν να προβλεφθούν. Τέλος, η ολοκλήρωση της εργασίας συμπληρώνεται με τα συμπεράσματα, όπου εκεί συγκεφαλαιώνονται τα κύρια ευρήματα και συστήνονται κατευθύνσεις για μελλοντική έρευνα στο πεδίο των ευφύων δικτύων.

## 2. Θεωρητικό Υπόβαθρο

### 2.1 Δικτύωση βασισμένη σε SDN

Ο ορισμός και η ανάπτυξη του SDN ξεκίνησε από το Πανεπιστήμιο του Stanford ως ένα πλαίσιο που ενσωματώνει τις ιδέες πίσω από το πρωτόκολλο του OpenFlow με τη υπόσχεση να φέρει αλλαγές στην απόδοση του δικτύου. Τα παραδοσιακά δίκτυα IP αποτελούνται από ένα σύνολο συσκευών δικτύωσης όπως μεταγωγείς, δρομολογητές και συσκευές middlebox με αποτέλεσμα να είναι αρκετά πολύπλοκη και δύσκολη η διαχείρισή τους (Kreutz, 2014). Οι δρομολογητές και οι μεταγωγείς επιτελούν σύνθετο έργο που περιλαμβάνει την αυτόνομη λήψη αποφάσεων για την μετάδοση των δεδομένων (επίπεδο ελέγχου) και την προώθηση των δεδομένων (επίπεδο δεδομένων). Τα δύο επίπεδα είναι ενσωματωμένα στην ίδια συσκευή. Τα δίκτυα οριζόμενα από λογισμικό (SDN), έρχονται ως μία πρωτοπόρος τεχνολογία για να αλλάξει αυτή τη κατάσταση, καθιστώντας τη διαχείριση και τον προγραμματισμό των δικτύων περισσότερο ευέλικτη. Στο SDN το επίπεδο ελέγχου διαχωρίζεται από το επίπεδο δεδομένων, παρέχοντας ευκολία, ευελιξία και νέες δυνατότητες για τη διαχείριση και τον προγραμματισμό του δικτύου (Feamster, 2014).

#### 2.1.1 Βασική Αρχιτεκτονική

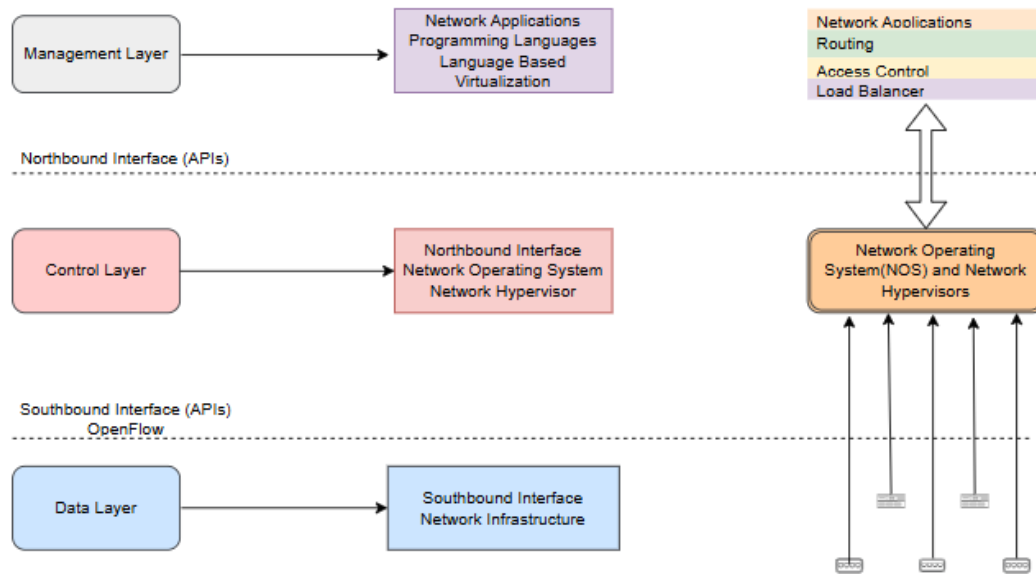
Η τεχνολογία δικτύωσης καθοριζόμενη από λογισμικό μετριάζει τους περιορισμούς των παραδοσιακών υποδομών δικτύου, διαχωρίζοντας το επίπεδο ελέγχου του δικτύου από τις συσκευές των μεταγωγέων και δρομολογητών. Ο διαχωρισμός αυτός μετατρέπει τις συσκευές δικτύου σε απλές συσκευές προώθησης των πακέτων. Ο έλεγχος ανατίθεται στο επίπεδο ελέγχου και πραγματοποιείται κεντροποιημένα από κατάλληλο λογισμικό, που φέρει το όνομα ελεγκτής (Controller). Αυτή η προσέγγιση επιτρέπει την υλοποίηση των πολιτικών και τη διαμόρφωση του συστήματος πιο αποτελεσματικά, ενώ διευκολύνει την ανάπτυξη εξελιγμένων λειτουργιών δικτύωσης. Η επικοινωνία μεταξύ των ξεχωριστών επιπέδων γίνεται από μια διεπαφή που παρεμβάλλεται ανάμεσα στους μεταγωγείς και τον SDN Controller. Ο controller προγραμματίζει τα στοιχεία προώθησης του επιπέδου δεδομένων μέσω της προγραμματιζόμενης διεπαφής (API), που είναι για παράδειγμα το πρωτόκολλο OpenFlow. Αρχικά, το SDN και το OpenFlow ξεκίνησαν σε πειραματικό στάδιο από την ακαδημαϊκή κοινότητα, ωστόσο τα τελευταία χρόνια πολλοί

κατασκευαστές δικτυακών συσκευών έχουν ενσωματώσει το API OpenFlow στον εξοπλισμό τους.

Το SDN ορίζεται ως μια αρχιτεκτονική δικτύου που τα χαρακτηριστικά της στοιχεία είναι (Kreutz, 2014):

- Διαχωρισμός του επιπέδου ελέγχου από το επίπεδο δεδομένων
- Καθορισμός αποφάσεων για την προώθηση των πακέτων με βάση τους κανόνες που έχουν καθοριστεί από τον ελεγκτή αντί να βασίζεται στο παραδοσιακό πίνακα δρομολόγησης του πακέτου.
- Το επίπεδο ελέγχου απομονώνεται από τις δικτυακές συσκευές και τοποθετείται κεντρικά σε μια εξωτερική οντότητα, όπου ονομάζεται SDN Controller ή Network Operating System(NOS).
- Το δίκτυο προγραμματίζεται χρησιμοποιώντας εφαρμογές εκτελούμενες από τον ελεγκτή και σχετίζονται με το επίπεδο δεδομένων.

Στο Σχήμα 2-1 παρουσιάζεται η λειτουργική αρχιτεκτονική του SDN που περιλαμβάνει το επίπεδο εφαρμογών, το επίπεδο ελέγχου και το επίπεδο δεδομένων. Ο ελεγκτής είναι το κύριο στοιχείο της αρχιτεκτονικής και βρίσκεται τοποθετημένος στο μεσαίο επίπεδο. Ουσιαστικά είναι λογισμικό που εκτελείται σε έναν ή περισσότερους servers. Ο ρόλος του είναι να διαχειρίζεται την κυκλοφορία των δεδομένων στις δικτυακές συσκευές χρησιμοποιώντας συγκεκριμένες οδηγίες που αναφέρονται στις ροές δεδομένων σύμφωνα με τις απαιτήσεις των εφαρμογών. Ουσιαστικά λειτουργεί ως Δικτυακό Λειτουργικό Σύστημα (NOS), διατηρώντας καθολική γνώση της δικτυακής κατάστασης, επιτρέποντάς του να εφαρμόζει πολιτικές ποιότητας υπηρεσιών( QOS), να βρίσκει τις καλύτερες διαδρομές και γενικά να επιλύει προβλήματα ασφάλειας που προκύπτουν σε όλη τη δικτυακή υποδομή.



Σχήμα 2-1. Αρχιτεκτονική SDN

Το επίπεδο διαχείρισης εφαρμογών βρίσκεται στο υψηλότερο επίπεδο της αρχιτεκτονικής και φιλοξενεί τις εφαρμογές δικτύου που καθορίζουν τη συμπεριφορά του ανάλογα με τις πολιτικές και τις απαιτήσεις τους.

Αντίστοιχα, το χαμηλότερο επίπεδο, ή επίπεδο δεδομένων έχει την ευθύνη της προώθησης των δεδομένων, σύμφωνα με τους κανόνες του εκλεκτή και τις απαιτήσεις των εφαρμογών.

Η επικοινωνία σε αυτή την αρχιτεκτονική πραγματοποιείται μέσω δυο διεπαφών και αυτές είναι:

- Northbound Interface (APIs). Αυτή η διεπαφή συνδέει τον ελεγκτή με το επίπεδο εφαρμογών. Μέσω αυτής της διεπαφής, οι εφαρμογές δικτύου όπως π.χ οι Load Balancers και τα εργαλεία Virtualization, παρέχουν οδηγίες στον ελεγκτή, επιτρέποντάς του με αυτό τον τρόπο να προγραμματίζει το δίκτυο σε υψηλό επίπεδο.
- Southbound Interface (OpenFlow). Αυτή η διεπαφή συνδέει τον ελεγκτή με το επίπεδο δεδομένων (Data Layer/Network infrastructure). Η επικοινωνία αυτή πραγματοποιείται μέσω του πρωτοκόλλου OpenFlow, για να εξασφαλιστεί ότι εκτελούνται σωστά οι αποφάσεις καθώς και η διαχείριση της ροής των δεδομένων σε συσκευές που έχουν ετερογένεια.

### **2.1.2 Ο ρόλος του OpenFlow και των ελεγκτών(Controllers)**

Το πρωτόκολλο OpenFlow δημιουργήθηκε και καθιερώθηκε από τον ONF (Open Network Foundation) και είναι το πιο γνωστό πρωτόκολλο της διεπαφής Southbound του SDN (Kreutz, 2014). Ο ρόλος του είναι να λειτουργεί ως μέσο επικοινωνίας μεταξύ του ελεγκτή και των δικτυακών συσκευών. Το πρωτόκολλο OpenFlow δίνει τη δυνατότητα στον ελεγκτή να προγραμματίζει τους πίνακες ροών των μεταγωγέων και των δρομολογητών, έτσι ώστε να ελέγχει τον τρόπο που προωθούνται τα πακέτα. Το επίπεδο δεδομένων λαμβάνει κανόνες για το πώς θα διαχειριστεί τις ροές, και τους αποθηκεύει στους πίνακες ροών. Το OpenFlow εξασφαλίζει ότι λαμβάνονται κανονικά οι αποφάσεις από τον κεντρικό ελεγκτή και κατά συνέπεια σε όλες τις υποδομές δικτύου, απόσυνδέοντας το επίπεδο ελέγχου από το επίπεδο δεδομένων.

### **2.1.3 Πλεονεκτήματα του SDN στη διαχείριση της κυκλοφορίας**

Η τεχνολογία του SDN, αποτελεί σημαντική αλλαγή για την υλοποίηση των εξελιγμένων στρατηγικών στη διαχείριση της κυκλοφορίας. Όπως έχει αναφερθεί και παραπάνω στα παραδοσιακά δίκτυα, οι αποφάσεις για τους δρομολογητές και τους μεταγωγείς λαμβάνονταν από κάθε συσκευή τοπικά, έχοντας ως αποτέλεσμα να υπάρχει στατική λειτουργία στα δίκτυα και δυσκολία στο να αντιμετωπιστεί διεξοδικά η συμφόρηση. Όμως τώρα, με τον SDN ελεγκτή το δίκτυο λειτουργεί ενιαία και προγραμματιζόμενα. Με αυτό τον τρόπο, προκύπτουν αρκετά πλεονεκτήματα όπως η δυναμική βελτιστοποίηση των διαδρομών, η ακριβής εφαρμογή της ποιότητας υπηρεσιών (QOS) και η απόκτηση της βέλτιστης ευελιξίας.

Τα πλεονεκτήματα του SDN στη διαχείριση κυκλοφορίας αναφέρονται ως εξής:

- **Κεντρική Διαχείριση:** Το κύριο πλεονέκτημα του SDN θεωρείται ο διαχωρισμός του επιπέδου ελέγχου από το επίπεδο δεδομένων. Η ενοποίηση του επιπέδου ελέγχου στις παραδοσιακές δικτυακές συσκευές προκαλούν μεγάλη πολυπλοκότητα και πρόβλημα στη διαχείριση. Με το SDN, ο έλεγχος πραγματοποιείται μέσω του SDN Controller, ο οποίος προσφέρει μια ολοκληρωτική και ενιαία εικόνα του δικτύου. Το πλεονέκτημα στη διαχείριση κυκλοφορίας είναι ότι οι πολιτικές διαχείρισης της κίνησης καταφέρνουν πλέον να ορίζονται όταν χρειάζεται στον SDN ελεγκτή σε σχέση με την παραδοσιακή φιλοσοφία όπου πολλές δικτυακές συσκευές έπρεπε να ρυθμιστούν με χειροκίνητη διαδικασία.

- Προγραμματισμός: Ο προγραμματισμός στα SDN δίκτυα είναι πολύ σημαντικός για την πρόβλεψη ροής καθώς προγραμματίζει το δίκτυο από το επίπεδο εφαρμογών. Η διαχείριση πραγματοποιείται μέσω της διεπαφής API (Northbound Interface), επιτρέποντας στους κατασκευαστές να αναπτύσσουν εφαρμογές δικτύου, αγνοώντας τα όρια που θέτουν τα ιδιόκτητα λειτουργικά συστήματα (OS) των κατασκευαστών. Για τον λόγο αυτό, αναπτύσσονται ειδικοί αλγόριθμοι, οι οποίοι αποφασίζουν και στέλνουν τους κανόνες ροής για τη δυναμική κυκλοφορία του δικτύου.
- Ελαστικότητα και Ευελιξία: Η ελαστικότητα προσφέρει στο δίκτυο τη δυνατότητα αυξομείωσης των πόρων του σε απαίτηση. Η ευελιξία, αντίθετα, σχετίζεται με την ταχύτητα με την οποία μπορούν να πραγματοποιηθούν οι αλλαγές αυτές. Στο SDN, με τη βοήθεια του SDN ελεγκτή, διαμορφώνει γρήγορα τα εικονικά δίκτυα (Network Virtualization) και αλλάζει κόμβους αλλά και ροές. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι η ευελιξία αποτελεί σημαντικό κομμάτι για την διαχείριση κυκλοφορίας, διότι επιτρέπει στο δίκτυο να προσαρμόζεται άμεσα και να ανακατανείμει πόρους σε περιπτώσεις αιχμών φορτίου ή σε αλλαγές των παρεχόμενων υπηρεσιών.
- Βελτιστοποίηση Κυκλοφορίας: Η βελτιστοποίηση της κυκλοφορίας αφορά την αποτελεσματική χρήση των πόρων του δικτύου με το SDN να συμβάλλει στην αναβάθμισή τους σε ένα δυναμικό επίπεδο. Στην αρχιτεκτονική SDN, το επίπεδο ελέγχου εφαρμόζει τους προχωρημένους αλγορίθμους, οι οποίοι μπορούν να υπολογίζουν σε πραγματικό χρόνο τις πιο αξιόπιστες διαδρομές για κάθε ροή. Αυτή η διαδικασία επιτυγχάνει την αποτελεσματικότερη εξισορρόπηση φορτίου, την μείωση της καθυστέρησης αλλά και την αντιμετώπιση της συμφόρησης.

## 2.2 Πρόβλεψη ροών κυκλοφορίας

Η πρόβλεψη της κυκλοφορίας είναι μια ερευνητική κατεύθυνση στο χώρο των δικτύων που αναζητά λύσεις χρήσιμες για προβλήματα όπως η επεκτασιμότητα, η ασφάλεια, η κινητικότητα, η ελεγχιμότητα, η ποιότητα των υπηρεσιών (QoS) και η εξοικονόμηση πράσινης ενέργειας (Wang et al., 2025). Τα ζητήματα αυτά είναι ήδη γνωστά στα παραδοσιακά δίκτυα και η πρόβλεψη ροών κυκλοφορίας είναι ένας τρόπος ελέγχου και προσαρμογής των ροών δεδομένων στις δυνατότητες του δικτύου. Τα οφέλη μια τέτοιας στρατηγικής είναι πολλαπλά και περιλαμβάνουν αφενός την αποφυγή συμφόρησης και τη βελτίωση της απόδοσης και αφετέρου καθοδήγηση για το σχεδιασμό του δικτύου και τη

διαχείριση των πόρων του. Η πρόβλεψη της κυκλοφορίας αποτελεί μέρος της μηχανικής κυκλοφορίας στα δίκτυα που καθορίζονται από λογισμικό (Wang et al., 2025)

Η πρόβλεψη της κυκλοφορίας ροών στο περιβάλλον Software Defined Network (SDN) γίνεται πιο εύκολη χάρη στα εγγενή χαρακτηριστικά του και τη δυνατότητα συλλογής στατιστικών από τις συσκευές. Ο SDN controller, που έχει υπό την ευθύνη του τη διαχείριση εφαρμογών και υποδομών, μπορεί να προβλέψει και να εκτιμήσει τον κίνδυνο να υπερφορτωθεί ένας σύνδεσμος, δίνοντας χρόνο να προληφθεί η αποσυμφόρηση και να μην επηρεάσει τις υπηρεσίες ποιότητας(QOS). Όλη αυτή η στρατηγική επιτυγχάνεται χάρη στο SDN, αφενός παρέχει τη συνολική γνώση και τον κεντρικό έλεγχο για να εκπαιδεύσει αυτά τα μοντέλα, αφετέρου προσφέρει και τον προγραμματιζόμενο μηχανισμό εκτέλεσης μέσω των ροών για την δυναμική αλλαγή των διαδρομών, διασφαλίζοντας την καλύτερη κατανομή πόρων (Wang et al., 2025).

### **2.2.1 Κατηγορίες τεχνικών πρόβλεψης**

Οι τεχνικές πρόβλεψης κυκλοφορίας ροής χωρίζονται σε δύο κατηγορίες και αυτές είναι :

- Κλασσικές (Στατιστικές). Μέθοδοι, οι οποίες είναι βασισμένες στη γραμμικότητα και αξιοποιούν στατιστικά μοντέλα για να αναλύσουν χρονοσειρές. Υλοποιούνται σχετικά απλά, όμως αντιμετωπίζουν μια δυσκολία στην διαχείριση της πολυπλοκότητας και της μη-γραμμικότητας της κυκλοφορίας δεδομένων στα σύγχρονα δίκτυα. Αυτές οι μέθοδοι περιλαμβάνουν τα μοντέλα ARIMA και την απλή παλινδρόμηση τα οποία αδυνατούν να καταλάβουν τις δυναμικές μη γραμμικές εξαρτήσεις των τωρινών δικτύων (Wang et al., 2021).
- Μέθοδοι Βαθιάς και Μηχανικής Μάθησης. Είναι οι πιο ευρέως χρησιμοποιούμενες τεχνικές για την πρόβλεψη της κυκλοφορίας ροών σε περιβάλλοντα SDN καθώς μπορούν να διαχειριστούν μεγάλο όγκο δεδομένων και τη μη-γραμμικότητα της κυκλοφορίας. Το SDN, το οποίο παρέχει την κεντρικοποιημένη λογική μέσω του ελεγκτή αποτελεί την ιδανική υποδομή εφαρμογής τέτοιων μοντέλων. Σε αυτά περιλαμβάνονται τα Long Short-term Memory (LSTM) καθώς και τα υβριδικά μοντέλα, τα οποία μπορούν να κατανοήσουν τις μακροπρόθεσμες χρονικές εξαρτήσεις της κυκλοφορίας των δικτύων (Mohammed et al., 2019, Bouzidi et al.,2021).

Παρατηρείται ότι ενώ οι κλασσικές μέθοδοι, όπως είναι το ARIMA, αναλύουν χρονοσειρές, είναι δύσκολο να κατανοήσουν τις δυναμικές μη γραμμικές εξαρτήσεις της

σημερινής κίνησης των δικτύων. Εξαιτίας αυτού οι έρευνες έχουν οδηγηθεί στη χρήση των μεθόδων της μηχανικής και βαθιάς μάθησης, καθώς για παράδειγμα τα δίκτυα LSTM και τα υβριδικά μοντέλα, παρέχουν πιο υψηλή ακρίβεια στη μοντελοποίηση της κυκλοφοριακής ροής (Ferreira et al., 2023).

## **2.3 Βιβλιομετρία**

Η βιβλιομετρία αποτελεί ένα διεπιστημονικό εργαλείο που βασίζεται στα εφαρμοσμένα μαθηματικά και τη στατιστική για την ποσοτικοποίηση των δεδομένων της βιβλιογραφίας (Χαλεπλιόγλου & Παπαβλασόπουλος 2022). Σήμερα, που η παραγωγή επιστημονικών εργασιών έχει αυξηθεί εκθετικά και η βιβλιομετρία συμβάλει στην κατανόηση της δυναμικότητας ενός ερευνητικού πεδίου σε σχέση με τρεις βασικές διαστάσεις: α) την ερευνητική παραγωγικότητα και επιρροή β) την αξιολόγηση των ερευνητών και γ) την αναγνώριση σχέσεων μεταξύ θεματικών ενοτήτων (Hassan, & Duarte, 2024).

Η μέθοδος της βιβλιομετρίας αναλύει και αξιολογεί ποσοτικά την επιστημονική βιβλιογραφία, επιτρέποντας την εμβάθυνση σε μαζικά επιστημονικά ευρήματα και την εξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων στην εξέλιξη ενός πεδίου. Σύμφωνα με τους Donthu et al. (2021), οι ερευνητές χρησιμοποιούν την βιβλιομετρική ανάλυση για να κατανοήσουν τη δομή και την εξέλιξη ενός επιστημονικού κλάδου, αναδεικνύοντας τις σύγχρονες τάσεις που αφορούν τη διαδρομή ενός τομέα καθώς και τις μελέτες που έχουν ασκήσει τη μεγαλύτερη επιρροή. Η μεθοδολογία αυτή μέσω της ανάλυσης των συν-αναφορών αξιολογεί τόσο την επίδραση των συγγραφέων όσο και των πηγών που αποτελούν τα θεμέλια της σχετικής με το πεδίο βιβλιογραφίας. Στόχος της είναι να ενισχύσει την αντικειμενικότητα και διαφάνεια της έρευνας, καθώς η ανάλυση είναι βασισμένη σε διεθνείς επιστημονικές βάσεις αλλά και ανασκοπήσεις του τομέα (Rao et al., 2024).

### **2.3.1 Δείκτες και μετρικές βιβλιομετρικής ανάλυσης**

Όπως διαπιστώνεται από τους Donthu et al. (2021), με τη μέθοδο της βιβλιομετρίας αναδεικνύεται η δομή ενός επιστημονικού πεδίου μέσω της εξέτασης των σχέσεων μεταξύ των ερευνητικών μονάδων. Εξάλλου, η βιβλιομετρία αποτελεί εργαλείο για τη διερεύνηση του σώματος γνώσης ενός επιστημονικού πεδίου και επιτρέπει τη “σύνθεση” και την “ερμηνεία” του (Lim et al., 2024).

Η βιβλιομετρική ανάλυση παρέχει σημαντικές πληροφορίες για την απόδοση και τη χαρτογράφηση ενός επιστημονικού πεδίου. Για το σκοπό αυτό, αξιοποιούνται διάφοροι δείκτες, όπως οι ακόλουθοι:

- **δείκτες παραγωγικότητας** που εστιάζουν σε ποσοτική μέτρηση της ερευνητικής παραγωγής και μετρά την πληθικότητα του παραγόμενου έργου από διάφορες οπτικές, όπως για παράδειγμα τον αριθμό των δημοσιεύσεων και το πλήθος των συγγραφέων.
- **δείκτες απήχησης** που αποτυπώνουν τον αντίκτυπο της έρευνας και την επίδρασή της σε άλλες έρευνες σε ποιοτικό επίπεδο.
- **δείκτες αποδοτικότητας** που αξιολογούν τη συνεισφορά της κάθε εμπλεκόμενης συνιστώσας (όπως σύνολο δημοσιεύσεων, αναφορών, ετεροαναφορών) στον συγκεκριμένο τομέα έρευνας, και
- **δείκτες αλληλεπίδρασης και μετρικές δικτύου** που χαρτογραφούν τόσο την επιστήμη και αποτυπώνουν τις συνεργασίες μεταξύ των ακαδημαϊκών ιδρυμάτων, χωρών, συγγραφέων όσο και τη συνύπαρξη των λέξεων-κλειδιών. Επιπλέον, οι μετρικές δικτύου αναλύουν την πυκνότητα καθώς και την συνδεσιμότητα των στοιχείων προκειμένου να οπτικοποιηθεί η δομή του ερευνητικού πεδίου και να εντοπιστούν οι κυρίαρχες τάσεις καθώς και τα πιο σημαντικά πεδία ανάπτυξης της γνώσης.

### **3.Μεθοδολογία έρευνας: Βιβλιομετρική ανάλυση και συστηματική ανασκόπηση**

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο σκιαγραφείται η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε για να αναλυθεί το επιστημονικό πεδίο της πρόβλεψης κυκλοφορίας ροής σε δίκτυα οριζόμενα από λογισμικό. Στην έρευνα χρησιμοποιείται η βιβλιομετρική ανάλυση (Bibliometric Analysis) και η συστηματική ανασκόπηση της βιβλιογραφίας (Systematic Literature Review- SLR). Εφαρμόζοντας αυτές τις δύο προσεγγίσεις πραγματοποιείται τόσο η ποσοτική χαρτογράφηση του επιστημονικού πεδίου όσο και η ποιοτική αξιολόγηση των αλγορίθμων πρόβλεψης κυκλοφορίας ροής και αναδεικνύονται οι επικρατούσες τεχνολογίες του συγκεκριμένου πεδίου. Σύμφωνα με τους Kitchenham & Charters (2007), η μέθοδος της συστηματικής ανασκόπησης συμβάλλει καθοριστικά στο να εντοπιστούν και να αξιολογηθούν όλες οι διαθέσιμες έρευνες που σχετίζονται με ένα ερευνητικό θέμα μέσω μιας ενδεδειγμένης και σαφούς μεθοδολογίας.

Η διαδικασία μελέτης περιλαμβάνει τα ακόλουθα βήματα:

- συλλογή δημοσιεύσεων από διεθνείς βάσεις δεδομένων
- εφαρμογή βιβλιομετρικών τεχνικών (π.χ., ανάλυση παραγωγικότητας, συνεργασίας, συν-αναφορών, συνύπαρξης λέξεων-κλειδιών)
- αξιολόγηση επιλεγμένων μελετών μέσω προκαθορισμένων κριτηρίων ένταξης και αποκλεισμού, και
- εξαγωγή και σύνθεση των ευρημάτων.

Ο συνδυασμός των δύο προσεγγίσεων ενισχύει την εγκυρότητα της έρευνας καθώς η βιβλιομετρική ανάλυση χαρτογραφεί τη δομή και τις τάσεις του πεδίου, ενώ η συστηματική ανασκόπηση προσφέρει ποιοτική ερμηνεία και σε βάθος κατανόηση των πιο σχετικών και επιδραστικών μελετών.

#### **3.1 Πηγές δεδομένων**

## Χρονικό εύρος μελετών

Σχετικά με το χρονικό εύρος της μελέτης, τα δεδομένα της έρευνας οριοθετήθηκαν μέσα στην τελευταία δεκαετία και πιο συγκεκριμένα τη χρονική περίοδο 2013-2025. Αυτό το χρονικό πλαίσιο επιλέχθηκε με βάση μεθοδολογικά κριτήρια καθώς η τεχνολογία των δικτύων οριζόμενων από λογισμικό αλλά και οι αλγόριθμοι τεχνητής νοημοσύνης ανήκουν σε έναν πολύ γρήγορο εξελισσόμενο τομέα. Η τεχνολογία SDN βρίσκεται στο στάδιο ωρίμανσης και περιλαμβάνει τις πιο πρόσφατες σε τομείς όπως το SDN, μηχανική μάθηση και πρόβλεψη κίνησης, Με αυτό το τρόπο, η ανάλυση δεν βασίζεται μόνο στις βασικές αρχές του πεδίου αλλά αποκαλύπτει τις πιο καινούργιες και πρωτοπόρες στρατηγικές πρόβλεψης της κυκλοφορίας ροής.

### 3.2 Στρατηγική αναζήτησης

Οι Όροι αναζήτησης και η διαμόρφωση ερωτήματος βασίζονται στις βασικές λέξεις κλειδιά “SDN” και “traffic prediction” και τα παράγωγά τους. Για το περιορισμό και το φιλτράρισμα των αποτελεσμάτων χρησιμοποιούνται λογικοί τελεστές. Συγκεκριμένα, αναζητήθηκαν εργασίες που περιείχαν τους βασικούς όρους είτε στον τίτλο, είτε στην περίληψη είτε στις λέξεις κλειδιά. Στον Πίνακα 3-1 φαίνεται πως διαμορφώθηκε τελικά το ερώτημα που υποβλήθηκε στη βάση, συμπεριλαμβανομένων και των φίλτρων που ενεργοποιήθηκαν.

**Πίνακας 3-1: Ψηφιακές βιβλιοθήκες και κείμενο αναζήτησης**

<b>Ψηφιακή Βιβλιοθήκη</b>	<b>Κείμενο Αναζήτησης</b>
Scopus	( “Software Defined Networking” AND “traffic prediction” ) OR ( “Software Defined Networking” AND “traffic forecast” ) OR ( “sdn” AND “traffic prediction” ) OR ( “SDN traffic prediction” )
Google Scholar	(“Software Defined Networking” AND “traffic prediction” OR “traffic forecast” )

Τα δεδομένα για την διεξαγωγή της συγκεκριμένης έρευνας συλλέχθηκαν από την επιστημονική βάση Scopus και Google scholar. Τα αποτελέσματα από την εφαρμογή του ερωτήματος στη βάση δεδομένων Scopus, εξήχθησαν σε μορφή Comma Separated Values (CSV) περιλαμβάνοντας όλες τις απαραίτητες πληροφορίες για την επεξεργασία τους από λογισμικό κατάλληλο για βιβλιομετρική ανάλυση και χαρτογράφηση. Από τη συμπληρωματική αναζήτηση στο Google Scholar επιλέχθηκαν δεδομένα για εξαγωγή σε μορφή Bibtex. Το χρονικό εύρος ορίστηκε στο διάστημα 2013-2025 για ολόκληρα κείμενα και μεταδεδομένα για μεγαλύτερη σχετικότητα στην έρευνα.

### **3.3 Κριτήρια επιλογής και αποκλεισμού**

Τα κριτήρια επιλογής αλλά και αποκλεισμού που καθορίστηκαν στη συγκεκριμένη εργασία, αποφασίστηκαν με κύριο γνώμονα την επίτευξη υψηλής εγκυρότητας αλλά και της σχετικής συνάφειας με το αντικείμενο που μελετάται. Η μέθοδος καθορισμού των κριτηρίων της παρούσας εργασίας βασίστηκε σε ανάλογες πρακτικές συστηματικών ανασκοπήσεων (Rao et al., 2023). Αυτά τα κριτήρια λειτούργησαν ως μέσο φιλτραρίσματος στην αναζήτηση των βάσεων δεδομένων έτσι ώστε να επικεντρωθεί η έρευνα σε σύγχρονες και αξιόλογες επιστημονικές πηγές, αποκλείοντας υλικό το οποίο δεν καλύπτει τις απαιτήσεις της παρούσας μελέτης.

Σύμφωνα με τις κατευθυντήριες γραμμές των Kitchenham & Charters (2007), στη συγκεκριμένη εργασία οριοθετήθηκαν με σαφήνεια τα μοντέλα συμπερίληψης (Inclusion Criteria- IC) και αποκλεισμού (Exclusion Criteria- IC) και παρουσιάζονται στον πίνακα 3-2.

Ακολουθεί η περιγραφή των:

Μοντέλων συμπερίληψης

- IC1:άρθρα που έχουν δημοσιευθεί σε επιστημονικά περιοδικά με κριτές ή πρακτικά συνεδριών που κατέχουν υψηλή απήχηση
- IC2:μελέτες που εμβαθύνουν τεχνικές πρόβλεψης κυκλοφορίας ροής σε SDN αρχιτεκτονικές
- IC3:μελέτες οι οποίες δημοσιεύθηκαν την τελευταία δεκαετία σε αναγνωρισμένου κύρους πηγές (περιοδικά Q1-Q2, συνέδρια υψηλής απήχησης, κλπ.)

## Μοντέλων Αποκλεισμού

- EC1: μελέτες σε άλλες γλώσσες εκτός από την αγγλική
- EC2: μελέτες οι οποίες καταδεικνύουν άρθρα που σχετίζονται με παραδοσιακά δίκτυα και όχι δίκτυα οριζόμενα από λογισμικό
- EC3: έγγραφα τα οποία δεν παρουσιάζουν μεγάλη επιστημονική σπουδαιότητα

**Πίνακας 3-2: Κριτήρια ένταξης και αποκλεισμού**

Κριτήρια Συμπερίληψης	Κριτήρια αποκλεισμού
<ul style="list-style-type: none"><li>● Άρθρα τα οποία δημοσιεύθηκαν από το 2013-2025</li><li>● Άρθρα τα οποία είναι διαθέσιμα με ολόκληρο κείμενο</li><li>● Άρθρα γραμμένα στην Αγγλική γλώσσα</li><li>● Επιστημονικά άρθρα σε περιοδικά, άρθρα συνεδρίων και ανασκοπήσεις</li><li>● Μελέτες των επιστημονικών πεδίων στην Πληροφορική, τα Μαθηματικά της Μηχανικής και της Επιστήμης Αποφάσεων</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>● Μελέτες δημοσιευμένες πριν το 2015</li><li>● Άρθρα τα οποία δεν είναι γραμμένα στα Αγγλικά</li><li>● Τύποι εγγράφων όπως βιβλία, κεφάλαια βιβλίων, πρότυπα και σημειώσεις</li></ul>

### **3.3.1 Τελικό σύνολο δεδομένων**

Τέλος, με την εφαρμογή των κριτηρίων συμπερίληψης και αποκλεισμού, εξάγεται ένα τελικό σώμα κειμένων το οποίο αποτελεί την ερευνητική βάση. Η διαδικασία επιλογής αποτυπώνεται στο διάγραμμα PRISMA εξασφαλίζοντας τη διαφάνεια και τη σαφήνεια σε κάθε βήμα. Η διαδικασία της επιλογής διεκπεραιώνεται σε τρία στάδια: την αρχική αναζήτηση, την αφαίρεση διπλοτύπων και τον ποιοτικό έλεγχο.

### **3.4 Εργαλεία ανάλυσης**

Η διαχείριση, οπτικοποίηση και ανάλυση των βιβλιομετρικών δεδομένων υποστηρίζεται από διάφορα εργαλεία λογισμικού που έχουν σημαντική επίδραση και συμβολή στην έρευνα (Tomaszewski, 2022). Δύο από αυτά τα εργαλεία που μπορούν να ενισχύσουν τη βιβλιομετρική ανάλυση, να αναπαραστήσουν τις σχέσεις μεταξύ των επιστημονικών πεδίων και να δια φωτίσουν την έρευνα από διαφορετικές οπτικές είναι τα VOSviewer και Bibliometrix. Το λογισμικό VOSviewer μπορεί να εφαρμοστεί τόσο για την χαρτογράφηση αλλά και οπτικοποίηση των δεδομένων, ενώ το Bibliometrix διευκολύνει στη στατιστική ανάλυση του ερευνητικού πεδίου (Zupic & Cater, 2015).

Με τον συνδυασμό αυτών των δύο λογισμικών εξασφαλίστηκε πλήρως η μεθοδολογία της έρευνας και επιτεύχθηκε η τριγωνοποίηση των αποτελεσμάτων με σκοπό τη διασφάλιση των ανερχόμενων τάσεων στο πεδίο των δικτύων οριζόμενων από λογισμικό και την τεκμηρίωσή τους τόσο στατιστικά όσο και χαρτογραφικά (Donthu et al, 2021).

#### **3.4.1 Το εργαλείο VOS viewer**

Το λογισμικό VOSviewer αναπτύχθηκε στο κέντρο μελετών Επιστήμης και Τεχνολογίας του πανεπιστημίου Λέιντεν το 2010 (Van Eck & Waltman, 2010). Αποτελεί ένα εξειδικευμένο εργαλείο ανοιχτού κώδικα, το οποίο στηρίζεται στην οπτικοποίηση ομοιοτήτων καθώς δημιουργεί αλλά και οπτικοποιεί τα βιβλιομετρικά δίκτυα, όπως τα δίκτυα σχετικά με την συν-συγγραφή και την συν-εμφάνιση όρων. Το λογισμικό VOSviewer επιτρέπει τη διαχείριση μεγάλου όγκου δεδομένων, παρέχει οπτικοποιήσεις που μπορούν να διαβαστούν με ευκολία αλλά και να αναδείξουν σημαντικές πτυχές από ένα σώμα επιστημονικής βιβλιογραφίας. Ως είσοδο δέχεται αρχεία με βιβλιογραφικά δεδομένα που προέρχονται από ηλεκτρονικές βάσεις δεδομένων (WoS, Scopus, Dimensions, PubMed) είτε σε μορφή csv είτε σε μορφή RIS, ενώ διαθέτει API για λήψη δεδομένων από τα Crossref και Europe PMC.

Στα βασικά του πλεονεκτήματα περιλαμβάνονται η απλότητα και η ευχρηστία που διαθέτει το περιβάλλον εργασίας, η διαχείριση μεγάλου όγκου δεδομένων και η πολύ καλή απεικόνιση χαρτών δικτύων και πυκνότητας (Donthu et al., 2021, Tomaszewski, 2022). Ωστόσο το VOSviewer δεν παρέχει τρόπο για προεπεξεργασία δεδομένων ενώ η στατιστική ανάλυση είναι περιορισμένη.

### **3.4.2 Το εργαλείο Bibliometrix**

Ένα άλλο εργαλείο ανάλυσης που χρησιμοποιήθηκε σε αυτή την εργασία για την επεξεργασία των δεδομένων καθώς και την χαρτογράφηση της επιστημονικής παραγωγής είναι το λογισμικό Bibliometrix. Το Bibliometrix είναι ένα λογισμικό ανοιχτού κώδικα, το οποίο ανέπτυξαν σε γλώσσα προγραμματισμού R, οι Aria και Cuccurullo (2017). Συγκεκριμένα, επιλέχθηκε αυτο το εργαλείο γιατί είναι ένα από τα πιο ολοκληρωμένα εργαλεία που συνεισφέρουν στη διεξαγωγή των βιβλιομετρικών αναλύσεων.

Πιο αναλυτικά, το Bibliometrix ακολουθεί μια τυποποιημένη σειρά εργασιών, και συγκεκριμένα ξεκινάει με τη συλλογή των δεδομένων, συνεχίζει με τον καθαρισμό τους και καταλήγει στην ανάλυση αυτών των δεδομένων (Darvish, 2020). Παράλληλα, έγινε χρήση και της εφαρμογής Biblioshiny, το οποίο επιτρέπει να δουλέψεις σε ένα εύχρηστο γραφικό περιβάλλον και να εξάγεις πολύπλοκα ποσοτικά δεδομένα (Aria & Cuccurullo, 2020).

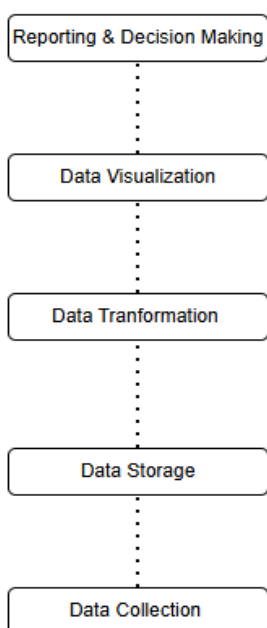
Μέσω του λογισμικού Bibliometrix, αναλύθηκε η ετήσια επιστημονική παραγωγή και αναδείχθηκαν οι ρυθμοί ανάπτυξης της έρευνας στο πεδίο του SDN. Προσδιορίστηκε η απόδοση των πιο παραγωγικών συγγραφέων, εκπαιδευτικών ιδρυμάτων αλλά και χωρών. Επίσης, χαρτογραφήθηκαν επιστημονικές πηγές και αναλύθηκαν οι σύγχρονες τάσεις μέσω των λέξεων-κλειδιών. Ο συνδυασμός αυτών των δύο προσεγγίσεων είναι το κλειδί για μια ολοκληρωμένη και σωστή ανασκόπηση της βιβλιογραφίας, στοχεύοντας στον εντοπισμό των ερευνητικών κενών αλλά και ερευνητικών κατευθύνσεων στην έρευνα (Donthu et al, 2021).

### **3.4.3 Στάδια μελέτης**

Τα στάδια ανάλυσης που ακολουθήθηκαν σε αυτή την έρευνα ευθυγραμμίστηκαν σύμφωνα με το μοντέλο ροής δεδομένων, πραγματοποιώντας την αρχή από την συλλογή, την αποθήκευση και την οπτικοποίηση των βιβλιομετρικών δεδομένων και συνεχίζοντας

με την εξαγωγή των συμπερασμάτων από το λογισμικό του VOSviewer, όπως αυτό φαίνεται στο παρακάτω εικόνα. Σχήμα 3-1.

Στο Σχήμα 3-1 παρατηρούνται τα πέντε κύρια ιεραρχικά στάδια της επεξεργασίας των βιβλιομετρικών δεδομένων. Ξεκινώντας τη διαδικασία της ανάλυσης το πρώτο στάδιο που συναντάται είναι η συλλογή των δεδομένων, απ' όπου εκεί αντλούνται οι βιβλιογραφικές αναφορές μέσω των ψηφιακών βάσεων δεδομένων. Έπειτα, στο δεύτερο στάδιο τα δεδομένα αποθηκεύονται για την καλύτερη οργάνωσή τους. Στο τρίτο στάδιο πραγματοποιείται ο μετασχηματισμός έτσι ώστε τα δεδομένα να καθαριστούν και να μορφοποιηθούν για την ανάλυσή τους. Στο προτελευταίο στάδιο οπτικοποιούμε τα δεδομένα μέσω του ειδικού λογισμικού VOSviewer και Bibliometrix προκειμένου τα δεδομένα να μετατραπούν σε επιστημονικούς χάρτες και διαγράμματα. Τέλος, η διαδικασία ανάλυσης του διαγράμματος ροής καταλήγει μέσω της σύνταξης αναφορών και λήψης αποφάσεων, κάνοντας σχολιασμό των αποτελεσμάτων και εξάγοντας συμπεράσματα σχετικά με τις ερευνητικές τάσεις αλλά και τις μελλοντικές κατευθύνσεις που αφορούν αυτό το πεδίο.



Σχήμα 3-1 Σχήμα ροής επεξεργασίας βιβλιομετρικών δεδομένων

### **3.5 Προκλήσεις και περιορισμοί της βιβλιομετρίας στο πεδίο του SDN**

Αξίζει να σημειωθεί ότι η βιβλιομετρία περιέχει πολλούς περιορισμούς που σχετίζονται με τα δεδομένα, τη μεθοδολογία και την ερμηνεία των ευρημάτων. Τα δεδομένα της βιβλιογραφίας προέρχονται από συγκεκριμένες βάσεις δεδομένων. Μεθοδολογικά δίνεται ιδιαίτερη έμφαση στις αναφορές και την ποσοτική ανάλυση. Τέλος, πολλές φορές τα αποτελέσματα δεν είναι εύκολο να ερμηνευτούν, ή ερμηνεύονται λανθασμένα καθώς τα δεδομένα βασίζονται στις επιλογές του ερευνητή, και τα εμφανιζόμενα μοτίβα συνύπαρξης λέξεων κλειδιών μπορεί να μην τεκμηριώνονται θεωρητικά. Κατά τους Donthu κ.ά. (2021), η ποσοτική προσέγγιση της βιβλιομετρικής μεθόδου οφείλει να συμπληρώνεται από την ποιοτική ανάλυση της συστηματικής ανασκοπήσης για την καλύτερη κατανόηση και εξήγηση των επιστημονικών ευρημάτων.

## **4.Αποτελέσματα βιβλιομετρικής ανάλυσης**

### **4.1 Εισαγωγή**

Σε αυτό το κεφάλαιο της παρούσας εργασίας αποτυπώνονται τα αποτελέσματα της βιβλιομετρικής ανάλυσης για τα δεδομένα που συλλέχθηκαν από τη βάση δεδομένων Scopus. Η συγκεκριμένη ανάλυση στοχεύει στη χαρτογράφηση του ερευνητικού τοπίου σχετικά με την πρόβλεψη κυκλοφορίας ροών σε δίκτυα οριζόμενα από λογισμικό. Χρησιμοποιήθηκαν ποσοτικές μέθοδοι, εξετάστηκε η πορεία της επιστημονικής παραγωγικότητας, οι βασικοί φορείς της έρευνας, όπως οι συγγραφείς, ιδρύματα, χώρες και οι πηγές που δημοσιεύθηκαν για να δοθεί μια ολοκληρωτική εικόνα της δυναμικής και των τάσεων αυτού του τομέα.

### **4.2 Γενική ανάλυση**

Μέσω της γενικής ανάλυσης των δεδομένων αναδεικνύεται ένας τομέας ο οποίος βρίσκεται σε πλήρη εξέλιξη. Στην στοχευμένη αναζήτηση που πραγματοποιήθηκε προέκυψαν 158 επιστημονικά άρθρα τα οποία αποτέλεσαν το βασικό θεμέλιο για τη διεξαγωγή αυτής της μελέτης. Η μελέτη χωρίστηκε σε ενότητες που εξέτασαν την εξέλιξη του επιστημονικού πεδίου μέσα στα πιο πρόσφατα έτη, την επίδραση των επιστημονικών εργασιών με βάση τις αναφορές, αλλά και την γεωγραφική και επιστημονική εξάπλωση της γνώσης. Για τη διεξαγωγή της μελέτης χρησιμοποιήθηκε η έκδοση του λογισμικού Vosviewer (έκδοση 1.6.20) και το Bibliometrix (έκδοση 5.2.1 ) για την επεξεργασία του αρχείου CSV που εξήχθη από τη βάση δεδομένων Scopus. Αναλυτικότερα, πραγματοποιήθηκε χαρτογράφηση των επιστημονικών πεδίων με την ανάλυση συν-εμφάνισης λέξεων-κλειδιών και εφαρμόζοντας τους αλγορίθμους συστάδων για την εύρεση των βασικών θεματικών εννοιών αλλά και την ανάδειξη των τάσεων σχετικά με το θέμα που αφορά το πεδίο των δικτύων οριζόμενων από λογισμικό.

#### **4.2.1 Ανάλυση απόδοσης**

Με την ανάλυση απόδοσης αξιολογούνται οι ερευνητικοί συντελεστές όπως είναι οι συγγραφείς, τα εκπαιδευτικά ιδρύματα, οι χώρες και τα περιοδικά. Οι κύριοι άξονες που μελετώνται είναι οι παρακάτω:

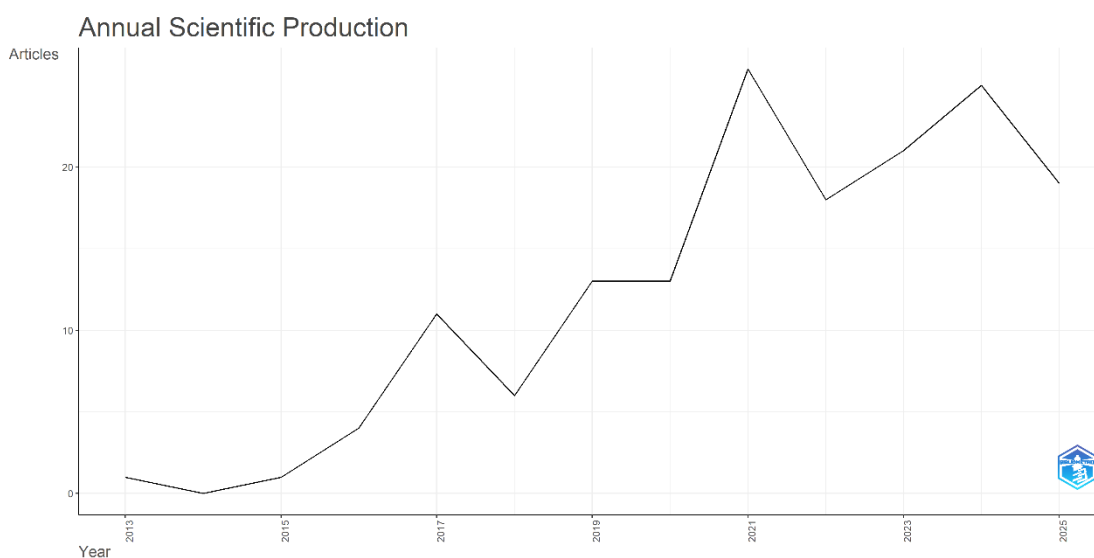
- Ο αριθμός των δημοσιεύσεων ανά έτος, όπου καταγράφεται η ταχύτητα εξέλιξης του πεδίου.

- Ο αριθμός των αναφορών, όπου αναδεικνύεται η επιστημονική εμβέλεια επιλεγμένων μελετών.

#### 4.2.2 Ετήσια επιστημονική παραγωγή

Ο δείκτης της ετήσιας επιστημονικής παραγωγής αποτελεί έναν σημαντικό δείκτη στη βιβλιομετρική ανάλυση διότι αποτυπώνει το επιστημονικό έργο που παράγεται από άτομα, ομάδες έρευνας, εκπαιδευτικά ιδρύματα ή χώρες και η δημοσίευσή τους είναι εντός ενός συγκεκριμένου χρονικού ορίου συνήθως ενός έτους. Η μέτρηση της ετήσιας επιστημονικής παραγωγής γίνεται μέσω των ερευνητικών εργασιών, άρθρων ή επιστημονικών εργασιών μέσα σε αυτή τη χρονική διάρκεια στοχεύοντας στην κατανόηση της δυναμικής αυτού του επιστημονικού πεδίου καθώς και την ανάδειξη των περιόδων όπου υπάρχει αύξηση ή μείωση του ερευνητικού ενδιαφέροντος.

Το Διάγραμμα 4-1 και ο Πίνακας 1 δεδομένων απεικονίζει την ετήσια επιστημονική παραγωγή σχετικά με το αντικείμενο μελέτης (πρόβλεψη κυκλοφορίας ροών σε δίκτυα οριζόμενα από λογισμικό) κατά την περίοδο 2013-2025. Παρατηρείται ότι υπάρχει μια σταθερή αυξητική πορεία παραγωγής, ειδικά μετά το έτος 2017. Η κορύφωση της επιστημονικής παραγωγής εμφανίζεται κατά το έτος 2021 με 26 δημοσιεύσεις και παραμένει σε υψηλά επίπεδα έως και το έτος 2025 (έως 19 δημοσιεύσεις. Αυτό επιβεβαιώνει το ενδιαφέρον της επιστημονικής κοινότητας σχετικά την πρόβλεψη κυκλοφορίας ροών σε δίκτυα οριζόμενα από λογισμικό.



Διάγραμμα 4-1. Ετήσια Επιστημονική Παραγωγή

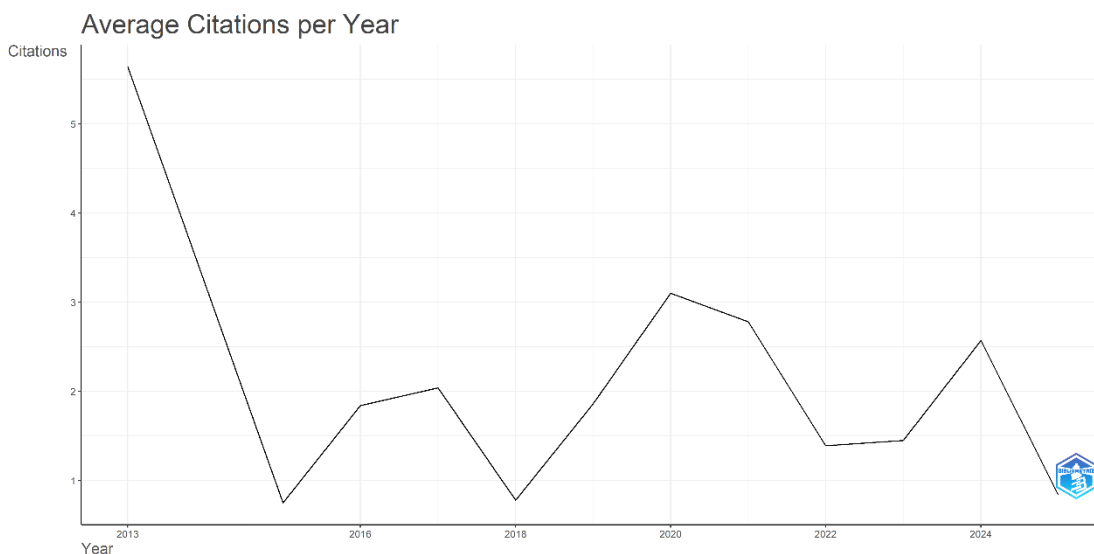
Πίνακας 1. Ετήσια Επιστημονική Παραγωγή

Year	Articles
2013	1
2014	0
2015	1
2016	4
2017	11
2018	6
2019	13
2020	13
2021	26
2022	18
2023	21
2024	25
2025	19

#### 4.2.3 Μέσος όρος αναφορών ανά έτος

Ο δείκτης “μέσος όρος αναφορών ανά έτος” χρησιμοποιείται για την μέτρηση της απήχησης ενός επιστημονικού έργου, μέσω του υπολογισμού του μέσου αριθμού αναφορών ανά έτος από τη στιγμή της δημοσίευσης του. Ο δείκτης παρουσιάζει διαχρονικά την επίδραση και την απήχηση των επιστημονικών μελετών στην ακαδημαϊκή κοινότητα.

Όπως φαίνεται στο Διάγραμμα 4-2 και στον Πίνακα 2 ο μέσος όρος αναφορών παρουσιάζει διακυμάνσεις στη διάρκεια του χρόνου. Συγκεκριμένα, οι πιο υψηλές τιμές του δείκτη καταγράφονται στα πρώτα χρόνια της περιόδου μελέτης. Το έτος 2013 παρατηρείται ο μέγιστος όρος (5.64), υποδεικνύοντας με αυτό τον τρόπο πόσο μεγάλη απήχηση και επίδραση έχουν οι πρώτες έρευνες στο πεδίο. Διακυμάνσεις παρατηρούνται στη συνέχεια με σημαντικές δευτερεύουσες ανόδους το έτος 2020 με μέσο όρο (3.10) και το έτος 2021 με μέσο όρο (2.78), περίοδοι που φαίνεται να συμπίπτουν με τη μεγάλη αύξηση της επιστημονικής παραγωγής. Είναι αναμενόμενο το γεγονός ότι στα τελευταία και πιο πρόσφατα έτη παρατηρείται μια τάση πτώσης με το έτος 2025 να έχει μέσο όρο (0.84) καθώς οι δημοσιεύσεις δεν έχουν προλάβει ακόμα να ενταχθούν ολοκληρωτικά στη διεθνή βιβλιογραφία.



Διάγραμμα 4-2. Μέσος όρος αναφορών ανά έτος

Πίνακας 2. Μέσος όρος αναφορών ανά έτος

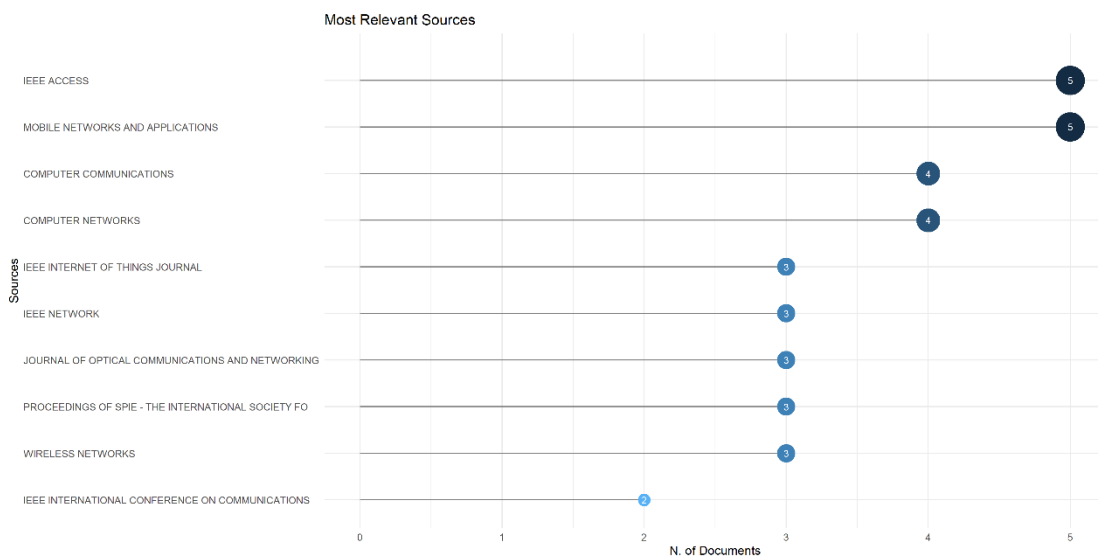
Year	MeanTCperArt	N	MeanTCperYear	CitableYears
2013	79.00	1	5.64	14
2015	9.00	1	0.75	12
2016	20.25	4	1.84	11
2017	20.45	11	2.04	10
2018	7.00	6	0.78	9
2019	14.85	13	1.86	8
2020	21.69	13	3.10	7
2021	16.69	26	2.78	6
2022	6.94	18	1.39	5
2023	5.81	21	1.45	4
2024	7.72	25	2.57	3
2025	1.68	19	0.84	2

#### 4.2.4 Κατανομή κορυφαίων μέσων δημοσίευσης

Ο όρος “σχετικές πηγές” αναφέρεται σε επιστημονικά περιοδικά, εκδοτικούς πόρους και συνέδρια τα οποία παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη επίδραση σε ένα ερευνητικό πεδίο είτε μέσω του όγκου των δημοσιεύσεων είτε μέσω της επιστημονικής τους απήχησης. Ο εντοπισμός και η αναφορά των πιο σχετικών πηγών αποτελούν σημαντικό παράγοντα στο να δημιουργηθεί μια δυνατή βάση και αξιοπιστία στο ακαδημαϊκό και επιστημονικό έργο.

Η κατάταξη των πηγών πραγματοποιήθηκε με βάση τη συνάφεια του αντικειμένου που ερευνάται αλλά και με το συνολικό αριθμό εγγραφών ανά πηγή.

Στο Διάγραμμα 4-3 καθώς και στον Πίνακα 3 παρουσιάζονται οι 10 πιο σχετικές πηγές που αφορούν επιστημονικές μελέτες σχετικά με την πρόβλεψη ροών σε δίκτυα οριζόμενα από λογισμικό. Όπως φαίνεται στην κορυφή της κατάταξης βρίσκονται τα επιστημονικά περιοδικά 'IEEE ACCESS' και 'MOBILE NETWORKS AND APPLICATIONS', φιλοξενώντας από 5 δημοσιεύσεις το καθένα από αυτά. Σε απόσταση αναπνοής ακολουθούν τα επιστημονικά περιοδικά 'COMPUTER COMMUNICATIONS' και 'COMPUTER NETWORKS', με 4 δημοσιεύσεις αμφότερα. Είναι σημαντικό το γεγονός ότι την πρώτη δεκάδα συμπληρώνουν σημαντικοί τίτλοι περιοδικών όπως το 'IEEE INTERNET OF THINGS JOURNAL' και 'WIRELESS NETWORKS' (n=3), σημάδι που δείχνει ότι η έρευνα κατευθύνεται προς τις σύγχρονες τεχνολογίες τηλεπικοινωνιών και τις δικτυακές υποδομές.

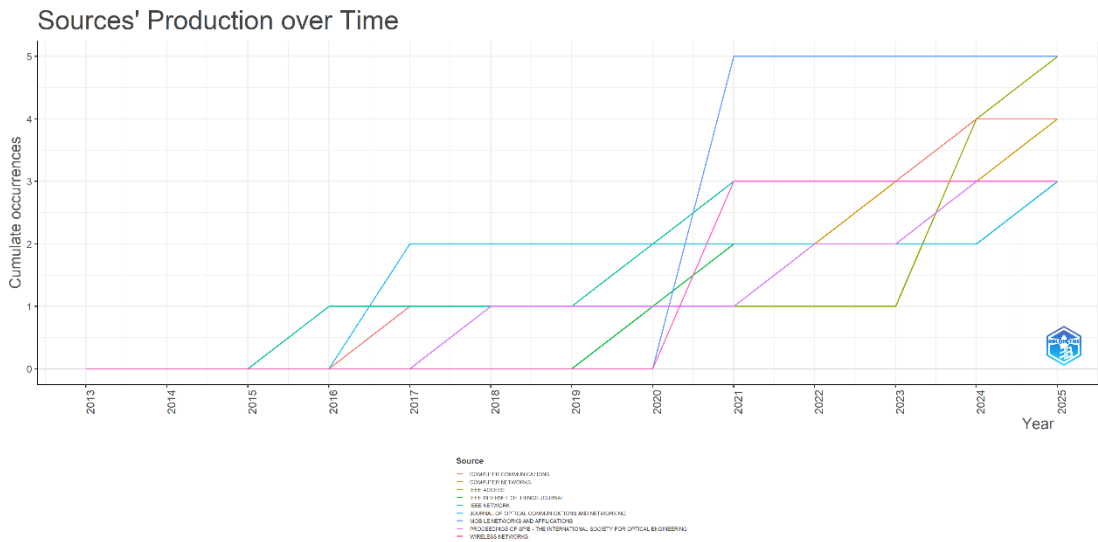


Διάγραμμα 4-3. Κατανομή ανά πηγή

Πίνακας 3. Κατανομή ανά πηγή

Sources	Articles
IEEE ACCESS	5
MOBILE NETWORKS AND APPLICATIONS	5
COMPUTER COMMUNICATIONS	4
COMPUTER NETWORKS	4
IEEE INTERNET OF THINGS JOURNAL	3
IEEE NETWORK	3
JOURNAL OF OPTICAL COMMUNICATIONS AND NETWORKING	3
PROCEEDINGS OF SPIE - THE INTERNATIONAL SOCIETY FOR OPTICAL ENGINEERING	3
WIRELESS NETWORKS	3
IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMMUNICATIONS	2

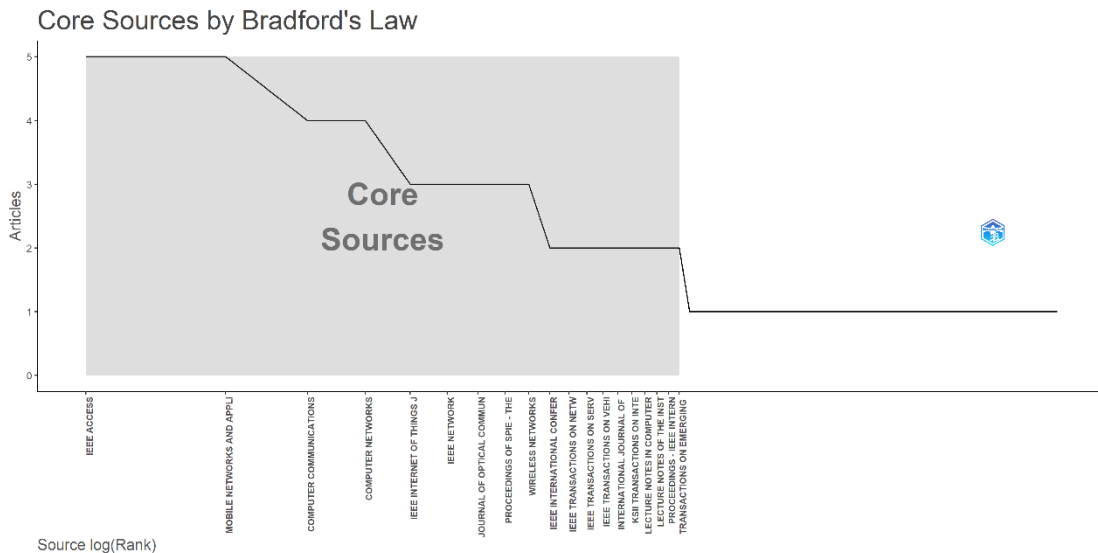
Η «παραγωγή εργασιών ανά πηγή» στην πάροδο του χρόνου αναφέρεται στον τρόπο με τον οποίο δημιουργούνται ή δημοσιεύονται επιστημονικές εργασίες μέσα σε ένα καθορισμένο χρονικό πλαίσιο. Μέσω αυτής της ανάλυσης υπάρχει η δυνατότητα παρακολούθησης της εξέλιξης της γνώσης σε ένα συγκεκριμένο πεδίο, παρέχοντας τις σχετικές πληροφορίες για την ανάπτυξη της έρευνας και την διάδοση της πληροφορίας με το πέρασμα του χρόνου. Όπως φαίνεται στο Διάγραμμα 4-4 η συνολική παραγωγή των δέκα κυριότερων πηγών είναι σταθερή αλλά με διαφορετική δυναμική. Στο περιοδικό 'Mobile Networks and Applications' (μπλε γραμμή), εμφανίζεται μια ξαφνική και δυναμική ανοδική πορεία το 2021 με 5 δημοσιεύσεις, γεγονός που το κατέστησε ως την κυρίαρχη πηγή σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα. Σε αντίθεση με το περιοδικό 'IEEE Access' (λαχανί γραμμή), που εμφανίζεται μια πιο σταδιακή και συνεχόμενη πορεία, με πρώτη εμφάνιση το 2020 και τελική κορύφωση το 2025. Στη συνέχεια, τα περιοδικά 'Computer Networks', 'Computer Communications', δείχνουν μια αρχική δραστηριότητα από τα έτη 2016-2017 την οποία βλέπουμε να σταθεροποιείται κατά τα επόμενα χρόνια. Συνολικά, σύμφωνα με το διάγραμμα, παρουσιάζεται μια εικόνα που δείχνει ότι από το 2020 και ύστερα υπάρχει μια μαζική δραστηριότητα των κορυφαίων επιστημονικών πηγών, ως αποτέλεσμα της παράλληλης της παραγωγής δημοσιεύσεων, κάτι το οποίο υποδηλώνει μια ώριμη και σταθερή έρευνα στο συγκεκριμένο πεδίο.



Διάγραμμα 4-4. Παραγωγή πηγών με την πάροδο του χρόνου

#### 4.2.5 Νόμος Bradford για τις κύριες πηγές

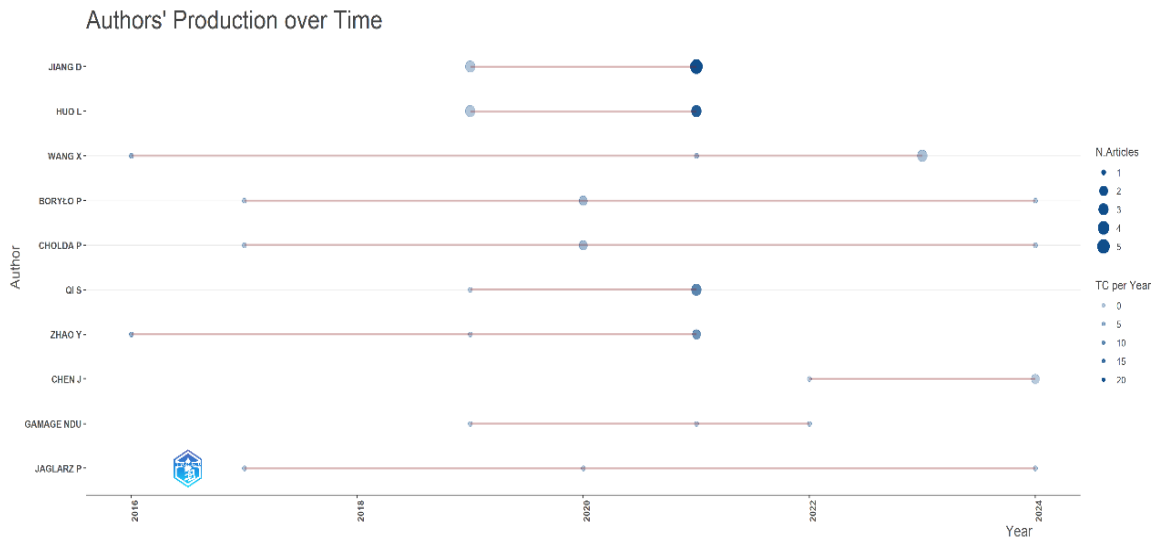
Αρχικά, ο νόμος του Bradford στη βιβλιομετρία χρησιμοποιείται για την περιγραφή κατανομής των επιστημονικών εργασιών μεταξύ διαφόρων πηγών όπως περιοδικά και συνέδρια στοχεύοντας στην ανάδειξη των κύριων πηγών. Αυτή η κατανομή ακολουθεί την αρχή του Pareto και διαχωρίζει τις επιστημονικές πηγές σε ζώνες σύμφωνα με την συγκέντρωση των άρθρων ανά πηγή. Στο Διάγραμμα 4-5 αποτυπώνεται ο νόμος του Bradford για την πρόβλεψη κυκλοφορίας σε δίκτυα οριζόμενα από λογισμικό. Στην κορυφή της κατάταξης των βασικών πηγών (core sources) βρίσκονται τα περιοδικά 'IEEE Access' και 'Mobile Networks and Applications' και ακολουθούν τα 'Computer Communications' και 'Computer Networks'. Στο μεσαίο πυρήνα της βιβλιογραφίας εντάσσονται οι εξίσου σημαντικοί τίτλοι όπως το 'IEEE Internet of things Journal', 'IEEE Network', 'Journal of optical communications and Networking', 'Proceedings of SPIE'. Η συγκεκριμένη κατανομή αναδεικνύει ότι η έρευνα σε αυτό το πεδίο τροφοδοτείται από ένα μεγάλο φάσμα έγκριτων επιστημονικών πηγών που ειδικεύονται στις τηλεπικοινωνίες και την πληροφορική.



Διάγραμμα 4-5. Νόμος Bradford για τα δίκτυα οριζόμενα από λογισμικό

### 4.3 Παραγωγικότητα των συγγραφέων

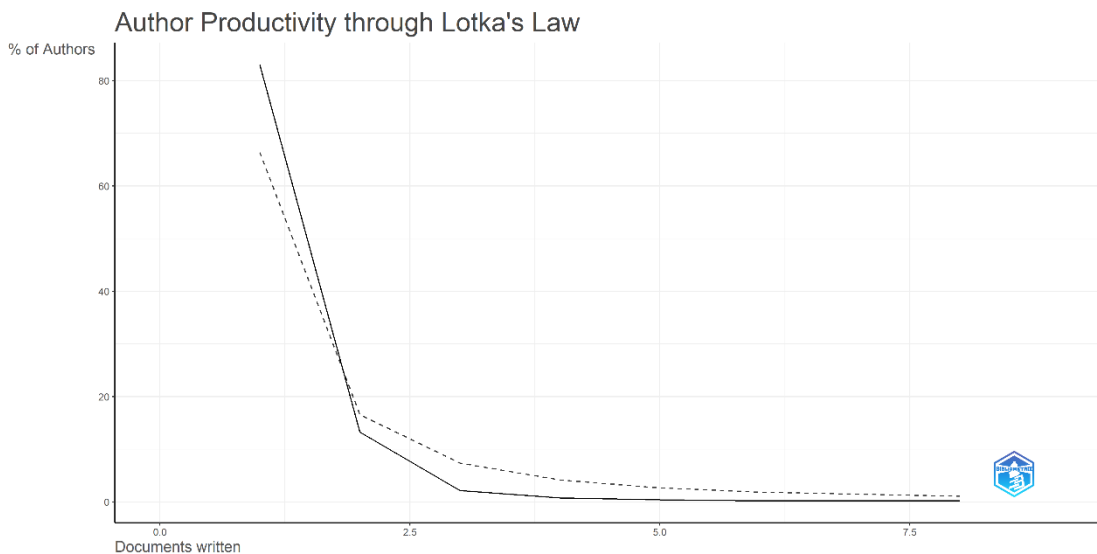
Η παραγωγικότητα των συγγραφέων εξετάστηκε και αξιολογήθηκε σύμφωνα με τον αριθμό των επιστημονικών εργασιών που δημοσίευσαν. Το στοιχείο αυτό χρησιμοποιήθηκε για να ερμηνευθεί καλύτερα τόσο η ατομική όσο και συλλογική συμβολή τους στη βιβλιογραφία του συγκεκριμένου πεδίου. Στο Διάγραμμα 4-6 απεικονίζεται η παραγωγική εξέλιξη των δέκα πιο ενεργών συγγραφέων κατά την περίοδο 2016-2024. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της ανάλυσης, οι συγγραφείς με τη μεγαλύτερη διάρκεια σε ερευνητική δραστηριότητα είναι οι Wang X. με αφετηρία το έτος 2016, καθώς και οι Borylo P., και Cholda P., (2017 - 2024) ενώ οι συγγραφείς Jiang D. και Huo L., που εμφανίζονται στο χρονικό διάστημα 2019-2024 διακρίνονται για την πυκνότητα των δημοσιεύσεων τους καθώς και τον υψηλό βαθμό στις αναφορές τους, σύμφωνα με την ένταση και το χρώμα που έχουν οι κύκλοι στο διάγραμμα. Σημαντική αναφορά αξίζει στον συγγραφέα Wang X. ο οποίος είναι από τους πιο σταθερούς ερευνητές και αυτό διότι η παρουσία του είναι από το έτος 2016, ενώ πιο πρόσφατος είναι ο συγγραφέας Chen J. (έτος 2022). Μεγαλύτερη απήχηση φαίνεται να έχουν τα επιστημονικά άρθρα των Qi S. και Zhaoyu Y., με 20 αναφορές και 15 αναφορές αντίστοιχα βάσει του δείκτη TC per year για το έτος αιχμής τους.



Διάγραμμα 4-6. Παραγωγικότητα Συγγραφέων

#### 4.3.1 Παραγωγικότητα συγγραφέων μέσω του νόμου Lotka

Ο νόμος του Lotka είναι μια βασική αρχή της βιβλιομετρίας η οποία περιγράφει το πόσο συχνά δημοσιεύουν οι συγγραφείς σε ένα επιστημονικό πεδίο. Όπως διαπιστώνεται οι 426 συγγραφείς με ποσοστό 83%, έχουν συνεισφέρει με μια μόνο εργασία. Όσο αυξάνεται ο αριθμός των εργασιών που δημοσιεύονται τόσο ο αριθμός των συγγραφέων βρίσκεται σε κάμψη. Πιο αναλυτικά, 68 συγγραφείς (13,3%) έχουν δημοσιεύσει δυο εργασίες και ένας μόλις συγγραφέας (0.2%) έχει δημοσιεύσει 8 εργασίες. Η συνεχής γραμμή αντιστοιχεί στη συχνότητα δημοσιεύσεων στο τομέα πρόβλεψης ροών σε δίκτυα οριζόμενα από λογισμικό ενώ η διακεκομμένη γραμμή αντιπροσωπεύει το νόμο του Lotka.



Πίνακας 4. Παραγωγικότητα συγγραφέων μέσω του Νόμου Lotka

Documents written	N. of Authors	Proportion of Authors	Theoretical
1	426	0.830	0.664
2	68	0.133	0.166
3	11	0.021	0.074
4	4	0.008	0.041
5	2	0.004	0.027
6	1	0.002	0.018
8	1	0.002	0.010

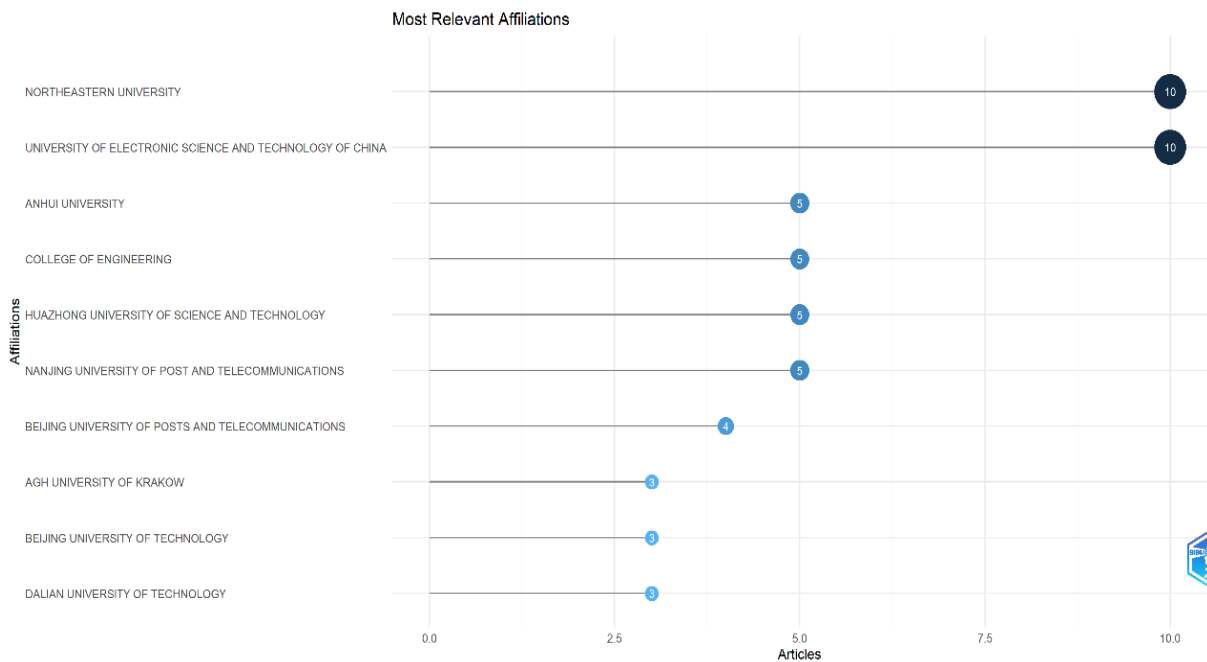
#### 4.4 Μετρήσεις που αφορούν εκπαιδευτικά και ερευνητικά ιδρύματα

Οι μετρήσεις που αφορούν συγκεκριμένα ιδρύματα είναι δείκτες και ποσοτικά μέτρα που βοηθούν να αξιολογηθεί η ακαδημαϊκή και ερευνητική απόδοση ενός συγκεκριμένου φορέα ή οργανισμού ή ίδρυμα. Αυτές οι μετρήσεις δύναται να περιλαμβάνουν παράγοντες όπως η παραγωγή των δημοσιεύσεων, η επιρροή των αναφορών, τα πρότυπα συνεργασίας καθώς και άλλους σχετιζόμενους δείκτες που αφορούν το συγκεκριμένο ίδρυμα, προσφέροντας πληροφορίες για την επίδραση που ασκείται ακαδημαϊκά αλλά και τη συνεισφορά σε ένα συγκεκριμένα κλάδο.

##### 4.4.1 Συνεργασίες φορέων

Οι πιο σχετικές συνεργασίες προσφέρουν μια ολοκληρωμένη εικόνα για τα ακαδημαϊκά και ερευνητικά ιδρύματα τα οποία κατέχουν εξέχουσα θέση στην επιστημονική παραγωγή του πεδίου που μελετάται. Μέσα από τον εντοπισμό των πιο 'δυνατών' ιδρυμάτων κατανοούνται καλύτερα τα κέντρα που προσφέρουν άριστη γνώση και αναδεικνύονται τα δίκτυα συνεργασίας που διαμορφώνουν τις εξελίξεις στα δίκτυα οριζόμενα από λογισμικό. Στο ζενίθ της παγκόσμιας κατάταξης και διαθέτοντας τον μέγιστο αριθμό των δημοσιευμένων άρθρων, όπως παρατηρείται και στο διάγραμμα 4-8, βρίσκονται τα ιδρύματα Northeastern University και το University of electronic science and technology

of China κατέχοντας δέκα άρθρα έκαστος. Με την ανάλυση αυτή διευκρινίζεται ότι υπάρχει έντονη ερευνητική δραστηριότητα τόσο στις Ηνωμένες Πολιτείες όσο και στη Κίνα. Ακολουθούν ιδρύματα τα οποία κατέχουν από πέντε, τέσσερις και 3 δημοσιεύσεις άρθρων, όπως φαίνεται και παρακάτω στο διάγραμμα 4-8. Είναι αξιοσημείωτο ότι, τα περισσότερα ιδρύματα έχουν την έδρα τους στη Κίνα. Αυτό δείχνει ότι η συγκεκριμένη χώρα επενδύει πολύ σοβαρά στα δίκτυα επόμενης γενιάς.

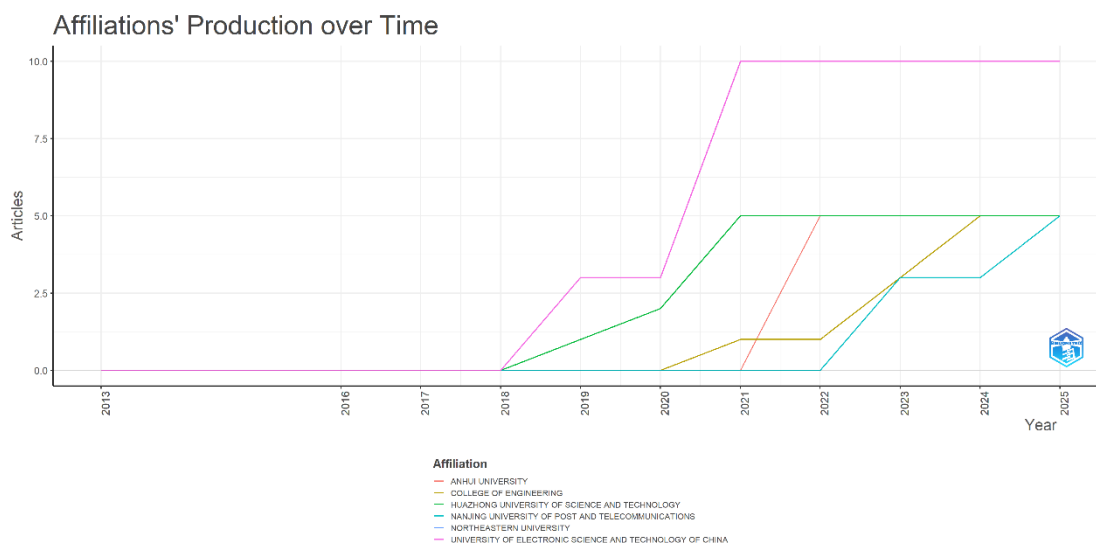


Διάγραμμα 4-8. Οι πιο σχετικές συνεργασίες

#### 4.4.2 Παραγωγή δημοσιεύσεων ανά φορέα

Με την ανάλυση των συνεργασιών στην εξέλιξη του χρόνου διαπιστώνεται ποια ιδρύματα οικοδομούν σταθερά την επιστημονική γνώση και ποια πραγματοποιούν νέα δυναμική είσοδο στο πεδίο. Το ίδρυμα που κατέχει κορυφαία θέση και ακολουθεί ανοδική πορεία είναι το University of Electronic Science and Technology of China (ροζ γραμμή). Η ερευνητική του πορεία ξεκίνησε το 2018 και το 2021 εμφάνισε μια απότομη άνοδο. Σε αντίθεση, το ίδρυμα Northeastern University (γαλάζια γραμμή) εμφανίζει σχετικά πρόσφατη επιστημονική του παραγωγή (από το 2020), όμως με μια αρκετά σταθερή εμφάνιση και ανοδική τάση μέχρι το 2025. Παράλληλα, το ίδρυμα Huazhong University of Science and Technology (πράσινη γραμμή), παρουσιάζει πιο συγκρατημένη εξέλιξη ενώ το ίδρυμα Anhui University (κόκκινη γραμμή) εμφανίστηκε έντονα αλλά για μικρό χρονικό διάστημα μεταξύ των ετών 2021-2022. Μέσα από τη συνολική ανάλυση

αναδεικνύεται έντονα η τελευταία πενταετία ως η πιο σημαντική περίοδος στην συσσώρευση της γνώσης και την ωρίμανση των τεχνολογιών που εξετάζονται.

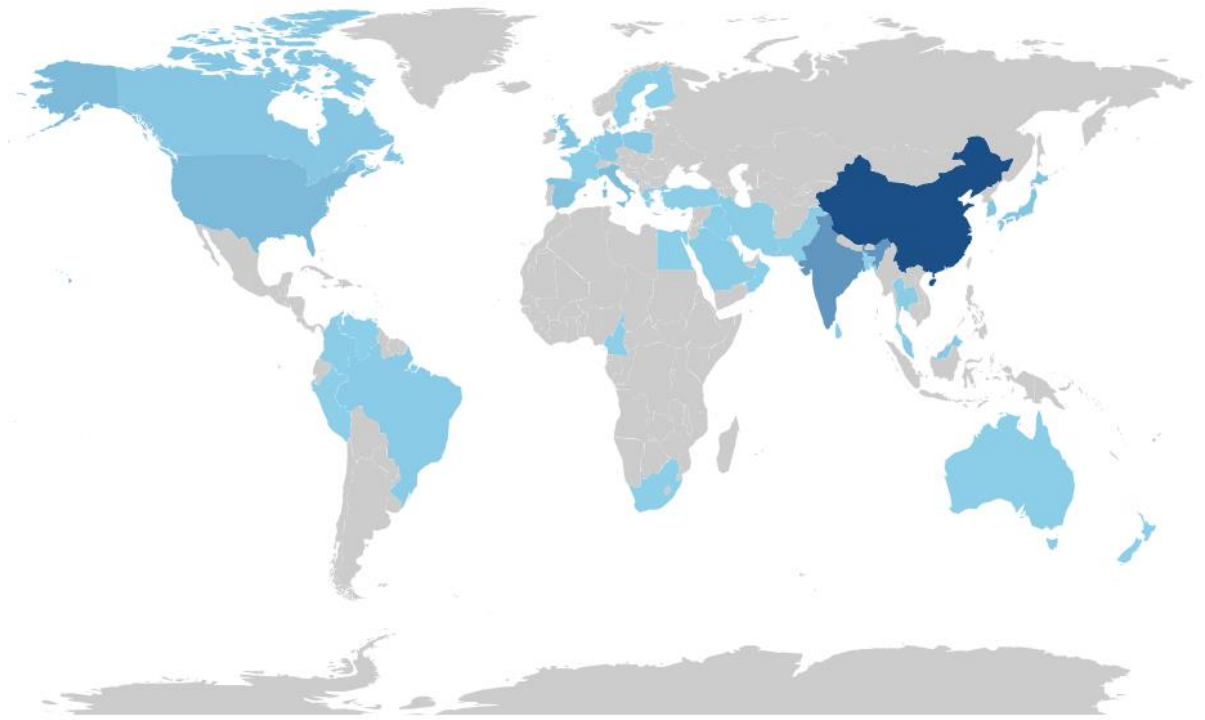


Διάγραμμα 4-9. Παραγωγή συνεργασιών με τη πάροδο του χρόνου

#### 4.5 Γεωγραφική κατανομή δημοσιεύσεων

Η μετρική αυτή αποτυπώνει την ποσοτική ερευνητική και ακαδημαϊκή συμβολή σε δημοσιεύσεις κάθε χώρας. Τα ποσοτικά στοιχεία αφορούν τον αριθμό των δημοσιεύσεων και αναφορών, το πλήθος των διεθνών συνεργασιών ή και άλλοι παράγοντες σχετιζόμενοι με την επιστημονική παραγωγή μιας χώρας. Θα πρέπει να σημειωθεί πως οι συγγραφείς μιας δημοσίευσης μπορεί να προέρχονται από περισσότερες από μία χώρες.

Από την ανάλυση των δεδομένων προκύπτει ότι το μεγαλύτερο μέρος των δημοσιεύσεων (74%) προέρχεται από επτά (7) χώρες, με την Κίνα και την Ινδία να συγκεντρώνουν το 38% και το 16% αντίστοιχα. Ακολουθούν οι υπόλοιπες χώρες με πολύ μικρότερα ποσοστά, όπως παρουσιάζονται στο Διάγραμμα 4-10 και στον Πίνακα 10. Οι χώρες απεικονίζονται με χρωματική κλίμακα μπλε αποχρώσεων, με τις πιο σκούρες αποχρώσεις να αντιστοιχούν σε υψηλότερη παραγωγή.



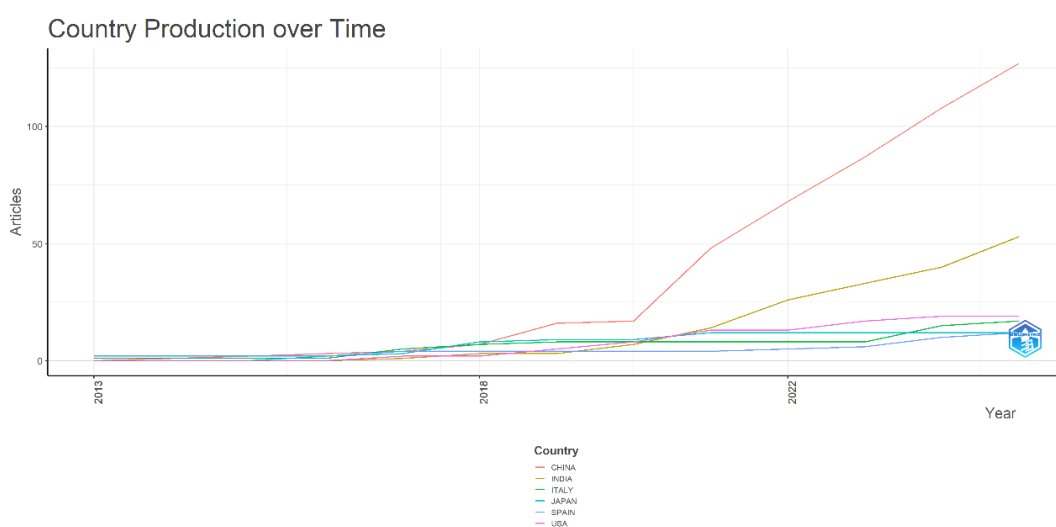
Διάγραμμα 4-10. Επιστημονική παραγωγή ανά χώρα. Η ένταση του χρώματος αντιστοιχεί στη συγκέντρωση δημοσιεύσεων ανά χώρα (σκούρο μπλε: υψηλή συγκέντρωση, ανοιχτό μπλε: χαμηλή συγκέντρωση, γκρι: μηδενική παραγωγή).

Πίνακας 4. Κατανομή δημοσιεύσεων

<b>Country</b>	<b>Freq</b>
CHINA	123
INDIA	53
USA	19
ITALY	17
SPAIN	12
JAPAN	10
UK	10
CANADA	8
SOUTH KOREA	8
GERMANY	6

#### 4.5.1 Εξέλιξη παραγωγικότητας ανά χώρα

Στο Διάγραμμα 4-11 απεικονίζεται η παραγωγικότητα των χωρών στη διάρκεια του χρόνου. Η Κίνα, εμφανίζεται με τη κόκκινη γραμμή, υπερέχει συγκριτικά από τις υπόλοιπες χώρες. Μέχρι το 2018 η επιστημονική παραγωγή της ήταν συντηρητική και εύκολα συγκρίσιμη με αυτήν των υπολοίπων χωρών. Αμέσως μετά εμφανίζει ανοδική πορεία, ξεπερνώντας τα 125 άρθρα το 2025 και εδραιώνοντας την πρώτη θέση. Στη δεύτερη θέση με μια πιο ομαλή εξέλιξη βρίσκεται η Ινδία η οποία μετά το 2021 αύξησε τις δημοσιεύσεις της κατά 50 άρθρα. Οι ΗΠΑ και Ιταλία εμφανίζουν σταθερή πορεία ενώ χώρες όπως η Ισπανία και η Ιαπωνία παραμένουν σε χαμηλότερα παραγωγικά επίπεδα με ενεργή παρουσία στην τελευταία δεκαετία.

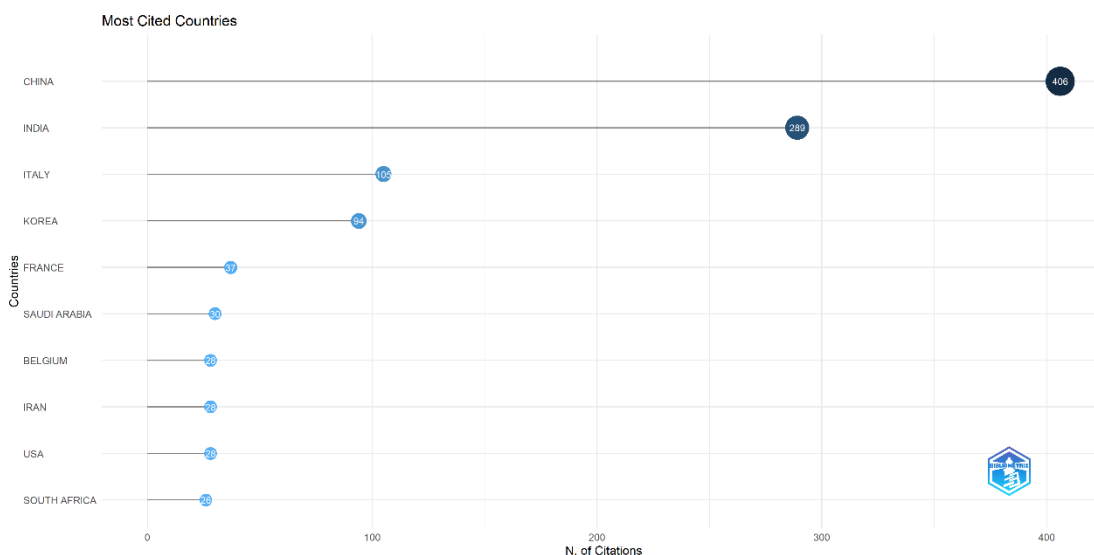


Διάγραμμα 4-11. Παραγωγή χωρών με την πάροδο του χρόνου

#### 4.6. Αναφορές ανά χώρα

Στη βιβλιομετρία οι αναφορές ανά χώρα ποσοτικοποιούν και αναλύουν τους αριθμούς αναφορών που λαμβάνονται από μια δημοσίευση και δείχνουν την επίδραση και την επιρροή της επιστημονικής παραγωγής μιας χώρας σε παγκόσμιο επίπεδο. Οι αναφορές έχουν υπολογιστεί με βάση τον γνώμονα των μετρικών αναφορών από τις βάσεις δεδομένων Google Scholar και Scopus. Στο Διάγραμμα 4-12 φαίνεται ότι η Κίνα βρίσκεται στην πρώτη θέση με 406 αναφορές και στη δεύτερη θέση ακολουθεί η Ινδία με 289 αναφορές. Η Ιταλία φαίνεται να προηγείται των ευρωπαϊκών χωρών με 105 αναφορές, διακρίνοντας μια αξιοσημείωτη πυκνότητα επιρροής σχετικά με τον όγκο των δημοσιεύσεων της. Ακολουθεί η Νότια Κορέα με 94 αναφορές ενώ η Σαουδική Αραβία

και η Γαλλία ακολουθούν μια πιο σταθερή παρουσία διεθνώς. Τέλος, οι χώρες των ΗΠΑ, Βέλγιο και Ιράν παρότι ανήκουν σε διαφορετικά γεωγραφικά τμήματα έχουν καταφέρει να αποκτήσουν μια πιο ισορροπημένη κατανομή αναφορών μεταξύ τους. Εν κατακλείδι, η Κίνα και η Ινδία είναι οι κυρίαρχες χώρες στην παραγωγή επιστημονικών εργασιών.

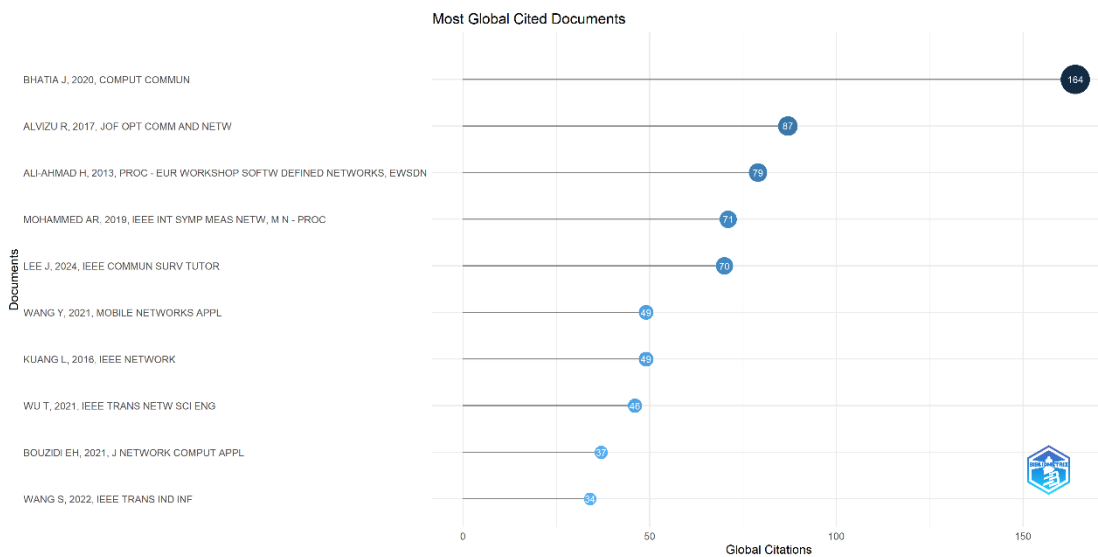


Διάγραμμα 4-12. Αναφορές ανά Χώρα

#### 4.7 Άρθρα με περισσότερες αναφορές

Στον κόσμο της βιβλιομετρίας τα έγγραφα με τις περισσότερες αναφορές παγκοσμίως αναφέρονται στις επιστημονικές δημοσιεύσεις ή έγγραφα τα οποία έχουν εισπράξει τον μεγαλύτερο αριθμό αναφορών. Αυτά τα άρθρα είναι σημαντικά για την σημασία και τη συμβολή τους στο τομέα που μελετάται, αποδεικνύοντας την αποδοχή της επιστημονικής κοινότητας σε συγκεκριμένες μεθοδολογίες και καινοτομίες. Στην ανάλυση που πραγματοποιήθηκε παρατηρείται ότι κατέχει συντριπτικά την πρώτη θέση η εργασία των Bhatia J.et.al(2020) με 164 αναφορές δημοσιευμένη στο περιοδικό Computer Communications. Στη συνέχεια, ακολουθεί η εργασία των Alvizu R. et al. (2017) με 87 αναφορές και η εργασία των Ali-Ahmad H. et. al. (2013) με 79 αναφορές. Ακόμη, σημαντική αναφορά αποτελεί ότι και οι εργασίες Mohammed AR. (2019) και Lee J. (2024) με 71 και 70 αναφορές αντίστοιχα που σημαίνει ότι εάν και είναι πρόσφατες δημοσιεύσεις έχουν κινήσει το επιστημονικό ενδιαφέρον των ερευνητών. Είναι αξιοσημείωτο να αναφερθεί ότι τις πρώτες δέκα θέσεις συμπληρώνουν μελέτες από

αξιόλογα περιοδικά όπως το IEEE Network και Mobile Networks Applications με το συνολικό αριθμό αναφορών να κυμαίνεται μεταξύ του 34 και 49.

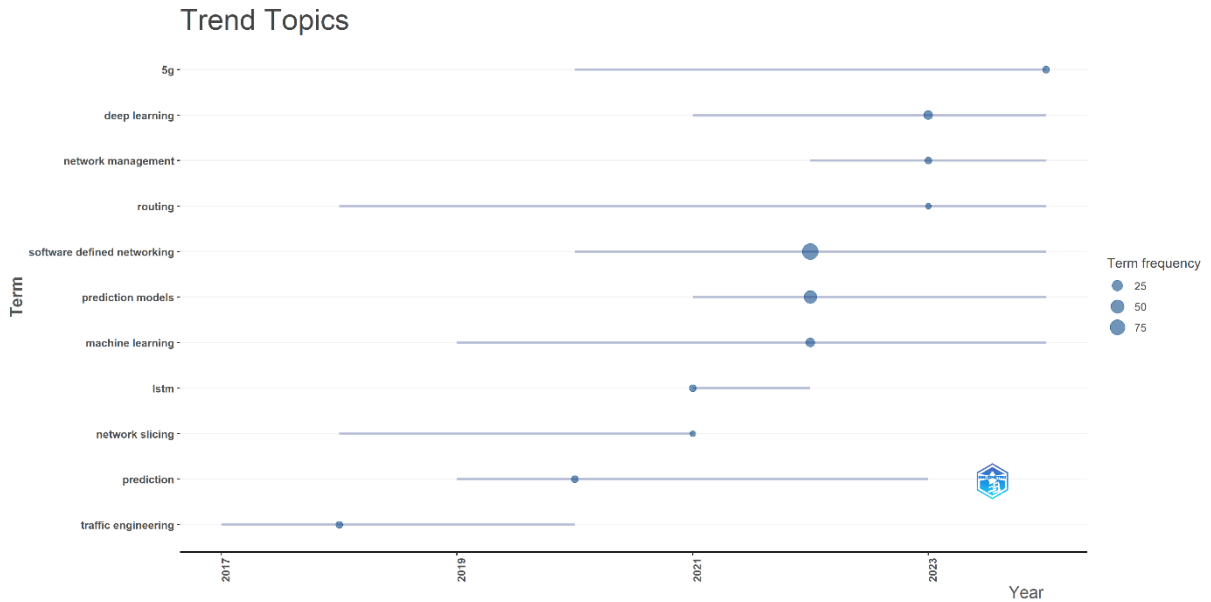


Διάγραμμα 4-13. Τα περισσότερα αναφερόμενα έγγραφα παγκόσμια

#### 4.8 Θέματα τάσεων βάσει των λέξεων-κλειδιών των συγγραφέων

Η εξέλιξη των θεμάτων μέσα στο χρόνο, όπως αυτή φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα 4-14, δείχνει ότι το επιστημονικό ενδιαφέρον έχει προσανατολιστεί προς την αυτοματοποιημένη νοημοσύνη και όχι στις παραδοσιακές λειτουργίες των δικτύων όπως παλαιότερα. Η ανάλυση των λέξεων-κλειδιών από τους συγγραφείς υποδεικνύει ότι ο επιστημονικός κόσμος κατευθύνονταν σε μεθοδευμένες κινήσεις μέσα στο χρόνο. Αρχικά, στην περίοδο 2017-2020 η έρευνα εστίαζε στο να επιλυθούν τα λειτουργικά προβλήματα μέσα στην αρχιτεκτονική SDN, δηλαδή την δρομολόγηση, την αρχιτεκτονική, τα πρωτόκολλα και την διαχείριση της κυκλοφορίας. Όμως παρόλο που η πρόβλεψη ξεκίνησε να εμφανίζεται το έτος 2019, τότε προσπαθούσαν να κατανοήσουν πως θα κάνουν την πρόβλεψη να βοηθήσει στη βασική λειτουργία οργάνωσης του δικτύου SDN. Στην περίοδο 2021-2022 υπήρξε η μετάβαση προς την “έξυπνη” εποχή. Τα δίκτυα οριζόμενα από λογισμικό τότε συνδέθηκαν πολύ στενά με την μηχανική μάθηση, ενώ κορυφώθηκε η χρήση των μοντέλων πρόβλεψης και της αρχιτεκτονικής LSTM. Επίσης, η κατάτμηση του δικτύου βοήθησε αυτά τα μοντέλα να προσαρμοστούν στις ανάγκες των δικτύων πέμπτης γενιάς. Τέλος, στην περίοδο 2023-2025, η έρευνα στρέφεται σε πιο εξειδικευμένες μεθόδους, όπως τα μοντέλα βαθιάς μάθησης και στη συνολική διαχείριση του δικτύου.

Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι η συνεχόμενη παρουσία του όρου 5G ως βασικού πεδίου εφαρμογής επιβεβαιώνει ότι η πρόβλεψη κυκλοφορίας ροής είναι εξαιρετικά σημαντική για να υποστηριχθούν τα τηλεπικοινωνιακά περιβάλλοντα.



Διάγραμμα 4-14. Θέματα Τάσεων

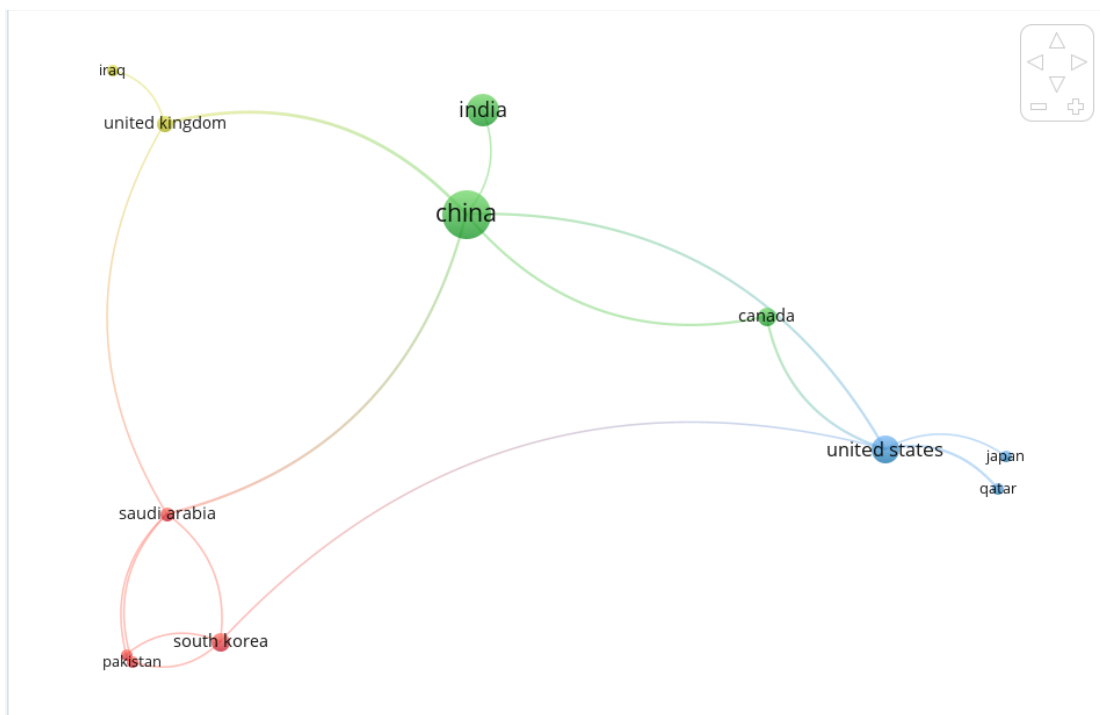
## 4.9 Ανάλυση συνεργασιών ( Co-Authorship)

Με την τεχνική ανάλυση συνεργασίας εξετάζεται η αλληλοσυσχέτιση μεταξύ των συγγραφέων, των εκπαιδευτικών ιδρυμάτων και των χωρών αποκαλύπτοντας πως δομείται η ερευνητική κοινότητα και οι συνεργασίες μεταξύ των οντοτήτων της. Σύμφωνα με τους Aria & Cuccurullo (2017), η επιστημονική χαρτογράφηση συνεισφέρει στη βαθύτερη κατανόηση του τρόπου με τον οποίο εξαπλώνεται ευρέως η γνώση και παράλληλα εμφανίζει τα δίκτυα ερευνών που προΐστανται των εξελίξεων σχετικά με τα δίκτυα οριζόμενα από λογισμικό.

### 4.9.1 Συνεργασία μεταξύ χωρών

Στην Εικόνα 4-1 αποτυπώνεται το δίκτυο συνεργασίας μεταξύ των χωρών που συνεργάστηκαν για την παραγωγή επιστημονικών δημοσιεύσεων στο πεδίο της πρόβλεψης ροών στα δίκτυα οριζόμενα από λογισμικό. Η απεικόνιση αποκαλύπτει την ισχυρή θέση της και ακολουθούν η Ινδία και οι Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής. Βέβαια η Ινδία φαίνεται να έχει μικρότερο αριθμό συνδέσεων με άλλες χώρες (χαμηλότερη

αλληλεπίδραση). Με βάση την χρωματική κωδικοποίηση (πράσινο, κόκκινο, κίτρινο, μπλε) διακρίνονται τέσσερις συστάδες. Η συστάδα με πράσινο χρώμα, έχει ως κεντρικό άξονα την Κίνα η οποία συνδέεται με Ινδία και Καναδά. Η χώρα του Καναδά λειτουργεί ως επιστημονική γέφυρα στα δύο ημισφαίρια. Η συστάδα με κόκκινο χρώμα περιλαμβάνει τρεις κύριους πόλους, την Κορέα, το Πακιστάν και τη Σαουδική Αραβία διαμορφώνοντας ένα ισχυρό δίκτυο. Η συστάδα, χρώματος κίτρινο και κύρια αποτελούμενη από τη χώρα του Ηνωμένου Βασιλείου, παρατηρείται ότι κρατάει ισχυρούς δεσμούς με τις χώρες της Μέσης Ανατολής και πιο συγκεκριμένα με το Ιράκ, αποδεικνύοντας τον ρόλο του στην παγκόσμια ακαδημαϊκή δικτύωση. Το γεγονός ότι στην χαρτογράφηση απουσιάζουν οι λιγότερο αναπτυγμένες χώρες, σηματοδοτεί την έλλειψη εξειδίκευσης αλλά και μειωμένης πρόσβασης σε προηγμένους ελεγκτές και υπολογιστικούς πόρους στην έρευνα της πρόβλεψης κυκλοφορίας ροής σε δίκτυα SDN, στοιχείο που αποδεικνύει ότι είναι προνόμιο των κρατών με ισχυρή οικονομία.



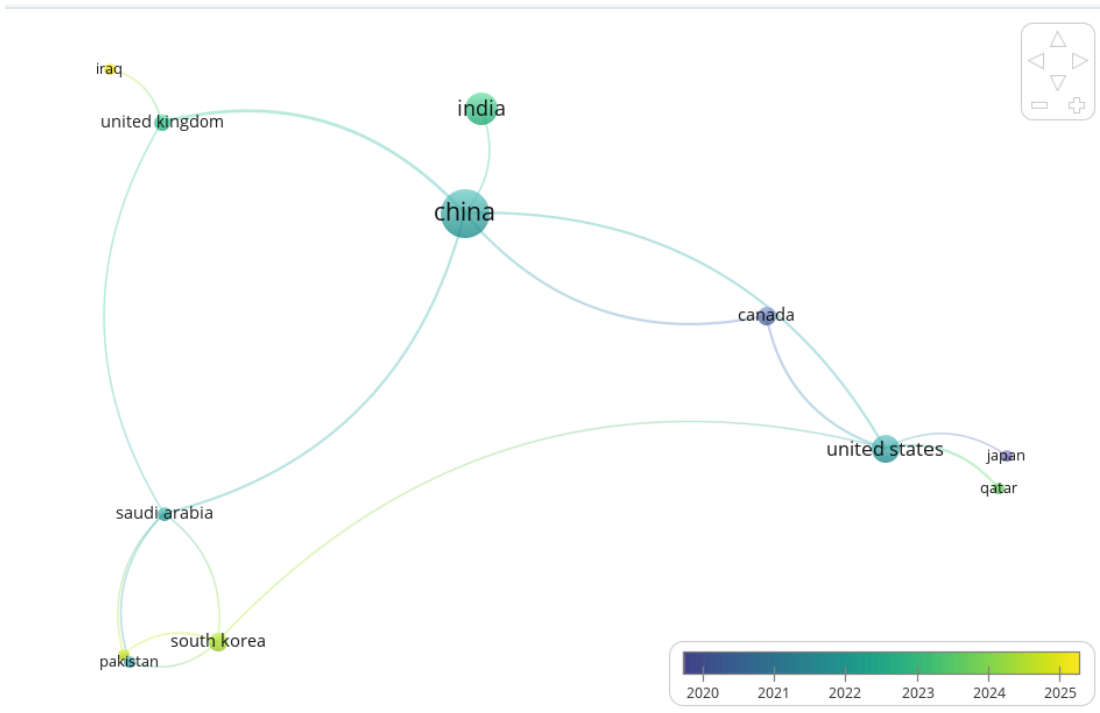
Εικόνα 4-1. Οπτικοποίηση Δικτύου Επιστημονικής Συνεργασίας

#### 4.9.2 Διαχρονική εξέλιξη συνεργασιών μεταξύ συγγραφέων

Με βάση την χρονική ανάλυση του δικτύου των επιστημονικών συνεργασιών καταλήγουμε στα εξής συμπεράσματα:

Χρονική περίοδος αρχές 2019-2021: Το μωβ χρώμα των συστάδων του Καναδά και της Ιαπωνίας αποδεικνύει την πρωτοπόρα ερευνητική τους είσοδο στο πεδίο της πρόβλεψης κυκλοφορίας ροών στα δίκτυα SDN. Ειδικότερα, γύρω στο έτος του 2020 ξεκινά η περίοδος που εξετάζεται η ερευνητική τους δραστηριότητα. Οι χώρες αυτές έθεσαν τις θεωρητικές βάσεις και τις πρώτες λύσεις στην αρχιτεκτονική του δικτύου για να ελέγξουν την ροή των δεδομένων. Χρονική περίοδος 2021-2022: Το σκούρο μπλε χρώμα των συστάδων των ΗΠΑ και της Κίνας σηματοδοτεί την περίοδο της παγκόσμιας εδραίωσης αυτού του πεδίου. Διαπιστώνεται ότι με την εμφάνιση αυτών των δύο χωρών μέσα σε αυτή τη χρονική εξέλιξη η έρευνα σχετικά με την πρόβλεψη κυκλοφορίας ροής σε SDN δίκτυα από το στάδιο του πειραματισμού πέρασε στον αντίποδα και κατάφερε να εδραιωθεί σε μια ευρεία επιστημονική παραγωγή και αναζήτηση βιομηχανικών εφαρμογών. Χρονική περίοδος 2022-2023: Σε αυτή την περίοδο υπάρχει το χρώμα πράσινο με μπλε των συστάδων των χωρών Ηνωμένο Βασίλειο, Ινδίας και Κατάρ. Σε αυτή τη χρονική περίοδο υπάρχει μια Διεθνής επέκταση με την είσοδο του Κατάρ να αποτελεί σημαντικό παράγοντα στην αρχική διείσδυση των αραβικών χωρών στις καινοτόμες τεχνολογίες των δικτύων. Χρονική περίοδος 2023-2024: Η Σαουδική Αραβία με την γαλάζια συστάδα είναι ο ενωτικός κρίκος ανάμεσα στις πρώτες προσπάθειες που έγιναν στην έρευνα και στα καίρια ζητήματα της τεχνολογίας. Χρονική περίοδος 2024-2025: Οι χρωματικές συστάδες πράσινες με κίτρινο των χωρών Πακιστάν, Νότια Κορέα και Ιράκ. Η απόχρωση αυτή μαρτυρά το δυναμικό προσκήνιο αυτών των χωρών σε προηγμένες ερευνητικές τάσεις και ανταπόκριση σε καινούριες προκλήσεις π.χ. η ενσωμάτωση των Deep Learning μοντέλων σε πραγματικές συνθήκες των δικτύων 5G/6G.

Εν κατακλείδι, από τη χρονική ανάλυση (Εικόνα 4-2) προκύπτει ότι το πεδίο της πρόβλεψης κυκλοφορίας ροής αναπτύσσεται στη Βόρεια Αμερική και την Ιαπωνία, συνέχισε με τους πρωτοπόρους Κίνα και Ηνωμένες Πολιτείες και πλέον η δυναμική της έχει μετατοπισθεί σε χώρες της Ασίας και της Μέσης Ανατολής, οι οποίες τώρα έχουν μπει σε ρυθμό ανάπτυξης για πιο σύγχρονες εφαρμογές.



Εικόνα 4-2. Χρονική ανάλυση δικτύου συνεργασίας

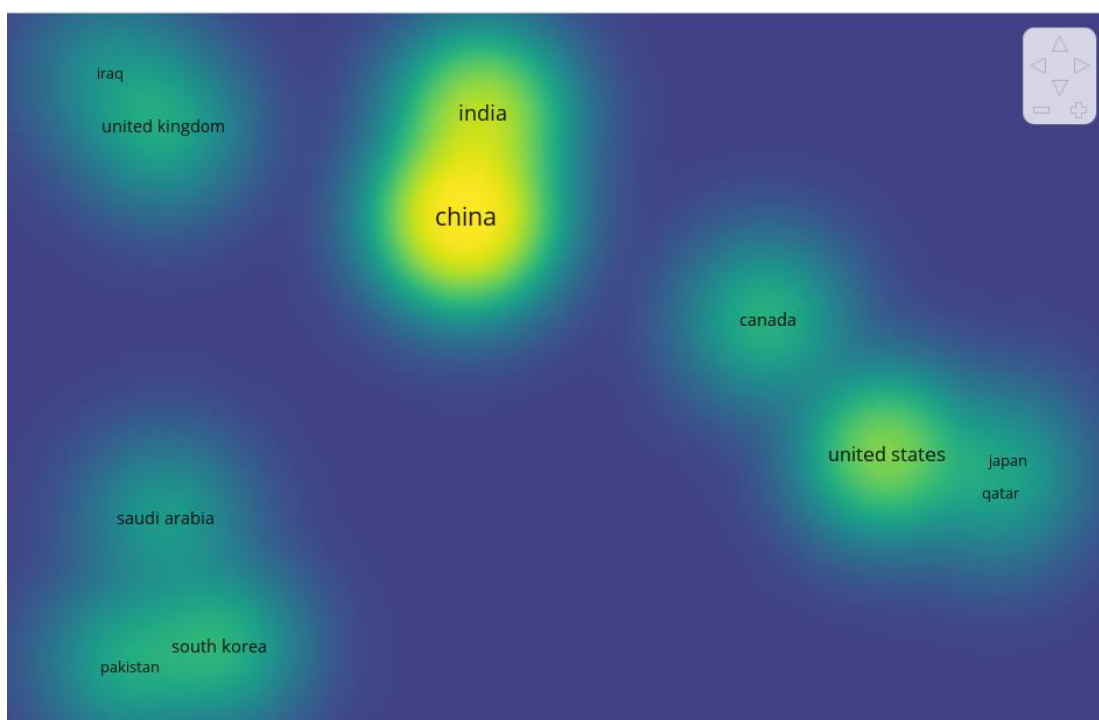
#### 4.9.3 Ανάλυση της πυκνότητας δικτύου

Στην ανάλυση πυκνότητας του δικτύου (Εικόνα 4-3) φαίνεται η συνολική όψη των πιο θερμών σημείων του εξεταζόμενου πεδίου της πρόβλεψης κυκλοφορίας ροής σε δίκτυα SDN παγκοσμίως. Σε αυτό το χάρτη η πυκνότητα καθορίζεται από τον αριθμό που κατέχουν οι δημοσιεύσεις της κάθε χώρας αλλά και της δυναμικής των μεταξύ τους διασυνδέσεων.

Το πιο θερμό σημείο κατέχουν οι χώρες της Κίνας και της Ινδίας, οι οποίες φαίνονται ότι έχουν και την υψηλότερη πυκνότητα. Αυτό είναι ένα σημάδι που δείχνει ότι ο κεντρικός ασιατικός άξονας είναι το πιο πυκνοκατοικημένο πεδίο της έρευνας, συγκεντρώνοντας το μεγαλύτερο επιστημονικό έργο καθώς και την πιο στενή συνεργασία μεταξύ των ερευνητικών ιδρυμάτων. Την επόμενη φωτεινή συστάδα καταλαμβάνουν οι Ηνωμένες

Πολιτείες της Αμερικής και περιβάλλονται από τις χώρες του Καναδά, Ιαπωνίας και Κατάρ. Λόγω της υψηλής πυκνότητας και εδώ υπάρχει σταθερή και δυνατή παρουσία της Δύσης, διατηρώντας ένα στιβαρό επιστημονικό δίκτυο συνεργασιών.

Κλείνοντας, με την πυκνότητα του δικτύου η συστάδα του Ηνωμένου Βασιλείου που συνδέεται με το Ιράκ αλλά και η συστάδα της Σαουδικής Αραβίας που συνδέεται με το Πακιστάν και τη Νότια Κορέα κατέχουν πιο χαμηλή αλλά εξίσου διακριτή πυκνότητα. Αν και κατέχει μικρότερη πυκνότητα συγκριτικά με τις υπόλοιπες συστάδες και κυρίως με την συστάδα της Κίνας, επιβεβαιώνει το γεγονός ότι αποτελούν αναδυόμενες τάσεις του πεδίου. Τελικώς καταλήγουμε στο συμπέρασμα μέσω της χαρτογράφησης πυκνότητας ότι η έρευνα δεν μοιράζεται ομοιόμορφα και υπάρχει μια σαφής πόλωση περιτριγυρισμένη από τη Κίνα και τις ΗΠΑ, αποδεικνύοντας για άλλη μια φορά τη βαρύτητα αυτών των χωρών στην έρευνα αυτού του επιστημονικού πεδίου.



Εικόνα 4-3. Ανάλυση πυκνότητας συνεργασίας

## 4.10 Ανάλυση συνύπαρξης λέξεων-κλειδιών

### 4.10.1 Επιστημονική χαρτογράφηση

Με την επιστημονική χαρτογράφηση αποτυπώνεται το πλαίσιο και η εξέλιξη του επιστημονικού πεδίου. Επιστρατεύοντας συγκεκριμένα λογισμικά, παράγονται οπτικοποιήσεις, όπου πραγματοποιούν την ένωση διαφορετικών θεματικών στην έρευνα

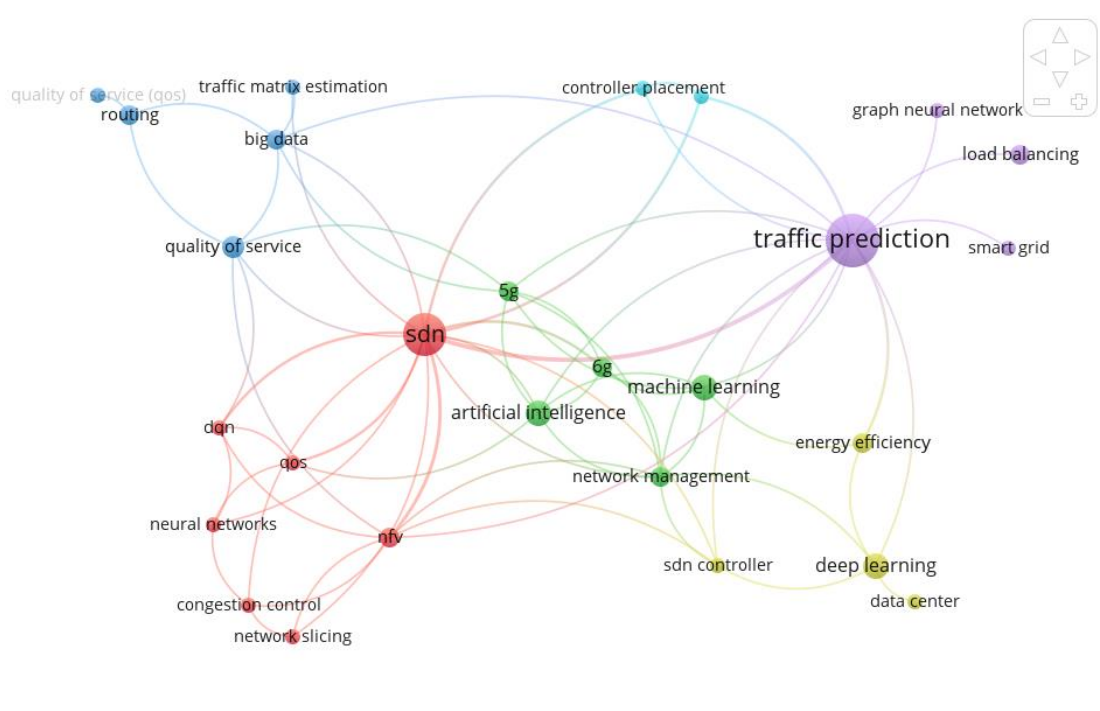
και αναδεικνύονται επίκαιρα θέματα που απασχολούν την επιστημονική κοινότητα τα τελευταία χρόνια, όπως για παράδειγμα η χρήση μοντέλων Transformer για να αναλυθούν τα δεδομένα δικτύου (Rao et al., 2024).

#### **4.10.2 Χαρτογράφηση των λέξεων-κλειδιών**

Η χαρτογράφηση των λέξεων-κλειδιών (Εικόνα 4-4), αποκαλύπτει πέντε κύριες θεματικές συστάδες, οι οποίες αναλύονται παρακάτω:

Συστάδα 1 (κόκκινο χρώμα): Σε αυτή τη συστάδα αναλύεται η αρχιτεκτονική βάση του δικτύου. Στον κεντρικό άξονα βρίσκεται ο όρος του SDN ο οποίος συνδέεται πολύ καλά με το NFV(Network Function Virtualization) και τη συστάδα του QOS(Quality of Service). Στην κόκκινη συστάδα προβάλλονται οι κύριες δικτυακές υποδομές όπου η διαχείριση της κυκλοφορίας αποτελεί σημαντικό κίνητρο για την εγγύηση της ποιότητας των υπηρεσιών. Ωστόσο, ο όρος του SDN εκτός από την βασική υποδομή, συντελεί ως γεφύρωση για την αξιοποίηση των ευφυών αλγορίθμων. Υπάρχει μια εμφανή σύνδεση με την συστάδα του DQN (Deep Q-Network) και δείχνει ότι η αρχιτεκτονική του SDN κατέχει το στοιχειώδες υπόβαθρο για τους αλγορίθμους ενισχυτικής μάθησης, όπως το DQN, να παίρνουν αποφάσεις για τη δρομολόγηση αλλά και την διαχείριση των πόρων σε πραγματικό χρόνο. Συστάδα 2 (πράσινο χρώμα): Σε αυτή τη συστάδα όπως φαίνεται και στην εικόνα 4-4, επικρατεί η τεχνητή νοημοσύνη (Artificial Intelligence) και η μηχανική μάθηση (Machine Learning). Η πρόβλεψη κυκλοφορίας ροής βασίζεται σε έξυπνους αλγόριθμους οι οποίοι αλληλεπιδρούν με τα δίκτυα 5G και 6G, στοχεύοντας στην αυτοματοποιημένη διαχείριση του δικτύου. Η συνύπαρξη αυτών των δύο όρων μας δείχνουν τη στροφή προς τα δίκτυα επόμενης γενιάς, όπου εκεί λαμβάνονται δυναμικά οι αποφάσεις για να βελτιστοποιήσουν τους πόρους σε πραγματικό χρόνο, καταφέροντας να μειωθεί όσο περισσότερο η ανθρώπινη παρέμβαση. Συστάδα 3 (Μωβ Χρώμα): Σε αυτή τη συστάδα, ο κόμβος της πρόβλεψης κυκλοφορίας ροής (Traffic Prediction) αναδύεται ως ένας από τους βασικούς και συμπαγείς κόμβους δικτύου αποτελώντας το βασικό στήριγμα της έρευνας. Από την εικόνα 4-4 φαίνεται ότι υπάρχει μια στενή σύνδεση με τα εξελιγμένα μοντέλα αλγορίθμου Graph Neural Networks (GNNs), τα οποία αντιλαμβάνονται καλύτερα τη συνολική δομή και τις πολύπλοκες διασυνδέσεις στο δίκτυο, καταφέροντας μεγαλύτερη ακρίβεια στις προβλέψεις της κυκλοφορίας. Σε αυτό βοηθά η εξισορρόπηση φορτίου που επιτρέπει στο σύστημα να κατανέμει έξυπνα την κίνηση του δικτύου και να μην υπάρχουν υπερφορτώσεις. Συγχρόνως, ο κόμβος με τον όρο Smart Grid στην ίδια συστάδα είναι εξίσου σημαντικός, διότι επαληθεύει ότι οι τεχνολογίες SDN και οι

αλγόριθμοι πρόβλεψης κυκλοφορίας ροής διευρύνονται πέρα από τα τηλεπικοινωνιακά δίκτυα και συνεισφέρουν σε μια πιο ασφαλή και αποδοτική διαχείριση των σύγχρονων δικτύων στην ηλεκτρική ενέργεια. Συνεπώς, η μωβ συστάδα χρησιμεύει πρακτικά στην πρόβλεψη κυκλοφορίας ροής για να ληφθούν αποφάσεις σε κρίσιμες υποδομές. Συστάδα 4 (Κίτρινο Χρώμα): Σε αυτή τη συστάδα ο κεντρικός κόμβος αφορά την βαθιά μάθηση (Deep Learning) και συνδέεται με τον κόμβο του κεντρικού ελεγκτή του δικτύου (SDN controller). Ο ελεγκτής φαίνεται ότι χρησιμοποιεί πιο προηγμένα νευρωνικά δίκτυα για να λαμβάνει έξυπνες αποφάσεις στον τρέχοντα χρόνο. Βασικός στόχος αυτής της συνεργασίας μεταξύ της βαθιάς μάθησης και του κεντρικού ελεγκτή είναι η ενεργειακή αποδοτικότητα, που φαίνεται από τον κόμβο του όρου Energy Efficiency. Η έρευνα επικεντρώνεται στο πως ο κεντρικός ελεγκτής χρησιμοποιεί την Βαθιά μάθηση για να διαχειρίζεται τα μεγάλα κέντρα δεδομένων με τέτοιο τρόπο ώστε να επιτευχθεί η λιγότερο δυνατή ενεργειακή κατανάλωση. Συμπερασματικά, με αυτό τον τρόπο οδηγούμαστε στην καλύτερη βελτιστοποίηση των πόρων και στη μείωση της ενέργειας, καθιστώντας τις δικτυακές υποδομές πιο αποδοτικές. Συστάδα 5 ( Μπλε χρώμα): Σε αυτή τη συστάδα ο κεντρικός κόμβος αφορά την ποιότητα υπηρεσιών (Quality of Service), η οποία συνδέεται με τον κόμβο του όρου των μεγάλων δεδομένων (Big Data) και τον κόμβο του πίνακα εκτίμησης κυκλοφορίας (Traffic Matrix Estimation). Τα μεγάλα δεδομένα είναι η βάση για να μπορούν να εκπαιδευτούν οι αλγόριθμοι των μοντέλων πρόβλεψης κυκλοφορίας ροής γιατί προσφέρουν τον απαραίτητο όγκο της πληροφορίας. Από τον πίνακα εκτίμησης της κυκλοφορίας αλλά και μέσω της δρομολόγησης ελέγχεται πλήρως η διαδρομή που πραγματοποιούν τα πακέτα δεδομένων. Πιο συγκεκριμένα, το σύστημα αναλύει πόση κίνηση συναντούν τα δεδομένα στη διαδρομή τους, σε τι χρόνο και ως προς ποια κατεύθυνση ακολουθούν. Έτσι, εξασφαλίζεται ότι η ροή των πακέτων θα ακολουθήσει την πιο αποδοτική κατεύθυνση για να διατηρήσει το μέγιστο επίπεδο των υπηρεσιών που παρέχει. Συστάδα 6 (Γαλάζιο Χρώμα): Σε αυτή τη συστάδα ο κεντρικός κόμβος αφορά τον ελεγκτή του δικτύου και την τοποθέτησή του (Placement). Οι κόμβοι των δυο αυτών όρων είναι σημαντικοί γιατί παρουσιάζουν σε ποια θέση ακριβώς τοποθετείται ο ελεγκτής μέσα στο δίκτυο. Η σωστή τοποθέτηση του ελεγκτή στο δίκτυο βοηθά στην γρήγορη επικοινωνία με τα υπόλοιπα σημεία για μείωση των καθυστερήσεων. Επίσης, η κατάλληλη τοποθέτηση συμπληρώνει την πρόβλεψη κυκλοφορίας ροής γιατί οι αποφάσεις που λαμβάνονται από τους αλγόριθμους μεταφέρονται αυτόματα στο δίκτυο. Η συγκεκριμένη συστάδα εξασφαλίζει ότι το δίκτυο παραμένει ανταποκρίσιμο ακόμα και σε μεγάλες πιεστικές καταστάσεις.

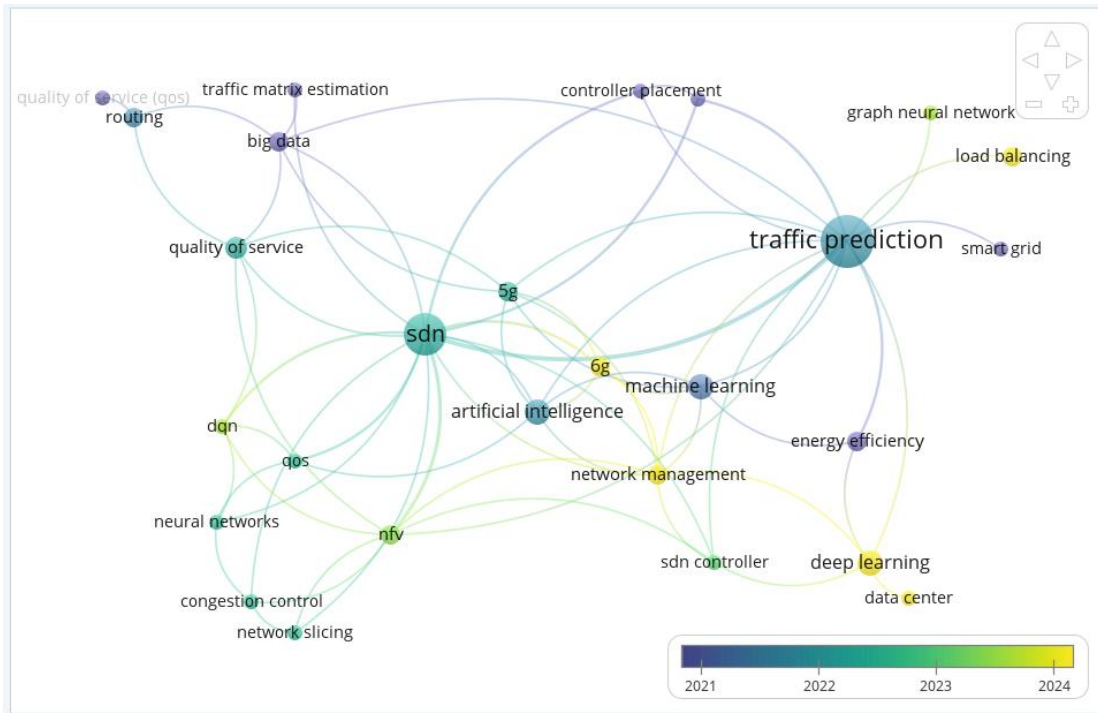


Εικόνα 4-4. Οπτικοποίηση δικτύου συνύπαρξης λέξεων-κλειδίων

#### 4.10.3 Χρονική εξέλιξη των ερευνητικών τάσεων (Overlay Visualization)

Στην χρονική εξέλιξη των λέξεων-κλειδίων μελετάται η πορεία της επιστημονικής έρευνας από το χρονικό έτος 2021 έως 2024 όπως απεικονίζεται στην εικόνα 4-5. Στην αρχή του 2021, χρώματος μωβ βλέπουμε ότι η προσοχή επικεντρώθηκε σε βασικά αλλά απαραίτητα θέματα που αφορούν τα δίκτυα όπως ο υπολογισμός της κυκλοφορίας των δεδομένων μέσω του πίνακα εκτίμησης, τα μεγάλα δεδομένα και την κατάλληλη τοποθέτηση του ελεγκτή. Ταυτόχρονα, προετοιμάστηκε το υπόβαθρο για την ενεργειακή αποδοτικότητα και τα έξυπνα δίκτυα, την ίδια στιγμή που αναδύθηκε η μηχανική μάθηση ως το κύριο εργαλείο ανάλυσης. Περνώντας στην επόμενη χρονική περίοδο που είναι το έτος 2022 (μπλέ χρώμα), η έρευνα εδραιώθηκε και κατευθύνθηκε σε πιο προηγμένες τεχνολογίες. Σε αυτή τη φάση, το ενδιαφέρον επικεντρώθηκε προς τις ποιότητες των υπηρεσιών, την αρχιτεκτονική του SDN, τα δίκτυα 5G και την καθολική χρήση της τεχνητής νοημοσύνης και των νευρωνικών δικτύων για να ελέγχεται καλύτερα η συμφόρηση και η κατάτμηση του δικτύου, μετατρέποντας την πρόβλεψη κυκλοφορίας ροής σε συνεκτικό ιστό αυτής της περιόδου.

Προχωρώντας, στο έτος 2023 (πράσινο χρώμα) η έρευνα στρέφεται σε πιο εξειδικευμένα μοντέλα αλλά και στην αυτοματοποίηση. Ολοκληρώνοντας, την χρονική εξέλιξη της έρευνας η οποία κλιμακώνεται στο έτος 2024 (κίτρινο χρώμα), εκεί όπου οι ερευνητικές τάσεις βρίσκονται στην πρωτοπορία των τεχνολογικών εξελίξεων. Τα 6G ως τα δίκτυα επόμενης γενιάς αποτελούμενα από την πλήρη ανάγκη της διαχείρισης αλλά και της εξισορρόπησης του δικτύου. Και τέλος, η αξιοποίηση της κυριαρχίας της βαθιάς μάθησης για την βελτιστοποίηση των τωρινών κέντρων δεδομένων.



Εικόνα 4-5. Χρονική απεικόνιση των λέξεων-κλειδιών

#### 4.10.4 Ανάλυση της πυκνότητας των όρων (Density Visualization)

Με την ανάλυση πυκνότητας των όρων φτάνουμε στο τελική σύνοψη των οπτικοποιήσεων λέξεων-κλειδιών, αναδύοντας ποια θέματα αποτελούν τον κεντρικό πυρήνα της έρευνας. Στην παρακάτω εικόνα 4-6, η φωτεινότητα του θερμικού χάρτη δεν υποδηλώνει απλά μια νέα τάση στη τεχνολογία αλλά που συγκεντρώνεται ο όγκος των δημοσιεύσεων. Σύμφωνα με την εικόνα 4-6, πολύ έντονη φωτεινότητα υπάρχει στο SDN και στο Traffic Prediction. Αυτοί οι δύο κόμβοι που φαίνεται να είναι αναμφίβολα οι κυρίαρχοι συνδέουν και όλες τις υπόλοιπες υποκατηγορίες. Επίσης, σύμφωνα με τον θερμικό χάρτη διακρίνεται και στην μηχανική μάθηση υψηλή πυκνότητα που σημαίνει ότι το κομμάτι της τεχνητής

νοημοσύνης δεν είναι σε στάδιο πειραματισμού καθώς φαίνεται να έχει καθιερωθεί πρακτικά στον κόσμο των δικτύων. Σε αντίθετη περίπτωση, οι περιοχές που είναι λιγότερο φωτεινές σχετικά με τις άλλες που αν και υπάρχει εξειδίκευση στο πεδίο, ωστόσο ακόμα δεν διαθέτουν την ίδια μάζα ερευνητικής διάθεσης. Τέλος, καταλήγουμε στο εξής συμπέρασμα ότι ο θερμικός χάρτης αναδεικνύει ένα πολύ ειδικό και ‘πυκνό’ άξονα που είναι η σωστή διαχείριση της κυκλοφορίας μέσω του αυτοματισμού και των ευφυών συστημάτων στα δίκτυα οριζόμενα από λογισμικό.

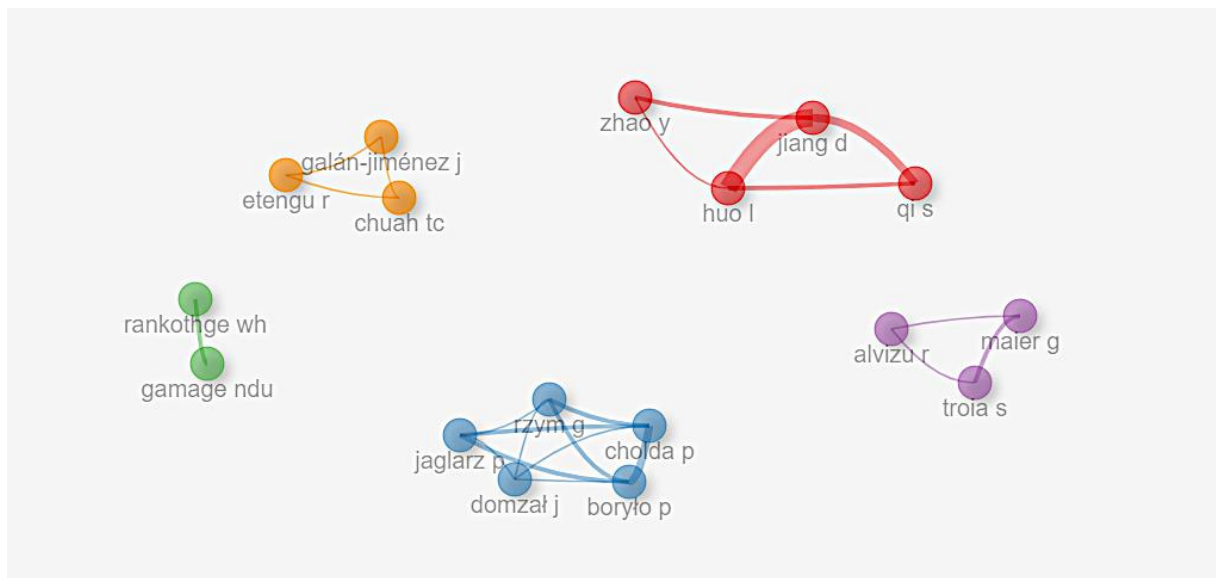


Εικόνα 4-6. Ανάλυση της πυκνότητας των λέξεων-κλειδιών

#### 4.11 Ανάλυση Συν συγγραφέων

Το δίκτυο Συν-συγγραφέων συνιστά μια οπτική αναπαράσταση των συνεργασιών μεταξύ των συγγραφέων στο συγκεκριμένο επιστημονικό ή ακαδημαϊκό πεδίο έρευνας. Οι κόμβοι του δικτύου αντιπροσωπεύουν τους συγγραφείς ενώ οι ακμές, δηλαδή οι γραμμές μεταξύ των κόμβων υποδεικνύουν τις κοινές δημοσιεύσεις μεταξύ των συγγραφέων. Το δίκτυο αυτό είναι πολύ σημαντικό γιατί βοηθά στην κατανόηση της κοινωνικής δομής στο αντίστοιχο πεδίο διότι εντοπίζει τους πιο επιδραστικούς συγγραφείς ή ερευνητές. Στην εικόνα 4-7 φαίνεται το δίκτυο συνεργασίας για τους 17 κορυφαίους συγγραφείς στο πεδίο που μελετάται. Για να ομαδοποιηθούν οι συγγραφείς χρησιμοποιήθηκε ο αλγόριθμος

Louvain, ο οποίος εντόπισε 6 βασικές συστάδες και καθεμία από αυτές απεικονίζεται με άλλο χρώμα. Παρατηρείται ότι η πιο σημαντική ομάδα συνεργασίας είναι η κόκκινη συστάδα με τους συγγραφείς Jiang D. και Huo L. να δείχνουν υψηλή παραγωγικότητα στο πεδίο. Η μπλε συστάδα με τους συγγραφείς Borylo P., Cholda P., Jaglarz P., Domzal J. και Rzym G. παρουσιάζει μια ομάδα με συνεκτικότητα και πολλές εσωτερικές διασυνδέσεις ενώ αντίστοιχα η πορτοκαλί συστάδα με τους συγγραφείς Galan-Jimenez J., Etengu R., Chuah T.C. και η μωβ συστάδα με τους συγγραφείς Maier G., Troia S., Alvizu R., αποτελούν τις σταθερές συνεργασίες μεταξύ τους. Συνολικά, στη δομή του δικτύου συν-συγγραφέων παρατηρείται μια απομόνωση μεταξύ των ερευνητικών ομάδων χωρίς να τους συνδέει καποιος κρίκος. Αυτό συμβαίνει γιατί οι τομείς που μελετώνται είναι πιο εξειδικευμένοι και απ' ότι δείχνει η εικόνα 4-7 οι επιστήμονες συνεργάζονται πιο στενά μεταξύ τους και περιορίζονται στην ανταλλαγή της γνώση τους.



Εικόνα 4-7. Ανάλυση δικτύου Συν-Συγγραφέων

#### 4.11.1 Ανάλυση δικτύου συν αναφορών

Με την τεχνική ανάλυσης συν-αναφορών πραγματοποιείται η διασύνδεση δύο ή περισσότερων πόρων (άρθρα, συγγραφείς, περιοδικά) στη βιβλιογραφία, αποκαλύπτοντας τις αλληλοσυνδέσεις και τις συσχετίσεις. Με αυτή τη τεχνική αναγνωρίζονται σημαντικά έργα σχετικά με την έρευνα για τα δίκτυα οριζόμενα από λογισμικό.

Στον παρακάτω πίνακα παρατηρούμε ότι η δομή του δικτύου οργανώνεται γύρω από βασικά άρθρα με το πιο σημαντικό άρθρο να είναι αυτό του Xie Junfeng (2019). Έχει την πιο υψηλή κεντρικότητα διαμέσου (77) και PageRank (0,069) που σημαίνει ότι είναι ο σημαντικότερος κόμβος. Αυτό το άρθρο που αφορά την μηχανική μάθηση στα SDN δίκτυα λειτουργεί ως το βασικό σημείο που συνδέει διάφορες ερευνητικές ομάδες. Σχετικά με τις συστάδες, η θεματική οργάνωση του πεδίου μας δείχνει ότι τα δεδομένα της έρευνας συνδέονται μεταξύ τους. Αναφορικά, η συστάδα 1 εστιάζει στις σύγχρονες εφαρμογές μηχανική μάθησης για την κυκλοφοριακή πρόβλεψη (Azzouni, Zhao) σε αντίθεση με τη συστάδα 2 που εστιάζει στο θεωρητικό κομμάτι και την αρχιτεκτονική των SDN δικτύων με τους θεμελιώδεις αλγορίθμους βαθιάς μάθησης, όπως είναι τα δίκτυα με την μακροπρόθεσμη-βραχυπρόθεσμη μνήμη του Hochreiter (1997). Επίσης, παρατηρούμε ότι στις συστάδες 3 και 4, με τις εργασίες των McKeown (2008) και Xia (2015) έχει καθιερωθεί το OpenFlow και οι πρώτες ολοκληρωμένες έρευνες. Βλέπουμε ότι σε αυτά τα άρθρα υπάρχει υψηλή κεντρικότητα γιατί προσφέρουν την καταλληλότερη βάση για να κατανοηθεί καλύτερη η δρομολόγηση και η διαχείριση της κίνησης, γεγονός που εκμεταλλεύτηκαν αργότερα άλλοι ερευνητές για τις δικές τους έρευνες. Από τις συστάδες 5 έως 9, μελέτες όπως των Ali (2018) και Borylo (2016/2018) εμφανίζουν αρκετά σημαντικό ενδιαφέρον. Παρόλη τη μηδενική κεντρικότητα που έχουν και αυτό γιατί είναι οι τελικοί αποδέκτες της γνώσης και όχι οι ενδιάμεσοι κόμβοι, ωστόσο παρατηρείται ότι έχουν υψηλή κεντρικότητα εγγύτητας (0,407). Οι μελέτες αυτές αφορούν πιο εξειδικευμένα πεδία και ενσωματώνουν με ταχύτατο ρυθμό όλες τις νέες τάσεις της τεχνολογίας. Συμπεραίνουμε ότι, οι μελέτες επισκόπησης είναι οι κόμβοι που επιδρούν περισσότερο στους ερευνητές. Οι τάσεις πλέον εστιάζουν σε πιο εξειδικευμένα μοντέλα για να προβλέψουν την κίνηση και την ενεργειακή αποδοτικότητα των υποδομών των δικτύων.

Συγγραφείς/εργασία	Cluster	Betweenness	Closeness	PageRank
xie junfeng a survey of machine learning techniques applied to software defined networking (sdn).	1	77	0,02	0,069

azzouni abdelhadi neutm: a neural network-based framework for traffic matrix prediction in sdn iee/ifip network operations and management symposium: cognitive management in a cyber world noms 2018 pp. 2018	1	14	0,013	0,043
zhao yanling a survey of networking applications applying the software defined networking concept based on machine learning iee access 7 pp. 2019	1	0	0,012	0,026
lange stanislav heuristic approaches to the controller placement problem in large scale sdn networks iee transactions on network and service management 12 1 pp. 2015	1	0	0,012	0,019
bermolén paola support vector regression for link load prediction computer networks 53 2 pp. 2009	1	0	0,09	0,02
kreutz diego luis software-defined networking: a comprehensive survey proceedings of the iee 103 1 pp. 2015	2	36	0,019	0,031
hochreiter sepp long short-term memory neural computation 9 8 pp. 1997	2	6,5	0,013	0,042
benson theophilus a. 2011	2	0	0,009	0,029
curtis andrew r. 2011	2	6,5	0,013	0,042
mckeown nick w. 2008	3	36	0,016	0,035
applegate david l. 2003	3	0	0,011	0,039
wang ning an overview of routing optimization for internet traffic engineering iee communications surveys and tutorials 10 1 pp. 2008	3	0	0,011	0,039
antić marija two phase load balanced routing using ospf iee journal on selected areas in communications 28 1 pp. 2010	3	0	0,011	0,034
hu fei a survey on software-defined network and openflow: from concept to implementation iee communications surveys and tutorials 16 4 pp. 2014	4	0	0,014	0,033
xia wenfeng a survey on software-defined networking iee communications surveys and tutorials 17 1 pp. 2015	4	54	0,02	0,035

nunes bruno astuto arouche a survey of software-defined networking: past present and future of programmable networks ieee communications surveys and tutorials 16 3 pp. 2014	4	44	0,016	0,035
a long short term memory recurrent neural network framework for network traffic matrix prediction (2017). 2017	5	0	0,136	0,036
boutaba raouf a comprehensive survey on machine learning for networking: evolution applications and research opportunities journal of internet services and applications 9 1 (2018). 2018	5	0	0,136	0,036
barabas melinda evaluation of network traffic prediction based on neural networks with multi-task learning and multiresolution decomposition proceedings - 2011 ieee 7th international conference on intelligent computer communication and processing iccp 2011 pp. 2011	5	0	0,136	0,036
bouzidi el hocine online-based learning for predictive network latency in software-defined networks proceedings - ieee global communications conference globecom (2018). 2018	5	0	0,136	0,036
ali ihsan m. 2018	6	0	0,407	0,036
memos vasilios a. choudhury gagan lal two use cases of machine learning for sdn-enabled ip/optical networks: traffic matrix prediction and optical path performance prediction invited journal of optical communications and networking 10 10 pp. 2018	6 7	0 0	0,407 0,407	0,036 0,036
birk martin evolving to an sdn-enabled isp backbone: key technologies and applications ieee communications magazine 54 10 pp. 2016	7	0	0,407	0,036
sakir sezer sakir are we ready for sdn? implementation challenges for software-defined networks ieee communications magazine 51 7 pp. 2013	8	0	0,407	0,036

al-najjar anees pushing sdn to the end-host network load balancing using openflow 2016 ieee international conference on pervasive computing and communication workshops percom workshops 2016 (2016). 2016	8	0	0,407	0,036
boryło piotr green cloud provisioning throughout cooperation of a wdm wide area network and a hybrid power it infrastructure: a study on cooperation models journal of grid computing 14 1 pp. 2016	9	0	0,407	0,036
boryło piotr survivable automatic hidden bypasses in software-defined networks computer networks 133 pp. 2018	9	0	0,407	0,036

## 5. Ανάλυση περιεχομένου

### 5.1 Εισαγωγή

Στην ενότητα αυτή, παρουσιάζουμε την ανάλυση περιεχομένου των 158 εγγράφων, τα οποία εξετάστηκαν στην συστηματική βιβλιογραφική ανασκόπηση. Η ανάλυση είναι βασισμένη σε συγκεκριμένα τεχνικά και μεθοδολογικά χαρακτηριστικά τα οποία εντοπίστηκαν στα άρθρα που συλλέχθηκαν από τις βάσεις δεδομένων που χρησιμοποιήσαμε το Scopus και Google Scholar. Σκοπός της ενότητας αυτής είναι να αναδείξει τις λεπτομέρειες της αρχιτεκτονικής SDN καθώς και των μοντέλων πρόβλεψης της κυκλοφορίας ροής, όπως αυτές αποτυπώνονται στην ερευνητική βιβλιογραφία κατά την χρονική περίοδο 2013-2025. Η ενσωμάτωση της τεχνητής νοημοσύνης στα δίκτυα οριζόμενα από λογισμικό κατευθύνεται στη δημιουργία των έξυπνων δικτύων. Με την μελέτη των Ospina-Cifuentes et al. (2024), αναδεικνύεται ότι η χρήση της τεχνητής νοημοσύνης βοηθά το δίκτυο να αυτόπροσαρμόζεται και να λαμβάνει αποφάσεις σε πραγματικό χρόνο και να μετατρέπει την πρόβλεψη της κυκλοφορίας ροής σε ένα βασικό εργαλείο αυτοματοποίησης της διαχείρισης και βελτιστοποίησης των πόρων.

### 5.2 Προσέγγιση και τύποι μελετών

Από την ανάλυση της βιβλιογραφίας αναδεικνύεται ένα τοπίο μοιρασμένο ανάμεσα σε πειραματικές εφαρμογές, αρχιτεκτονικές προσεγγίσεις και ολοκληρωμένες βιβλιογραφικές ανασκοπήσεις. Η έρευνα στα δίκτυα οριζόμενα από λογισμικό δε βασίζεται μόνο στη θεωρία αλλά εφαρμόζεται πρακτικά και επιλύει τα πραγματικά προβλήματα που αντιμετωπίζει η δικτύωση. Οι μελέτες έχουν χωριστεί σε τρεις κατηγορίες τις πειραματικές, θεωρητικές και αρχιτεκτονικές μελέτες και τέλος τις ανασκοπήσεις.

- **Πειραματικές Μελέτες:** Είναι οι μελέτες που κατέχουν το μεγαλύτερο κομμάτι του δείγματος και οι ερευνητές χρησιμοποιούν περιβάλλοντα προσομοίωσης π.χ. Mininet ή πραγματικά testbeds για μεγαλύτερη ακρίβεια στα μοντέλα πρόβλεψης.
- **Θεωρητικές και Αρχιτεκτονικές Μελέτες:** Κατευθύνονται προς τον ανασχεδιασμό του επιπέδου ελέγχου και εισάγουν νέες διεπαφές για να καταφέρουν να ενσωματώσουν τους ευφυείς αλγορίθμους.

- **Ανασκοπήσεις:** Αυτές οι ανασκοπήσεις ήταν ο πυρήνας για να καταφέρουμε να προσεγγίσουμε με καλύτερο τρόπο μεθοδολογικά τις προκλήσεις που αντιμετωπίζει η πρόβλεψη κυκλοφορίας ροής σε δυναμικά περιβάλλοντα των δικτύων οριζόμενων από λογισμικό.

### **5.3 Μέθοδοι πρόβλεψης κυκλοφορίας ροής**

Η πρόβλεψη της κυκλοφορίας ροής στα δίκτυα οριζόμενα από λογισμικό αποτελεί κάτι πιο σύνθετο καθώς αναλύει έναν πολύ μεγάλο όγκο δεδομένων σε πραγματικό χρόνο στον οποίο λαμβάνονται οι αποφάσεις για την δρομολόγηση των πακέτων. Στην βιβλιογραφική ανασκόπηση των 158 εγγράφων που πραγματοποιήθηκε διακρίνεται μια πορεία στην ιεραρχία των εξελίξεων σχετικά με τις μεθόδους που αναδεικνύονται και οι οποίες χωρίζονται σε κατηγορίες σύμφωνα με την μαθηματική τους προσέγγιση αλλά και την υπολογιστική τους ικανότητα.

#### **5.3.1 Στατιστικές Μέθοδοι**

Αρχικά, οι στατιστικές μέθοδοι είναι καίριας σημασίας για την πρόβλεψη της δικτυακής κίνησης. Στις μεθόδους αυτές εφαρμόζονται τα μοντέλα αυτοπαλινδρόμησης (ARIMA), τα οποία ακολουθούν την λογική ότι η μελλοντική τιμή της κυκλοφορίας ροής στα δίκτυα σχετίζεται με την γραμμικότητα που παρατηρείται στις προηγούμενες τιμές με σκοπό να εκτιμήσει βέλτιστα τον επόμενο φόρτο που θα εμφανιστεί στα δίκτυα. Παράλληλα, τα μοντέλα ARIMA λειτουργούν βάσει τριών μηχανισμών, α) αυτοπαλινδρόμησης (AR) η οποία συμπεριφέρεται ως «πυξίδα» για να προβλέψει την επόμενη κίνηση των δικτύων, β) κινητού μέσου όρου (MA) που χρησιμοποιεί τον μηχανισμό αυτοδιόρθωσης για την απορρόφηση του θορύβου στη δικτυακή κίνηση και γ) μηχανισμός διαφοροποίησης (I) για την μετατροπή των μη σταθερών δεδομένων του δικτύου σε σταθερά που επιτρέπουν στο μοντέλο ARIMA μια πιο ακριβή και ασφαλή δικτυακή κίνηση.

#### **5.3.2 Μηχανική μάθηση**

Στο ίδιο πλαίσιο, οι αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης ενσωματώνονται σταδιακά στα δίκτυα οριζόμενα από λογισμικό. Αυτή η ενσωμάτωση επιτρέπει στον ελεγκτή να λαμβάνει την πληροφορία από τα προηγούμενα δεδομένα κυκλοφορίας και να προσαρμόζεται σε μη γραμμικές μεταβολές κάτι που τα στατιστικά μοντέλα δυσκολεύονται να εφαρμόσουν (Breiman,2021). Οι αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης σε σχέση με τις παραδοσιακές μεθόδους, δε βασίζονται σε μαθηματικές εξισώσεις οι οποίες είναι προκαθορισμένες αλλά μπορούν να αναγνωρίσουν πολύπλοκα μοτίβα μέσα στις ροές δεδομένων. Σύμφωνα με τη

βιβλιογραφία μια από τις πιο γνωστές μεθόδους μηχανικής μάθησης είναι τα Τυχαία Δάση (Random Forest). Στη μέθοδο αυτή, η τελική έξοδος του αλγορίθμου δεν εξαρτάται από μια συγκεκριμένη διαδρομή απόφασης αλλά υπολογίζονται όλες οι διαδρομές των δέντρων απόφασης. Πιο αναλυτικά, η συγκεκριμένη μέθοδος συγκεντρώνει όλες τις προβλέψεις κίνησης όλων των δέντρων που το απαρτίζουν και καταλήγει σε ένα τελικό αποτέλεσμα με βάση την τιμή που επικρατεί (Breiman, 2021), μειώνοντας με αυτό τον τρόπο την πιθανότητα λάθους από μεμονωμένες αποκλίσεις της κίνησης. Για αυτό το λόγο, ο αλγόριθμος Random Forest θεωρείται κατάλληλος για την ταξινόμηση των ροών σε πραγματικό χρόνο (Mohammed et.al., 2019). Επιπλέον, οι Μηχανές Διανυσμάτων Υποστήριξης εφαρμόζονται εις βάθος για την πρόβλεψη του φόρτου των συνδέσμων. Η λογική αυτή στηρίζεται στην αναζήτηση ενός ορίου που διαχωρίζει τα δεδομένα με το καλύτερο δυνατό τρόπο. Οι Μηχανές Διανυσμάτων Υποστήριξης «χαρτογραφούν» τις ροές που εισέρχονται στο χώρο, ώστε να προβλέψουν εάν ένας σύνδεσμος οδεύει ως προς την συμφόρηση της κυκλοφορίας. Σύμφωνα με τους Mohammed et.al., 2019 διαθέτουν υψηλή ακρίβεια στα περιβάλλοντα, όπου οι διαθέσιμες μετρήσεις είναι περιορισμένες αλλά ωστόσο χρειάζεται άμεση απόκριση. Τέλος, συνεχίζοντας με την ομαδοποίηση και πιο συγκεκριμένα ο αλγόριθμος k-means εφαρμόζεται για την ανάλυση της κίνησης που δεν μπορούμε να προβλέψουμε. Ο ελεγκτής δε γνωρίζει από πριν το είδος της κυκλοφορίας αλλά χρησιμοποιεί αυτόν τον αλγόριθμο για να χωρίσει σε ομάδες τις ροές που έχουν πανομοιότυπα χαρακτηριστικά. Είναι πολύ σημαντικός γιατί εντοπίζει αυτόματα ανωμαλίες ή διαχωρίζει τις ροές «ελεφάντων» των πολύ μεγάλων ροών που κατέχουν το μεγαλύτερο εύρος ζώνης από τις πιο μικρές ροές. Όταν η ομαδοποίηση γίνεται σωστά επιτυγχάνεται καλύτερη εξισορρόπηση φορτίου, διασφαλίζοντας ότι οι σημαντικές εφαρμογές δε θα μεταβληθούν εξαιτίας της κυκλοφοριακής συμφόρησης (Mohammed et.al., 2019).

### **5.3.3 Βαθιά μάθηση**

Αξίζει να σημειωθεί, ότι η βαθιά μάθηση είναι ο πυρήνας στη νεότερη βιβλιογραφία για την πρόβλεψη της κυκλοφορίας ροής στα δίκτυα οριζόμενα από λογισμικό, λόγω της δυνατότητας να επεξεργάζεται πολύ μεγάλα και πολυδιάστατα δεδομένα. Συγκρίνοντας τα μοντέλα βαθιάς μάθησης με τις μεθόδους μηχανικής παρατηρούμε ότι τα μοντέλα βαθιάς μάθησης είναι πολλαπλά νευρωνικά επίπεδα που εξάγουν αυτόματα τα χαρακτηριστικά των ροών της κίνησης του δικτύου αποφεύγοντας την παρέμβαση χειροκίνητα (Azzouni & Rujolle, 2017). Πιο συγκεκριμένα, στη βαθιά μάθηση αξιοποιούνται τα νευρωνικά δίκτυα,

και συγκεκριμένα οι αρχιτεκτονικές LSTM και GRU. Η αρχιτεκτονική LSTM μέσω της ενσωμάτωσης εσωτερικών μηχανισμών ελέγχου αποφασίζει ποιες πληροφορίες από το παρελθόν είναι σημαντικό να διατηρηθούν και ποιες να διαγραφούν θεωρώντας τις ως θόρυβο (Azzouni & Pujolle, 2017). Η ιδιαιτερότητα αυτή καθιστά την υπάρχουσα αρχιτεκτονική ιδανική για να προβλέψει τη χρονική σειρά της κίνησης και να κατανοήσουν μακροπρόθεσμες χρονικές εξαρτήσεις. Εκτός όμως από τα αναδρομικά νευρωνικά δίκτυα, η βιβλιογραφική ανάλυση καταδεικνύει και τις υβριδικές αρχιτεκτονικές (CNN-LSTM). Σε αυτές τις αρχιτεκτονικές, τα συνελκτικά νευρωνικά δίκτυα (CNN), χρησιμοποιούνται για να αντλήσουν τις χωρικές εξαρτήσεις, αναλύοντας την κατανομή της κίνησης μεταξύ των διασυνδέσεων κόμβων της τοπολογίας ενώ η αρχιτεκτονική LSTM, μοντελοποιεί τις χρονικές εξαρτήσεις (Azzouni & Pujolle, 2017, Ali et al., 2024). Αναφορικά, τα νευρωνικά δίκτυα γραφημάτων (GNNs) συμπεριφέρονται στα δίκτυα οριζόμενα από λογισμικό όχι ως μια απλή σειρά δεδομένων αλλά ως ένας γράφος όπου οι κόμβοι και οι ακμές αλληλεπιδρούνται. Οπότε αυτό εξασφαλίζει την πρόβλεψή του πως μια αλλαγή στην κίνηση του μεταγωγέα θα επηρεάσει όλο το υπόλοιπο δίκτυο. Καταλήγοντας, οι αρχιτεκτονικές Seq2Seq, όπως το NeuTM των Azzouni & Pujolle (2017), αξιοποιούνται για την καθολική πρόγνωση των πινάκων κυκλοφορίας. Τα μοντέλα αυτά δίνουν τη δυνατότητα στον ελεγκτή να αποκτά μια σφαιρική εικόνα της μελλοντικής κατάστασης των δικτύων και να βελτιστοποιεί προληπτικά τους πόρους του δικτύου πριν τη συμφόρηση.

## **5.4 Επίπεδα πρόβλεψης συμπεριφοράς του δικτύου**

Η αποτελεσματικότητα των μοντέλων πρόβλεψης της κυκλοφορίας ροής στα δίκτυα οριζόμενα από λογισμικό δεν κρίνονται γενικά μόνο από τον αλγόριθμο πρόβλεψης αλλά και από το μέγεθος της πληροφορίας που λαμβάνουν και πρέπει να επεξεργαστούν.

### **5.4.1 Όγκος Κυκλοφορίας στους Συνδέσμους του Δικτύου**

Το πιο σημαντικό επίπεδο στην πρόβλεψη είναι η μέτρηση του όγκου δεδομένων που προέρχονται από τους φυσικούς ή λογικούς συνδέσμους στο δίκτυο. Οι προβλέψεις αυτές μεταφράζονται συνήθως σε αριθμούς πακέτων ανά χρονική μονάδα. Η ανάλυση της βιβλιογραφίας επισημαίνει ότι η ακριβής πρόβλεψη στο επίπεδο του συνδέσμου είναι καθοριστική για να αποφευχθεί η συμφόρηση της κυκλοφορίας, καθώς ο ελεγκτής

ανακατευθύνει την κίνηση πριν οδηγηθούν οι σύνδεσμοι στο όρια της χωρητικότητάς τους (Troia et al., 2018, Azzouni & Pujolle, 2017).

#### **5.4.2 Κυκλοφορία ροών**

Στην αρχιτεκτονική των δικτύων οριζόμενων από λογισμικό, η κυκλοφοριακή κίνηση είναι ένα σύνολο ροών. Σύμφωνα με την μελέτη των Almouhali et al. (2024), η κυρίαρχη τάση που εντοπίστηκε αφορά τον διαχωρισμό και την πρόβλεψη των ροών “ελεφάντων”. Αφορά έναν μικρό αριθμό ροών που μεταφέρουν μεγάλο όγκο δεδομένων και είναι υπεύθυνα για το μεγαλύτερο μέρος του φόρτου συμφόρησης. Η πρόβλεψη της εμφάνισης και της διάρκειας αυτών των ροών επιτυγχάνει καλύτερη κατανομή των πόρων και με αυτό τον τρόπο οι μικρότερες ροές δεν έχουν καθυστερήσεις.

#### **5.4.3 Πίνακας κυκλοφορίας**

Ο πίνακας κυκλοφορίας απεικονίζει την κίνηση της κυκλοφορίας ροής των δεδομένων από έναν συγκεκριμένο κόμβο προέλευσης προς κάθε προορισμό μέσα στο δίκτυο. Η πρόβλεψη ολόκληρου του πίνακα κυκλοφορίας είναι μια πολύπλοκη διαδικασία που απαιτεί προηγμένα μοντέλα βαθιάς μάθησης. Σύμφωνα με το μοντέλο NeuTM (Azzouni & Pujolle, 2018), ο ελεγκτής δε παρακολουθεί ξεχωριστά την κίνηση των συνδέσμων αλλά έχει μια συνολική εικόνα της ροής των δεδομένων, αποφεύγοντας τη κυκλοφοριακή συμφόρηση πριν αυτή συμβεί. Με αυτό τον τρόπο, δρομολογούνται τα πακέτα προληπτικά, κατανέμοντας το φόρτο σε λιγότερο επιβαρυνμένες διαδρομές και φέροντας ως αποτέλεσμα μεγαλύτερη σταθερότητα και ταχύτητα στο δίκτυο.

#### **5.4.4 Κυκλοφορία ανά ελεγκτή**

Η πρόβλεψη για το πώς συμπεριφέρεται το δίκτυο επηρεάζεται άμεσα από το είδος των εφαρμογών που εξυπηρετούνται. Σύμφωνα με τους Mohammed et al. (2019), κάθε εφαρμογή παρουσιάζει διαφορετικά τα πρότυπα κίνησης και διαφορετικές απαιτήσεις ως προς την ποιότητα των υπηρεσιών (QOS). Αυτό καθιστά την ταξινόμηση και την πρόβλεψη της κίνησης σε κάθε εφαρμογή αναγκαία για τον ελεγκτή των δικτύων οριζόμενων από λογισμικό. Ο ελεγκτής προσαρμόζει δυναμικά την δρομολόγηση και την κατανομή των πόρων, εξασφαλίζοντας την καλύτερη απόδοση σύμφωνα με τις συγκεκριμένες ανάγκες που έχει η κάθε ροή δεδομένων.

- Ροή Βίντεο (Video Streaming): Στη ροή βίντεο υπάρχει πολύ μεγάλος όγκος δεδομένων με ευαισθησία στην καθυστέρηση. Σύμφωνα με τους Mohammed et al.

(2019), η πρόβλεψη της κίνησης αυτών των περιπτώσεων στοχεύει στο να διασφαλιστεί ένα συνεχόμενο εύρος ζώνης προκειμένου να αποφευχθούν φαινόμενα Buffering και να διατηρηθεί η ποιότητα των υπηρεσιών στην αρχιτεκτονική SDN.

- Διαδίκτυο των πραγμάτων (IoT): Στο διαδίκτυο των πραγμάτων η πρόβλεψη σχετίζεται με την ανάλυση εκατοντάδων μικρών αλλά συχνών ροών δεδομένων από αισθητήρες. Σύμφωνα με τους Ali et al. (2024), οι αλγόριθμοι βαθιάς μάθησης είναι απαραίτητοι για την καλύτερη διαχείριση του τεράστιου όγκου των δεδομένων που προέρχονται από τις συσκευές IoT. Επιτρέπουν στον ελεγκτή την βελτιστοποίηση κατανομής των πόρων και την αποτελεσματική διαχείριση των αιτημάτων σύνδεσης των χρηστών.
- Έξυπνα Δίκτυα (Smart Grid): Στην εφαρμογή των έξυπνων δικτύων ενέργειας, τα δίκτυα οριζόμενα από λογισμικό χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά των δεδομένων ελέγχου και μέτρησης της ηλεκτρικής ενέργειας. Η πρόβλεψη της κίνησης σε αυτή την εφαρμογή είναι υψίστης σημασίας διότι μπορεί να εντοπίσει διάφορες ανωμαλίες σε πραγματικό χρόνο και να εξασφαλίσει ότι οι εντολές για την προστασία του δικτύου θα παραδοθούν με σχεδόν μηδενική καθυστέρηση, αποτρέποντας πιθανές διακοπές ρεύματος.
- Φόρτος Επιπέδου Ελέγχου: Στις προηγούμενες εφαρμογές παρατηρήσαμε την κίνηση των δεδομένων των χρηστών. Η πρόληψη κυκλοφορίας στο επίπεδο ελέγχου αφορά την ικανότητα του ελεγκτή να λειτουργεί σωστά και γρήγορα χωρίς να καταρρεύσει από υψηλό φορτίο. Στην αρχιτεκτονική των δικτύων οριζόμενων από λογισμικό, κάθε φορά όπου ένας διακόπτης δέχεται ένα πακέτο για το οποίο δεν υπάρχει κανόνας δρομολόγησης στέλνει ένα μήνυμα packet-in στον ελεγκτή για να του δώσει οδηγίες. Για αυτό το λόγο η πρόβλεψη του ρυθμού αυτών των μηνυμάτων είναι πολύ σημαντική καθώς μια ξαφνική αλλαγή τους μπορεί να προκαλέσει την υπερφόρτωση του ελεγκτή και να αυξήσει την καθυστέρηση του ή ακόμα και την κατάρρευση του δικτύου (Kreutz et al., 2014). Σύμφωνα με τους Azzouni και Pujolle (2017), η πρόβλεψη κυκλοφορίας του ελεγκτή υλοποιεί στρατηγικές για να είναι πιο σταθερό το δίκτυο. Επιπρόσθετα, λειτουργεί ως μηχανισμός άμυνας αυτή η διαδικασία. Όπως αναφέρεται στη βιβλιογραφία (Kreutz et al., 2014) όταν υπάρξει μια αύξηση στα μηνύματα packet-in η οποία δεν είναι συνηθισμένη τότε μπορεί να υποδηλώνει μια επίθεση τύπου Distributed Denial of Service (DDos), όπου αυτός που επιτίθεται επιδιώκει να φορτώσει τον ελεγκτή με μηνύματα που δεν χρειάζονται. Εφαρμόζοντας τους αλγόριθμους πρόβλεψης, ο ελεγκτής μπορεί να διακρίνει εάν η αύξηση του

φόρτου επιπέδου ελέγχου οφείλεται σε μια φυσιολογική κίνηση της εφαρμογής ή εάν είναι μια κακόβουλη ενέργεια και διασφαλίζει κατά αυτό τον τρόπο την κανονική λειτουργία της υποδομής.

## 5.5 Προκλήσεις που αντιμετωπίζει η πρόβλεψη της κυκλοφορίας

Η πρόβλεψη της κυκλοφορίας ροής αποτελεί τον μοχλό της υλοποίησης μιας ανώτερης αρχιτεκτονικής δικτύων. Οι προκλήσεις που θα πρέπει να διαχειριστεί τονίζονται στα εξής σημεία:

- *Ενεργητική Διαχείριση της Συμφόρησης:* Σημαντική πρόκληση είναι ο άμεσος εντοπισμός των σημείων συμφόρησης στην τοπολογία του δικτύου. Αντί το δίκτυο να αποκρίνεται μετά την απώλεια των πακέτων, η πρόβλεψη επιτρέπει την προληπτική εκτροπή της κίνησης (Troia et al., 2018). Κατά τους Bouzidi et al. (2021), η προσέγγιση αυτή εγγυάται ότι η αξιοποίηση των συνδέσμων είναι ακόμα σε ασφαλή όρια και η συνολική ρυθμοαπόδοση του δικτύου μεγιστοποιείται μέσω της βελτιστοποιημένης δρομολόγησης (Wang et al., 2025)
- *Βελτιστοποιημένος χρόνος απόκρισης μέσω προεγκατάστασης διαδρομών:* Ένα ακόμη κρίσιμο ζήτημα στα δίκτυα οριζόμενα από λογισμικό αφορά την καθυστέρηση του επιπέδου ελέγχου. Εγκαθιστώντας προληπτικά τους κανόνες ροής, εκμηδενίζεται η ανάγκη για το Round Trip Time (RTT) αίτημα προς τον ελεγκτή. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να επιτυγχάνεται η γρήγορη προώθηση των δεδομένων, μειώνοντας σημαντικά την καθυστέρηση (latency) αλλά και την διακύμανση της καθυστέρησης (jitter) (Azzouni & Pujolle, 2013).
- *Εξυπνη κατανομή των πόρων και εύρους ζώνης:* Όταν σε δικτυακά περιβάλλοντα υπάρχουν περιορισμένοι πόροι, η πρόκληση είναι η δίκαιη και αποτελεσματική κατανομή του εύρους ζώνης. Η πρόβλεψη ιεραρχεί τις ροές ανάλογα με την κρισιμότητά τους και εξασφαλίζει τους κατάλληλους πόρους πριν προλάβουν να τους ζητηθούν σε εφαρμογές υψηλής σημασίας (Almouhalfi et al., 2024).
- *Εξισορρόπηση Φορτίου και Ανθεκτικότητα:* Η πρόκληση εδώ είναι να αποφευχθούν οι υπερφορτωμένες διαδρομές, οι οποίες αυξάνουν την πιθανότητα να χαθούν ή να καθυστερήσουν τα πακέτα και όπως επισημαίνουν οι Wang et al. (2025), με την ανακατανομή της κίνησης σε πραγματικό χρόνο από το SDN καταφέρνει να αποτραπούν οι υπερφορτωμένες διαδρομές και να υπάρξει σταθερότητα στο δίκτυο.

Σύμφωνα με τους Bouzidi et al. (2021), η εξισορρόπηση του φορτίου δεν αφορά μόνο στην βελτίωση της ταχύτητας αλλά και στην ανθεκτικότητα του δικτύου.

## **5.6 Πεδία εφαρμογής των μοντέλων πρόβλεψης**

Στη σημερινή εποχή όπου τα σύγχρονα δίκτυα έχουν υψηλές απαιτήσεις, η αναγκαιότητα της ενσωμάτωσης των μοντέλων πρόβλεψης στα δίκτυα οριζόμενα από λογισμικό είναι απαραίτητα όχι μόνο σε θεωρητικό πλαίσιο αλλά και πρακτικά. Παρακάτω αναφέρονται τα σημαντικότερα πεδία εφαρμογής των μοντέλων πρόβλεψης.

### **5.6.1 Δίκτυα Πέμπτης και έκτης γενιάς (5G/6G)**

Στα δίκτυα πέμπτης γενιάς, η πρόβλεψη της κυκλοφορίας ροής είναι εξαιρετικά σημαντική για την τεχνολογία του «τεμαχισμού δικτύου» (Network Slicing). Ο ελεγκτής κάνει χρήση των μοντέλων πρόβλεψης για να εκτιμήσει με πλήρη ακρίβεια τις ανάγκες σε πόρους για κάθε εικονικό τμήμα του δικτύου.

### **5.6.2 Διαδίκτυο των πραγμάτων και Βιομηχανία 4.0**

Επίσης, στη βιβλιογραφία γίνεται έντονη αναφορά στη συμβολή των δικτύων οριζόμενων από λογισμικό σχετικά με τη βιομηχανία 4.0. Σύμφωνα με τους Lai et al. (2026), η αναγκαιότητα της επεξεργασίας των δεδομένων με πολύ χαμηλή καθυστέρηση στα άκρα του δικτύου είναι πολύ σημαντική για να υποστηριχθούν έξυπνες εφαρμογές που αφορούν τη βιομηχανία.

### **5.6.3 Κυβερνοασφάλεια και ανίχνευση σφάλματος**

Τέλος, ένα ακόμα σημαντικό πεδίο που αναδεικνύεται μέσα από τη συγκεκριμένη βιβλιογραφική ανάλυση είναι η ασφάλεια μέσα από την πρόβλεψη. Η σύγκριση της πραγματικής κίνησης από την προβλεπόμενη δίνει την ευκαιρία στον ελεγκτή να εντοπίσει κατευθείαν τυχόν αποκλίσεις που μπορεί να οφείλονται σε επιθέσεις DDos ή στην εξάπλωση του διαδικτύου. Για αυτό το λόγο το δίκτυο οριζόμενο από λογισμικό θωρακίζει τις επιθέσεις πριν καν αυτές εξαπλωθούν.

## 5.5 Συζήτηση

### 5.5.1 Σημασία της πρόβλεψης κυκλοφορίας ροής στην αρχιτεκτονική των δικτύων οριζόμενων από λογισμικό

Όπως έχει αναφερθεί στα προηγούμενα κεφάλαια, η αλλαγή από τα παραδοσιακά δίκτυα στα δίκτυα οριζόμενα από λογισμικό δεν βασίζεται μόνο στον προγραμματισμό αλλά σε μια μετάβαση στην αυτοματοποίηση. Σύμφωνα με τα ευρήματα αυτής της βιβλιογραφικής ανάλυσης προέκυψε ότι η πρόβλεψη της κυκλοφορίας ροής αποτέλεσε καταλυτικό ρόλο σε αυτή τη μετάβαση. Είναι αποδεδειγμένο ότι χωρίς την πρόβλεψη της κυκλοφορίας, ο ελεγκτής των δικτύων οριζόμενων από λογισμικό λειτουργεί αντιδραστικά, γεγονός που δημιουργεί καθυστερήσεις εξαιτίας της συνεχόμενης επικοινωνίας μεταξύ των μεταγωγέων και του επιπέδου ελέγχου. Η ουσιώδης συμβολή της πρόβλεψης κυκλοφορίας ροής είναι ότι κατέχει την ικανότητα κατανόησης της πραγματικής κατάστασης του δικτύου και επιτρέπει τη διατήρηση της σταθερότητας του σε σοβαρές συνθήκες υπερφόρτωσης, όπου εκεί η ανθρώπινη παρέμβαση καθίσταται πολύ δύσκολο να προλάβει τις εξελίξεις σε χιλιοστά του δευτερολέπτου.

### 5.5.2 Στόχοι της πρόβλεψης κυκλοφορίας ροής

Στους στόχους της πρόβλεψης της κυκλοφορίας ροής ένα σημαντικό εύρημα της βιβλιογραφικής έρευνας δείχνει ότι οι μελέτες εστιάζουν σε διαφορετικά επίπεδα και δεν υπάρχει μια ενιαία προσέγγιση στους στόχους. Η κατηγοριοποίηση των μελετών πραγματοποιείται ανάλογα με το επίπεδο αφαίρεσης στο οποίο λειτουργούν και κάθε επίπεδο πρόβλεψης εξυπηρετεί διαφορετικές ανάγκες, όπως:

Η πρόβλεψη του επιπέδου Υποδομής. Στο επίπεδο αυτό, στόχος είναι η χωρητικότητα του δικτύου συνολικά. Μελέτες επικεντρώνονται σε αυτό το επίπεδο, όπως είναι αυτές που χρησιμοποιούν τον αλγόριθμο ARIMA, αφορούν τη συνολική κίνηση σε έναν κόμβο. Ωστόσο, αν και είναι χρήσιμο για τον προγραμματισμό της υποδομής, αυτό το επίπεδο αδυνατεί να εκτιμήσει το περιεχόμενο και να διακρίνει από πού προέρχεται η αυξημένη κίνηση. Δηλαδή εάν προέρχεται από ένα βίντεο 5G ή από ένα απλό αντίγραφο ασφαλείας των αρχείων.

Η πρόβλεψη του επιπέδου ροής. Στους στόχους εδώ είναι η ποιότητα. Η βιβλιογραφική έρευνα εστιάζει στον διαχωρισμό των «μεγάλων ροών», όπου λίγες ροές καταναλώνουν το

80% του εύρους ζώνης καθώς και στις μικρές αλλά πολλές ροές. Σε αυτό το επίπεδο η πρόβλεψη είναι υπολογιστικά ακριβής αλλά σημαντική για την ποιότητα των υπηρεσιών. Η αξιολόγηση παρουσιάζει τις μελέτες που αξιοποιούν τη βαθιά μάθηση, δηλαδή το μοντέλο LSTM και υπερσχύουν καθώς έχουν την ικανότητα να αναγνωρίζουν περίπλοκα μοτίβα κάθε εφαρμογής ξεχωριστά. Συμπερασματικά, η καλύτερη διαχείριση επιτυγχάνεται όταν ο ελεγκτής των δικτύων οριζόμενων από λογισμικό γνωρίζει τόσο τη ποσότητα του συνολικού φορτίου όσο και τη φύση των μεμονωμένων ροών. Έτσι, ο ελεγκτής επιτυγχάνει μια έξυπνη διαδρομή όπου έχει εγκαταστήσει από πριν, προσφέροντας προτεραιότητα στις «μεγάλες ροές» προτού προκαλέσουν συμφόρηση στο δίκτυο.

### 5.5.3 Συγκριτική παρουσίαση των μεθόδων

**Στατιστικές Μέθοδοι:** Οι συγκεκριμένες μέθοδοι είναι πολύ αξιόπιστες για δίκτυα με γραμμικότητα. Το βασικό πλεονέκτημά τους είναι ότι χρειάζονται πολύ λίγους πόρους και έτσι ο ελεγκτής δεν καταναλώνει μεγάλη μνήμη για να πάρει αποφάσεις. Ωστόσο, δυσκολεύονται πολύ να προβλέψουν απότομες αλλαγές που συναντάμε στο διαδίκτυο των πραγμάτων.

**Βαθιά Μάθηση:** Αυτά τα μοντέλα είναι τα πιο ισχυρά, εξελιγμένα και αποτελεσματικά μοντέλα πρόβλεψης. Ο λόγος που τα καθιστά τόσο δυνατά είναι γιατί μπορούν να εκπαιδευτούν σε πολύ περίπλοκες συσχετίσεις. Το βασικό μειονέκτημά τους είναι ότι υπάρχει ανάγκη για μεγάλα σύνολα δεδομένων και η υπολογιστική τους πολυπλοκότητα μπορεί να οδηγήσει σε αργοπορημένη λήψη αποφάσεων. Καταλήγοντας, σύμφωνα με την ανάλυση της βιβλιογραφίας διαφαίνεται μεγάλη τάση στη χρήση των υβριδικών μοντέλων, τα οποία αξιοποιούν τα στατιστικά μοντέλα για την καθημερινή κίνηση των δικτύων και τα νευρωνικά δίκτυα στον εντοπισμό ανωμαλιών.

### 5.5.4 Προκλήσεις και περιορισμοί

Παρόλο που τα ευρήματα της βιβλιογραφίας παρέχουν ένα τόνο αισιοδοξίας, η εφαρμογή τους σε πραγματικά περιβάλλοντα παρουσιάζει αρκετές δυσκολίες και εμπόδια. Παρακάτω αναλύονται ορισμένα από και αυτά και είναι:

- Συλλογή δεδομένων. Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι όταν υπάρχει συνεχομένη δειγματοληψία για να τροφοδοτηθούν τα μοντέλα τεχνητής νοημοσύνης αυτό μπορεί

να οδηγήσει σε μεγάλη κατανάλωση ενός σημαντικού μέρους του εύρους ζώνης του ίδιου του δικτύου.

- Επεκτασιμότητα. Υπάρχουν αρκετές μελέτες που αξιοποιούν μικρά σχήματα στη τοπολογία του δικτύου. Ωστόσο, τίθεται το ερώτημα σχετικά με την διεύρυνση των μοντέλων πρόβλεψης σε δίκτυα επιπέδου του παρόχου.
- Περιορισμοί σε πραγματικό χρόνο. Οι περιορισμοί σε πραγματικό χρόνο σε ένα μοντέλο βαθιάς μάθησης είναι ότι εάν χρειάζεται δυο δευτερόλεπτα για να προβλέψει μια συμφορά η οποία θα συμβεί σε ένα δευτερόλεπτο, τότε η πρόβλεψη πραγματικά δε είναι χρήσιμη. Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι η ισορροπία μεταξύ της ταχύτητας εκτέλεσης και ακρίβειας είναι σημαντική καθώς μια καθυστερημένη πρόβλεψη, ακόμα και εάν είναι ακριβής, καθίσταται πρακτικά άχρηστη.

#### **5.5.5 Τάσεις και μελλοντικές κατευθύνσεις**

Σύμφωνα με τους Wang et al. (2025), η ανέλιξη της πρόβλεψης κυκλοφορίας ροής στα δίκτυα οριζόμενα από λογισμικό οδηγεί βαθμιαία στην ολική αυτοματοποίηση των δικτύων. Μια τάση που προκύπτει από τη βιβλιογραφία είναι το Intent-Based-Networking. Σύμφωνα με τον Ferreira (2023), η πρόβλεψη σταματά να είναι ένα απλό στατιστικό εργαλείο αλλά μετατρέπεται σε ένα μηχανισμό ο οποίος επιτρέπει στο σύστημα να αντιλαμβάνεται και να υλοποιεί το σκοπό του διαχειριστή ανεξάρτητα. Επίσης, η αναγκαιότητα της ιδιωτικότητας των δεδομένων ροών και η αποφυγή του υπολογιστικού φόρτου στον κεντρικό ελεγκτή φέρνουν στην επιφάνεια την έννοια του Federated Learning. Όπως αναφέρουν οι Lai et al. (2026), σε αυτή τη προσέγγιση τα μοντέλα πρόβλεψης δεν εκπαιδεύονται πλέον κεντρικά αλλά η εκπαίδευση γίνεται τοπικά στους κόμβους και μόνο οι παράμετροι του μοντέλου και όχι τα ίδια τα δεδομένα κίνησης της κυκλοφορίας, αποστέλλονται στον ελεγκτή για τη σύνθεση ενός συνολικού μοντέλου. Εν κατακλείδι, το Intent-Based-networking με το Federated Learning αποτελεί το μέλλον στις τηλεπικοινωνίες και τα δίκτυα.

## BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Ali, R., Ali, A., Naeem, H. M. Y., Asad, M., Alsarhan, T., & Heyat, M. B. B. (2024). A comprehensive survey of deep learning-based traffic flow prediction models for intelligent transportation systems. *Sustainability*, *16*(1), 234.
- Almouhalfi, H., Noor, A., & Noor, T. H. (2024). Traffic management approaches using machine learning and deep learning techniques: A survey. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, *133*(Part B), 108147.
- Aria, M., & Cuccurullo, C. (2017). bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis. *Journal of Informetrics*, *11*(4), 959–975.
- Azzouni, A., & Pujolle, G. (2017). NeuTM: A deep learning model for network traffic matrix prediction. *2018 14th International Conference on Network and Service Management (CNSM)*, 292–295.
- Baas, J., Schotten, M., Plume, A., Côté, G., & Karimi, R. (2020). Scopus as a curated, high-quality bibliometric data source for academic research in quantitative science studies. *Quantitative Science Studies*, *1*(1), 377–386.
- Bouzidi, E. H., Outtagarts, A., Langar, R., & Boutaba, R. (2021). Deep Q-Network and traffic prediction based routing optimization in software defined networks. *Journal of Network and Computer Applications*, *192*, 103181.
- Breiman, “Random Forests”, *Machine Learning*, *45*(1), 5-32, 2001
- Darvish, H. (2020). Bibliometric analysis using Bibliometrix R-package: A case study. *Journal of Scientometric Research*, *9*(3), 225–233.
- Donthu, N., Kumar, S., Mukherjee, D., Pandey, N., & Lim, W. M. (2021). How to conduct a bibliometric analysis: An overview and guidelines. *Journal of Business Research*, *133*, 285–296.

- Feamster, N. R. (2014). The road to SDN: an intellectual history of programmable networks. *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, 87-98.
- Ferreira, C. R. (2023). Forecasting network traffic: A survey and tutorial with open-source comparative evaluation. *IEEE Xplore*.
- Harzing, A.-W., & Alakangas, S. (2016). Google Scholar, Scopus and the Web of Science: A longitudinal and cross-disciplinary comparison. *Scientometrics*, 106(2), 787–804.
- Hassan, W., & Duarte, A. E. (2024). Bibliometric analysis: a few suggestions. *Current problems in cardiology*, 49(8), 102640.
- Kitchenham, B., & Charters, S. (2007). *Guidelines for performing Systematic Literature Reviews in Software Engineering* (Technical Report EBSE 2007-001). Keele University and Durham University.
- Kreutz, D., Ramos, F. M., Verissimo, P. E., Rothenberg, C. E., Azodolmolky, S., & Uhlig, S. (2014). Software-defined networking: A comprehensive survey. *Proceedings of the IEEE*, 103(1), 14-76.
- Lai, N., Dewi, D. A., Maidin, S. S., Xiao, W., Zhao, S., & Hu, Q. (2026). A comprehensive review of lightweight deep learning models for edge computing with future directions. *Discover Computing*, 29(110), 1–33.
- Lim, W. M., Kumar, S., & Pandey, N. (2024). Leveraging bibliometric analysis for synthesizing and interpreting the body of knowledge in a field. *International Journal of Information Management Data Insights*.
- Mohammed, A. R., Mohammed, S. A., & Shirmohammadi, S. (2019, July). Machine learning and deep learning based traffic classification and prediction in software defined networking. In *2019 IEEE International Symposium on Measurements & Networking (M&N)* (pp. 1-6). IEEE.
- Ospina-Cifuentes, B. J., Suárez, Á., García Pineda, V., Alvarado Jaimes, R., Montoya Benitez, A. O., & Grajales Bustamante, J. D. (2024). Analysis of the Use of Artificial Intelligence in Software-Defined Intelligent Networks: A Survey. *Applied Sciences*, 14(3), 1144.
- Rao, V. M., Ramasamy, R. K., & Sayeed, M. S. (2024). BERT-based approaches for web service selection and recommendation: A systematic review with a focus on QoS prediction. *Computer Science and Information Systems*, 21(2), 643–669.

- Thelwall, M., & Sud, P. (2022). Scopus 1900–2020: Growth in articles, abstracts, countries, fields, and journals. *Quantitative Science Studies*, 3(1), 37–50.
- Tomaszewski, R. (2022). A comparative study of bibliometric software tools: Implications for research and practice. *Journal of Academic Librarianship*
- Troia, S., Alvizu, R., Zhou, Y., Maier, G., & Pattavina, A. (2018). *Deep learning-based traffic prediction for network optimization*. Dipartimento di Elettronica, Informazione e Bioingegneria, Politecnico di Milano.
- Van Eck, N. J., & Waltman, L. (2010). Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. *Scientometrics*, 84(2), 523–538.
- Wang, L., Jing, S., & Zhao, C. (2025). Overview of SDN-based traffic engineering. In A. Lau & A. J. Tallón-Ballesteros (Eds.), *Digitalization and Management Innovation IV* (Frontiers in Artificial Intelligence and Applications, Vol. 412). IOS Press.
- Wang, Y., Jiang, D., Huo, L., & Zhao, Y. (2021). A new traffic prediction algorithm to software defined networking. *Mobile Networks and Applications*, 26(2), 716-725.
- Wang, Z., Wang, X., Wang, L., Wu, Z., Hu, J., Yuan, F., & Tian, Z. (2024). Traffic flow prediction in intelligent transportation systems: A comprehensive review of graph neural networks and hybrid deep learning methods. *Information*, 15(11),
- Zupic, I., & Čater, T. (2015). Bibliometric methods in management and organization. *Organizational Research Methods*, 18(3), 429–472.
- Χαλεπλίογλου, Α., & Παπαβλασόπουλος, Σ. (2022). Βιβλιογραφικός Οδηγός Βιβλιομετρίας.

