



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ

ΣΧΟΛΗ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

ΠΜΣ: ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΔΙΚΤΥΩΝ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Βιβλιομετρική ανάλυση των επιστημονικών μελετών για
υπολογισμό σε περιβάλλον ομίχλης (fog computing)**

Μιχαηλίδου Δέσποινα

Επιβλέπων: Στεργίου Ελευθέριος

Άρτα, Μάιος, 2026

Εγκρίθηκε από τριμελή εξεταστική επιτροπή

Άρτα, Μάιος, 2026

Επιτροπή αξιολόγησης

- Επιβλέπων καθηγητής

Ελευθέριος Στεργίου, καθηγητής

- Μέλος επιτροπής

Χρυσόστομος Στύλιος, καθηγητής

- Μέλος επιτροπής

Σπυριδούλα Μαργαρίτη, ΕΔΙΠ Α

Δήλωση μη λογοκλοπής

Δηλώνω υπεύθυνα, έχοντας γνώση των κυρώσεων που προβλέπονται από τον Ν. 2121/1993 περί Πνευματικής Ιδιοκτησίας, ότι η παρούσα μεταπτυχιακή εργασία είναι προϊόν αποκλειστικά δικής μου έρευνας και συγγραφής. Δεν έχει αντιγραφεί από άλλες πηγές ούτε έχει ανατεθεί σε τρίτους. Όλες οι πηγές και τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν στη συγγραφή της, ανεξαρτήτως μορφής και προέλευσης, παρατίθενται στη βιβλιογραφία.

Μιχαηλίδου Δέσποινα

Υπογραφή

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου στους συγγενείς, φίλους και ιδιαίτερα στον σύζυγό μου που με στήριξαν καθ' όλη τη διάρκεια της ακαδημαϊκής μου πορείας. Η ενθάρρυνση και η αδιάκοπη υποστήριξή τους ήταν καθοριστικής σημασίας για την ολοκλήρωση της διπλωματικής μου εργασίας, που αποδείχθηκε ταυτόχρονα συναρπαστική και απαιτητική.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες οφείλω στην καθηγήτριά μου, κ. Σπυριδούλα Μαργαρίτη, για την πολύτιμη καθοδήγηση, τη συνεχή υποστήριξη και τη βοήθεια που μου παρείχε. Σας ευχαριστώ από καρδιάς.

Περίληψη

Η ραγδαία ανάπτυξη εφαρμογών του Internet of Things (IoT), όπως τα έξυπνα σπίτια, οι έξυπνες πόλεις και τα συνδεδεμένα οχήματα, έχει οδηγήσει σε εκθετική αύξηση του όγκου των δεδομένων που παράγονται. Το cloud computing, αν και προσφέρει ισχυρές υποδομές για την επεξεργασία αυτών των δεδομένων, αντιμετωπίζει προκλήσεις όπως υψηλή καθυστέρηση, περιορισμένη υποστήριξη κινητικότητας και μειωμένη τοπική προσαρμογή. Το fog computing αναδεικνύεται ως μια καινοτόμος λύση, παρέχοντας επεξεργασία και αποθήκευση δεδομένων κοντά στις συσκευές άκρων (edge devices), μειώνοντας την καθυστέρηση και βελτιώνοντας την απόδοση.

Η παρούσα διπλωματική εργασία αποσκοπεί στη βιβλιομετρική ανάλυση των επιστημονικών μελετών που σχετίζονται με το fog computing. Η ανάλυση βασίζεται σε δεδομένα από έγκυρες επιστημονικές βάσεις, όπως το Scopus και το Google Scholar. Τα εργαλεία που χρησιμοποιούνται περιλαμβάνουν το VOSviewer και τη γλώσσα R, με στόχο την επιστημονική χαρτογράφηση, την ανάλυση αποδόσεων και την ανάδειξη συνεργασιών μεταξύ ερευνητών και οργανισμών. Στο πλαίσιο της έρευνας καταγράφονται οι βασικές ερευνητικές κατευθύνσεις, χαρτογραφούνται οι συνεργασίες και οι εξελίξεις στον τομέα ενώ αναγνωρίζονται τα κενά στην τρέχουσα βιβλιογραφία που θα μπορούσαν να αποτελέσουν κίνητρο για μελλοντική έρευνα.

Λέξεις-κλειδιά: Βιβλιομετρική Ανάλυση (Bibliometric Analysis), Υπολογισμός Ομίχλης (fog computing), Internet of Things (IoT), Edge Computing, Cloud Computing, Κατανεμημένη Υπολογιστική (Distributed Computing), Επιστημονική Χαρτογράφηση (Scientific Mapping), VOSviewer, Gephi, Ανάλυση Απόδοσης (Performance Analysis), Δίκτυα Συνεργασίας Συγγραφέων (Author Collaboration Networks), Ερευνητικές Τάσεις (Research Trends), Βάση Δεδομένων Scopus, Εικονικοποίηση (Visualization), Επιστημονικές Συνεργασίες (Scientific Collaboration).

ABSTRACT

The rapid growth of Internet of Things (IoT) applications, such as smart homes, smart cities, and connected vehicles, has led to an exponential increase in the volume of data generated. Cloud computing, while offering robust infrastructure for processing this data, faces challenges such as high latency, limited mobility support, and reduced local adaptability. Fog computing is emerging as an innovative solution, providing data processing and storage close to edge devices, reducing latency, and improving performance.

This thesis aims to conduct a bibliometric analysis of scientific studies related to fog computing. The analysis is based on data from authoritative scientific databases, such as Scopus and Google Scholar. The tools used include VOSviewer and the R language, with the goal of scientific mapping, performance analysis, and highlighting collaborations between researchers and organizations. As part of the research, the main research directions are identified, collaborations and developments in the field are mapped, and gaps in the current literature are recognized, which could serve as motivation for future research.

Keywords: Bibliometric Analysis, Fog Computing, Internet of Things (IoT), Edge Computing, Cloud Computing, Distributed Computing, Scientific Mapping, VOSviewer, Gephi, Performance Analysis, Author Collaboration Networks, Research Trends, Scopus Database, Visualization, Scientific Collaborations

Περιεχόμενα

Περιεχόμενα.....	7
1 Εισαγωγή.....	11
1.1 Γενικά	11
1.2 Κίνητρο και στόχοι της έρευνας.....	12
1.3 Δομή εργασίας.....	13
2 Fog Computing	15
2.1 Ορισμός Fog Computing	15
2.2 Αρχιτεκτονική Fog Computing	16
2.2.1 Χαρακτηριστικά της Αρχιτεκτονικής.....	17
2.3 Πλεονεκτήματα Fog Computing	18
2.4 Μειονεκτήματα Fog Computing	19
2.5 Σύγκριση Fog Computing με Cloud Computing	22
2.5.1 Ορισμός και Φιλοσοφία Λειτουργίας	22
2.5.2 Αρχιτεκτονική και Υποδομές	23
2.5.3 Απόδοση και Καθυστέρηση.....	23
2.5.4 Επεκτασιμότητα και Ενεργειακή Κατανάλωση	24
2.5.5 Ασφάλεια και Απόρρητο	24
2.5.6 Επίπεδο Εφαρμογών	24
2.6 Εφαρμογές του Fog Computing	25
2.7 Τρέχουσα κατάσταση	28
2.7.1 Τρέχουσες Προκλήσεις.....	28
2.7.2 Μελλοντικές Προοπτικές.....	29
3 Μεθοδολογία.....	30
3.1 Πηγές Δεδομένων	30
3.2 Στρατηγική Αναζήτησης.....	31
3.3 Κριτήρια Επιλογής και Αποκλεισμού	32
3.4 Εργαλεία Ανάλυσης	32
3.4.1 Το εργαλείο VOSviewer	33
3.4.2 Το Bibliometrix.....	33
4 Ανάλυση Δεδομένων	35
4.1 Περιγραφή Δεδομένων	35
4.2 Ανάλυση Επιστημονικής Παραγωγής.....	37
4.3 Ανάλυση Συγγραφέων.....	39

4.4 Ανάλυση Πηγών	44
4.5 Ανάλυση Χωρών	48
4.6 Ανάλυση Ιδρυμάτων.....	51
4.7 Ανάλυση Θεματολογίας	54
5 Χαρτογράφηση επιστήμης και συσταδοποίηση.....	61
5.1 Co-authorship-Συνεργασία.....	61
5.1.1 Co-authorship Συγγραφέων	61
5.1.2 Co-authorship Organization Συνεργασία Οργανισμών	63
5.1.3 Co-authorship Countries -Συνεργασία Χωρών	64
5.2 Co-citation-Κοινές Αναφορές	66
5.2.1 Co-citation Cited Reference-Κοινές Αναφορές βιβλιογραφικών Αναφορών	66
5.2.2 Co-citation Cited Sources-Κοινές Αναφορές Πηγών	67
5.2.3 Co-citation Cited Authors – Κοινές Αναφορές Συγγραφέων.....	69
5.3 Thematic Trend- Θεματικές Τάσεις.....	71
5.3.1 Keyword Co-occurrence-Συν-εμφάνιση Λέξεων Κλειδιών.....	71
6 Συμπεράσματα και προτάσεις.....	74
6.1 Συμπεράσματα	74
6.2 Προτάσεις για Μελλοντική Έρευνα.....	75
Βιβλιογραφία	77

Κατάλογος εικόνων

Εικόνα 1: Αρχιτεκτονική fog computing	17
Εικόνα 2: Ταξινόμηση των τεχνικών Βιβλιομετρικής ανάλυσης	34

Κατάλογος πινάκων

Πίνακας 1: Σύγκριση cloud computing και fog computing.....	255
Πίνακας 2: Σύνοψη βιβλιομετρικών δεικτών του συνόλου δεδομένων (μετά τον καθαρισμό δεδομένων).....	36
Πίνακας 3: Κυριότεροι οργανισμοί συνεργασίας στον τομέα του fog computing	63

Κατάλογος σχημάτων

Σχήμα 1: Ετήσια επιστημονική παραγωγή στον τομέα fog computing.....	38
Σχήμα 2: Μέσος αριθμός αναφορών ανά έτος στον τομέα fog computing.....	39
Σχήμα 3: Πιο παραγωγικοί συγγραφείς στον τομέα του fog computing	40
Σχήμα 4: Επιστημονική επίδραση συγγραφέων (H-index) στον τομέα του fog computing	41
Σχήμα 5: Κατανομή παραγωγικότητας συγγραφέων σύμφωνα με τον νόμο του Lotka .	43
Σχήμα 6: Πιο παραγωγικές επιστημονικές πηγές στον τομέα του fog computing	44
Σχήμα 7: Κατανομή επιστημονικών πηγών σύμφωνα με τον νόμο του Bradford	46
Σχήμα 8: Εξέλιξη παραγωγής επιστημονικών πηγών στον τομέα του fog computing	47
Σχήμα 9: Εξέλιξη επιστημονικής παραγωγής ανά χώρα στον τομέα του fog computing	49
Σχήμα 10: Χώρες με τον μεγαλύτερο αριθμό αναφορών στον τομέα.....	50
Σχήμα 11: Πιο παραγωγικά ιδρύματα στον τομέα του fog computing.....	52
Σχήμα 12: Εξέλιξη επιστημονικής παραγωγής ιδρυμάτων στον τομέα του fog computing	53
Σχήμα 13: Πιο συχνά εμφανιζόμενες λέξεις-κλειδιά στον τομέα του fog computing	55
Σχήμα 14: Θεματικός χάρτης ερευνητικών περιοχών στον τομέα του fog computing....	56
Σχήμα 15: Εξέλιξη ερευνητικών θεμάτων στον τομέα του fog computing	58
Σχήμα 16: Δίκτυο συνεργασίας συγγραφέων στον τομέα fog computing.....	62

Σχήμα 17: Δίκτυο συνεργασίας χωρών στον τομέα fog computing.....	65
Σχήμα 18: Δίκτυο κοινών αναφορών βιβλιογραφικών αναφορών στον τομέα του fog computing	66
Σχήμα 19: Δίκτυο κοινών αναφορών πηγών στον τομέα του fog computing.....	68
Σχήμα 20: Δίκτυο κοινών αναφορών συγγραφέων στον τομέα του fog computing	70
Σχήμα 21: Δίκτυο συν-εμφάνισης λέξεων κλειδιών στον τομέα του fog computing.....	72

1 Εισαγωγή

1.1 Γενικά

Η τεχνολογία fog computing αποτελεί μια καινοτόμο επέκταση της παραδοσιακής υπολογιστικής υποδομής, εισάγοντας υπολογιστική ισχύ, αποθήκευση και δυνατότητες επικοινωνίας κοντά στις συσκευές που παράγουν δεδομένα. Το fog computing λειτουργεί ως ενδιάμεσο επίπεδο μεταξύ του cloud computing και του edge computing, προσφέροντας την απαιτούμενη ευελιξία για εφαρμογές που απαιτούν γρήγορη επεξεργασία δεδομένων και χαμηλή καθυστέρηση [1], [2].

Σύμφωνα με τους Bonomi κ.ά. [3], το fog computing αντιμετωπίζει κρίσιμα ζητήματα όπως η αυξημένη καθυστέρηση που προκαλείται από την απόσταση μεταξύ του cloud και των συσκευών. Η αρχιτεκτονική fog μειώνει αυτήν την απόσταση, καθιστώντας δυνατή την επεξεργασία δεδομένων τοπικά, βελτιώνοντας την απόκριση σε πραγματικό χρόνο. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό για εφαρμογές όπως:

- Τα αυτόνομα οχήματα, όπου η καθυστέρηση μπορεί να οδηγήσει σε επικίνδυνες καταστάσεις.
- Οι έξυπνες πόλεις, όπου απαιτείται άμεση απόκριση για τη διαχείριση της κυκλοφορίας και των υποδομών.
- Οι εφαρμογές υγείας, όπου η γρήγορη επεξεργασία δεδομένων μπορεί να σώσει ζωές [4].

Η σημασία του fog computing έχει αυξηθεί σημαντικά με την εξάπλωση του IoT. Συσκευές όπως αισθητήρες, κάμερες και μηχανές που λειτουργούν σε βιομηχανικά περιβάλλοντα παράγουν τεράστιες ποσότητες δεδομένων. Το fog computing καθιστά δυνατή τη διαχείριση αυτών των δεδομένων πιο αποδοτικά, μειώνοντας την εξάρτηση από το cloud και επιτρέποντας την τοπική προσαρμογή των δεδομένων [5].

1.2 Κίνητρο και στόχοι της έρευνας

Η συνεχής αύξηση της χρήσης εφαρμογών Internet of Things (IoT), όπως τα έξυπνα σπίτια, οι έξυπνες πόλεις και τα συνδεδεμένα οχήματα, έχει οδηγήσει στην παραγωγή τεράστιων όγκων δεδομένων. Αυτά τα δεδομένα απαιτούν επεξεργασία και ανάλυση σε πραγματικό χρόνο, κάτι που οι παραδοσιακές υποδομές cloud computing συχνά δεν μπορούν να εξυπηρετήσουν λόγω καθυστερήσεων και εξάρτησης από απομακρυσμένους διακομιστές [1],[2].

Το fog computing αναδύεται ως μια καινοτόμος λύση για την αντιμετώπιση αυτών των προκλήσεων, παρέχοντας τοπική επεξεργασία δεδομένων, μειώνοντας την καθυστέρηση και αυξάνοντας την αξιοπιστία των συστημάτων. Οι μοναδικές του δυνατότητες το καθιστούν κρίσιμο για την υποστήριξη σύγχρονων τεχνολογιών, όπως τα δίκτυα 5G, οι έξυπνες πόλεις και οι βιομηχανικές εφαρμογές της Βιομηχανίας 4.0 [3]. Ωστόσο, παρά τη σημασία του fog computing, η ερευνητική του ανάπτυξη παραμένει κατακερματισμένη, ενώ τα ερευνητικά κενά και οι συνεργασίες μεταξύ επιστημόνων δεν έχουν χαρτογραφηθεί πλήρως.

Η παρούσα εργασία επιδιώκει να διερευνήσει και να αναδείξει την πρόοδο της έρευνας στο fog computing, εστιάζοντας στα παρακάτω:

Καταγραφή των βασικών ερευνητικών τάσεων: Μέσω της ανάλυσης επιστημονικών δημοσιεύσεων, η εργασία στοχεύει να προσδιορίσει τις κύριες θεματικές κατευθύνσεις στον τομέα.

Ανίχνευση των συνεργασιών και των δικτύων, ανάδειξη των κύριων σημείων επιρροής: Η ανάλυση θα εντοπίσει τις βασικές συνεργασίες μεταξύ χωρών, ιδρυμάτων, ερευνητών και θα αναδείξει τους σημαντικότερους συγγραφείς, οργανισμούς και χώρες που έχουν συμβάλει στην ανάπτυξη του ερευνητικού πεδίου fog computing [4].

Χαρτογράφηση των επιστημονικών συνεργασιών: Θα χρησιμοποιηθεί ανάλυση συν-συγγραφών και συν-αναφορών για την κατανόηση των δικτύων συνεργασίας.

Εντοπισμός ερευνητικών κενών: Η εργασία θα προσδιορίσει περιοχές που δεν έχουν μελετηθεί επαρκώς, προσφέροντας προτάσεις για μελλοντική έρευνα.

Για την επίτευξη αυτών των στόχων, θα χρησιμοποιηθούν δεδομένα από τις επιστημονικές βάσεις Scopus και Google Scholar, ενώ τα εργαλεία VOSviewer και η γλώσσα R θα αξιοποιηθούν για βιβλιομετρική ανάλυση και επιστημονική χαρτογράφηση [5], [6].

1.3 Δομή εργασίας

Η παρούσα εργασία είναι οργανωμένη σε έξι κεφάλαια, το καθένα εκ των οποίων στοχεύει να καλύψει μια διαφορετική πτυχή της έρευνας για το fog computing. Η δομή της εργασίας έχει σχεδιαστεί έτσι ώστε να παρέχει μια ολοκληρωμένη εικόνα του πεδίου και να διευκολύνει την κατανόηση των βιβλιομετρικών αναλύσεων που πραγματοποιούνται.

- **Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή**

Παρουσιάζονται οι βασικές έννοιες του fog computing, το κίνητρο της έρευνας και οι στόχοι της.

- **Κεφάλαιο 2: Βιβλιογραφική Ανασκόπηση**

Εξετάζεται η υπάρχουσα βιβλιογραφία για το fog computing, με έμφαση στις κύριες ερευνητικές κατευθύνσεις, τις τεχνολογικές εξελίξεις και τις προκλήσεις του τομέα. Επιπλέον, αναλύονται οι βασικές τεχνικές βιβλιομετρικής ανάλυσης που χρησιμοποιούνται στην εργασία.

- **Κεφάλαιο 3: Μεθοδολογία**

Αναλύονται οι βασικές τεχνικές βιβλιομετρικής ανάλυσης που χρησιμοποιούνται στην εργασία. Παρουσιάζονται οι επιστημονικές βάσεις δεδομένων (Scopus, Web of Science, Google Scholar) και τα εργαλεία που χρησιμοποιούνται, όπως τα VOSviewer, Gephi και η γλώσσα R. Εξηγούνται οι τεχνικές που εφαρμόζονται, όπως η ανάλυση συν-αναφορών και συν-λέξεων.

- **Κεφάλαιο 4: Ανάλυση Δεδομένων**

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται και αναλύονται τα αποτελέσματα της βιβλιομετρικής ανάλυσης του fog computing. Εξετάζονται η επιστημονική

παραγωγή, οι σημαντικότεροι συγγραφείς, οι επιστημονικές πηγές, οι χώρες και τα ιδρύματα με τη μεγαλύτερη ερευνητική δραστηριότητα, καθώς και οι βασικές θεματικές τάσεις του πεδίου. Η ανάλυση πραγματοποιείται με τη χρήση βιβλιομετρικών δεικτών, πινάκων και σχημάτων, με στόχο την αποτύπωση της εξέλιξης και της δυναμικής του ερευνητικού πεδίου.

- **Κεφάλαιο 5: Χαρτογράφηση επιστήμης και συσταδοποίηση**

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται οι τεχνικές επιστημονικής χαρτογράφησης και συσταδοποίησης που εφαρμόστηκαν για την ανάλυση των σχέσεων μεταξύ συγγραφέων, χωρών, οργανισμών και επιστημονικών πηγών. Μέσω δικτύων co-authorship, co-citation και keyword co-occurrence αναδεικνύονται οι συνεργασίες, οι επιστημονικές επιρροές και οι κυρίαρχες θεματικές περιοχές στο πεδίο του fog computing. Τα αποτελέσματα απεικονίζονται με τη χρήση χαρτών και διαγραμμάτων που δημιουργήθηκαν με τα εργαλεία VOSviewer και Bibliometrix.

- **Κεφάλαιο 6: Συμπεράσματα και Προτάσεις**

Συνοψίζονται τα κύρια ευρήματα της έρευνας, αναδεικνύονται τα ερευνητικά κενά που εντοπίστηκαν και προτείνονται κατευθύνσεις για μελλοντική έρευνα. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στη συμβολή της παρούσας εργασίας στην ερευνητική κοινότητα [\[6\]](#).

2 Fog Computing

2.1 Ορισμός Fog Computing

Η έννοια “fog computing” εισήχθη από την Cisco το 2012 για να ανταποκριθεί στις απαιτήσεις της αυξανόμενης χρήσης του IoT και της ανάγκης για επεξεργασία μεγάλων όγκων δεδομένων σε πραγματικό χρόνο [7], [8].

Το fog computing είναι μια αποκεντρωμένη υπολογιστική αρχιτεκτονική που επεκτείνει τις δυνατότητες του cloud computing, φέρνοντας υπηρεσίες επεξεργασίας, αποθήκευσης και δικτύωσης πιο κοντά στις συσκευές που παράγουν δεδομένα, όπως αυτές του Internet of Things (IoT). Σύμφωνα με τους Vaquero and Rodero-Merino το fog computing είναι “ένα σενάριο στο οποίο ένας τεράστιος αριθμός ετερογενών (ασύρματων και ενίοτε αυτόνομων) πανταχού παρόντων και αποκεντρωμένων συσκευών επικοινωνούν και ενδεχομένως συνεργάζονται μεταξύ τους και με το δίκτυο για την εκτέλεση εργασιών αποθήκευσης και επεξεργασίας χωρίς την παρέμβαση τρίτων. Οι εργασίες αυτές μπορεί να αφορούν την υποστήριξη βασικών λειτουργιών του δικτύου ή νέων υπηρεσιών και εφαρμογών που εκτελούνται σε περιβάλλον sandbox [8].

Σε αντίθεση με το cloud computing, το οποίο βασίζεται σε κεντροποιημένους διακομιστές, το fog computing διανέμει τις υπολογιστικές εργασίες σε πολλαπλά επίπεδα του δικτύου, επιτρέποντας την επεξεργασία των δεδομένων πιο κοντά στην πηγή τους. Αυτή η προσέγγιση μειώνει την καθυστέρηση, εξοικονομεί εύρος ζώνης και βελτιώνει την ασφάλεια, καθιστώντας την ιδανική για εφαρμογές όπως τα αυτόνομα οχήματα, οι έξυπνες πόλεις και οι βιομηχανικές διεργασίες.

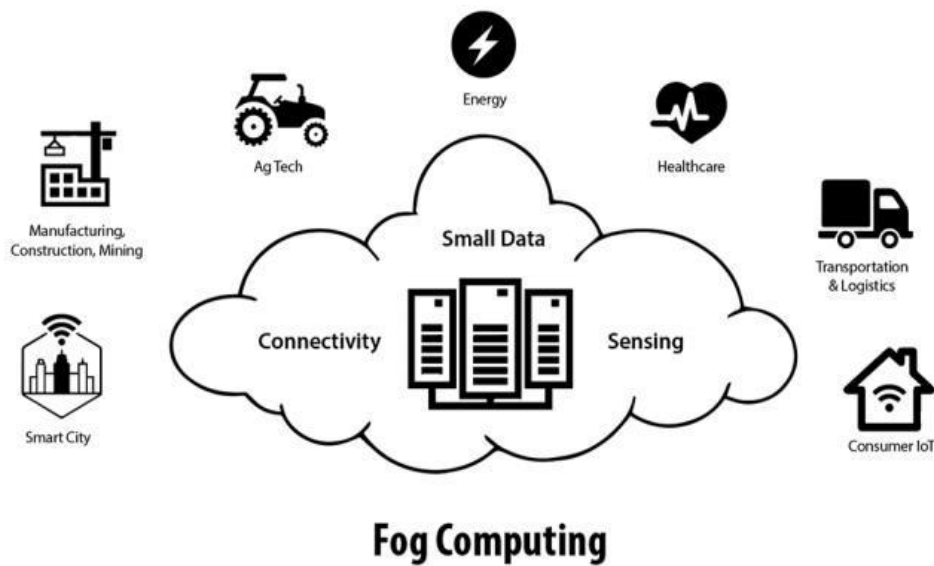
2.2 Αρχιτεκτονική Fog Computing

Η αρχιτεκτονική του fog computing ακολουθεί μια πολυεπίπεδη και αποκεντρωμένη προσέγγιση υπολογισμού, σχεδιασμένη να καλύψει τις ανάγκες των σύγχρονων εφαρμογών που εκτελούνται στις συσκευές των άκρων/χρηστών ή του Internet of Things (IoT). Ο κύριος στόχος της είναι να μειώσει την εξάρτηση από τα κέντρα δεδομένων, παρέχοντας υπηρεσίες υπολογιστικής ισχύος, αποθήκευσης και επικοινωνίας πιο κοντά στις συσκευές που παράγουν δεδομένα. Με τον τρόπο αυτό, η αρχιτεκτονική αυτή εξυπηρετεί απαιτητικές εφαρμογές που χρειάζονται χαμηλή καθυστέρηση, υψηλή αξιοπιστία και άμεση ανταπόκριση [9].

Η πιο συνηθισμένη αρχιτεκτονική fog computing, όπως παρουσιάζεται και στην Εικόνα 1, αποτελείται από τρία βασικά επίπεδα, καθένα από τα οποία παίζει κρίσιμο ρόλο στην απόδοση και τη λειτουργικότητα του συστήματος.

- **Συσκευές άκρων (Edge Devices):** Οι συσκευές αυτές είναι υπεύθυνες για τη συλλογή των πρωτογενών δεδομένων. Περιλαμβάνουν αισθητήρες, κάμερες, πύλες IoT, έξυπνα κινητά, καθώς και βιομηχανικές μηχανές. Εκτός από τη συλλογή δεδομένων, πολλές από αυτές τις συσκευές μπορούν να εκτελέσουν βασικές υπολογιστικές εργασίες, όπως το φιλτράρισμα ή η συμπίεση δεδομένων, πριν τα προωθήσουν σε ανώτερα επίπεδα του συστήματος [1], [2].
- **Κόμβοι Fog (Fog Nodes):** Αυτοί οι κόμβοι λειτουργούν ως ενδιάμεσο επίπεδο επεξεργασίας και αποθήκευσης. Βρίσκονται κοντά στις συσκευές ακμής και ενσωματώνουν εξοπλισμό όπως routers, switches, τοπικούς servers ή ακόμα και πύλες Wi-Fi. Παρέχουν αυξημένη επεξεργαστική ισχύ σε σύγκριση με τις συσκευές ακμής και είναι ικανοί να διαχειρίζονται σύνθετες υπολογιστικές εργασίες τοπικά. Οι κόμβοι fog λειτουργούν συχνά σε περιβάλλοντα με περιορισμένη συνδεσιμότητα και προσφέρουν υψηλή αυτονομία [3].
- **Cloud Computing:** Παρόλο που το fog computing επικεντρώνεται στη μείωση της εξάρτησης από το cloud, το τελευταίο παραμένει σημαντικό για την αποθήκευση μεγάλων ποσοτήτων δεδομένων, την εκτέλεση σύνθετων υπολογισμών και την ενσωμάτωση μακροπρόθεσμων αναλύσεων. Το cloud

αποτελεί επίσης το σημείο όπου συχνά συγκεντρώνονται τα δεδομένα από διαφορετικούς κόμβους fog για περαιτέρω ανάλυση [4].



Εικόνα 1: Αρχιτεκτονική fog computing

2.2.1 Χαρακτηριστικά της Αρχιτεκτονικής

Η αρχιτεκτονική fog computing διαθέτει ορισμένα διακριτά χαρακτηριστικά που την καθιστούν ιδιαίτερα αποτελεσματική για σύγχρονες εφαρμογές:

- **Τοπική Επεξεργασία Δεδομένων:** Η επεξεργασία πραγματοποιείται κοντά στην πηγή δημιουργίας δεδομένων, μειώνοντας δραστικά την καθυστέρηση που παρατηρείται κατά τη μεταφορά δεδομένων σε απομακρυσμένα κέντρα cloud [5]. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό σε εφαρμογές όπως η αυτόνομη οδήγηση, όπου κάθε χιλιοστό του δευτερολέπτου είναι κρίσιμο.
- **Υποστήριξη Κινητικότητας:** Η δυνατότητα υποστήριξης κινητών συσκευών και οχημάτων αποτελεί κεντρικό στοιχείο του fog computing. Οι κόμβοι fog μπορούν να ανακατανέμουν δεδομένα καθώς οι χρήστες ή οι συσκευές μετακινούνται, διατηρώντας συνεχή συνδεσιμότητα και λειτουργικότητα [6].
- **Ασφάλεια και Απόρρητο:** Επειδή τα δεδομένα επεξεργάζονται τοπικά στους κόμβους fog, οι πιθανότητες διαρροής μειώνονται σημαντικά. Αυτό είναι

ιδιαίτερα χρήσιμο για εφαρμογές που περιλαμβάνουν προσωπικά δεδομένα, όπως οι εφαρμογές υγείας [7].

- **Αποδοτικότητα Δικτύου:** Με τη μείωση του όγκου των δεδομένων που πρέπει να μεταφερθούν στο cloud, η αρχιτεκτονική fog computing εξοικονομεί εύρος ζώνης και περιορίζει τη συμφόρηση του δικτύου [8].

2.3 Πλεονεκτήματα Fog Computing

Η αρχιτεκτονική fog computing προσφέρει σημαντικά πλεονεκτήματα που την καθιστούν ιδανική για την υποστήριξη εφαρμογών και συστημάτων που απαιτούν χαμηλή καθυστέρηση, υψηλή απόδοση και αποτελεσματική χρήση πόρων. Τα πλεονεκτήματα αυτά εκτείνονται σε διάφορες πτυχές, από την τεχνολογική υποδομή έως την εμπειρία των τελικών χρηστών [10].

Μειωμένη Καθυστέρηση (Low Latency): Η τοπική επεξεργασία δεδομένων μειώνει σημαντικά την καθυστέρηση που παρατηρείται σε παραδοσιακά cloud-based συστήματα. Δεδομένα επεξεργάζονται κοντά στην πηγή τους, εξασφαλίζοντας γρήγορη απόκριση για εφαρμογές όπως αυτόνομα οχήματα, όπου κάθε χιλιοστό του δευτερολέπτου είναι κρίσιμο για την αποφυγή ατυχημάτων [1]. Σε εφαρμογές όπως η τηλεχειρουργική, η τοπική επεξεργασία εξαλείφει καθυστερήσεις που θα μπορούσαν να προκαλέσουν λάθη [2].

Αποδοτικότητα Δικτύου (Network Efficiency): Η αρχιτεκτονική fog computing μειώνει τον όγκο των δεδομένων που πρέπει να μεταφερθούν σε απομακρυσμένα data centers. Δεδομένα φιλτράρονται τοπικά, και μόνο οι απαραίτητες πληροφορίες αποστέλλονται στο cloud, μειώνοντας τη συμφόρηση στο δίκτυο [3]. Ιδιαίτερα σε περιβάλλοντα με περιορισμένη συνδεσιμότητα, η τοπική επεξεργασία εξασφαλίζει συνεχή λειτουργία [4].

Υποστήριξη Εφαρμογών σε Πραγματικό Χρόνο (Real-Time Applications): Το fog computing είναι ιδανικό για εφαρμογές που απαιτούν άμεση ανταπόκριση:

Βελτιωμένη Ασφάλεια και Απόρρητο (Enhanced Security and Privacy): Η τοπική επεξεργασία δεδομένων ελαχιστοποιεί την έκθεση των δεδομένων σε εξωτερικές επιθέσεις. Τα δεδομένα δεν χρειάζεται να μεταφέρονται σε απομακρυσμένους διακομιστές, περιορίζοντας την πιθανότητα παραβιάσεων [7]. Οι κόμβοι fog μπορούν να εφαρμόζουν κρυπτογράφηση και ελέγχους ασφαλείας τοπικά [8].

Ενεργειακή Αποδοτικότητα (Energy Efficiency): Η αρχιτεκτονική fog μειώνει τη συνολική κατανάλωση ενέργειας, καθώς οι διαδικασίες επεξεργασίας γίνονται τοπικά. Αυτό είναι ιδιαίτερα χρήσιμο για συσκευές IoT με περιορισμένη ενέργεια [4].

Ευελιξία και Κλιμακωσιμότητα (Flexibility and Scalability): Η δομή του fog computing επιτρέπει την κλιμάκωση του συστήματος ανάλογα με τις ανάγκες. Κόμβοι fog μπορούν να προστεθούν ή να αφαιρεθούν εύκολα, διευκολύνοντας τη δυναμική ανάπτυξη δικτύων [5].

2.4 Μειονεκτήματα Fog Computing

Παρόλο που το fog computing αποτελεί μια σύγχρονη και καινοτόμα προσέγγιση για τη διαχείριση δεδομένων, συνοδεύεται από αρκετές προκλήσεις. Αυτές αφορούν το κόστος, την πολυπλοκότητα διαχείρισης, τα ζητήματα ασφάλειας, την αυξημένη κατανάλωση ενέργειας και τη δυσκολία κλιμάκωσης [11].

Αυξημένο Κόστος Υποδομών και Λειτουργίας: Η ανάπτυξη και διατήρηση ενός συστήματος fog computing απαιτεί σημαντικές επενδύσεις σε εξοπλισμό, λογισμικό και ανθρώπινους πόρους:

- **Υποδομές και εξοπλισμός:** Σε αντίθεση με το παραδοσιακό cloud computing, όπου οι υποδομές είναι συγκεντρωμένες σε κεντρικά data centers, το fog computing βασίζεται σε αποκεντρωμένους κόμβους που απαιτούν εξειδικευμένο εξοπλισμό. Αυτοί περιλαμβάνουν πύλες δικτύου, τοπικούς servers και edge συσκευές με υψηλές δυνατότητες επεξεργασίας. Ο εξοπλισμός αυτός είναι ακριβότερος και η προμήθειά του αυξάνει το αρχικό κόστος εγκατάστασης [1].

- **Συντήρηση και αναβαθμίσεις:** Οι αποκεντρωμένοι κόμβοι χρειάζονται τακτική συντήρηση, καθώς και ενημερώσεις λογισμικού και υλικού για τη διατήρηση της λειτουργικότητάς τους. Σε δίκτυα με πολλούς κόμβους, το συνολικό κόστος συντήρησης αυξάνεται σημαντικά [2].
- **Ανάγκη εξειδικευμένου προσωπικού:** Η διαχείριση ενός τόσο αποκεντρωμένου συστήματος απαιτεί εξειδικευμένο προσωπικό που να μπορεί να αντιμετωπίσει θέματα λειτουργίας, συντήρησης και ασφάλειας. Αυτό συνεπάγεται πρόσθετα κόστη για εκπαίδευση και πρόσληψη προσωπικού [3].

Πολυπλοκότητα Διαχείρισης: Η αποκεντρωμένη φύση του fog computing προσθέτει σημαντική πολυπλοκότητα στη διαχείριση των υποδομών:

- **Διαχείριση πολλαπλών κόμβων:** Σε αντίθεση με το cloud computing, όπου όλες οι λειτουργίες συγκεντρώνονται σε κεντρικά data centers, το fog computing απαιτεί τη διαχείριση εκατοντάδων ή και χιλιάδων κόμβων που βρίσκονται σε διαφορετικές γεωγραφικές τοποθεσίες. Κάθε κόμβος χρειάζεται παρακολούθηση και διαχείριση ξεχωριστά, γεγονός που καθιστά τη συνολική διαχείριση του συστήματος εξαιρετικά περίπλοκη [4].
- **Απαιτήσεις συντονισμού:** Οι κόμβοι fog πρέπει να συνεργάζονται αποτελεσματικά τόσο μεταξύ τους όσο και με το κεντρικό cloud. Ο συντονισμός αυτός απαιτεί τη χρήση εξειδικευμένων πρωτοκόλλων επικοινωνίας και εργαλείων παρακολούθησης, τα οποία αυξάνουν την πολυπλοκότητα του συστήματος [5].

Περιορισμένη Υπολογιστική Ικανότητα: Παρόλο που το fog computing επιτρέπει την τοπική επεξεργασία δεδομένων, οι υπολογιστικές δυνατότητες των κόμβων fog είναι περιορισμένες:

- **Απαιτήσεις υψηλής επεξεργαστικής ισχύος:** Ορισμένες εφαρμογές, όπως τα αυτόνομα οχήματα και η Τηλεχειρουργική, απαιτούν τεράστιες δυνατότητες επεξεργασίας δεδομένων σε πραγματικό χρόνο. Οι κόμβοι fog συχνά δεν μπορούν να ανταποκριθούν πλήρως σε αυτές τις ανάγκες, αναγκάζοντας τους διαχειριστές να χρησιμοποιούν το cloud ως υποστηρικτική υποδομή [6].
- **Ασυμβατότητα με παλαιότερες συσκευές IoT:** Πολλές υπάρχουσες συσκευές IoT, ιδιαίτερα παλαιότερης τεχνολογίας, δεν υποστηρίζουν τη σύνδεση ή την

ενσωμάτωση σε δίκτυα fog computing. Αυτό απαιτεί την αντικατάσταση ή την αναβάθμιση αυτών των συσκευών, κάτι που αυξάνει το κόστος [4].

Ζητήματα Ασφάλειας και Απόρρητου: Η αποκεντρωμένη φύση του fog computing εισάγει νέες προκλήσεις όσον αφορά την ασφάλεια και το απόρρητο των δεδομένων:

- **Αυξημένοι κίνδυνοι κυβερνοεπιθέσεων:** Κάθε κόμβος fog μπορεί να αποτελέσει πιθανό στόχο για κυβερνοεπιθέσεις. Οι χάκερ μπορούν να εκμεταλλευτούν αδυναμίες ασφαλείας στους κόμβους για να αποκτήσουν πρόσβαση σε ευαίσθητα δεδομένα [7].
- **Προκλήσεις φυσικής ασφάλειας:** Οι κόμβοι fog βρίσκονται συχνά σε δημόσιες ή απομακρυσμένες τοποθεσίες, αυξάνοντας τον κίνδυνο μη εξουσιοδοτημένης φυσικής πρόσβασης και παραβίασης. Χωρίς κατάλληλα μέτρα προστασίας, η φυσική ασφάλεια αποτελεί σημαντική πρόκληση [7].
- **Απόρρητο και συμμόρφωση:** Η αποκεντρωμένη επεξεργασία δεδομένων περιπλέκει τη συμμόρφωση με κανονισμούς απορρήτου, όπως το GDPR. Η διαχείριση δεδομένων από διαφορετικούς κόμβους μπορεί να οδηγήσει σε ασυνέπειες ή παραβιάσεις [8].

Αυξημένη Κατανάλωση Ενέργειας: Το fog computing, αν και μειώνει την εξάρτηση από το cloud, συνοδεύεται από αυξημένες ενεργειακές απαιτήσεις:

- **Κατανάλωση ενέργειας για τη λειτουργία κόμβων:** Κάθε κόμβος fog χρειάζεται ενέργεια για να υποστηρίξει την επεξεργασία δεδομένων, την αποθήκευση και την επικοινωνία. Σε μεγάλα δίκτυα, η συνολική κατανάλωση ενέργειας μπορεί να είναι σημαντική, αυξάνοντας το κόστος λειτουργίας [5].
- **Περιβαλλοντική επίπτωση:** Σε δίκτυα που λειτουργούν συνεχώς, όπως τα βιομηχανικά IoT, η αυξημένη κατανάλωση ενέργειας μπορεί να επηρεάσει το περιβάλλον, καθώς και να οδηγήσει σε υψηλότερο λειτουργικό κόστος [6].

2.5 Σύγκριση Fog Computing με Cloud Computing

Το fog computing και το cloud computing αποτελούν δύο θεμελιώδεις αρχιτεκτονικές για τη διαχείριση και επεξεργασία δεδομένων στις σύγχρονες τεχνολογίες πληροφορικής. Παρόλο που το fog computing βασίζεται σε αρχές του cloud computing, διαφέρει σε πολλά κρίσιμα χαρακτηριστικά. Η κατανόηση των διαφορών, των πλεονεκτημάτων και των περιορισμών τους είναι ζωτικής σημασίας για την επιλογή της κατάλληλης τεχνολογίας ανάλογα με τις απαιτήσεις μιας εφαρμογής [13].

2.5.1 Ορισμός και Φιλοσοφία Λειτουργίας

- **Cloud Computing:** Το cloud computing αναφέρεται στη χρήση απομακρυσμένων data centers για την αποθήκευση, επεξεργασία και διαχείριση δεδομένων. Όλες οι λειτουργίες εκτελούνται σε κεντρικές υποδομές, οι οποίες είναι συνήθως προσβάσιμες μέσω του Διαδικτύου. Αυτή η προσέγγιση εξασφαλίζει επεκτασιμότητα και κεντρικό έλεγχο, αλλά συνεπάγεται μεγαλύτερη καθυστέρηση λόγω της απόστασης μεταξύ του χρήστη και των data centers [1].
- **Fog Computing:** Το fog computing, από την άλλη πλευρά, φέρνει την επεξεργασία δεδομένων πιο κοντά στην πηγή δημιουργίας τους, δηλαδή στις συσκευές ακμής. Οι κόμβοι fog εκτελούν τοπικά εργασίες αποθήκευσης, επεξεργασίας και ανάλυσης, μειώνοντας τη συνολική καθυστέρηση και τον όγκο των δεδομένων που μεταφέρονται στο cloud [7].

2.5.2 Αρχιτεκτονική και Υποδομές

- **Αρχιτεκτονική Cloud Computing:** Το cloud computing βασίζεται σε κεντρικά data centers με υψηλές υπολογιστικές δυνατότητες και τεράστιες αποθηκευτικές υποδομές. Η επικοινωνία μεταξύ συσκευών και cloud γίνεται μέσω του Διαδικτύου, γεγονός που καθιστά το cloud ιδιαίτερα κατάλληλο για εφαρμογές που απαιτούν επεξεργασία μεγάλου όγκου δεδομένων αλλά δεν είναι ευαίσθητες σε καθυστερήσεις [4].
- **Αρχιτεκτονική Fog Computing:** Το fog computing χρησιμοποιεί αποκεντρωμένους κόμβους που βρίσκονται κοντά στις συσκευές IoT. Αυτή η αρχιτεκτονική εξυπηρετεί εφαρμογές που απαιτούν άμεση επεξεργασία, όπως αυτόνομα οχήματα, Τηλεχειρουργική και διαχείριση έξυπνων πόλεων [6].

2.5.3 Απόδοση και Καθυστερήση

- **Cloud Computing:** Η κεντριοποιημένη φύση του cloud computing δημιουργεί καθυστέρηση, καθώς τα δεδομένα πρέπει να μεταφερθούν από τη συσκευή ακμής στα απομακρυσμένα data centers και πίσω. Αυτό αποτελεί σημαντικό μειονέκτημα για εφαρμογές που απαιτούν απόκριση σε πραγματικό χρόνο [5].
- **Fog Computing:** Η τοπική επεξεργασία δεδομένων στους κόμβους fog εξασφαλίζει χαμηλότερη καθυστέρηση. Αυτό είναι κρίσιμο για εφαρμογές όπως τα αυτόνομα οχήματα, όπου η λήψη αποφάσεων πρέπει να γίνεται μέσα σε χιλιοστά του δευτερολέπτου [7].

2.5.4 Επεκτασιμότητα και Ενεργειακή Κατανάλωση

- **Cloud Computing:** Τα data centers του cloud computing είναι σχεδιασμένα να υποστηρίζουν επεκτασιμότητα σε μεγάλο βαθμό. Παρόλα αυτά, η ενεργειακή κατανάλωση είναι συγκεντρωμένη στα data centers, τα οποία συχνά απαιτούν τεράστιους πόρους για ψύξη και λειτουργία [8].
- **Fog Computing:** Αντίθετα, το fog computing διανέμει την κατανάλωση ενέργειας σε πολλαπλούς κόμβους, αλλά αυτό αυξάνει τις συνολικές ενεργειακές απαιτήσεις του συστήματος, ειδικά σε μεγάλα δίκτυα με πολλούς κόμβους [9].

2.5.5 Ασφάλεια και Απόρρητο

- **Cloud Computing:** Παρόλο που το cloud computing προσφέρει υψηλό επίπεδο προστασίας δεδομένων μέσω συγκεντρωμένης διαχείρισης ασφαλείας, η μετάδοση δεδομένων στο cloud μπορεί να αυξήσει τους κινδύνους παραβιάσεων, ιδιαίτερα κατά τη μεταφορά δεδομένων [3].
- **Fog Computing:** Το fog computing ενισχύει την ασφάλεια μέσω της τοπικής επεξεργασίας δεδομένων. Ωστόσο, η αποκεντρωμένη φύση του εισάγει νέες προκλήσεις, καθώς κάθε κόμβος μπορεί να αποτελέσει στόχο κυβερνοεπιθέσεων. Η φυσική ασφάλεια των κόμβων είναι επίσης ζήτημα, ειδικά όταν βρίσκονται σε δημόσιους χώρους [8].

2.5.6 Επίπεδο Εφαρμογών

- **Cloud Computing:** Το cloud είναι ιδανικό για εφαρμογές που απαιτούν μαζική αποθήκευση και ανάλυση δεδομένων, όπως μεγάλης κλίμακας ανάλυση

δεδομένων, εφαρμογές τεχνητής νοημοσύνης και μηχανικής μάθησης, και αποθήκευση αρχείων [10].

- **Fog Computing:** Το fog computing προτιμάται σε εφαρμογές που απαιτούν άμεση απόκριση και λειτουργούν σε περιβάλλοντα με περιορισμένη συνδεσιμότητα, όπως αυτόνομα οχήματα, συστήματα βιομηχανικού ελέγχου και εφαρμογές τηλεϊατρικής [7].

Πίνακας 1: Σύγκριση cloud computing και fog computing

Χαρακτηριστικό	Cloud Computing	Fog Computing
Αρχιτεκτονική	Κεντριοποιημένη	Αποκεντρωμένη
Καθυστέρηση	Υψηλή	Χαμηλή
Επεκτασιμότητα	Υψηλή	Μέτρια
Ενεργειακή Κατανάλωση	Συγκεντρωμένη	Κατανεμημένη
Ασφάλεια	Συγκεντρωμένη, αλλά εκτεθειμένη κατά τη μεταφορά	Τοπική επεξεργασία, αλλά ευάλωτη σε κυβερνοεπιθέσεις
Εφαρμογές	Ανάλυση δεδομένων μεγάλης κλίμακας	Χαμηλή καθυστέρηση, εφαρμογές πραγματικού χρόνου

2.6 Εφαρμογές του Fog Computing

Το fog computing αποτελεί έναν από τους πιο καινοτόμους τρόπους διαχείρισης δεδομένων σε εφαρμογές που απαιτούν άμεση επεξεργασία, χαμηλή καθυστέρηση και τοπική αποθήκευση. Η ευελιξία και η προσαρμοστικότητα της τεχνολογίας έχουν οδηγήσει στην υιοθέτησή της σε διάφορους τομείς, με έμφαση στο Internet of Things (IoT), τις έξυπνες πόλεις, τη βιομηχανία και την υγειονομική περίθαλψη. Παρακάτω αναλύεται ο ρόλος του fog computing στους κύριους τομείς εφαρμογής του.

Το fog computing έχει γίνει βασικό εργαλείο σε εφαρμογές που απαιτούν τοπική επεξεργασία δεδομένων και υψηλή ταχύτητα απόκρισης. Ενδεικτικά παραδείγματα περιλαμβάνουν:

- **Αυτόνομα Οχήματα:** Στον τομέα των μεταφορών, το fog computing επιτρέπει την επεξεργασία δεδομένων από αισθητήρες οχημάτων τοπικά, μειώνοντας την καθυστέρηση και αυξάνοντας την ασφάλεια των επιβατών. Η άμεση ανάλυση δεδομένων, όπως οι πληροφορίες από ραντάρ και κάμερες, είναι ζωτικής σημασίας για τη λήψη αποφάσεων σε πραγματικό χρόνο [1].
- **Έξυπνες Πόλεις:** Οι εφαρμογές έξυπνων πόλεων, όπως η διαχείριση κυκλοφορίας, η παρακολούθηση ποιότητας αέρα και η διαχείριση ενέργειας, επωφελούνται από την τοπική επεξεργασία δεδομένων. Οι κόμβοι fog επιτρέπουν την άμεση ανάλυση πληροφοριών που συλλέγονται από αισθητήρες, μειώνοντας τη συμφόρηση στα δίκτυα cloud και παρέχοντας ταχύτερη ανταπόκριση [7].

Οι έξυπνες πόλεις αξιοποιούν το fog computing για τη διαχείριση μεγάλων δικτύων αισθητήρων και την παροχή άμεσων υπηρεσιών στους πολίτες. Οι εφαρμογές αυτές περιλαμβάνουν:

- **Διαχείριση κυκλοφορίας:** Το fog computing χρησιμοποιείται για την ανάλυση δεδομένων από αισθητήρες κυκλοφορίας και κάμερες σε πραγματικό χρόνο. Οι κόμβοι fog συμβάλλουν στη βελτιστοποίηση της ροής οχημάτων, τη μείωση της κυκλοφοριακής συμφόρησης και την προώθηση βιώσιμων μέσων μεταφοράς [10].
- **Παρακολούθηση ποιότητας αέρα:** Συστήματα αισθητήρων που παρακολουθούν την ποιότητα του αέρα στις πόλεις μπορούν να αναλύουν δεδομένα τοπικά, προειδοποιώντας άμεσα τις αρχές σε περίπτωση ανίχνευσης επικίνδυνων ουσιών. Αυτό συμβάλλει στη βελτίωση της δημόσιας υγείας και της περιβαλλοντικής πολιτικής [11].
- **Εξοικονόμηση ενέργειας:** Το fog computing βελτιστοποιεί τη χρήση ενέργειας στις πόλεις, διαχειριζόμενο δεδομένα από συστήματα φωτισμού, θερμάνσεων και ψύξεων κτιρίων. Η τοπική ανάλυση δεδομένων μειώνει τη σπατάλη ενέργειας και προωθεί βιώσιμες πρακτικές [4].
- **Υγειονομική Περίθαλψη:** Στον τομέα της υγείας, το fog computing χρησιμοποιείται για τη συλλογή και ανάλυση δεδομένων από ιατρικές

συσκευές, όπως καρδιογράφους και οξυγονόμετρα. Αυτή η τοπική επεξεργασία μειώνει την ανάγκη αποστολής δεδομένων στο cloud, αυξάνοντας την ασφάλεια των δεδομένων ασθενών [8].

Η υγειονομική περίθαλψη επωφελείται ιδιαίτερα από το fog computing, καθώς η τεχνολογία αυτή επιτρέπει την άμεση ανάλυση δεδομένων ασθενών και τη διασφάλιση της ασφάλειας των ευαίσθητων πληροφοριών:

- Τηλεϊατρική: Οι κόμβοι fog επιτρέπουν την ανάλυση ιατρικών δεδομένων κοντά στον ασθενή, διασφαλίζοντας την άμεση ανταπόκριση σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης [13].
- Αποθήκευση και διαχείριση δεδομένων ασθενών: Η τοπική επεξεργασία και αποθήκευση δεδομένων μειώνει τον κίνδυνο παραβιάσεων ασφαλείας, ενώ παράλληλα διασφαλίζει τη συμμόρφωση με κανονισμούς απορρήτου, όπως το GDPR [8].
- Βιομηχανία 4.0: Οι βιομηχανικές εφαρμογές, όπως η ανίχνευση ανωμαλιών σε μηχανές παραγωγής και η αυτοματοποίηση διαδικασιών, χρησιμοποιούν fog computing για να εξασφαλίσουν την ακρίβεια και την ταχύτητα στη λήψη αποφάσεων [4].

Η τέταρτη βιομηχανική επανάσταση (Industry 4.0) βασίζεται σε έξυπνες τεχνολογίες, όπως το IoT και η τεχνητή νοημοσύνη. Το fog computing διαδραματίζει καίριο ρόλο στις εφαρμογές αυτές, παρέχοντας:

- Ανίχνευση ανωμαλιών: Οι κόμβοι fog αναλύουν δεδομένα από αισθητήρες βιομηχανικών μηχανών σε πραγματικό χρόνο, ανιχνεύοντας ανωμαλίες που θα μπορούσαν να οδηγήσουν σε βλάβες. Αυτό επιτρέπει την έγκαιρη συντήρηση και μειώνει τον χρόνο διακοπής λειτουργίας [12].
- Βελτιστοποίηση παραγωγικών διαδικασιών: Οι κόμβοι fog χρησιμοποιούνται για την ανάλυση δεδομένων παραγωγής, επιτρέποντας τη βελτιστοποίηση της απόδοσης των μηχανών και τη μείωση της σπατάλης πόρων.

2.7 Τρέχουσα κατάσταση

Η ραγδαία ανάπτυξη των εφαρμογών του Internet of Things (IoT), καθώς και η ανάγκη για χαμηλή καθυστέρηση και επεξεργασία δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, έχουν οδηγήσει σε αυξανόμενη υιοθέτηση του fog computing. Παρόλο που η τεχνολογία βρίσκεται ακόμα σε στάδιο ανάπτυξης, έχει ήδη καταφέρει να επηρεάσει διάφορους τομείς, από τη βιομηχανία μέχρι τις έξυπνες πόλεις και την υγειονομική περίθαλψη. Σε αυτήν την ενότητα εξετάζουμε την τρέχουσα κατάσταση της τεχνολογίας fog computing, αναλύοντας τις εφαρμογές, τις προκλήσεις και τις μελλοντικές προοπτικές [12].

2.7.1 Τρέχουσες Προκλήσεις

Παρά την ευρεία εφαρμογή του fog computing, η τεχνολογία αντιμετωπίζει σημαντικές προκλήσεις που εμποδίζουν την ταχεία υιοθέτησή της.

- **Πολυπλοκότητα Διαχείρισης:** Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, η διαχείριση πολλών κόμβων σε διαφορετικές γεωγραφικές τοποθεσίες καθιστά τη συνολική διαχείριση του συστήματος απαιτητική. Αυτή η πολυπλοκότητα αυξάνει το κόστος και μειώνει την ευελιξία [5].
- **Ασφάλεια και Απόρρητο:** Οι αποκεντρωμένοι κόμβοι fog εισάγουν νέες προκλήσεις ασφάλειας, καθώς κάθε κόμβος αποτελεί ένα πιθανό σημείο ευπάθειας. Οι κυβερνοεπιθέσεις και η διαχείριση απορρήτου παραμένουν σημαντικά προβλήματα [7].
- **Ενεργειακές Απαιτήσεις:** Η αυξημένη κατανάλωση ενέργειας των κόμβων fog αποτελεί μια πρόκληση, ειδικά σε εφαρμογές που λειτουργούν συνεχώς, όπως οι βιομηχανικές διεργασίες [6].

2.7.2 Μελλοντικές Προοπτικές

Η εξέλιξη του fog computing βασίζεται στην επίλυση των υπαρχόντων προκλήσεων και στη βελτίωση της τεχνολογίας. Οι μελλοντικές τάσεις περιλαμβάνουν:

- **Ενσωμάτωση με το 5G:** Το fog computing και τα δίκτυα 5G αναμένεται να συνεργαστούν στενά, επιτρέποντας την ταχύτερη επεξεργασία δεδομένων και την υποστήριξη εφαρμογών που απαιτούν πολύ χαμηλή καθυστέρηση [9].
- **Αυξημένη αυτοματοποίηση:** Η χρήση τεχνολογιών τεχνητής νοημοσύνης (AI) για τη διαχείριση και τον συντονισμό κόμβων fog θα μειώσει την πολυπλοκότητα και το κόστος λειτουργίας. Η αυτοματοποίηση θα επιτρέψει την ταχύτερη ανάπτυξη και τη διαχείριση μεγάλων δικτύων [10].
- **Πράσινη Υπολογιστική:** Η ανάπτυξη ενεργειακά αποδοτικών κόμβων fog αποτελεί προτεραιότητα, με στόχο τη μείωση του ενεργειακού αποτυπώματος των εφαρμογών fog computing [4].

3 Μεθοδολογία

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζεται η μεθοδολογική προσέγγιση που ακολουθήθηκε για τη διερεύνηση και ανάλυση του επιστημονικού πεδίου του fog computing. Η έρευνα βασίζεται στον συνδυασμό της βιβλιομετρικής ανάλυσης (Bibliometric analysis) και της συστηματικής ανασκόπησης της βιβλιογραφίας (systematic literature review – SLR), προκειμένου να επιτευχθεί τόσο ποσοτική όσο και ποιοτική προσέγγιση του αντικειμένου [20]. Η βιβλιομετρική ανάλυση αξιοποιείται για τη χαρτογράφηση της επιστημονικής παραγωγής και την ανάδειξη των σχέσεων μεταξύ συγγραφέων, θεματικών περιοχών και επιστημονικών πηγών, ενώ η συστηματική ανασκόπηση επιτρέπει την εις βάθος κατανόηση των πιο σημαντικών μελετών και την αξιολόγηση των ερευνητικών τάσεων [27]. Ο συνδυασμός των δύο προσεγγίσεων ενισχύει την εγκυρότητα της έρευνας, καθώς προσφέρει ολοκληρωμένη εικόνα της εξέλιξης του πεδίου. Η διαδικασία της έρευνας περιλαμβάνει τη συλλογή δεδομένων από επιστημονικές βάσεις, την εφαρμογή βιβλιομετρικών τεχνικών ανάλυσης, την επιλογή των κατάλληλων μελετών βάσει προκαθορισμένων κριτηρίων και την εξαγωγή των αποτελεσμάτων. Η προσέγγιση αυτή ακολουθεί καθιερωμένες πρακτικές της διεθνούς βιβλιογραφίας και έχει εφαρμοστεί σε αντίστοιχες μελέτες στο πεδίο του fog computing [25].

3.1 Πηγές Δεδομένων

Για τη συλλογή των δεδομένων της παρούσας μελέτης χρησιμοποιήθηκε η επιστημονική βάση δεδομένων Scopus, καθώς και η βάση Google Scholar ως συμπληρωματική πηγή. Οι δύο αυτές πλατφόρμες αποτελούν από τις πιο αξιόπιστες πηγές επιστημονικής πληροφόρησης και χρησιμοποιούνται ευρέως σε βιβλιομετρικές αναλύσεις [18]. Το Scopus επιλέχθηκε ως κύρια πηγή δεδομένων, λόγω της εκτεταμένης κάλυψης επιστημονικών δημοσιεύσεων και της υψηλής ποιότητας δεδομένων που παρέχει, όπως στοιχεία συγγραφέων, λέξεις-κλειδιά και παραπομπές [21]. Επιπλέον, η δυνατότητα εξαγωγής δεδομένων σε μορφή CSV καθιστά το Scopus ιδιαίτερα κατάλληλο για επεξεργασία μέσω εργαλείων βιβλιομετρικής ανάλυσης [20]. Παράλληλα, η χρήση του Google Scholar λειτουργεί συμπληρωματικά, καθώς επιτρέπει την ανάκτηση πρόσθετων επιστημονικών εργασιών που ενδέχεται να μην περιλαμβάνονται στη Scopus, συμβάλλοντας έτσι στη δημιουργία ενός πιο ολοκληρωμένου και αντιπροσωπευτικού συνόλου δεδομένων.

Στο πλαίσιο της παρούσας έρευνας, τα δεδομένα αφορούν δημοσιεύσεις σχετικές με το fog computing, με έμφαση σε άρθρα τύπου review και survey, τα οποία καλύπτουν τη χρονική περίοδο 2015–2025, ώστε να αποτυπωθούν οι σύγχρονες εξελίξεις και τάσεις του πεδίου [19].

3.2 Στρατηγική Αναζήτησης

Η στρατηγική αναζήτησης σχεδιάστηκε με στόχο τον εντοπισμό επιστημονικών δημοσιεύσεων που αποτυπώνουν συνολικά την εξέλιξη και τις ερευνητικές τάσεις στο πεδίο του fog computing. Για τον σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκε ένα δομημένο ερώτημα αναζήτησης στη βάση δεδομένων Scopus, το οποίο βασίζεται σε κατάλληλα επιλεγμένες λέξεις-κλειδιά και λογικούς τελεστές.

Το ερώτημα αναζήτησης που χρησιμοποιήθηκε είναι το εξής:

("fog computing" AND survey) OR ("fog computing" AND review)

Η επιλογή των όρων “survey” και “review” πραγματοποιήθηκε με στόχο την ανάκτηση μελετών που συγκεντρώνουν και συνοψίζουν τη γνώση του επιστημονικού πεδίου, παρέχοντας μια συνολική εικόνα των ερευνητικών εξελίξεων και τάσεων [20]. Οι μελέτες αυτού του τύπου θεωρούνται ιδιαίτερα σημαντικές σε βιβλιομετρικές αναλύσεις, καθώς διευκολύνουν την κατανόηση της δομής και της εξέλιξης ενός πεδίου. Η αναζήτηση εφαρμόστηκε σε πεδία όπως ο τίτλος, η περίληψη και οι λέξεις-κλειδιά των δημοσιεύσεων, ώστε να διασφαλιστεί η υψηλή συνάφεια των αποτελεσμάτων. Παράλληλα, εφαρμόστηκε χρονικός περιορισμός στο διάστημα **2015–2025**, με στόχο την επικέντρωση σε πρόσφατες και σύγχρονες επιστημονικές μελέτες, δεδομένου ότι το fog computing αποτελεί ένα ταχέως εξελισσόμενο πεδίο [19]. Η χρήση λογικών τελεστών (AND, OR) και φίλτρων αποτελεί βασική πρακτική στις συστηματικές ανασκοπήσεις, καθώς επιτρέπει τον ακριβή περιορισμό των αποτελεσμάτων και τη βελτίωση της ποιότητας των δεδομένων [27]. Επιπλέον, η εφαρμογή σαφώς ορισμένων στρατηγικών αναζήτησης ενισχύει τη διαφάνεια και την επαναληψιμότητα της έρευνας, στοιχεία που θεωρούνται κρίσιμα σε σύγχρονες μεθοδολογικές προσεγγίσεις [26]. Η συγκεκριμένη προσέγγιση ευθυγραμμίζεται με αντίστοιχες βιβλιομετρικές μελέτες στον τομέα του fog computing, όπου χρησιμοποιούνται στοχευμένα ερωτήματα αναζήτησης και συγκεκριμένα φίλτρα για την επιλογή των κατάλληλων επιστημονικών δημοσιεύσεων [25].

3.3 Κριτήρια Επιλογής και Αποκλεισμού

Για τη διασφάλιση της ποιότητας, της αξιοπιστίας και της συνάφειας των δεδομένων της παρούσας μελέτης, καθορίστηκαν συγκεκριμένα κριτήρια επιλογής και αποκλεισμού, σύμφωνα με τις κατευθυντήριες οδηγίες της συστηματικής ανασκόπησης βιβλιογραφίας [27]. Στα κριτήρια επιλογής περιλαμβάνονται οι επιστημονικές δημοσιεύσεις τύπου review και survey, οι οποίες σχετίζονται άμεσα με το fog computing και έχουν δημοσιευθεί στο χρονικό διάστημα 2015–2025. Επιπλέον, επιλέχθηκαν μόνο άρθρα γραμμένα στην αγγλική γλώσσα και δημοσιευμένα σε επιστημονικά περιοδικά ή πρακτικά συνεδρίων με κριτές, ώστε να διασφαλιστεί η επιστημονική εγκυρότητα των δεδομένων [20].

Αντίστοιχα, στα κριτήρια αποκλεισμού περιλαμβάνονται οι δημοσιεύσεις εκτός του χρονικού εύρους της μελέτης, οι εργασίες που δεν ανήκουν σε τύπο review ή survey, καθώς και μη επιστημονικά έγγραφα, όπως τεχνικές αναφορές ή μη αξιολογημένο υλικό. Επίσης, αφαιρέθηκαν διπλότυπες εγγραφές που προέκυψαν από τη διαδικασία αναζήτησης [27]. Η εφαρμογή των παραπάνω κριτηρίων συνέβαλε στη δημιουργία ενός αξιόπιστου και αντιπροσωπευτικού συνόλου δεδομένων, κατάλληλου για βιβλιομετρική ανάλυση. Η προσέγγιση αυτή είναι σύμφωνη με σύγχρονες μελέτες που χρησιμοποιούν δομημένα φίλτρα επιλογής για την εξαγωγή υψηλής ποιότητας δεδομένων [26].

3.4 Εργαλεία Ανάλυσης

Για την ανάλυση των βιβλιομετρικών δεδομένων χρησιμοποιήθηκαν τα λογισμικά VOSviewer και οι βιβλιοθήκες Bibliometrix και Biblioshiny της γλώσσας R, τα οποία αποτελούν βασικά εργαλεία στη σύγχρονη βιβλιομετρική έρευνα [24].

Τα δεδομένα που συλλέχθηκαν από τη βάση Scopus εξήχθησαν σε μορφή CSV και στη συνέχεια εισήχθησαν στα παραπάνω εργαλεία για περαιτέρω επεξεργασία αφού αφαιρέθηκαν οι διπλές εγγραφές. Το VOSviewer χρησιμοποιήθηκε κυρίως για την οπτικοποίηση των επιστημονικών δικτύων, ενώ το Bibliometrix για τη στατιστική ανάλυση των δεδομένων [20]. Η συνδυαστική χρήση των δύο εργαλείων επιτρέπει μια ολοκληρωμένη προσέγγιση, καθώς συνδυάζει την ποσοτική αξιολόγηση της επιστημονικής παραγωγής με την οπτική απεικόνιση των σχέσεων μεταξύ ερευνητών, λέξεων-κλειδιών και επιστημονικών πηγών [24]. Η πρακτική αυτή ενισχύει την εγκυρότητα των αποτελεσμάτων μέσω της μεθοδολογικής τριγωνοποίησης [20].

3.4.1 Το εργαλείο VOSviewer

Το λογισμικό VOSviewer χρησιμοποιήθηκε για τη χαρτογράφηση και οπτικοποίηση των βιβλιομετρικών δεδομένων της παρούσας έρευνας. Το εργαλείο αυτό αναπτύχθηκε από τους Van Eck και Waltman (2010) και χρησιμοποιείται ευρέως για την ανάλυση επιστημονικών δικτύων.

Συγκεκριμένα, μέσω του VOSviewer πραγματοποιήθηκαν αναλύσεις:

- συν-εμφάνισης λέξεων-κλειδιών (co-occurrence),
- συν-αναφορών (co-citation),
- και συν-συγγραφής (co-authorship).

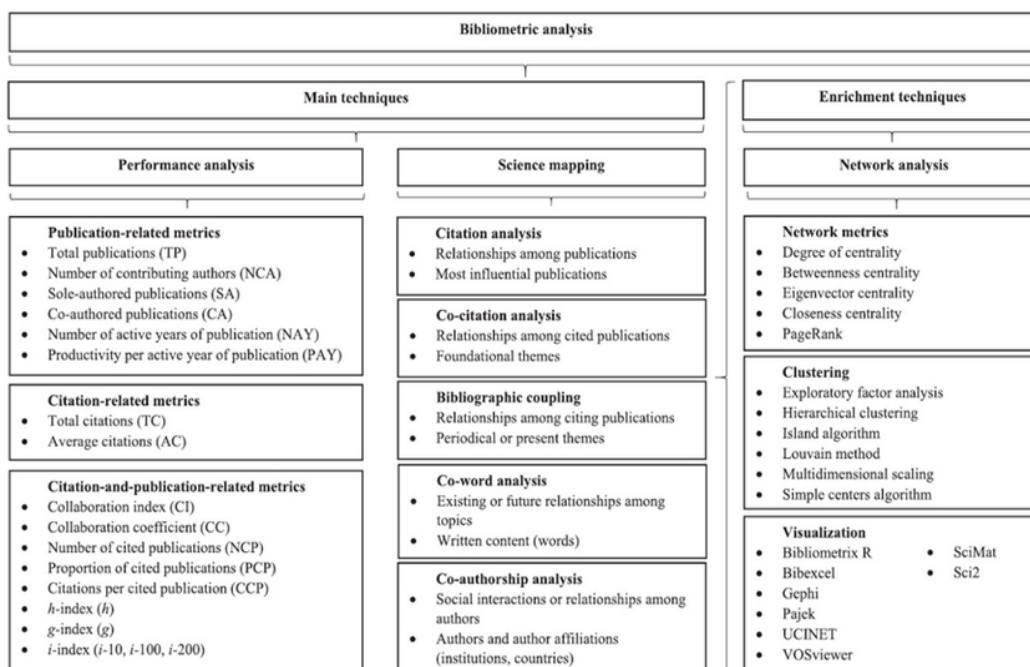
Οι αναλύσεις αυτές επέτρεψαν την αναγνώριση των βασικών θεματικών περιοχών και την ομαδοποίηση των ερευνητικών τάσεων σε θεματικά clusters, συμβάλλοντας στην καλύτερη κατανόηση της δομής του πεδίου του fog computing [23]. Το VOSviewer επιλέχθηκε λόγω της δυνατότητάς του να διαχειρίζεται μεγάλα σύνολα δεδομένων και να παράγει ευανάγνωστες οπτικοποιήσεις, οι οποίες διευκολύνουν την ερμηνεία των αποτελεσμάτων [24]. Η χρήση του είναι ιδιαίτερα διαδεδομένη σε βιβλιομετρικές μελέτες και έχει εφαρμοστεί και σε αντίστοιχες αναλύσεις στον τομέα του fog computing [25].

3.4.2 Το Bibliometrix

Το Bibliometrix αποτελεί ένα ολοκληρωμένο εργαλείο βιβλιομετρικής ανάλυσης, το οποίο αναπτύχθηκε στη γλώσσα προγραμματισμού R από τους Aria και Cuccurullo (2017). Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε για τη στατιστική επεξεργασία των δεδομένων και την εξαγωγή βασικών βιβλιομετρικών δεικτών.

Μέσω του Bibliometrix πραγματοποιήθηκε ανάλυση της επιστημονικής παραγωγής ανά έτος, εντοπισμός των πιο παραγωγικών συγγραφέων και χωρών, καθώς και αξιολόγηση της επιρροής των δημοσιεύσεων μέσω της ανάλυσης παραπομπών [17]. Παράλληλα, αξιοποιήθηκε η εφαρμογή Biblioshiny, η οποία παρέχει γραφικό περιβάλλον χρήσης και διευκολύνει την επεξεργασία των δεδομένων και την παραγωγή γραφημάτων και πινάκων χωρίς την ανάγκη προγραμματισμού. Η χρήση του εργαλείου συμβάλλει στην ολοκληρωμένη

ανάλυση του επιστημονικού πεδίου, σε συνδυασμό με τα αποτελέσματα που προκύπτουν από το VOSviewer [20].



Εικόνα 2: Ταξινόμηση των τεχνικών Βιβλιομετρικής ανάλυσης

Η Βιβλιομετρική ανάλυση μπορεί να κατηγοριοποιηθεί σε τρεις βασικές κατηγορίες: ανάλυση απόδοσης, επιστημονική χαρτογράφηση και ανάλυση δικτύων [1].

4 Ανάλυση Δεδομένων

Εισαγωγή

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται και αναλύονται τα αποτελέσματα της βιβλιομετρικής ανάλυσης που πραγματοποιήθηκε στο πεδίο του fog computing. Η ανάλυση βασίζεται σε δεδομένα που αντλήθηκαν από επιστημονικές βάσεις δεδομένων και επεξεργάστηκαν με τη χρήση του εργαλείου Bibliometrix. Σκοπός είναι η αποτύπωση της επιστημονικής παραγωγής, η ανάδειξη των σημαντικότερων συγγραφέων, πηγών και χωρών, καθώς και η διερεύνηση των βασικών ερευνητικών τάσεων και θεματικών περιοχών. Η παρουσίαση των αποτελεσμάτων οργανώνεται σε επιμέρους ενότητες, οι οποίες περιλαμβάνουν την περιγραφή των δεδομένων, την ανάλυση της επιστημονικής παραγωγής, την εξέταση των βιβλιομετρικών δεικτών, καθώς και τη χαρτογράφηση των ερευνητικών θεμάτων μέσω κατάλληλων γραφημάτων και διαγραμμάτων.

4.1 Περιγραφή Δεδομένων

Στην παρούσα ενότητα παρουσιάζονται τα βασικά χαρακτηριστικά του συνόλου δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν για τη βιβλιομετρική ανάλυση. Τα δεδομένα προέκυψαν μετά από διαδικασία καθαρισμού, με την αφαίρεση διπλότυπων εγγραφών, προκειμένου να διασφαλιστεί η αξιοπιστία και η εγκυρότητα των αποτελεσμάτων.

Ο Πίνακας 2 απεικονίζει τη συνοπτική εικόνα του συνόλου δεδομένων που χρησιμοποιήθηκε για τη βιβλιομετρική ανάλυση στον τομέα του fog computing, μετά τη διαδικασία καθαρισμού. Από τα στοιχεία του πίνακα προκύπτει ότι η χρονική περίοδος της μελέτης εκτείνεται από το 2012 έως το 2025 γεγονός που επιτρέπει τη διαχρονική παρακολούθηση της εξέλιξης του πεδίου. Το σύνολο των επιστημονικών πηγών ανέρχεται σε 1688 ενώ ο αριθμός των δημοσιεύσεων φτάνει τις 4426 καταδεικνύοντας τον σημαντικό όγκο ερευνητικής δραστηριότητας. Ιδιαίτερα σημαντικός είναι ο ετήσιος ρυθμός αύξησης της επιστημονικής παραγωγής, ο οποίος ανέρχεται στο 51.66% γεγονός που επιβεβαιώνει τη ραγδαία ανάπτυξη του fog computing ως επιστημονικού αντικείμενου. Παράλληλα, η μέση ηλικία των εγγράφων είναι 4.88 έτη, υποδηλώνοντας ότι πρόκειται για ένα σχετικά σύγχρονο και ενεργό πεδίο έρευνας.

Πίνακας 1: Σύνοψη βιβλιομετρικών δεικτών του συνόλου δεδομένων (μετά τον καθαρισμό δεδομένων)

Description	Results
Timespan	2012:2025
Sources (Journal, Books, etc)	1688
Documents	4426
Annual Growth Rate %	51.66
Document Average Age	4.88
Average citations per doc	31.18
References	196731
Keywords Plus (ID)	13690
Author' s Keywords (DE)	6877
Authors	9101
Authors of single-authored docs	169
Single-authored docs	191
Co-Authors per Doc	3.7
International co-authorships %	27.77
article	2033
book chapter	368
conference paper	1912
retracted	1
review	112

Ο μέσος αριθμός αναφορών ανά έγγραφο (31.18) και το σύνολο των αναφορών (196731) αναδεικνύουν την υψηλή επιστημονική απήχηση των δημοσιεύσεων. Όσον αφορά το περιεχόμενο των εγγράφων, καταγράφονται 13690 λέξεις-κλειδιά τύπου Keywords Plus και 6877 λέξεις-κλειδιά συγγραφέων, γεγονός που φανερώνει τη θεματική ποικιλία και τον πλούτο της ερευνητικής δραστηριότητας.

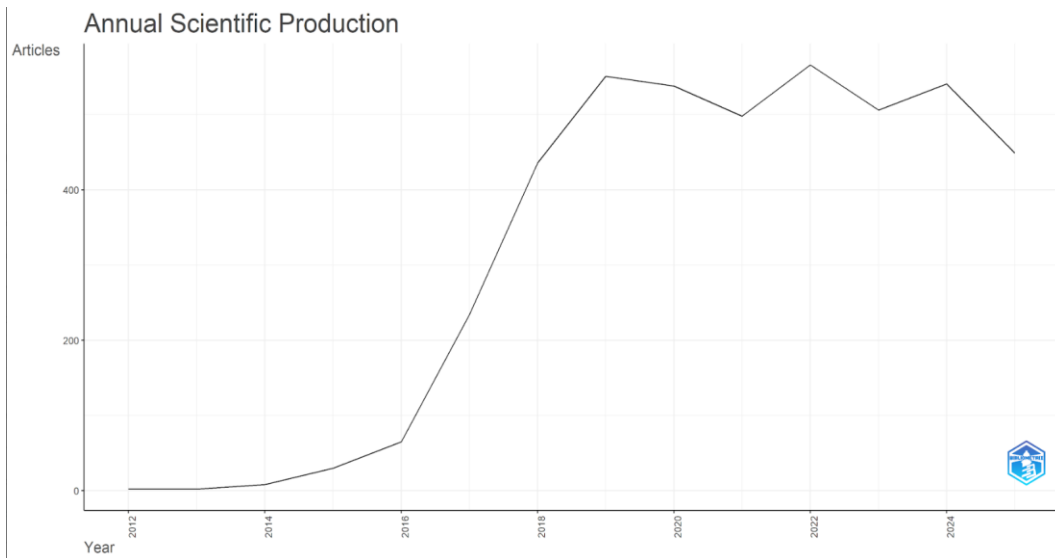
Σε επίπεδο συγγραφέων, το σύνολο ανέρχεται σε 9101 ερευνητές, εκ των οποίων μόνο 169 έχουν δημοσιεύσει ατομικά έργα. Αντίστοιχα, τα έγγραφα με μοναδικό συγγραφέα είναι 191, ενώ ο μέσος αριθμός συν-συγγραφέων ανά έγγραφο ανέρχεται σε 3.7 γεγονός που υποδηλώνει έντονη συνεργατική δραστηριότητα. Επιπλέον, το ποσοστό διεθνούς συνεργασίας φτάνει το 27.77%, ενισχύοντας τον διεθνή χαρακτήρα του πεδίου.

Τέλος, όσον αφορά τους τύπους των εγγράφων, τα επιστημονικά άρθρα αποτελούν την πλειονότητα με 2033 δημοσιεύσεις, ακολουθούμενα από τα συνέδρια (1912), ενώ μικρότερη είναι η συμμετοχή των κεφαλαίων βιβλίων (368) και των ανασκοπήσεων (112). Η ύπαρξη ενός μόνο ανακληθέντος άρθρου (1) υποδηλώνει υψηλό επίπεδο αξιοπιστίας των δεδομένων. Συνολικά, τα αποτελέσματα του πίνακα αναδεικνύουν ένα δυναμικά αναπτυσσόμενο και έντονα συνεργατικό επιστημονικό πεδίο, με σημαντική παραγωγή και υψηλή επιστημονική επιρροή.

4.2 Ανάλυση Επιστημονικής Παραγωγής

Στην ενότητα αυτή αναλύεται η εξέλιξη της επιστημονικής παραγωγής στον τομέα του fog computing, με στόχο την κατανόηση της ανάπτυξης και της δυναμικής του πεδίου. Μέσω της εξέτασης του αριθμού των δημοσιεύσεων και των αναφορών ανά έτος, καθίσταται δυνατή η αποτύπωση της ερευνητικής δραστηριότητας και της επιστημονικής επιρροής με την πάροδο του χρόνου.

Αρχικά, εξετάζεται η ετήσια εξέλιξη της επιστημονικής παραγωγής στον τομέα του fog computing, με στόχο την αποτύπωση της ανάπτυξης και της δυναμικής του πεδίου κατά την περίοδο μελέτης.

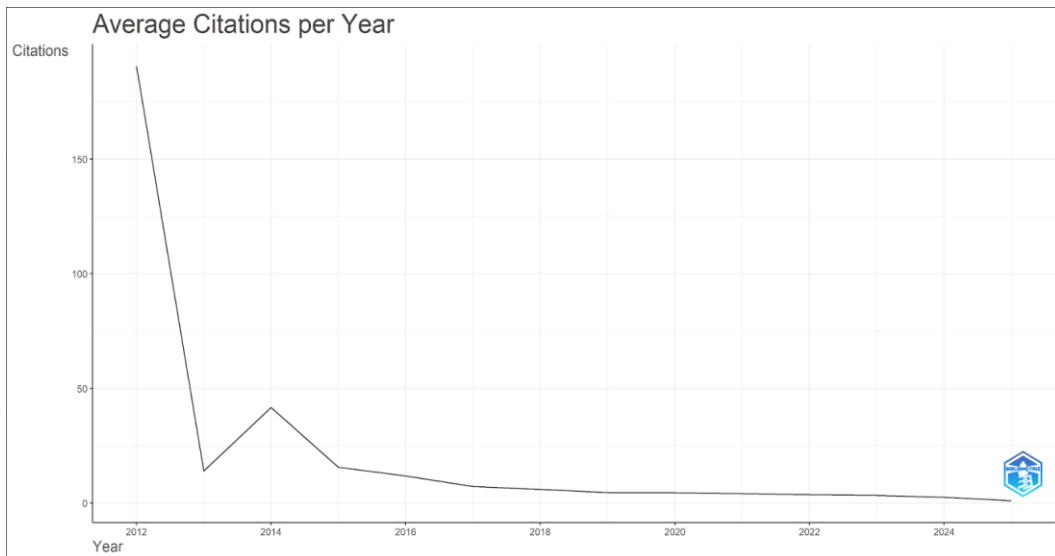


Σχήμα 1: Ετήσια επιστημονική παραγωγή στον τομέα fog computing

Το Σχήμα 1 απεικονίζει την πορεία της επιστημονικής παραγωγής από το 2012 έως το 2025, παρουσιάζοντας μια σαφή μεταβολή μεταξύ των αρχικών και των πιο πρόσφατων ετών. Στην αρχική περίοδο (2012–2015), ο αριθμός των δημοσιεύσεων είναι ιδιαίτερα χαμηλός, γεγονός που δείχνει ότι το πεδίο βρισκόταν σε πρώιμο στάδιο.

Από το 2016 και έπειτα, παρατηρείται έντονη αύξηση, με ιδιαίτερα απότομη άνοδο την περίοδο 2017–2019, όπου οι δημοσιεύσεις ξεπερνούν τις 400 ετησίως. Η μεταβολή αυτή συνδέεται με την αυξανόμενη ανάγκη για επεξεργασία δεδομένων κοντά στην πηγή, καθώς και με την ενσωμάτωση τεχνολογιών όπως το IoT και το edge computing. Κατά τα επόμενα έτη, η παραγωγή διατηρείται σε υψηλά επίπεδα, παρουσιάζοντας μικρές διακυμάνσεις. Η κορύφωση εμφανίζεται γύρω στο 2022, όπου ο αριθμός των δημοσιεύσεων φτάνει στο υψηλότερο σημείο. Στη συνέχεια, καταγράφεται μια ελαφρά μείωση, χωρίς όμως να μεταβάλλεται η γενική εικόνα της έντονης ερευνητικής δραστηριότητας. Η διαχρονική αυτή εξέλιξη δείχνει ότι το fog computing έχει μεταβεί από στάδιο αρχικής διερεύνησης σε φάση έντονης εδραίωσης, με σταθερή παρουσία στην επιστημονική έρευνα και συνεχή παραγωγή νέας γνώσης [28], [29].

Στη συνέχεια, εξετάζεται η επιστημονική επιρροή των δημοσιεύσεων μέσω του μέσου αριθμού αναφορών ανά έτος.



Σχήμα 2: Μέσος αριθμός αναφορών ανά έτος στον τομέα fog computing

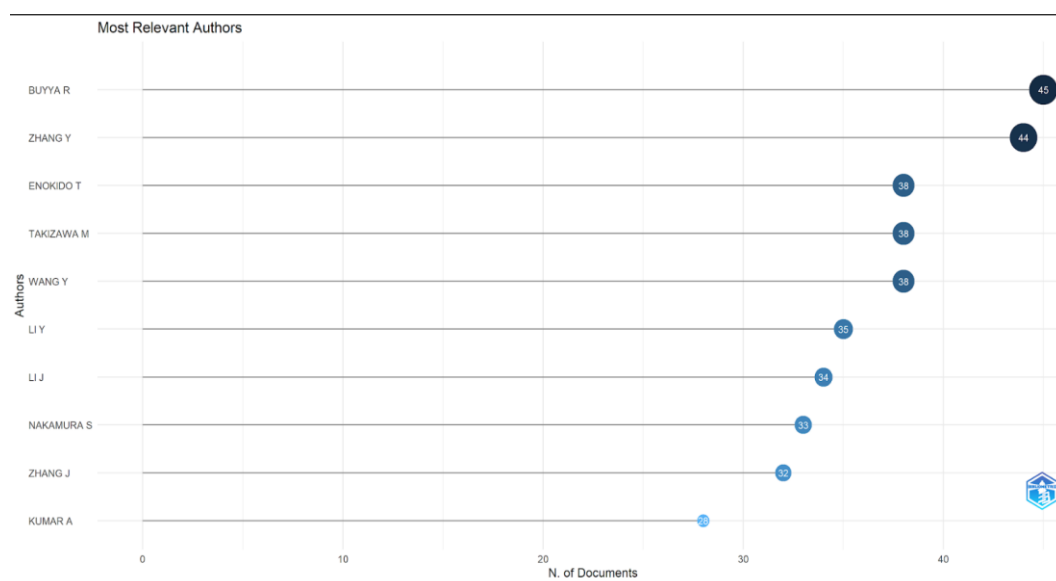
Το Σχήμα 2 απεικονίζει σημαντικές διαφοροποιήσεις στον μέσο αριθμό αναφορών ανά έτος. Στην αρχή της περιόδου, και συγκεκριμένα γύρω στο 2012, καταγράφονται πολύ υψηλές τιμές, οι οποίες ξεπερνούν τις 180 αναφορές ανά εργασία. Η εικόνα αυτή συνδέεται με το γεγονός ότι οι πρώτες δημοσιεύσεις είχαν περισσότερο χρόνο για να αξιοποιηθούν και να ενσωματωθούν στη βιβλιογραφία. Στα επόμενα έτη παρατηρείται έντονη πτώση, με μια μικρή ανάκαμψη περίπου το 2014, όπου οι αναφορές αυξάνονται προσωρινά. Από το 2015 και μετά, η τάση είναι σταδιακά καθοδική, με τις τιμές να μειώνονται και να σταθεροποιούνται σε χαμηλά επίπεδα. Η εξέλιξη αυτή δεν υποδηλώνει μείωση της σημασίας του πεδίου, αλλά σχετίζεται κυρίως με τον χρόνο που απαιτείται ώστε οι πιο πρόσφατες δημοσιεύσεις να συγκεντρώσουν αναφορές. Οι νέες εργασίες δεν έχουν ακόμη προλάβει να αποκτήσουν ευρεία απήχηση, σε αντίθεση με τις παλαιότερες [30].

Παράλληλα, οι διακυμάνσεις που εμφανίζονται στα πρώτα χρόνια δείχνουν ότι ορισμένες δημοσιεύσεις είχαν ιδιαίτερα υψηλή επιρροή, επηρεάζοντας σημαντικά την εξέλιξη του fog computing και λειτουργώντας ως βάση για μεταγενέστερη έρευνα.

4.3 Ανάλυση Συγγραφέων

Η ανάλυση των συγγραφέων προσφέρει μια πιο λεπτομερή εικόνα της επιστημονικής κοινότητας που δραστηριοποιείται στον τομέα του fog computing, καθώς αναδεικνύει τους βασικούς ερευνητές και την επιστημονική τους συνεισφορά. Μέσα από την ανάλυση της παραγωγικότητας και των βιβλιομετρικών δεικτών, καθίσταται δυνατός ο εντοπισμός των σημαντικότερων ερευνητών και η κατανόηση της δομής της επιστημονικής κοινότητας.

Σε πρώτο στάδιο παρουσιάζεται η παραγωγικότητα των συγγραφέων στον τομέα του fog computing, με στόχο τον εντοπισμό των ερευνητών που έχουν τη μεγαλύτερη συνεισφορά σε επίπεδο δημοσιεύσεων.



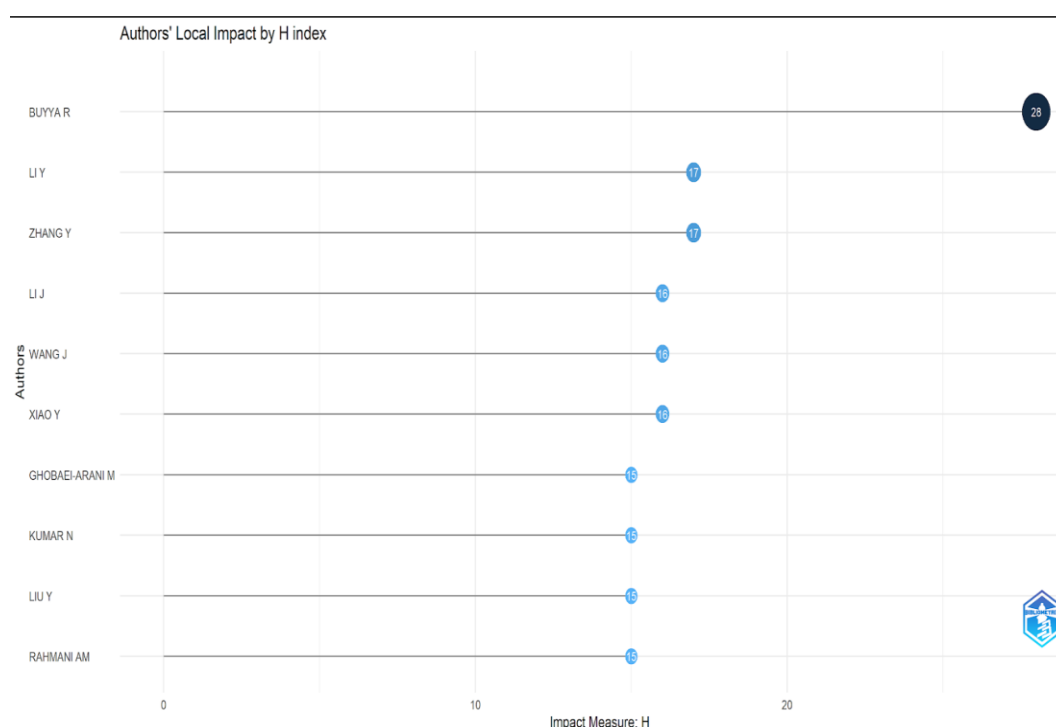
Σχήμα 3: Πιο παραγωγικοί συγγραφείς στον τομέα του fog computing

Το Σχήμα 3 απεικονίζει τους συγγραφείς με τη μεγαλύτερη παραγωγικότητα στον τομέα του fog computing, με βάση τον αριθμό των δημοσιεύσεών τους. Παρατηρείται ότι ο συγγραφέας BUYYA R. καταγράφει την υψηλότερη παραγωγή με περίπου 45 δημοσιεύσεις, ενώ ακολουθεί πολύ κοντά ο ZHANG Y. με 44. Η μικρή αυτή διαφορά υποδηλώνει ότι υπάρχει έντονη δραστηριότητα μεταξύ των κορυφαίων ερευνητών και συνεχής ανταγωνισμός σε επίπεδο παραγωγής. Στη συνέχεια, εμφανίζεται μια ομάδα συγγραφέων με παρόμοια επίπεδα παραγωγικότητας, όπως οι ENOKIDO T., TAKIZAWA M και WANG Y., οι οποίοι έχουν περίπου 38 δημοσιεύσεις ο καθένας. Η ύπαρξη αυτής της ομάδας δείχνει ότι η επιστημονική παραγωγή δεν συγκεντρώνεται αποκλειστικά σε έναν μόνο ερευνητή, αλλά κατανέμεται σε έναν πυρήνα ενεργών επιστημόνων που συμβάλλουν συστηματικά στην εξέλιξη του πεδίου. Ακολουθούν συγγραφείς όπως οι LI Y. με περίπου 35 δημοσιεύσεις, LI J. με 34, NAKAMURA S. με 33 και ZHANG J. με 32, ενώ ο KUMAR A. εμφανίζει χαμηλότερη αλλά αξιοσημείωτη παραγωγή, κοντά στις 28 δημοσιεύσεις. Η σταδιακή αυτή μείωση επιβεβαιώνει ότι η κατανομή της παραγωγής δεν είναι ομοιόμορφη μεταξύ των συγγραφέων [31].

Τα αποτελέσματα αυτά συνδέονται με τα συνολικά στοιχεία του συνόλου δεδομένων, όπου καταγράφονται 9101 συγγραφείς για 4426 δημοσιεύσεις. Το γεγονός αυτό δείχνει ότι η μέση συμμετοχή ανά συγγραφέα είναι περιορισμένη, ενώ ο μέσος αριθμός 3.7 συγγραφέων ανά εργασία υποδηλώνει υψηλό βαθμό συνεργασίας. Επιπλέον, οι 169 μονοσυγγραφικές δημοσιεύσεις αποτελούν μικρό ποσοστό του συνόλου, γεγονός που ενισχύει την εικόνα ενός έντονα συνεργατικού επιστημονικού πεδίου. Η κατανομή που παρατηρείται στο διάγραμμα είναι σύμφωνη με τον νόμο του Lotka, σύμφωνα με τον οποίο ένα μικρό ποσοστό

συγγραφέων παράγει το μεγαλύτερο μέρος της επιστημονικής γνώσης. Στην περίπτωση του fog computing, λίγοι ερευνητές εμφανίζουν υψηλή παραγωγικότητα, ενώ η πλειονότητα των συγγραφέων συμμετέχει με μικρότερο αριθμό δημοσιεύσεων. Επιπλέον, η παρουσία συγγραφέων με παρόμοια επίπεδα παραγωγικότητας υποδηλώνει ότι το πεδίο έχει περάσει σε φάση ωρίμανσης, όπου η επιστημονική δραστηριότητα δεν εξαρτάται από μεμονωμένες περιπτώσεις, αλλά υποστηρίζεται από ένα ευρύτερο δίκτυο ερευνητών. Η συνεργασία μεταξύ των επιστημόνων ενισχύει την παραγωγή νέας γνώσης και συμβάλλει στη συνεχή εξέλιξη του αντικειμένου [32].

Το σχήμα που ακολουθεί απεικονίζει την επιστημονική επίδραση των συγγραφέων μέσω του δείκτη H-index, ο οποίος επιτρέπει την αξιολόγηση τόσο της παραγωγικότητας όσο και της απήχησης των δημοσιεύσεων.



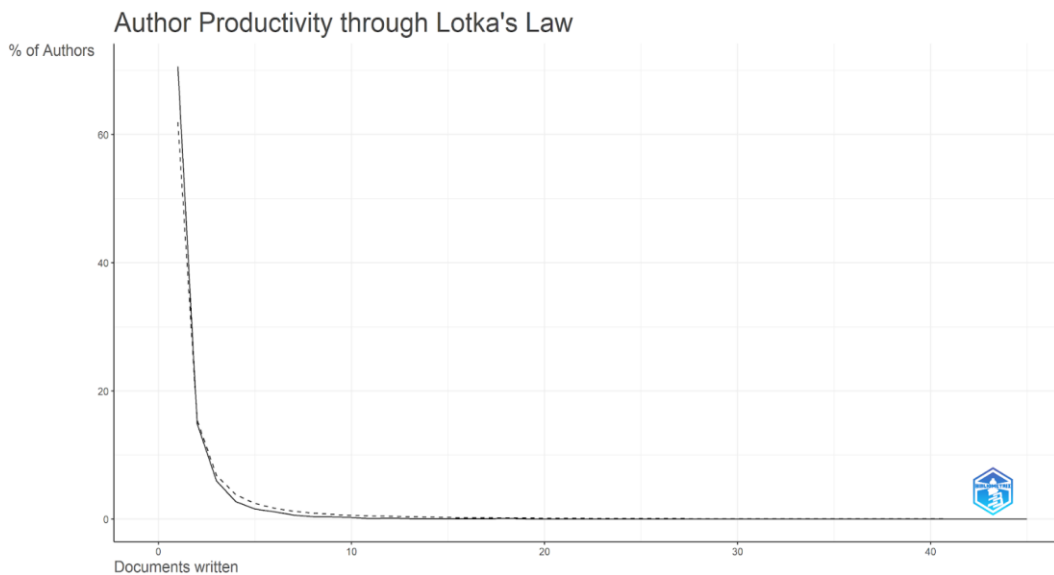
Σχήμα 4: Επιστημονική επίδραση συγγραφέων (H-index) στον τομέα του fog computing

Το Σχήμα 4 απεικονίζει την επιστημονική επίδραση των συγγραφέων στον τομέα του fog computing, όπως αυτή αποτυπώνεται μέσω του δείκτη H-index. Παρατηρείται ότι ο BUY YA R. εμφανίζει την υψηλότερη τιμή, περίπου 28, γεγονός που υποδηλώνει ότι ένα σημαντικό μέρος των δημοσιεύσεών του έχει λάβει υψηλό αριθμό αναφορών και έχει επηρεάσει ουσιαστικά την επιστημονική κοινότητα.

Ακολουθούν οι LI Y. και ZHANG Y. με τιμές H-index γύρω στο 17, γεγονός που δείχνει ότι διατηρούν επίσης ισχυρή παρουσία τόσο σε επίπεδο παραγωγής όσο και επιρροής. Στη συνέχεια, οι LI J., WANG J. και XIAO Y. εμφανίζουν τιμές κοντά στο 16 ενώ οι GHOBAEI-ARANI M., KUMAR N., LIU Y. και RAHMANI AM. παρουσιάζουν τιμές περίπου 15. Η σχετικά μικρή απόκλιση μεταξύ των

περισσότερων συγγραφέων υποδηλώνει ότι η επιστημονική επιρροή κατανέμεται πιο ισορροπημένα σε σύγκριση με την απλή παραγωγικότητα. Σε αντίθεση με το προηγούμενο διάγραμμα, όπου υπήρχαν πιο εμφανείς διαφορές στον αριθμό των δημοσιεύσεων, εδώ διαπιστώνεται ότι αρκετοί συγγραφείς διατηρούν παρόμοια επίπεδα επιρροής, γεγονός που υποδηλώνει ότι η ποιότητα και η απήχηση των εργασιών παίζουν καθοριστικό ρόλο. Η ανάλυση αυτή συνδέεται άμεσα με τα συνολικά χαρακτηριστικά του συνόλου δεδομένων, όπου ο μέσος αριθμός αναφορών ανά εργασία ανέρχεται σε 31.18. Το στοιχείο αυτό ενισχύει την εικόνα ότι το πεδίο του fog computing παρουσιάζει υψηλό επίπεδο επιστημονικής απήχησης. Παράλληλα, ο μεγάλος αριθμός αναφορών (196731 συνολικά) υποδηλώνει έντονη δραστηριότητα και συνεχή αξιοποίηση των ερευνητικών αποτελεσμάτων από την επιστημονική κοινότητα. Επιπλέον, η ύπαρξη 9101 συγγραφέων σε 4426 δημοσιεύσεις δείχνει ότι η επιστημονική παραγωγή είναι αποτέλεσμα συνεργασιών, γεγονός που επηρεάζει θετικά τον δείκτη H-index, καθώς οι συνεργατικές δημοσιεύσεις έχουν μεγαλύτερη πιθανότητα να λάβουν αναφορές [32]. Το ποσοστό διεθνούς συνεργασίας (27.77%) ενισχύει περαιτέρω τη διάχυση της γνώσης και την αύξηση της επιρροής των εργασιών. Αξιοσημείωτο είναι ότι συγγραφείς με παρόμοιο αριθμό δημοσιεύσεων δεν εμφανίζουν απαραίτητα αντίστοιχες τιμές H-index, γεγονός που επιβεβαιώνει ότι η επιστημονική επιρροή δεν εξαρτάται αποκλειστικά από την ποσότητα της παραγωγής, αλλά και από την ποιότητα, τη συνάφεια και τη χρονική διάρκεια επίδρασης των εργασιών. Με άλλα λόγια, λιγότερες αλλά περισσότερο επιδραστικές δημοσιεύσεις μπορούν να οδηγήσουν σε υψηλότερο επίπεδο επιστημονικής αναγνώρισης. Η κατανομή των τιμών του H-index υποδηλώνει ότι το πεδίο έχει περάσει σε φάση ωρίμανσης, όπου αρκετοί ερευνητές συμβάλλουν ουσιαστικά στη διαμόρφωση της γνώσης. Δεν παρατηρείται απόλυτη κυριαρχία ενός μόνο συγγραφέα, αλλά η ύπαρξη μιας ομάδας επιστημόνων με σημαντική επιρροή, γεγονός που ενισχύει τη σταθερότητα και τη συνεχή εξέλιξη του πεδίου. Η ανάλυση αυτή αναδεικνύει ότι το fog computing χαρακτηρίζεται όχι μόνο από υψηλή παραγωγικότητα, αλλά και από σημαντική επιστημονική απήχηση, με τους ερευνητές να συμβάλλουν ενεργά στη διάδοση και αξιοποίηση της γνώσης [33].

Τέλος, εξετάζεται η κατανομή της παραγωγικότητας των συγγραφέων σύμφωνα με τον νόμο του Lotka, προκειμένου να αποτυπωθεί η δομή της επιστημονικής παραγωγής στο πεδίο.



Σχήμα 5: Κατανομή παραγωγικότητας συγγραφέων σύμφωνα με τον νόμο του Lotka

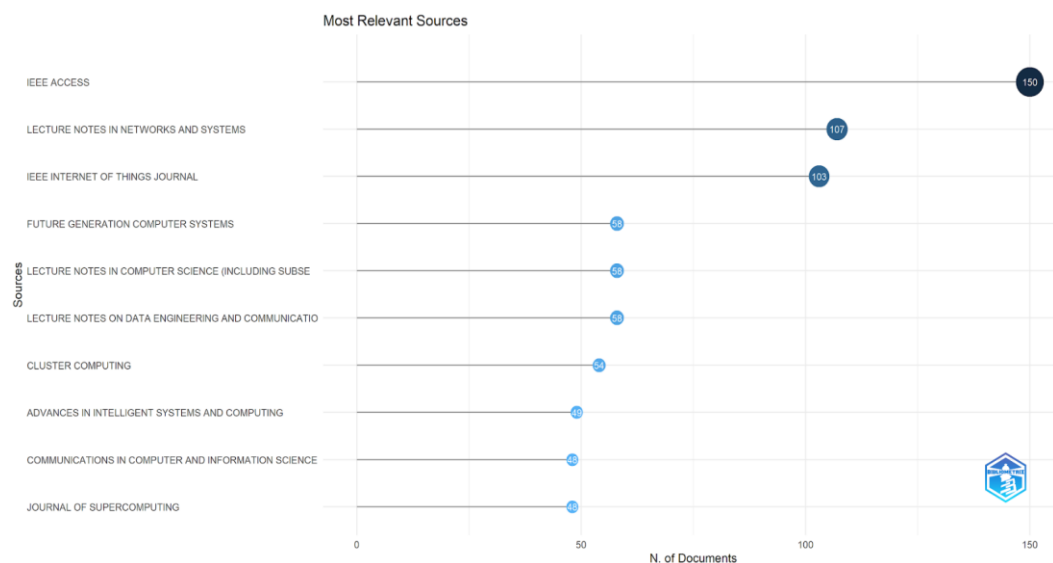
Το Σχήμα 5 απεικονίζει κατανομή της παραγωγικότητας των συγγραφέων στον τομέα του fog computing, αποτυπώνοντας τη σχέση μεταξύ του αριθμού των δημοσιεύσεων και του ποσοστού των συγγραφέων που τις παράγουν. Παρατηρείται μια ιδιαίτερα απότομη πτώση της καμπύλης στα πρώτα επίπεδα παραγωγικότητας, γεγονός που δείχνει ότι η μεγάλη πλειονότητα των συγγραφέων έχει συμμετάσχει σε έναν πολύ μικρό αριθμό δημοσιεύσεων. Συγκεκριμένα, το μεγαλύτερο ποσοστό των ερευνητών φαίνεται να έχει συμβάλει σε μία μόνο εργασία, ενώ καθώς αυξάνεται ο αριθμός των δημοσιεύσεων, ο αριθμός των συγγραφέων μειώνεται δραστικά. Για παράδειγμα, οι συγγραφείς με δύο ή τρεις δημοσιεύσεις είναι ήδη σημαντικά λιγότεροι, ενώ εκείνοι που εμφανίζουν υψηλή παραγωγικότητα αποτελούν ένα εξαιρετικά μικρό ποσοστό του συνόλου. Η μορφή της καμπύλης προσεγγίζει την τυπική κατανομή ισχύος (power law distribution), η οποία περιγράφεται από τον νόμο του Lotka. Η ύπαρξη τόσο της παρατηρούμενης καμπύλης όσο και της θεωρητικής γραμμής στο σχήμα υποδηλώνει ότι τα δεδομένα ακολουθούν σε ικανοποιητικό βαθμό το συγκεκριμένο πρότυπο. Αυτό ενισχύει την αξιοπιστία της ανάλυσης και επιβεβαιώνει ότι το πεδίο του fog computing παρουσιάζει χαρακτηριστικά παρόμοια με άλλα επιστημονικά πεδία. Η ερμηνεία της κατανομής αυτής συνδέεται άμεσα με τα στοιχεία του συνόλου δεδομένων. Από τον Πίνακα 4.1 προκύπτει ότι υπάρχουν 9101 συγγραφείς για 4426 δημοσιεύσεις, γεγονός που υποδηλώνει ότι η μέση συμμετοχή ανά συγγραφέα είναι χαμηλή. Παράλληλα, οι 191 μονοσυγγραφικές εργασίες αποτελούν μικρό μέρος του συνόλου, ενώ ο μέσος όρος 3.7 συγγραφέων ανά εργασία δείχνει ότι η παραγωγή βασίζεται κυρίως σε συνεργασίες. Η ύπαρξη μεγάλου αριθμού συγγραφέων με περιορισμένη παραγωγή υποδηλώνει ότι το πεδίο προσελκύει συνεχώς νέους ερευνητές, οι οποίοι συμμετέχουν σε μικρό αριθμό δημοσιεύσεων, συχνά στο πλαίσιο συνεργατικών έργων. Αντίθετα, ένας μικρός αριθμός συγγραφέων εμφανίζει υψηλή παραγωγικότητα, λειτουργώντας ως βασικός πυρήνας παραγωγής γνώσης.

Η κατανομή αυτή συνδέεται επίσης με τα ευρήματα των προηγούμενων αναλύσεων, όπου εντοπίστηκε ένας περιορισμένος αριθμός ιδιαίτερα παραγωγικών συγγραφέων. Η σύγκλιση των αποτελεσμάτων μεταξύ των διαφορετικών δεικτών επιβεβαιώνει τη δομική οργάνωση της επιστημονικής κοινότητας, όπου η γνώση παράγεται κυρίως από έναν ενεργό και δυναμικό πυρήνα ερευνητών. Επιπλέον, η μορφή της καμπύλης υποδηλώνει ότι το πεδίο βρίσκεται σε φάση ανάπτυξης και διεύρυνσης, καθώς η παρουσία πολλών συγγραφέων με χαμηλή παραγωγικότητα σχετίζεται με τη συνεχή είσοδο νέων επιστημόνων. Η τάση αυτή είναι χαρακτηριστική για δυναμικά και εξελισσόμενα ερευνητικά πεδία, όπως το fog computing. Η ανάλυση της παραγωγικότητας μέσω του νόμου του Lotka επιβεβαιώνει ότι η επιστημονική δραστηριότητα δεν κατανέμεται ισομερώς, αλλά συγκεντρώνεται σε περιορισμένο αριθμό ερευνητών, οι οποίοι διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο στην εξέλιξη και διάχυση της επιστημονικής γνώσης [31].

4.4 Ανάλυση Πηγών

Στην ενότητα αυτή αναλύονται οι επιστημονικές πηγές (Journal, συνέδρια και εκδοτικές σειρές) που συγκεντρώνουν τον μεγαλύτερο αριθμό δημοσιεύσεων στον τομέα του fog computing. Η ανάλυση αυτή είναι σημαντική, καθώς επιτρέπει τον εντοπισμό των βασικών καναλιών διάχυσης της επιστημονικής γνώσης και των πηγών που διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο στην εξέλιξη του πεδίου.

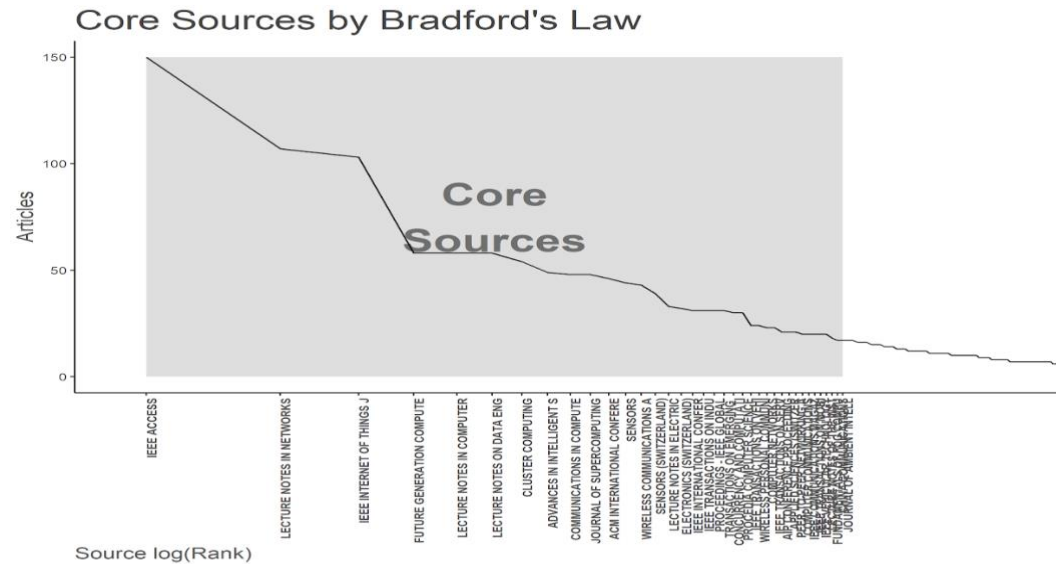
Παρακάτω εξετάζονται οι πηγές με τον μεγαλύτερο αριθμό δημοσιεύσεων, προκειμένου να εντοπιστούν τα σημαντικότερα μέσα διάδοσης της επιστημονικής γνώσης.



Σχήμα 6: Πιο παραγωγικές επιστημονικές πηγές στον τομέα του fog computing

Το Σχήμα 6 απεικονίζει τις επιστημονικές πηγές με τον μεγαλύτερο αριθμό δημοσιεύσεων στον τομέα του fog computing, αναδεικνύοντας τα κύρια μέσα διάδοσης της επιστημονικής γνώσης. Παρατηρείται ότι το περιοδικό IEEE Access καταλαμβάνει την πρώτη θέση με περίπου 150 δημοσιεύσεις, εμφανίζοντας σημαντική διαφορά από τις υπόλοιπες πηγές. Η κυριαρχία αυτή σχετίζεται με τον διεπιστημονικό χαρακτήρα του περιοδικού και την έμφαση που δίνει σε σύγχρονες τεχνολογίες, όπως το Internet of Things και τα καταναμημένα συστήματα. Στη δεύτερη θέση βρίσκεται η σειρά Lecture Notes in Networks and Systems με περίπου 107 δημοσιεύσεις, ενώ ακολουθεί το IEEE Internet of Things Journal με περίπου 103. Η παρουσία αυτών των πηγών επιβεβαιώνει τη στενή σύνδεση του fog computing με τεχνολογίες αιχμής και αναδεικνύει τη σημασία εξειδικευμένων εκδόσεων στην ανάπτυξη του πεδίου. Στη συνέχεια, εμφανίζεται μια ομάδα πηγών με μέτρια αλλά σταθερή παραγωγικότητα, όπως τα Future Generation Computer Systems, Lecture Notes in Computer Science και Lecture Notes on Data Engineering and Communication Technologies, με περίπου 58 δημοσιεύσεις η καθεμία. Οι πηγές αυτές λειτουργούν συμπληρωματικά, καλύπτοντας επιμέρους ερευνητικές περιοχές και ενισχύοντας τη διάχυση της γνώσης. Ακολουθούν περιοδικά όπως το Cluster Computing με περίπου 54 δημοσιεύσεις, καθώς και τα Advances in Intelligent Systems and Computing, Communications in Computer and Information Science και Journal of Supercomputing, με περίπου 48–49 δημοσιεύσεις. Η παρουσία τους υποδηλώνει τη συμβολή διαφορετικών επιστημονικών κλάδων, γεγονός που ενισχύει τον διεπιστημονικό χαρακτήρα του fog computing. Η κατανομή των δημοσιεύσεων στις πηγές συνδέεται με τα συνολικά στοιχεία του συνόλου δεδομένων, όπου καταγράφονται 1688 πηγές για 4426 δημοσιεύσεις. Το γεγονός αυτό δείχνει ότι η επιστημονική παραγωγή είναι καταναμημένη σε μεγάλο αριθμό εκδοτικών μέσων, ωστόσο ένα μικρό σύνολο πηγών συγκεντρώνει σημαντικό ποσοστό της συνολικής δραστηριότητας. Η συγκέντρωση αυτή αποτελεί χαρακτηριστικό της βιβλιομετρικής ανάλυσης και συνδέεται με τον νόμο του Bradford, σύμφωνα με τον οποίο η επιστημονική γνώση συγκεντρώνεται σε έναν πυρήνα βασικών πηγών. Στην προκειμένη περίπτωση, περιοδικά όπως το IEEE Access και το IEEE Internet of Things Journal λειτουργούν ως κύριοι κόμβοι δημοσίευσης, επηρεάζοντας σημαντικά τη ροή της επιστημονικής πληροφορίας. Επιπλέον, η ισχυρή παρουσία συνεδριακών σειρών, όπως οι Lecture Notes, υποδηλώνει ότι η έρευνα στο fog computing εξελίσσεται με ταχύ ρυθμό, καθώς τα συνέδρια αποτελούν βασικό μέσο ταχείας δημοσίευσης νέων αποτελεσμάτων. Αυτό εξηγεί και τη μεγάλη συμμετοχή ερευνητών, όπως προκύπτει από τους 9101 συγγραφείς του συνόλου δεδομένων. Η ανάλυση των πηγών δείχνει ότι το πεδίο του fog computing χαρακτηρίζεται από έντονη συγκέντρωση της επιστημονικής παραγωγής σε συγκεκριμένα περιοδικά και εκδοτικές σειρές, τα οποία διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο στη διάδοση της γνώσης και στην εξέλιξη του επιστημονικού αντικειμένου [34].

Στη συνέχεια, εξετάζεται η κατανομή των επιστημονικών πηγών σύμφωνα με τον νόμο του Bradford, με στόχο τον εντοπισμό των βασικών πηγών που συγκεντρώνουν το μεγαλύτερο μέρος της επιστημονικής παραγωγής.



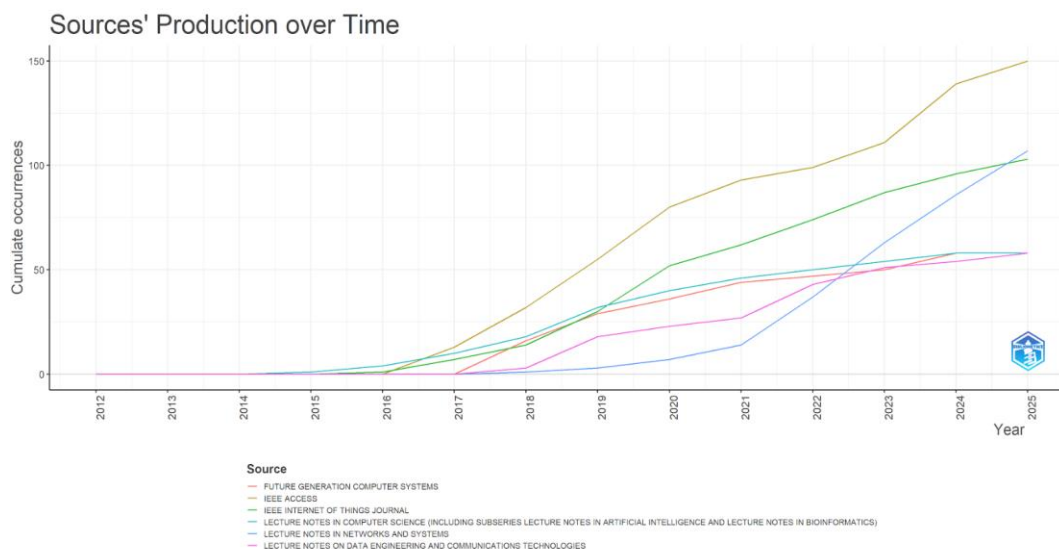
Σχήμα 7: Κατανομή επιστημονικών πηγών σύμφωνα με τον νόμο του Bradford

Το Σχήμα 7 απεικονίζει την κατανομή των επιστημονικών πηγών στον τομέα του fog computing με βάση τον αριθμό των δημοσιεύσεων, σύμφωνα με τον νόμο του Bradford. Παρατηρείται ότι η καμπύλη εμφανίζει έντονη καθοδική πορεία, γεγονός που υποδηλώνει ότι ένας περιορισμένος αριθμός πηγών συγκεντρώνει μεγάλο ποσοστό της συνολικής επιστημονικής παραγωγής. Στο αρχικό τμήμα της καμπύλης εντοπίζεται ο πυρήνας των πηγών (core sources), ο οποίος περιλαμβάνει περιοδικά και εκδοτικές σειρές με πολύ υψηλό αριθμό δημοσιεύσεων, όπως το IEEE Access και το IEEE Internet of Things Journal. Οι πηγές αυτές αντιστοιχούν στις πρώτες θέσεις της κατάταξης και αποτελούν τα βασικά κανάλια διάδοσης της επιστημονικής γνώσης στο πεδίο. Καθώς αυξάνεται ο αριθμός των πηγών, παρατηρείται σημαντική μείωση στον αριθμό των δημοσιεύσεων ανά πηγή. Οι επόμενες ζώνες περιλαμβάνουν μεγαλύτερο πλήθος περιοδικών, τα οποία όμως συνεισφέρουν μικρότερο αριθμό εργασιών. Η κατανομή αυτή οδηγεί στη δημιουργία διακριτών «ζωνών παραγωγικότητας», όπου κάθε ζώνη περιλαμβάνει περισσότερες πηγές αλλά με χαμηλότερη συνεισφορά. Η μορφή της καμπύλης επιβεβαιώνει την εφαρμογή του νόμου του Bradford, σύμφωνα με τον οποίο η επιστημονική παραγωγή κατανέμεται άνισα και συγκεντρώνεται σε έναν μικρό αριθμό βασικών πηγών. Στην προκειμένη περίπτωση, από το σύνολο των 1688 πηγών που καταγράφονται στο δείγμα, ένα μικρό ποσοστό καλύπτει μεγάλο μέρος των 4426 δημοσιεύσεων. Η συγκέντρωση αυτή συνδέεται άμεσα με τα αποτελέσματα της προηγούμενης ανάλυσης, όπου εντοπίστηκαν συγκεκριμένα περιοδικά με υψηλή παραγωγικότητα. Η επιβεβαίωση της ίδιας τάσης μέσω διαφορετικής μεθοδολογίας ενισχύει την αξιοπιστία των ευρημάτων και

καταδεικνύει τη δομική οργάνωση της επιστημονικής γνώσης στο fog computing. Επιπλέον, η ύπαρξη μεγάλου αριθμού πηγών με περιορισμένη συνεισφορά υποδηλώνει τη διεύρυνση του πεδίου και την είσοδο νέων επιστημονικών περιοχών. Το στοιχείο αυτό συνδέεται με τη διεπιστημονική φύση του fog computing, καθώς η έρευνα διαχέεται σε διαφορετικά επιστημονικά πεδία και εκδοτικά μέσα.

Η κατανομή των πηγών επηρεάζει άμεσα και τη διάχυση της γνώσης, καθώς οι δημοσιεύσεις που εμφανίζονται σε περιοδικά υψηλής επιρροής έχουν μεγαλύτερη πιθανότητα να λάβουν αναφορές. Το γεγονός αυτό σχετίζεται και με τον συνολικό αριθμό αναφορών του δείγματος (196731), ο οποίος υποδηλώνει υψηλή επιστημονική δραστηριότητα και έντονη αξιοποίηση των ερευνητικών αποτελεσμάτων. Η ανάλυση αυτή καταδεικνύει ότι η επιστημονική παραγωγή στον τομέα του fog computing παρουσιάζει υψηλό βαθμό συγκέντρωσης σε έναν πυρήνα πηγών, ενώ παράλληλα διαχέεται σε ευρύ φάσμα περιοδικών, επιβεβαιώνοντας τόσο τη δυναμική ανάπτυξη όσο και τη διεπιστημονική του διάσταση [34].

Στη συνέχεια, εξετάζεται η εξέλιξη της επιστημονικής παραγωγής των πηγών με την πάροδο του χρόνου, προκειμένου να αποτυπωθεί η δυναμική της δημοσίευσης στον τομέα του fog computing.



Σχήμα 8: Εξέλιξη παραγωγής επιστημονικών πηγών στον τομέα του fog computing

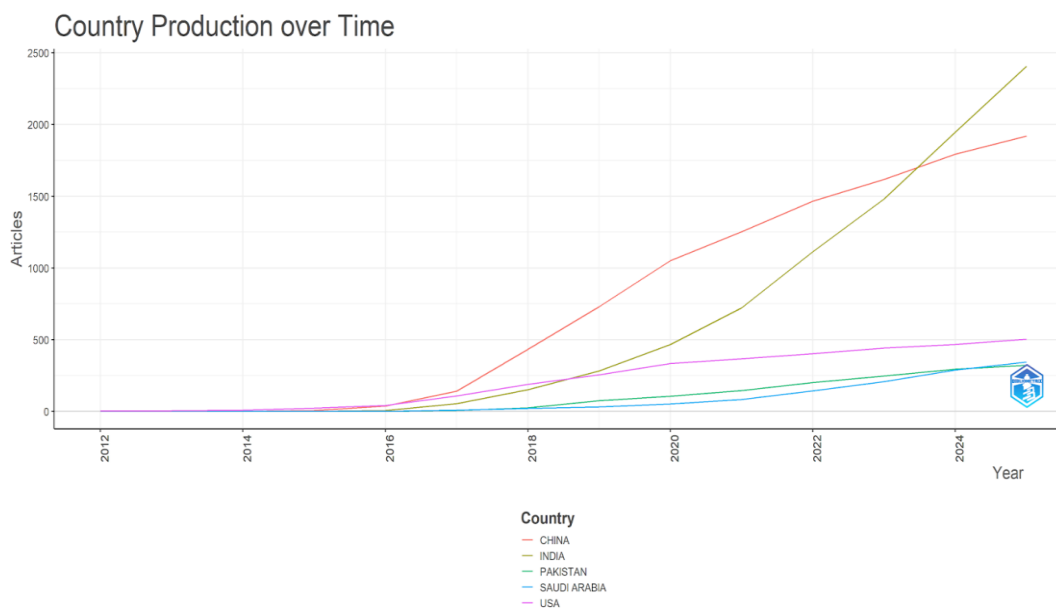
Το Σχήμα 8 απεικονίζει τη συσσωρευτική εξέλιξη του αριθμού δημοσιεύσεων για τις σημαντικότερες επιστημονικές πηγές κατά την περίοδο 2012–2025. Οι καμπύλες αποτυπώνουν τη διαφοροποίηση στη δυναμική των πηγών, αναδεικνύοντας διακριτά πρότυπα ανάπτυξης. Το IEEE Access εμφανίζει την πιο έντονη ανοδική πορεία, φτάνοντας περίπου τις 150 δημοσιεύσεις μέχρι το 2025, γεγονός που επιβεβαιώνει την κυρίαρχη θέση του μεταξύ των επιστημονικών πηγών. Αντίστοιχα, το IEEE Internet of Things Journal παρουσιάζει συνεχή

αύξηση, προσεγγίζοντας τις 100 δημοσιεύσεις, ενώ οι υπόλοιπες πηγές κινούνται σε χαμηλότερα αλλά σταθερά επίπεδα. Παράλληλα, εκδοτικές σειρές όπως τα Lecture Notes in Computer Science και Lecture Notes in Networks and Systems παρουσιάζουν πιο ήπια αλλά σταθερή αύξηση, φτάνοντας περίπου τις 50–60 δημοσιεύσεις. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η χρονική στιγμή κατά την οποία παρατηρείται επιτάχυνση της παραγωγής. Για τις περισσότερες πηγές, η έντονη άνοδος ξεκινά μετά το 2017, περίοδος που συμπίπτει με τη συνολική αύξηση της επιστημονικής παραγωγής στον τομέα. Η σύγκλιση αυτή υποδηλώνει ότι η ενίσχυση του ενδιαφέροντος για το fog computing επηρεάζει άμεσα και τη δραστηριότητα των βασικών περιοδικών. Η διαφοροποίηση μεταξύ των καμπυλών αποτυπώνει επίσης τον ανταγωνισμό και τη διαφορετική στρατηγική των πηγών. Ορισμένες πηγές εμφανίζουν πιο επιθετική αύξηση (π.χ. Future Generation Computer Systems), ενώ άλλες ακολουθούν πιο σταθερή και γραμμική πορεία, γεγονός που σχετίζεται με τη θεματολογία, την πολιτική δημοσίευσης και τη διεθνή απήγησή τους. Η ανάλυση αυτή συνδέεται άμεσα με τα συνολικά δεδομένα του δείγματος, όπου καταγράφονται 4426 δημοσιεύσεις σε 1688 πηγές, δείχνοντας ότι, παρότι η παραγωγή είναι διασκορπισμένη, η κύρια δυναμική συγκεντρώνεται σε περιορισμένο αριθμό επιστημονικών μέσων. Επιπλέον, η σταθερή αύξηση των δημοσιεύσεων σε συγκεκριμένες πηγές συμβάλλει και στην ενίσχυση του συνολικού αριθμού αναφορών (196731), καθώς τα περιοδικά υψηλής δραστηριότητας λειτουργούν ως βασικοί κόμβοι διάχυσης της γνώσης. Η χρονική εξέλιξη των πηγών αποτυπώνει τη μετατόπιση του επιστημονικού ενδιαφέροντος προς πιο εξειδικευμένα και τεχνολογικά ώριμα πεδία, επιβεβαιώνοντας ότι το fog computing δεν αποτελεί πλέον μια αναδυόμενη έννοια, αλλά ένα εδραιωμένο αντικείμενο με σταθερή παρουσία στη διεθνή επιστημονική κοινότητα.

4.5 Ανάλυση Χωρών

Στην ενότητα αυτή εξετάζεται η γεωγραφική κατανομή της επιστημονικής παραγωγής στον τομέα του fog computing, με στόχο την ανάδειξη των χωρών που παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη ερευνητική δραστηριότητα. Η ανάλυση αυτή συμβάλλει στην κατανόηση της διεθνούς διάστασης του πεδίου και του βαθμού συμμετοχής διαφορετικών χωρών στην παραγωγή επιστημονικής γνώσης.

Αρχικά, εξετάζεται η εξέλιξη της επιστημονικής παραγωγής ανά χώρα με την πάροδο του χρόνου, προκειμένου να εντοπιστούν οι χώρες με τη μεγαλύτερη και διαχρονική ερευνητική δραστηριότητα.

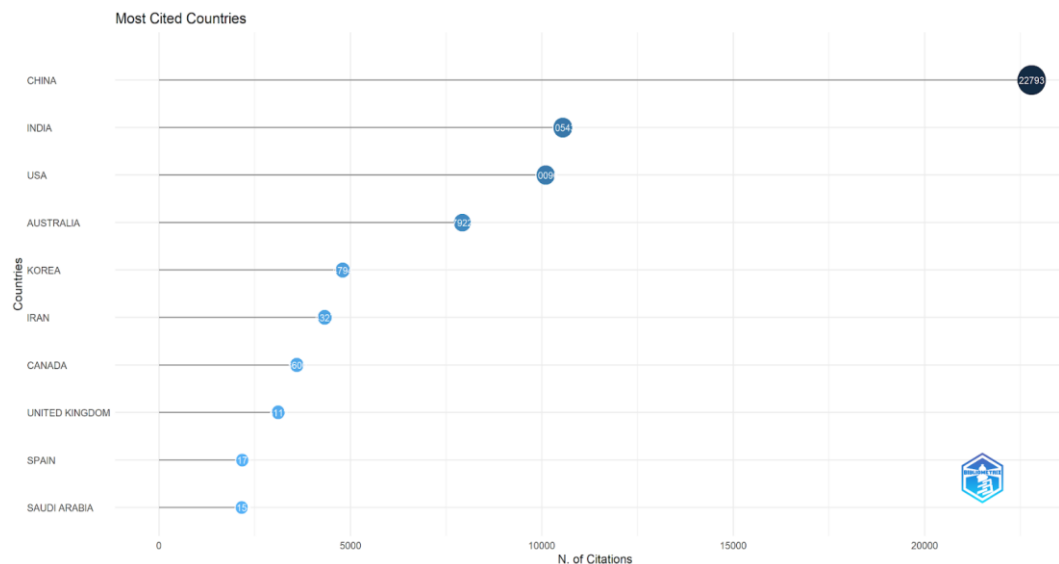


Σχήμα 9: Εξέλιξη επιστημονικής παραγωγής ανά χώρα στον τομέα του fog computing

Το Σχήμα 9 απεικονίζει τη διαχρονική εξέλιξη του αριθμού δημοσιεύσεων για τις βασικές χώρες που δραστηριοποιούνται στον τομέα του fog computing κατά την περίοδο 2012–2025. Οι καμπύλες αποτυπώνουν διαφορετικά πρότυπα ανάπτυξης, αναδεικνύοντας τόσο χώρες με σταθερή κυριαρχία όσο και χώρες με επιταχυνόμενη άνοδο. Η Κίνα εμφανίζει έντονη και πρώιμη ανάπτυξη, ιδιαίτερα μετά το 2017, όπου παρατηρείται απότομη αύξηση των δημοσιεύσεων. Μέχρι το 2025 προσεγγίζει περίπου τις 1900 δημοσιεύσεις, γεγονός που καταδεικνύει τη συστηματική επένδυση της χώρας σε τεχνολογίες αιχμής και την ισχυρή ερευνητική της βάση. Η σταθερή άνοδος της καμπύλης υποδηλώνει συνεχή παραγωγή και μακροχρόνια στρατηγική ενίσχυσης του τομέα. Η Ινδία, αν και εμφανίζει χαμηλότερη αρχική δραστηριότητα, παρουσιάζει τη μεγαλύτερη επιτάχυνση τα τελευταία έτη. Από το 2020 και μετά, η αύξηση είναι ιδιαίτερα έντονη, με αποτέλεσμα να ξεπερνά την Κίνα προς το τέλος της περιόδου, φτάνοντας περίπου τις 2400 δημοσιεύσεις. Η εξέλιξη αυτή υποδηλώνει δυναμική είσοδο και ταχεία ενίσχυση της ερευνητικής δραστηριότητας, πιθανώς λόγω αυξημένων επενδύσεων και διεύρυνσης της ερευνητικής κοινότητας. Οι Ηνωμένες Πολιτείες παρουσιάζουν πιο σταθερή και γραμμική πορεία, με συνολική παραγωγή που προσεγγίζει τις 500 δημοσιεύσεις. Η πιο ήπια αύξηση σε σύγκριση με την Ασία δεν υποδηλώνει χαμηλή δραστηριότητα, αλλά διαφορετικό πρότυπο ανάπτυξης, που συχνά συνδέεται με έμφαση στην ποιότητα και την υψηλή απήχηση των δημοσιεύσεων. Η Σαουδική Αραβία εμφανίζει επίσης αξιοσημείωτη άνοδο μετά το 2018, με παραγωγή που φτάνει περίπου τις 450–500 δημοσιεύσεις. Η εξέλιξη αυτή σχετίζεται με την ενίσχυση της ερευνητικής πολιτικής και τη συμμετοχή σε διεθνή δίκτυα συνεργασίας. Αντίστοιχα, το Πακιστάν παρουσιάζει σταδιακή αύξηση, αν και σε χαμηλότερα επίπεδα, προσεγγίζοντας τις 300 δημοσιεύσεις μέχρι το 2025. Η σύγκριση μεταξύ των χωρών αναδεικνύει δύο βασικά πρότυπα ανάπτυξης: αφενός τις χώρες με πρώιμη και σταθερή κυριαρχία (όπως η Κίνα) και αφετέρου τις χώρες

με καθυστερημένη αλλά ταχέως επιταχυνόμενη ανάπτυξη (όπως η Ινδία). Παράλληλα, χώρες όπως οι ΗΠΑ διατηρούν σταθερή παρουσία, χωρίς έντονες διακυμάνσεις, ενώ άλλες χώρες εμφανίζουν πιο πρόσφατη αλλά σημαντική ενίσχυση της δραστηριότητάς τους. Η συνολική εικόνα συνδέεται με τα δεδομένα του συνόλου, όπου καταγράφονται 4426 δημοσιεύσεις και 9101 συγγραφείς, επιβεβαιώνοντας ότι η επιστημονική παραγωγή δεν είναι ομοιόμορφα κατανομημένη, αλλά συγκεντρώνεται σε χώρες με ισχυρές ερευνητικές υποδομές. Επιπλέον, το ποσοστό διεθνούς συνεργασίας (27.77%) ενισχύει τη διασύνδεση μεταξύ των χωρών, γεγονός που συμβάλλει στη διάχυση της γνώσης και στην ενίσχυση της παραγωγής. Η γεωγραφική αυτή διαφοροποίηση υποδηλώνει ότι το fog computing εξελίσσεται ως ένα παγκόσμιο πεδίο, στο οποίο η επιστημονική δραστηριότητα μετατοπίζεται σταδιακά προς χώρες με αυξανόμενη ερευνητική δυναμική, διαμορφώνοντας ένα πολυκεντρικό δίκτυο παραγωγής γνώσης.

Στη συνέχεια, εξετάζεται η επιστημονική επιρροή των χωρών μέσω του αριθμού των αναφορών που συγκεντρώνουν οι δημοσιεύσεις τους.



Σχήμα 10: Χώρες με τον μεγαλύτερο αριθμό αναφορών στον τομέα

Το Σχήμα 10 απεικονίζει τον συνολικό αριθμό αναφορών που συγκεντρώνουν οι δημοσιεύσεις των κυριότερων χωρών στον τομέα του fog computing, αποτυπώνοντας την επιστημονική τους επιρροή στη διεθνή βιβλιογραφία. Η Κίνα καταλαμβάνει την πρώτη θέση με σημαντική διαφορά, συγκεντρώνοντας περίπου 22.793 αναφορές. Το εύρημα αυτό επιβεβαιώνει ότι η υψηλή παραγωγικότητα της χώρας, όπως παρατηρήθηκε και στην προηγούμενη ανάλυση, συνοδεύεται και από ισχυρή απήχηση. Η κυριαρχία αυτή υποδηλώνει ότι οι δημοσιεύσεις της δεν είναι μόνο πολυάριθμες, αλλά και ευρέως χρησιμοποιούμενες από την επιστημονική κοινότητα. Η Ινδία εμφανίζεται στη δεύτερη θέση με περίπου 10.543 αναφορές, παρουσιάζοντας σημαντική απόσταση από την Κίνα. Αν και η Ινδία δείχνει ιδιαίτερα δυναμική αύξηση στον αριθμό δημοσιεύσεων τα τελευταία χρόνια, η διαφορά στις αναφορές υποδηλώνει ότι η επιστημονική της επιρροή βρίσκεται

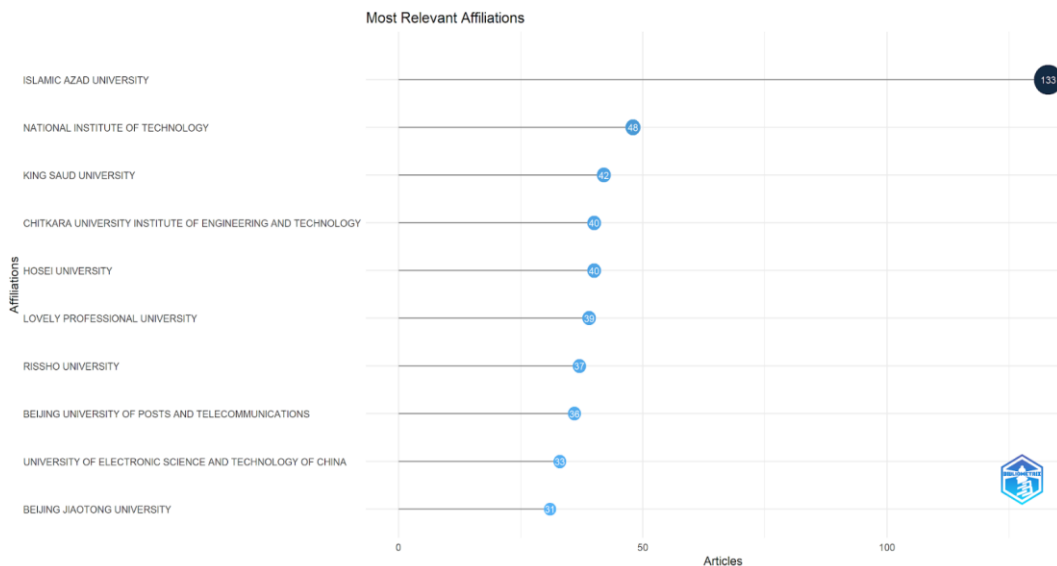
ακόμη σε φάση ενίσχυσης, πιθανώς λόγω της χρονικής υστέρησης που απαιτείται για τη συσσώρευση αναφορών.

Οι Ηνωμένες Πολιτείες καταγράφουν περίπου 10.009 αναφορές, τιμή που τις φέρνει πολύ κοντά στην Ινδία, παρά το γεγονός ότι διαθέτουν μικρότερο όγκο παραγωγής. Το στοιχείο αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό, καθώς υποδηλώνει υψηλότερη αναλογία αναφορών ανά δημοσίευση, γεγονός που συνδέεται με την ποιότητα και τη διεθνή απήχηση της έρευνας. Η Αυστραλία ακολουθεί με περίπου 7.900 αναφορές, παρουσιάζοντας ισχυρή παρουσία παρά τον μικρότερο πληθυσμό και τον περιορισμένο αριθμό δημοσιεύσεων. Το γεγονός αυτό υποδηλώνει συγκέντρωση σε ερευνητικά έργα υψηλής επιρροής. Αντίστοιχα, χώρες όπως η Κορέα (~4.700) και το Ιράν (~4.200) εμφανίζουν σημαντική συμβολή, επιβεβαιώνοντας την ευρύτερη γεωγραφική κατανομή της επιστημονικής δραστηριότητας. Σε χαμηλότερα επίπεδα εντοπίζονται ο Καναδάς (~3.800), το Ηνωμένο Βασίλειο (~3.100), η Ισπανία (~2.200) και η Σαουδική Αραβία (~2.000), οι οποίες, αν και παρουσιάζουν μικρότερο αριθμό αναφορών, εξακολουθούν να συμμετέχουν ενεργά στη διαμόρφωση της επιστημονικής γνώσης. Η σύγκριση μεταξύ των χωρών αποκαλύπτει σημαντικές διαφοροποιήσεις μεταξύ παραγωγής και επιρροής. Ενώ η Κίνα συνδυάζει υψηλό όγκο δημοσιεύσεων με υψηλό αριθμό αναφορών, άλλες χώρες, όπως οι ΗΠΑ, εμφανίζουν ισχυρή επιρροή με αναλογικά μικρότερη παραγωγή. Αυτό υποδηλώνει ότι η ποιότητα, η καινοτομία και η διεθνής συνεργασία αποτελούν κρίσιμους παράγοντες για την αύξηση της απήχησης. Τα αποτελέσματα συνδέονται με τον συνολικό μέσο αριθμό αναφορών ανά δημοσίευση (31.18), όπως προκύπτει από τα δεδομένα του συνόλου, επιβεβαιώνοντας ότι το πεδίο χαρακτηρίζεται από υψηλό βαθμό επιστημονικής αλληλεπίδρασης. Επιπλέον, το ποσοστό διεθνούς συνεργασίας (27.77%) ενισχύει τη διάχυση των αποτελεσμάτων, συμβάλλοντας στην αύξηση των αναφορών. Η κατανομή των αναφορών υποδηλώνει ότι η επιστημονική επιρροή δεν είναι ομοιόμορφα κατανομημένη, αλλά συγκεντρώνεται σε χώρες που συνδυάζουν ισχυρές ερευνητικές υποδομές, διεθνή δικτύωση και παραγωγή καινοτόμων αποτελεσμάτων.

4.6 Ανάλυση Ιδρυμάτων

Στην ενότητα αυτή εξετάζονται τα ιδρύματα και οι οργανισμοί που δραστηριοποιούνται στον τομέα του fog computing, με στόχο την ανάδειξη των σημαντικότερων ερευνητικών φορέων. Η ανάλυση αυτή συμβάλλει στην κατανόηση της κατανομής της επιστημονικής δραστηριότητας και του ρόλου των πανεπιστημίων και ερευνητικών κέντρων στην ανάπτυξη του πεδίου.

Αρχικά, εξετάζονται τα ιδρύματα με τη μεγαλύτερη παραγωγή δημοσιεύσεων, προκειμένου να εντοπιστούν οι βασικοί ερευνητικοί φορείς.



Σχήμα 11: Πιο παραγωγικά ιδρύματα στον τομέα του fog computing

Το Σχήμα 11 απεικονίζει τα ιδρύματα με τον μεγαλύτερο αριθμό δημοσιεύσεων στον τομέα του fog computing, αποτυπώνοντας την ερευνητική τους δραστηριότητα κατά την εξεταζόμενη περίοδο. Το Islamic Azad University καταλαμβάνει την πρώτη θέση με σημαντική διαφορά, συγκεντρώνοντας περίπου 133 δημοσιεύσεις. Η υπεροχή αυτή υποδηλώνει έντονη και συστηματική ενασχόληση με το αντικείμενο, καθώς και ύπαρξη μεγάλου αριθμού ενεργών ερευνητών ή οργανωμένων ερευνητικών ομάδων. Η παρουσία του συγκεκριμένου ιδρύματος στην κορυφή της κατάταξης υποδεικνύει τον σημαντικό ρόλο που διαδραματίζουν πανεπιστήμια εκτός των παραδοσιακά κυρίαρχων δυτικών χωρών.

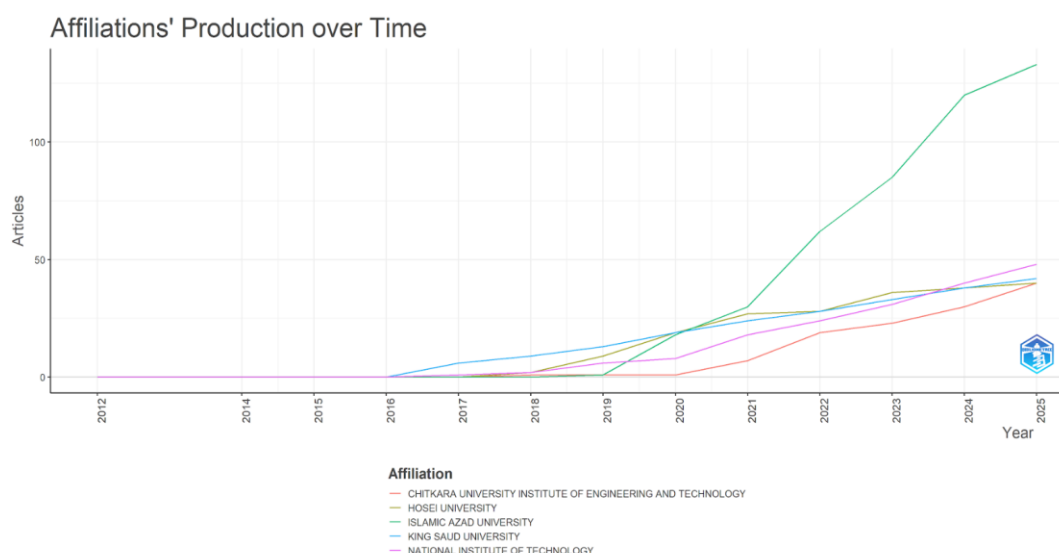
Στη δεύτερη θέση βρίσκεται το National Institute of Technology με περίπου 48 δημοσιεύσεις, ακολουθούμενο από το King Saud University με περίπου 42. Τα ιδρύματα αυτά εμφανίζουν σαφώς χαμηλότερη παραγωγή σε σχέση με το πρώτο, γεγονός που αναδεικνύει τη μεγάλη απόσταση μεταξύ του κορυφαίου φορέα και των υπολοίπων. Ακολουθούν ιδρύματα όπως το Chitkara University Institute of Engineering and Technology και το Hosei University, με περίπου 40 δημοσιεύσεις το καθένα, καθώς και το Lovely Professional University με περίπου 39. Η σχετική εγγύτητα των τιμών αυτών υποδηλώνει την ύπαρξη μιας ομάδας ιδρυμάτων με παρόμοιο επίπεδο ερευνητικής δραστηριότητας, χωρίς όμως να φτάνουν την ένταση παραγωγής του πρώτου.

Σε χαμηλότερα επίπεδα εντοπίζονται το Rissho University (~37), το Beijing University of Posts and Telecommunications (~36), το University of Electronic Science and Technology of China (~33) και το Beijing Jiaotong University (~31). Παρά τη μικρότερη παραγωγή, τα ιδρύματα αυτά διατηρούν σταθερή παρουσία, συμβάλλοντας στη συνολική ανάπτυξη του πεδίου. Η γεωγραφική κατανομή των ιδρυμάτων παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον, καθώς παρατηρείται έντονη παρουσία πανεπιστημίων από την Ασία και τη Μέση Ανατολή. Το εύρημα αυτό συνδέεται άμεσα με την αυξημένη παραγωγή χωρών όπως η Κίνα και η Ινδία,

επιβεβαιώνοντας ότι η ερευνητική δραστηριότητα μετατοπίζεται προς περιοχές με αναπτυσσόμενες τεχνολογικές υποδομές.

Η διαφοροποίηση στην παραγωγικότητα μεταξύ των ιδρυμάτων αντικατοπτρίζει παράγοντες όπως η χρηματοδότηση της έρευνας, η συμμετοχή σε διεθνή έργα και η συνεργασία με άλλα πανεπιστήμια. Το γεγονός ότι ο συνολικός αριθμός συγγραφέων ανέρχεται σε 9101 και ο μέσος αριθμός συν-συγγραφέων ανά εργασία είναι 3.7 υποδηλώνει ότι τα ιδρύματα λειτουργούν ως κόμβοι συνεργασίας, ενισχύοντας τη συλλογική παραγωγή γνώσης. Η κατανομή αυτή επιβεβαιώνει ότι η επιστημονική παραγωγή δεν κατανέμεται ισομερώς μεταξύ των ιδρυμάτων, αλλά συγκεντρώνεται σε συγκεκριμένους οργανισμούς με υψηλή ερευνητική δραστηριότητα. Παράλληλα, η παρουσία πολλών ιδρυμάτων με μέτρια παραγωγή υποδηλώνει τη διεύρυνση του πεδίου και την είσοδο νέων ερευνητικών φορέων.

Στη συνέχεια, εξετάζεται η εξέλιξη της επιστημονικής παραγωγής των ιδρυμάτων με την πάροδο του χρόνου, προκειμένου να αποτυπωθεί η δυναμική της ερευνητικής δραστηριότητας στον τομέα του fog computing.



Σχήμα 12: Εξέλιξη επιστημονικής παραγωγής ιδρυμάτων στον τομέα του fog computing

Το Σχήμα 12 απεικονίζει τη συσσωρευτική εξέλιξη του αριθμού δημοσιεύσεων για τα βασικά ιδρύματα κατά την περίοδο 2012–2025, αποτυπώνοντας τη διαφοροποίηση στους ρυθμούς ανάπτυξης και τη χρονική στιγμή ενίσχυσης της δραστηριότητάς τους. Το Islamic Azad University εμφανίζει την πιο έντονη και επιταχυνόμενη πορεία, ιδιαίτερα μετά το 2020, όπου καταγράφεται απότομη αύξηση των δημοσιεύσεων. Μέχρι το 2025 ξεπερνά τις 130 δημοσιεύσεις, επιβεβαιώνοντας την κυρίαρχη θέση του που είχε ήδη διαφανεί και από την κατάταξη των πιο παραγωγικών ιδρυμάτων. Η απότομη κλίση της καμπύλης υποδηλώνει σημαντική ενίσχυση της ερευνητικής δραστηριότητας σε σύντομο χρονικό διάστημα. Το National Institute of Technology και το King Saud University παρουσιάζουν πιο σταθερή και γραμμική αύξηση, με τις δημοσιεύσεις

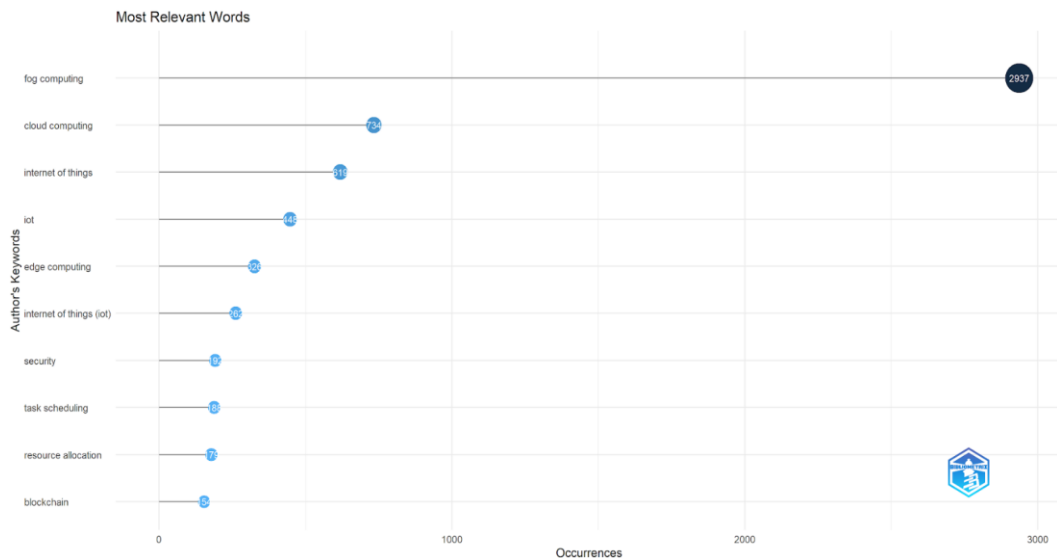
τους να κινούνται περίπου στις 45–50 μέχρι το τέλος της περιόδου. Η ομαλή αυτή πορεία υποδηλώνει συνεχή ενασχόληση με το πεδίο, χωρίς έντονες διακυμάνσεις ή αιφνίδιες αυξήσεις.

Αντίστοιχα, το Hosei University και το Chitkara University Institute of Engineering and Technology εμφανίζουν σταδιακή ενίσχυση, με πιο εμφανή αύξηση μετά το 2019. Οι τιμές τους προσεγγίζουν τις 40–45 δημοσιεύσεις, υποδηλώνοντας σταθερή αλλά λιγότερο επιθετική ανάπτυξη σε σύγκριση με το Islamic Azad University. Η σύγκριση μεταξύ των ιδρυμάτων αναδεικνύει διαφορετικά πρότυπα εξέλιξης. Ορισμένα ιδρύματα εμφανίζουν καθυστερημένη αλλά έντονη επιτάχυνση, ενώ άλλα διατηρούν σταθερό ρυθμό ανάπτυξης σε όλη τη διάρκεια της περιόδου. Η διαφοροποίηση αυτή σχετίζεται με παράγοντες όπως η χρηματοδότηση, η συμμετοχή σε ερευνητικά έργα και η στρατηγική εστίαση σε συγκεκριμένα επιστημονικά πεδία. Ιδιαίτερη σημασία έχει η χρονική περίοδος μετά το 2018–2019, όπου παρατηρείται γενικευμένη αύξηση της δραστηριότητας σε όλα σχεδόν τα ιδρύματα. Η τάση αυτή συνδέεται με τη συνολική ανάπτυξη του fog computing, όπως αποτυπώθηκε και στην ετήσια επιστημονική παραγωγή, και υποδηλώνει ενίσχυση του ερευνητικού ενδιαφέροντος σε παγκόσμιο επίπεδο. Η ανάλυση αυτή συνδέεται με τα συνολικά χαρακτηριστικά του συνόλου δεδομένων, όπου καταγράφονται 4426 δημοσιεύσεις και υψηλός βαθμός συνεργασίας μεταξύ συγγραφέων (3.7 συν-συγγραφείς ανά εργασία). Τα ιδρύματα λειτουργούν ως βασικοί κόμβοι αυτής της συνεργασίας, συμβάλλοντας καθοριστικά στην παραγωγή και διάχυση της επιστημονικής γνώσης. Η χρονική εξέλιξη της παραγωγής αναδεικνύει ότι η ερευνητική δραστηριότητα δεν παραμένει στατική, αλλά επηρεάζεται από εξωτερικούς παράγοντες, όπως η τεχνολογική πρόοδος και η διεθνής συνεργασία, οδηγώντας σε διαφοροποιημένες πορείες ανάπτυξης μεταξύ των ιδρυμάτων.

4.7 Ανάλυση Θεματολογίας

Στην ενότητα αυτή εξετάζεται η θεματολογία της επιστημονικής έρευνας στον τομέα του fog computing, με στόχο την κατανόηση των βασικών ερευνητικών κατευθύνσεων και της εξέλιξης του πεδίου. Μέσω της ανάλυσης των λέξεων-κλειδιών και των θεματικών χαρτών, καθίσταται δυνατή η αναγνώριση των κυρίαρχων και αναδυόμενων ερευνητικών περιοχών.

Αρχικά, εξετάζονται οι πιο συχνά εμφανιζόμενες λέξεις-κλειδιά στις επιστημονικές δημοσιεύσεις, προκειμένου να αναδειχθούν οι βασικές θεματικές περιοχές και οι κύριες έννοιες που χαρακτηρίζουν την έρευνα στον τομέα του fog computing.



Σχήμα 13: Πιο συχνά εμφανιζόμενες λέξεις-κλειδιά στον τομέα του fog computing

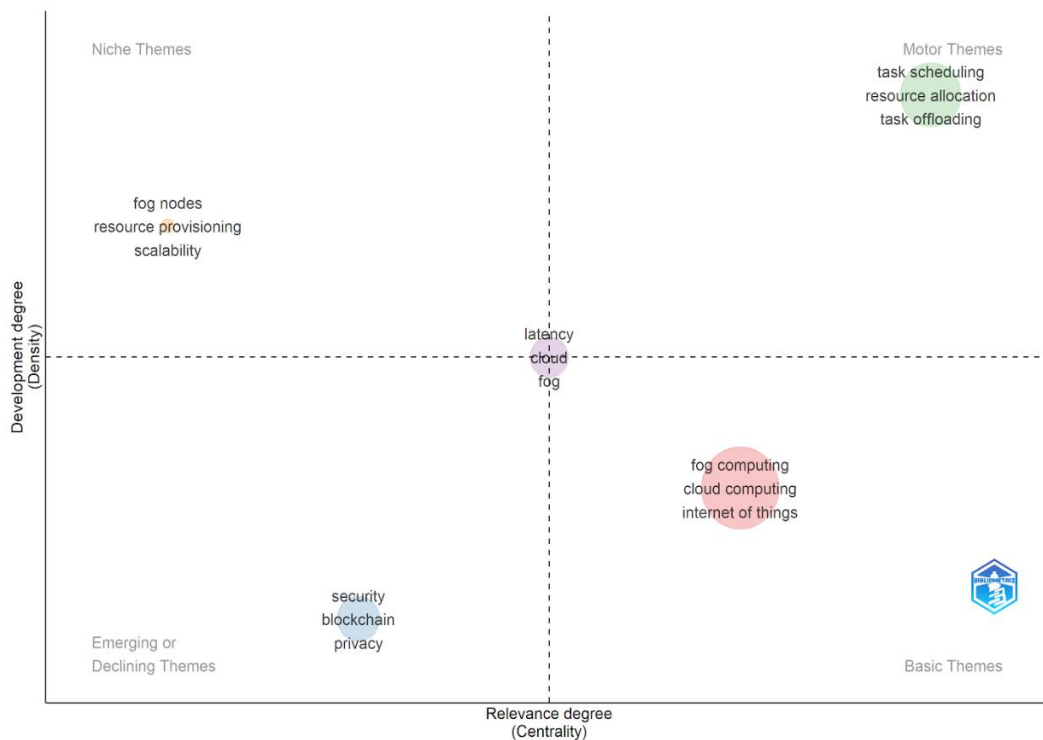
Το Σχήμα 13 απεικονίζει τη συχνότητα εμφάνισης των βασικών λέξεων-κλειδιών στις επιστημονικές δημοσιεύσεις, αναδεικνύοντας τις κυρίαρχες έννοιες που διαμορφώνουν το πεδίο. Ο όρος fog computing εμφανίζεται με εξαιρετικά υψηλή συχνότητα, προσεγγίζοντας τις 2937 εμφανίσεις, γεγονός που είναι αναμενόμενο καθώς αποτελεί τον κεντρικό άξονα της ανάλυσης. Η μεγάλη απόσταση από τις υπόλοιπες λέξεις υποδηλώνει ισχυρή συγκέντρωση της έρευνας γύρω από τον βασικό αυτό όρο. Στη δεύτερη θέση βρίσκεται το cloud computing με περίπου 734 εμφανίσεις, γεγονός που καταδεικνύει τη στενή σχέση μεταξύ των δύο τεχνολογιών. Το fog computing λειτουργεί ως επέκταση ή συμπλήρωμα του cloud, και η συχνή συν εμφάνισή τους επιβεβαιώνει τη θεμελιώδη αυτή σύνδεση. Ακολουθούν οι όροι internet of things με περίπου 619 εμφανίσεις και IoT με περίπου 443 εμφανίσεις οι οποίοι, αν και αναφέρονται στην ίδια τεχνολογία, εμφανίζονται ξεχωριστά.

Η παρουσία και των δύο μορφών υποδηλώνει ανομοιογένεια στη χρήση όρων από τους ερευνητές, αλλά ταυτόχρονα ενισχύει τη σημασία του IoT ως βασικού πεδίου εφαρμογής του fog computing. Ο όρος edge computing (~326) εμφανίζεται επίσης με σημαντική συχνότητα, γεγονός που υποδηλώνει τη στενή εννοιολογική και τεχνολογική σύνδεση με το fog computing. Οι δύο έννοιες συχνά αλληλεπικαλύπτονται, αντανακλώντας την εξέλιξη των καταναμημένων υπολογιστικών αρχιτεκτονικών. Σε χαμηλότερα επίπεδα εντοπίζονται πιο εξειδικευμένοι όροι, όπως security (~187), task scheduling (~178), resource allocation (~176) και blockchain (~165). Η παρουσία αυτών των λέξεων δείχνει τη μετάβαση της έρευνας από τις βασικές έννοιες σε πιο εφαρμοσμένες και τεχνικές προσεγγίσεις. Ειδικότερα, η έννοια της ασφάλειας αναδεικνύεται ως κρίσιμο ζήτημα, λόγω της διαχείρισης ευαίσθητων δεδομένων σε καταναμημένα περιβάλλοντα. Η κατανομή των λέξεων-κλειδιών αποκαλύπτει μια σαφή ιεραρχία: από γενικές έννοιες υψηλής συχνότητας προς πιο εξειδικευμένες θεματικές περιοχές με μικρότερη αλλά σημαντική παρουσία. Η δομή αυτή είναι ενδεικτική

ενός ώριμου επιστημονικού πεδίου, όπου οι βασικές έννοιες έχουν καθιερωθεί και η έρευνα επεκτείνεται σε επιμέρους ζητήματα.

Η ανάλυση συνδέεται με τον συνολικό αριθμό λέξεων-κλειδιών του συνόλου δεδομένων, όπου καταγράφονται 6877 Author' s Keywords και 13690 Keywords Plus, επιβεβαιώνοντας τη θεματική πολυπλοκότητα και τον διεπιστημονικό χαρακτήρα του fog computing. Η διαφοροποίηση στη συχνότητα εμφάνισης των όρων υποδηλώνει επίσης τις προτεραιότητες της επιστημονικής κοινότητας, καθώς οι πιο συχνά χρησιμοποιούμενες λέξεις αντιστοιχούν στα βασικά ερευνητικά ενδιαφέροντα, ενώ οι λιγότερο συχνές αντανακλούν εξειδικευμένες ή αναδυόμενες κατευθύνσεις.

Ακολουθώς παρουσιάζεται ο θεματικός χάρτης, ο οποίος αποτυπώνει τη δομή των ερευνητικών θεμάτων στον τομέα του fog computing.



Σχήμα 14: Θεματικός χάρτης ερευνητικών περιοχών στον τομέα του fog computing

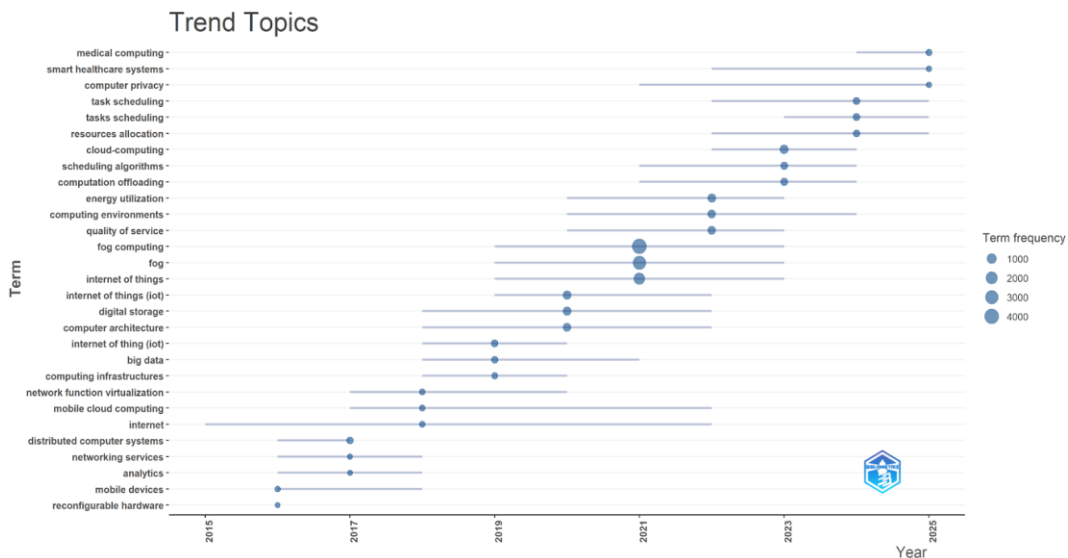
Το Σχήμα 14 απεικονίζει τη θεματική διάρθρωση του πεδίου με βάση δύο βασικές διαστάσεις: τον βαθμό κεντρικότητας (οριζόντιος άξονας), που εκφράζει τη σημασία ενός θέματος για το σύνολο του πεδίου, και τον βαθμό ανάπτυξης (κάθετος άξονας), που αποτυπώνει το επίπεδο ωριμότητας και εσωτερικής συνοχής του. Στην κάτω δεξιά περιοχή εντοπίζονται τα βασικά θέματα, όπου κυριαρχούν όροι όπως fog computing, cloud computing και internet of things. Οι έννοιες αυτές παρουσιάζουν υψηλή κεντρικότητα αλλά σχετικά χαμηλότερο βαθμό ανάπτυξης, γεγονός που υποδηλώνει ότι αποτελούν θεμελιώδεις πυλώνες του πεδίου και συνδέονται με μεγάλο αριθμό άλλων θεματικών περιοχών. Η παρουσία τους σε αυτή τη ζώνη δείχνει ότι, παρότι είναι καθιερωμένες, συνεχίζουν να εξελίσσονται

και να επεκτείνονται σε νέες εφαρμογές. Στην επάνω δεξιά περιοχή εμφανίζονται τα κινητήρια θέματα, όπως task scheduling, resource allocation και task offloading.

Τα θέματα αυτά συνδυάζουν υψηλή κεντρικότητα και υψηλό βαθμό ανάπτυξης, γεγονός που τα καθιστά κρίσιμα για την πρόοδο του πεδίου. Η θέση τους υποδηλώνει ότι αποτελούν ώριμες και καλά ανεπτυγμένες ερευνητικές κατευθύνσεις, οι οποίες επηρεάζουν σημαντικά τη συνολική εξέλιξη του fog computing. Στην επάνω αριστερή περιοχή εντοπίζονται τα εξειδικευμένα θέματα, όπως Fog Nodes, resource provisioning και scalability. Τα θέματα αυτά εμφανίζουν υψηλό βαθμό ανάπτυξης αλλά περιορισμένη κεντρικότητα, γεγονός που σημαίνει ότι αποτελούν ώριμες αλλά περισσότερο απομονωμένες ερευνητικές περιοχές. Η παρουσία τους υποδηλώνει εξειδίκευση και εμβάθυνση σε συγκεκριμένα τεχνικά ζητήματα. Στην κάτω αριστερή περιοχή εντοπίζονται τα αναδυόμενα ή φθίνοντα θέματα, όπως security, blockchain και privacy. Τα θέματα αυτά παρουσιάζουν χαμηλή κεντρικότητα και χαμηλό βαθμό ανάπτυξης, γεγονός που μπορεί να ερμηνευτεί με δύο τρόπους: είτε αποτελούν νέες ερευνητικές κατευθύνσεις που βρίσκονται σε αρχικό στάδιο ανάπτυξης, είτε πρόκειται για θεματικές που δεν έχουν ακόμη ενσωματωθεί πλήρως στο βασικό σώμα της έρευνας.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η θέση εννοιών όπως latency, cloud και Fog κοντά στο κέντρο του χάρτη, γεγονός που υποδηλώνει τη μεταβατική τους φύση. Οι έννοιες αυτές φαίνεται να λειτουργούν ως συνδετικοί κρίκοι μεταξύ διαφορετικών θεματικών περιοχών, συμβάλλοντας στη συνοχή του πεδίου. Η συνολική διάρθρωση του χάρτη επιβεβαιώνει ότι το fog computing αποτελεί ένα ώριμο αλλά ταυτόχρονα δυναμικά εξελισσόμενο επιστημονικό πεδίο. Η συνύπαρξη καθιερωμένων θεμάτων, ανεπτυγμένων τεχνικών περιοχών και αναδυόμενων κατευθύνσεων υποδηλώνει συνεχή ανανέωση της έρευνας και διεύρυνση των εφαρμογών. Η εικόνα αυτή συνδέεται με τον μεγάλο αριθμό λέξεων-κλειδιών του συνόλου δεδομένων (6877 Author's Keywords και 13690 Keywords Plus), γεγονός που αποτυπώνει τη θεματική πολυπλοκότητα και τη διεπιστημονική φύση του πεδίου [36].

Στη συνέχεια, εξετάζεται η εξέλιξη των ερευνητικών θεμάτων με την πάροδο του χρόνου.



Σχήμα 15: Εξέλιξη ερευνητικών θεμάτων στον τομέα του fog computing

Το Σχήμα 15 απεικονίζει τη χρονική εμφάνιση και εξέλιξη των βασικών ερευνητικών όρων, αποτυπώνοντας τη μεταβολή των θεματικών προτεραιοτήτων από το 2015 έως το 2025.

Στα πρώτα έτη της περιόδου (2015–2017), η ερευνητική δραστηριότητα επικεντρώνεται σε θεμελιώδεις έννοιες υποδομής, όπως mobile cloud computing, distributed systems, networking services και analytics. Οι όροι αυτοί σχετίζονται με τις τεχνολογικές βάσεις που επέτρεψαν την ανάπτυξη του fog computing, υποδηλώνοντας ότι το πεδίο βρισκόταν ακόμη σε στάδιο διαμόρφωσης. Κατά την περίοδο 2018–2020 παρατηρείται μετατόπιση προς έννοιες όπως internet of things (IoT), big data, computing infrastructure και digital storage. Η εμφάνιση αυτών των όρων αντανάκλα την ενσωμάτωση του fog computing σε περιβάλλοντα διαχείρισης μεγάλου όγκου δεδομένων και τη σύνδεσή του με συστήματα ευρείας κλίμακας. Την ίδια περίοδο, όροι όπως fog και fog computing αποκτούν αυξημένη συχνότητα, γεγονός που υποδηλώνει την εδραίωση του πεδίου. Στη συνέχεια, από το 2020 έως το 2022, η έρευνα στρέφεται σε ζητήματα βελτιστοποίησης και απόδοσης, όπως quality of service, energy utilization, computing environments και computation offloading. Η μετατόπιση αυτή υποδηλώνει ωρίμανση του πεδίου, καθώς η επιστημονική κοινότητα εστιάζει πλέον στη βελτίωση της αποδοτικότητας και της λειτουργικότητας των συστημάτων.

Στα πιο πρόσφατα έτη (2022–2025), αναδεικνύονται πιο εξειδικευμένα και εφαρμοσμένα θέματα, όπως task scheduling, resource allocation, cloud computing, smart healthcare systems και medical computing. Η εμφάνιση αυτών των όρων υποδηλώνει μετάβαση προς πρακτικές εφαρμογές και εξειδικευμένα σενάρια χρήσης, ιδιαίτερα σε τομείς όπως η υγεία και οι έξυπνες υποδομές. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η εξέλιξη όρων που σχετίζονται με την ασφάλεια και την ιδιωτικότητα, όπως computer privacy, οι οποίοι εμφανίζονται πιο έντονα στα πρόσφατα έτη. Η τάση αυτή αντανάκλα τις αυξανόμενες απαιτήσεις για προστασία

δεδομένων σε κατανεμημένα περιβάλλοντα. Η διαφοροποίηση στη διάρκεια εμφάνισης των όρων δείχνει ότι ορισμένες έννοιες έχουν μακροχρόνια παρουσία, ενώ άλλες εμφανίζονται δυναμικά σε συγκεκριμένες χρονικές περιόδους. Οι μεγαλύτεροι κύκλοι ζωής σχετίζονται με βασικές τεχνολογίες, ενώ οι πιο πρόσφατες εμφανίσεις συνδέονται με εξειδικευμένες εφαρμογές και νέες ερευνητικές κατευθύνσεις. Η εξέλιξη αυτή συνδέεται με τον συνολικό όγκο των 4426 δημοσιεύσεων και τον μεγάλο αριθμό λέξεων-κλειδιών, επιβεβαιώνοντας ότι το fog computing αποτελεί ένα πεδίο που μετασχηματίζεται συνεχώς, ακολουθώντας τις τεχνολογικές εξελίξεις και τις ανάγκες της σύγχρονης κοινωνίας. Η χρονική διαδοχή των θεμάτων αποτυπώνει μια σαφή πορεία: από την ανάπτυξη των υποδομών, στη διαχείριση δεδομένων, και τελικά στην εξειδίκευση και εφαρμογή σε πραγματικά συστήματα. Αυτή η μετάβαση αποτελεί χαρακτηριστικό γνώρισμα ώριμων επιστημονικών πεδίων, στα οποία η έρευνα εξελίσσεται από γενικές έννοιες σε στοχευμένες λύσεις.

Η ανάλυση των δεδομένων ανέδειξε τη δομή, τη δυναμική εξέλιξη και τη γεωγραφική κατανομή της επιστημονικής δραστηριότητας στον τομέα του fog computing. Μέσα από την επεξεργασία ενός εκτενούς συνόλου 4426 δημοσιεύσεων που καλύπτουν την περίοδο 2012–2025, διαπιστώνεται ότι το πεδίο παρουσιάζει έντονη ανάπτυξη, η οποία επιταχύνεται ιδιαίτερα μετά το 2017. Η αύξηση αυτή συνδέεται άμεσα με την εξάπλωση τεχνολογιών όπως το Internet of Things και τα κατανεμημένα υπολογιστικά συστήματα, τα οποία ενισχύουν την ανάγκη για αποκεντρωμένη επεξεργασία δεδομένων.

Η εξέταση της επιστημονικής παραγωγής κατέδειξε ότι, πέρα από την ποσοτική αύξηση των δημοσιεύσεων, παρατηρείται και ενίσχυση της επιστημονικής επιρροής, όπως αποτυπώνεται μέσω των αναφορών. Ωστόσο, η επιρροή αυτή δεν κατανέμεται ομοιόμορφα, καθώς συγκεντρώνεται σε συγκεκριμένες χώρες και ερευνητικά κέντρα. Χώρες όπως η Κίνα και η Ινδία κυριαρχούν σε επίπεδο παραγωγής, ενώ οι Ηνωμένες Πολιτείες εμφανίζουν ισχυρή παρουσία ως προς την ποιότητα και την απήχηση της έρευνας. Σε επίπεδο συγγραφέων και ιδρυμάτων, τα αποτελέσματα επιβεβαιώνουν ότι η επιστημονική παραγωγή συγκεντρώνεται σε έναν περιορισμένο αριθμό ιδιαίτερα ενεργών ερευνητών και οργανισμών.

Το φαινόμενο αυτό συνάδει με τις βασικές αρχές της βιβλιομετρίας, όπως αποτυπώνονται στον νόμο του Lotka, ενώ παράλληλα υπογραμμίζει τη σημασία της συνεργασίας, δεδομένου ότι ο μέσος αριθμός συν-συγγραφέων ανέρχεται σε 3.7 και το ποσοστό διεθνούς συνεργασίας φτάνει το 27.77%. Η ανάλυση των επιστημονικών πηγών ανέδειξε τη συγκέντρωση της δημοσίευσης σε συγκεκριμένα περιοδικά και εκδοτικές σειρές υψηλής επιρροής, επιβεβαιώνοντας τη θεωρία του Bradford. Παράλληλα, η χρονική εξέλιξη των πηγών έδειξε ότι ορισμένα μέσα ενισχύουν σταθερά τη θέση τους, λειτουργώντας ως βασικά κανάλια διάχυσης της γνώσης. Ιδιαίτερη σημασία παρουσιάζει η θεματική ανάλυση, η οποία αποκάλυψε τη δομή και την εξέλιξη των ερευνητικών κατευθύνσεων. Οι βασικές έννοιες, όπως fog computing, cloud computing και IoT, αποτελούν τον πυρήνα του πεδίου, ενώ

παράλληλα αναπτύσσονται εξειδικευμένες περιοχές, όπως η διαχείριση πόρων, ο προγραμματισμός εργασιών και η ασφάλεια.

Ο θεματικός χάρτης επιβεβαίωσε την ύπαρξη τόσο ώριμων όσο και αναδύομενων θεμάτων, υποδηλώνοντας συνεχή ανανέωση της έρευνας. Η χρονική ανάλυση των θεματικών τάσεων ανέδειξε μια σαφή πορεία εξέλιξης: από την ανάπτυξη των υποδομών και των βασικών τεχνολογιών, στη διαχείριση δεδομένων και στη συνέχεια σε πιο εξειδικευμένες και εφαρμοσμένες περιοχές, όπως οι έξυπνες υπηρεσίες και τα συστήματα υγείας. Η μετάβαση αυτή υποδηλώνει ότι το fog computing έχει εισέλθει σε φάση ωρίμανσης, διατηρώντας παράλληλα δυναμική εξέλιξη. Συνολικά, τα ευρήματα καταδεικνύουν ότι το fog computing αποτελεί ένα πολυδιάστατο και ταχέως αναπτυσσόμενο επιστημονικό πεδίο, με έντονη διεθνή συμμετοχή, υψηλό βαθμό συνεργασίας και συνεχώς εξελισσόμενη θεματολογία. Η κατανόηση αυτών των χαρακτηριστικών παρέχει μια ολοκληρωμένη εικόνα της επιστημονικής δραστηριότητας και δημιουργεί τη βάση για την ανάδειξη ερευνητικών κενών και μελλοντικών κατευθύνσεων.

Τα αποτελέσματα της βιβλιομετρικής ανάλυσης επιβεβαιώνουν τη σημαντική ανάπτυξη του πεδίου του fog computing, καθώς και τη μετατόπιση του ερευνητικού ενδιαφέροντος προς εφαρμογές πραγματικού χρόνου, ενεργειακή αποδοτικότητα και ασφάλεια δεδομένων.

5 Χαρτογράφηση επιστήμης και συσταδοποίηση

Η χαρτογράφηση επιστήμης (science mapping) αποτελεί μία από τις σημαντικότερες τεχνικές της βιβλιομετρικής ανάλυσης, καθώς επιτρέπει την οπτική αναπαράσταση των σχέσεων που αναπτύσσονται μεταξύ συγγραφέων, οργανισμών, χωρών, επιστημονικών πηγών και θεματικών περιοχών. Μέσω της διαδικασίας αυτής είναι δυνατή η κατανόηση της δομής της επιστημονικής γνώσης, ο εντοπισμός των σημαντικότερων ερευνητικών δικτύων και η ανάδειξη των κυρίαρχων τάσεων του επιστημονικού πεδίου.

Στην παρούσα εργασία, η χαρτογράφηση πραγματοποιήθηκε με τη χρήση του λογισμικού VOSviewer, το οποίο χρησιμοποιείται ευρέως σε βιβλιομετρικές μελέτες για τη δημιουργία δικτύων συνεργασίας (co-authorship), κοινών αναφορών (co-citation) και θεματικών συσχετίσεων (keyword co-occurrence). Μέσω της ανάλυσης αυτής αποτυπώνεται η δομή και η δυναμική εξέλιξη της επιστημονικής έρευνας στον τομέα του fog computing.

5.1 Co-authorship-Συνεργασία

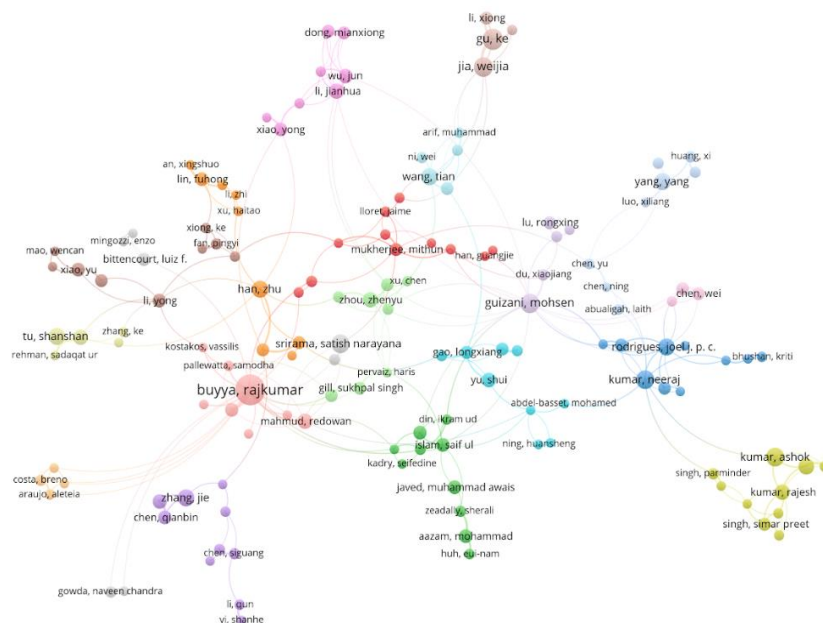
Η ανάλυση co-authorship χρησιμοποιείται για τη διερεύνηση των συνεργασιών που αναπτύσσονται μεταξύ συγγραφέων, οργανισμών και χωρών στον τομέα του fog computing. Μέσω της δημιουργίας βιβλιομετρικών δικτύων είναι δυνατή η αναγνώριση των βασικών ερευνητικών ομάδων και του βαθμού διεθνούς συνεργασίας που χαρακτηρίζει το πεδίο. Τα δίκτυα συνεργασίας δημιουργήθηκαν με τη χρήση του λογισμικού VOSviewer.

5.1.1 Co-authorship Συγγραφέων

Η ανάλυση συνεργασιών (co-authorship) αποτελεί μία από τις βασικές τεχνικές επιστημονικής χαρτογράφησης, καθώς επιτρέπει τη μελέτη των σχέσεων συνεργασίας μεταξύ συγγραφέων, οργανισμών και χωρών. Μέσω της ανάλυσης αυτής είναι δυνατός ο εντοπισμός των σημαντικότερων ερευνητικών ομάδων, των

βασικών επιστημονικών κέντρων και του βαθμού διεθνούς συνεργασίας που χαρακτηρίζει το πεδίο του fog computing.

Τα δίκτυα συνεργασίας επιτρέπουν την οπτικοποίηση των σχέσεων συνεργασίας μέσω κόμβων και συνδέσεων. Οι κόμβοι αντιπροσωπεύουν συγγραφείς, οργανισμούς ή χώρες, ενώ οι γραμμές σύνδεσης αποτυπώνουν τις συνεργασίες μεταξύ τους. Παράλληλα, η δημιουργία συστάδων (clusters) επιτρέπει την αναγνώριση διακριτών ερευνητικών ομάδων και συνεργατικών δικτύων στον τομέα του fog computing.



Σχήμα 16: Δίκτυο συνεργασίας συγγραφέων στον τομέα fog computing

Το Σχήμα 16 απεικονίζει την ανάλυση συνεργασίας συγγραφέων που πραγματοποιήθηκε με τη μέθοδο “Fractional counting”, όπου το βάρος κάθε σύνδεσης εκφράζει το βαθμό συνεργασίας μεταξύ ανά δημοσίευση. Ως όρια ανάλυσης ορίστηκαν μέγιστος αριθμός εγγράφων ανά συγγραφέα ίσος με 25, ελάχιστος αριθμός δημοσιεύσεων ίσος με 5 και ελάχιστος αριθμός αναφορών ίσος με 3. Από το σύνολο των 11.302 συγγραφέων, μόνο οι 331 πληρούσαν τα καθορισμένα κριτήρια συμμετοχής, ενώ οι 143 συμμετείχαν σε πλήρως συνδεδεμένο δίκτυο συνεργασιών. Το γεγονός αυτό δείχνει ότι η ερευνητική δραστηριότητα στο fog computing συγκεντρώνεται σε έναν περιορισμένο αριθμό ιδιαίτερα ενεργών ερευνητών. Το δίκτυο παρουσιάζει έντονη συσταδοποίηση (clustering), καθώς δημιουργούνται διακριτές ερευνητικές ομάδες που συνεργάζονται συστηματικά μεταξύ τους. Οι μεγαλύτεροι κόμβοι αντιπροσωπεύουν συγγραφείς με αυξημένη επιστημονική παραγωγή και

υψηλότερο βαθμό συνεργασίας, ενώ οι γραμμές σύνδεσης αποτυπώνουν τις σχέσεις συνεργασίας μεταξύ των ερευνητών.

Παράλληλα, ορισμένοι συγγραφείς εμφανίζονται ως κεντρικοί κόμβοι του δικτύου, συνδέοντας διαφορετικές ερευνητικές ομάδες και συμβάλλοντας σημαντικά στη διάχυση της επιστημονικής γνώσης στον τομέα του fog computing. Η ύπαρξη ισχυρών συνεργατικών δικτύων επιβεβαιώνει τον έντονα συνεργατικό χαρακτήρα του πεδίου και τη σημαντική συμβολή της διεθνούς επιστημονικής κοινότητας στην εξέλιξή του [23].

5.1.2 Co-authorship Organization Συνεργασία Οργανισμών

Η ανάλυση συνεργασίας οργανισμών (co-authorship organizations analysis) χρησιμοποιείται για τη μελέτη των συνεργασιών μεταξύ πανεπιστημίων, ερευνητικών κέντρων και ακαδημαϊκών ιδρυμάτων μέσω κοινών επιστημονικών δημοσιεύσεων. Μέσω της ανάλυσης αυτής είναι δυνατός ο εντοπισμός των οργανισμών που παρουσιάζουν αυξημένη επιστημονική δραστηριότητα και συμμετέχουν ενεργά στην παραγωγή και διάδοση της επιστημονικής γνώσης στον τομέα του fog computing.

Η ανάλυση πραγματοποιήθηκε για να εξετάσει τις συνεργασίες που αναπτύσσονται μεταξύ οργανισμών μέσω κοινών επιστημονικών δημοσιεύσεων.

Πίνακας 2: Κυριότεροι οργανισμοί συνεργασίας στον τομέα του fog computing

Οργανισμός	Χαρακτηριστικά συνεργασίας
Chitkara University Institute	Παρουσιάζει την πιο κεντρική θέση στο δίκτυο συνεργασιών
School of Computer Application	Εμφανίζει ισχυρές συνεργασίες μέσω κοινών δημοσιεύσεων
National Institute of Technology	Συμμετέχει ενεργά σε ερευνητικά δίκτυα fog computing
King Saud University	Παρουσιάζει σταθερή επιστημονική δραστηριότητα
Hosei University	Συμβάλλει στη διεθνή ερευνητική συνεργασία

Οργανισμός	Χαρακτηριστικά συνεργασίας
Lovely Professional University	Εμφανίζει παρουσία σε συνεργατικά δίκτυα IoT και fog computing

Για τη δημιουργία του δικτύου τέθηκαν ως όρια τουλάχιστον πέντε (5) δημοσιεύσεις και δύο (2) αναφορές ανά οργανισμό. Από τους συνολικά 8.854 οργανισμούς, μόνο οι 44 πληρούσαν τα καθορισμένα κριτήρια, ενώ μόλις 6 οργανισμοί συμμετείχαν σε πλήρως συνδεδεμένο δίκτυο συνεργασιών.

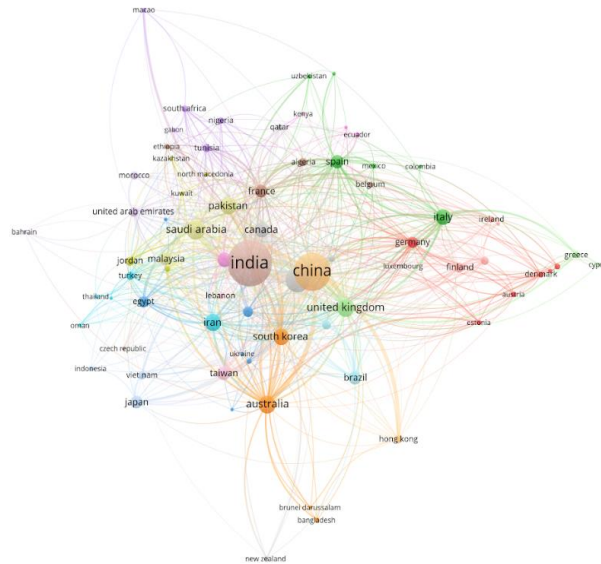
Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι οι συνεργασίες μεταξύ οργανισμών στον τομέα του fog computing εμφανίζονται σχετικά περιορισμένες, καθώς μόνο μικρός αριθμός πανεπιστημίων και ερευνητικών ιδρυμάτων παρουσιάζει ισχυρές διασυνδέσεις μέσω κοινών επιστημονικών δημοσιεύσεων. Ιδιαίτερα σημαντική θέση κατέχει το Chitkara University Institute, το οποίο εμφανίζει τον υψηλότερο βαθμό συνεργασίας με άλλους οργανισμούς. Παράλληλα, οργανισμοί όπως το School of Computer Application, το National Institute of Technology και το King Saud University παρουσιάζουν αυξημένη συμμετοχή σε ερευνητικά δίκτυα που σχετίζονται με το fog computing και το Internet of Things. Η ύπαρξη περιορισμένου αριθμού ισχυρών συνεργασιών υποδηλώνει ότι η επιστημονική παραγωγή στο fog computing συγκεντρώνεται κυρίως σε συγκεκριμένα πανεπιστήμια και ερευνητικά κέντρα, τα οποία λειτουργούν ως βασικοί πυρήνες παραγωγής και διάδοσης της γνώσης γύρω από το αντικείμενο.

Συνολικά, η ανάλυση καταδεικνύει ότι, παρά τη δυναμική ανάπτυξη του πεδίου, οι δια-ιδρυματικές συνεργασίες εξακολουθούν να εμφανίζονται περιορισμένες σε σχέση με άλλα επιστημονικά πεδία [23].

5.1.3 Co-authorship Countries -Συνεργασία Χωρών

Η ανάλυση συνεργασίας χωρών (co-authorship countries analysis) χρησιμοποιείται για τη μελέτη των διεθνών επιστημονικών συνεργασιών που αναπτύσσονται μέσω κοινών δημοσιεύσεων μεταξύ ερευνητών διαφορετικών χωρών. Η τεχνική αυτή επιτρέπει την κατανόηση της γεωγραφικής κατανομής της επιστημονικής δραστηριότητας και τον εντοπισμό των χωρών που παρουσιάζουν ισχυρή ερευνητική παρουσία στον τομέα του fog computing.

Η οπτικοποίηση του δικτύου αποκαλύπτει το δίκτυο συνεργασιών. Οι κόμβοι αντιπροσωπεύουν χώρες και οι συνδέσεις μεταξύ τους αποτυπώνουν τις διεθνείς συνεργασίες μέσω κοινών επιστημονικών δημοσιεύσεων.



Σχήμα 17: Δίκτυο συνεργασίας χωρών στον τομέα fog computing

Στο Σχήμα 17 απεικονίζεται η δημιουργία του δικτύου που έχει τεθεί με όρια τουλάχιστον πέντε (5) δημοσιεύσεων και δύο (2) αναφορών ανά χώρα. Από τις συνολικά 125 χώρες, μόνο οι 76 πληρούσαν τα καθορισμένα κριτήρια, ενώ οι 75 συμμετείχαν σε πλήρως συνδεδεμένο δίκτυο συνεργασιών. Το δίκτυο παρουσιάζει μεγάλο αριθμό συνδέσεων μεταξύ των χωρών, γεγονός που υποδηλώνει έντονη διεθνή επιστημονική συνεργασία στον τομέα του fog computing. Παράλληλα, παρατηρούνται διακριτές συστάδες (clusters), οι οποίες αντιστοιχούν σε ομάδες χωρών με ισχυρές συνεργασίες και κοινή ερευνητική δραστηριότητα. Ιδιαίτερα κεντρική θέση στο δίκτυο κατέχουν χώρες όπως η Κίνα, η Ινδία και οι Ηνωμένες Πολιτείες, οι οποίες παρουσιάζουν αυξημένη επιστημονική παραγωγή και σημαντικό αριθμό διεθνών συνεργασιών. Παράλληλα, χώρες της Ευρώπης και της Μέσης Ανατολής εμφανίζουν επίσης σημαντική παρουσία, ενισχύοντας τον διεθνή χαρακτήρα του πεδίου.

Η ύπαρξη εκτεταμένου δικτύου συνεργασιών δείχνει ότι η έρευνα στο fog computing αναπτύσσεται μέσω διεθνών συνεργασιών και ανταλλαγής επιστημονικής γνώσης μεταξύ διαφορετικών χωρών και ερευνητικών ιδρυμάτων.

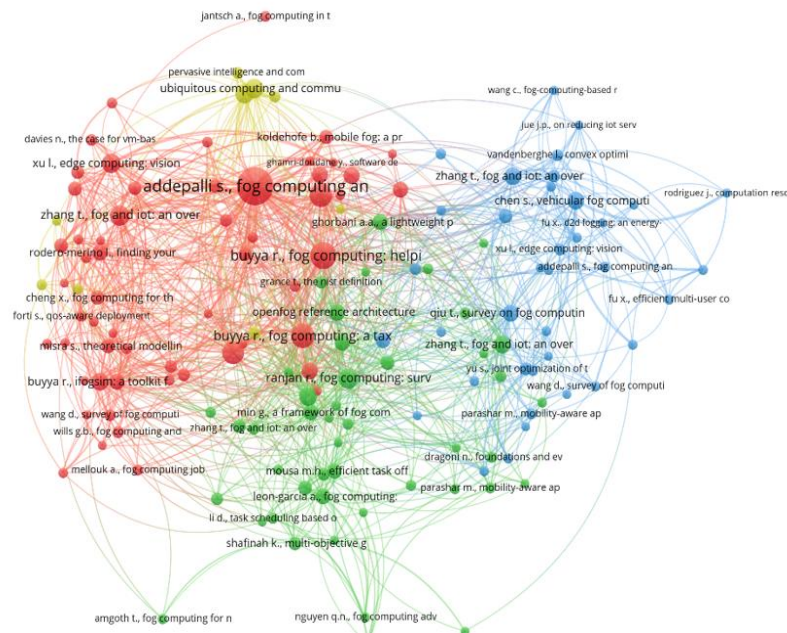
Συνολικά, τα αποτελέσματα καταδεικνύουν ότι το fog computing αποτελεί ένα έντονα διεθνοποιημένο επιστημονικό πεδίο, στο οποίο η συνεργασία μεταξύ χωρών διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην εξέλιξη και διάδοση της έρευνας [23].

5.2 Co-citation-Κοινές Αναφορές

Η ανάλυση κοινών αναφορών (co-citation analysis) χρησιμοποιείται για τη μελέτη των σχέσεων που αναπτύσσονται μεταξύ επιστημονικών εργασιών, συγγραφέων και πηγών, όταν αυτές αναφέρονται ταυτόχρονα από άλλες δημοσιεύσεις. Η τεχνική αυτή συμβάλλει στον εντοπισμό των σημαντικότερων επιστημονικών επιρροών και στην κατανόηση της πνευματικής δομής ενός επιστημονικού πεδίου.

Η ανάλυση περιλαμβάνει τη μελέτη κοινών αναφορών βιβλιογραφικών αναφορών (cited references), επιστημονικών πηγών (cited sources) και συγγραφέων (cited authors). Μέσω της διαδικασίας αυτής αναδεικνύονται οι σημαντικότερες επιστημονικές εργασίες και οι βασικοί ερευνητές που επηρεάζουν την εξέλιξη της έρευνας γύρω από το fog computing.

5.2.1 Co-citation Cited Reference-Κοινές Αναφορές βιβλιογραφικών Αναφορών



Σχήμα 18: Δίκτυο κοινών αναφορών βιβλιογραφικών αναφορών στον τομέα του fog computing

Στο Σχήμα 18 απεικονίζεται η δημιουργία του δικτύου που έχει τεθεί ως ελάχιστο όριο οι είκοσι (20) αναφορές ανά βιβλιογραφική αναφορά. Από τις συνολικά 123.191 αναφορές, μόνο οι 148 πληρούσαν τα καθορισμένα κριτήρια, ενώ οι 75 συμμετείχαν σε πλήρως συνδεδεμένο δίκτυο. Στο δίκτυο παρατηρούνται διακριτές θεματικές συστάδες (clusters), οι οποίες αντιστοιχούν σε ομάδες επιστημονικών εργασιών με παρόμοιο ερευνητικό περιεχόμενο. Οι μεγαλύτεροι κόμβοι

αντιπροσωπεύουν μελέτες που έχουν επηρεάσει σημαντικά την εξέλιξη της έρευνας γύρω από το fog computing.

Ιδιαίτερα σημαντική εμφανίζεται η εργασία των Addepalli (2012) με τίτλο “Fog computing and its role in the Internet of Things”, η οποία παρουσιάζει τον μεγαλύτερο αριθμό αναφορών και τη μεγαλύτερη συνολική ισχύ σύνδεσης (total link strength = 239,12). Παράλληλα, ιδιαίτερα υψηλή επιρροή παρουσιάζουν και οι εργασίες των Buyya (2016, 2018), Zhu (2014) και Li (2015), οι οποίες αποτελούν βασικές θεωρητικές και ερευνητικές αναφορές στον τομέα του fog computing.

Οι μελέτες αυτές επικεντρώνονται κυρίως:

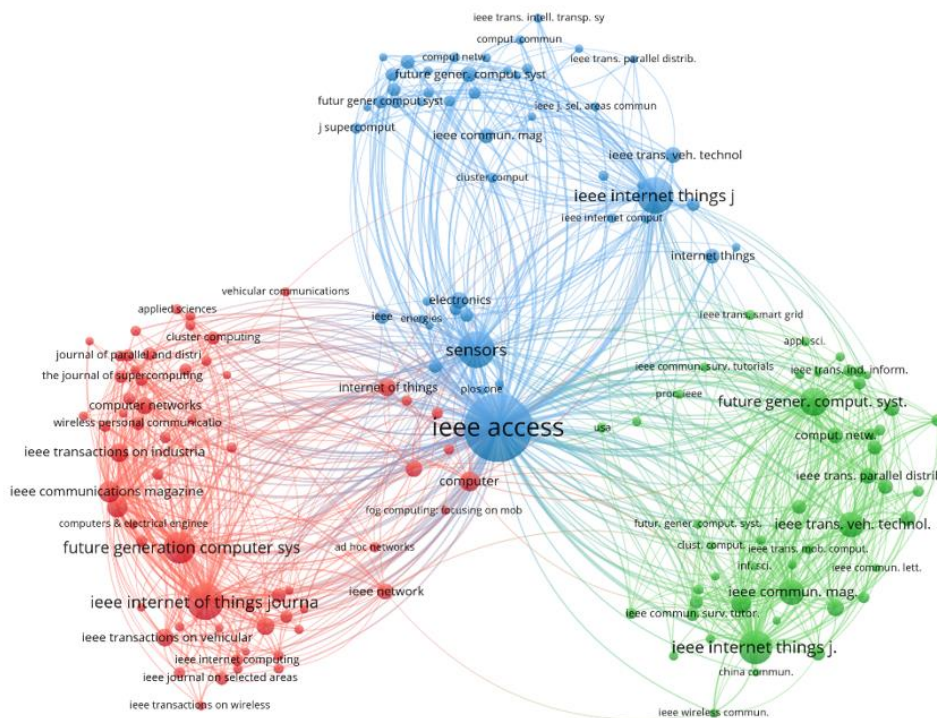
- στην αρχιτεκτονική του fog computing
- στη σύνδεσή του με το Internet of Things
- στις εφαρμογές edge computing
- καθώς και στις προκλήσεις διαχείρισης και επεξεργασίας δεδομένων

Συνολικά, η ανάλυση δείχνει ότι συγκεκριμένες θεμελιώδεις επιστημονικές εργασίες αποτελούν τον βασικό πυρήνα γνώσης του πεδίου και επηρεάζουν σημαντικά την εξέλιξη της έρευνας γύρω από το fog computing [\[23\]](#).

5.2.2 Co-citation Cited Sources-Κοινές Αναφορές Πηγών

Η ανάλυση συν-αναφορών πηγών (co-citation cited sources analysis) χρησιμοποιείται για τον εντοπισμό των επιστημονικών περιοδικών, συνεδρίων και πηγών δημοσίευσης που αναφέρονται συχνότερα μαζί από άλλες επιστημονικές εργασίες. Μέσω της ανάλυσης αυτής αναδεικνύονται οι σημαντικότερες επιστημονικές πηγές που επηρεάζουν την εξέλιξη της έρευνας στον τομέα του fog computing.

Στην οπτικοποίηση του δικτύου, οι κόμβοι αντιπροσωπεύουν επιστημονικές πηγές και οι συνδέσεις μεταξύ τους αποτυπώνουν τη συχνότητα κοινής αναφοράς των πηγών αυτών στη βιβλιογραφία.



Σχήμα 19: Δίκτυο κοινών αναφορών πηγών στον τομέα του fog computing

Στο Σχήμα 19 απεικονίζεται η δημιουργία του δικτύου όπου έχει τεθεί ως ελάχιστο όριο οι εκατό (100) αναφορές ανά επιστημονική πηγή. Από τις συνολικά 47.649 πηγές που εντοπίστηκαν στη βιβλιογραφική βάση δεδομένων, μόνο οι 158 πληρούσαν τα καθορισμένα κριτήρια, ενώ οι 75 συμμετείχαν σε πλήρως συνδεδεμένο δίκτυο κοινών αναφορών.

Το δίκτυο παρουσιάζει διαφορετικές θεματικές συστάδες (clusters), οι οποίες συνδέονται με επιμέρους επιστημονικές περιοχές που σχετίζονται με το fog computing, όπως τα δίκτυα υπολογιστών, το Internet of Things (IoT), τα συστήματα επικοινωνιών, η υπολογιστική νέφους (cloud computing) και οι τεχνολογίες edge computing.

Οι μεγαλύτεροι κόμβοι του δικτύου αντιστοιχούν σε επιστημονικές πηγές με υψηλή επιρροή και μεγάλο αριθμό κοινών αναφορών. Ιδιαίτερα σημαντική θέση κατέχει το περιοδικό *IEEE Access*, το οποίο εμφανίζει ισχυρές διασυνδέσεις με πολλές άλλες πηγές και αποτελεί ένα από τα βασικότερα μέσα δημοσίευσης ερευνών σχετικών με το fog computing.

Παράλληλα, ιδιαίτερα σημαντική παρουσία εμφανίζουν τα περιοδικά:

- IEEE Internet of Things Journal,
- Future Generation Computer Systems
- IEEE Communications Magazine
- Sensors
- καθώς και το Journal of Parallel and Distributed Computing

Η υψηλή συχνότητα κοινών αναφορών μεταξύ των παραπάνω πηγών υποδηλώνει ότι αποτελούν βασικούς πυρήνες επιστημονικής γνώσης και επηρεάζουν σημαντικά την εξέλιξη της έρευνας στο fog computing.

Επιπλέον, η έντονη διασύνδεση μεταξύ των πηγών καταδεικνύει τον διεπιστημονικό χαρακτήρα του πεδίου. Η έρευνα στο fog computing συνδυάζει τεχνολογίες που σχετίζονται με:

το Internet of Things

- τα δίκτυα επικοινωνιών
- την υπολογιστική νέφους
- την επεξεργασία μεγάλων δεδομένων
- και τα έξυπνα πληροφοριακά συστήματα

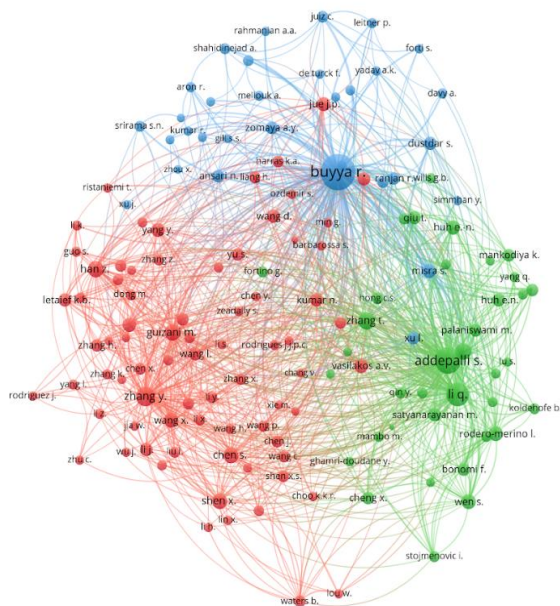
Παράλληλα, η παρουσία διαφορετικών clusters στο δίκτυο δείχνει ότι η βιβλιογραφία του fog computing διαμορφώνεται μέσα από διαφορετικές ερευνητικές κατευθύνσεις, οι οποίες όμως παρουσιάζουν ισχυρή αλληλεπίδραση και επιστημονική συνάφεια.

Συνολικά, η ανάλυση κοινών αναφορών πηγών αποδεικνύει ότι συγκεκριμένα επιστημονικά περιοδικά και συνέδρια λειτουργούν ως βασικοί φορείς διάδοσης της γνώσης και της επιστημονικής παραγωγής γύρω από το fog computing, επηρεάζοντας σημαντικά την εξέλιξη και τη διαμόρφωση του επιστημονικού πεδίου [\[23\]](#).

5.2.3 Co-citation Cited Authors – Κοινές Αναφορές Συγγραφέων

Η ανάλυση κοινών αναφορών συγγραφέων (co-citation cited authors analysis) χρησιμοποιείται για τον εντοπισμό των ερευνητών που αναφέρονται συχνότερα μαζί από άλλες επιστημονικές δημοσιεύσεις. Μέσω της τεχνικής αυτής είναι δυνατή η αναγνώριση των σημαντικότερων συγγραφέων και των βασικών επιστημονικών επιρροών που διαμορφώνουν την εξέλιξη της έρευνας σε ένα επιστημονικό πεδίο.

Οι κόμβοι του δικτύου αντιπροσωπεύουν συγγραφείς, ενώ οι συνδέσεις μεταξύ τους αποτυπώνουν τη συχνότητα με την οποία οι συγγραφείς αυτοί αναφέρονται μαζί στη βιβλιογραφία άλλων επιστημονικών εργασιών.



Σχήμα 20: Δίκτυο κοινών αναφορών συγγραφέων στον τομέα του fog computing

Στο Σχήμα 20 απεικονίζεται η δημιουργία του δικτύου όπου έχει τεθεί ως ελάχιστο όριο οι εκατό (100) αναφορές ανά συγγραφέα. Από τους συνολικά 47.335 συγγραφείς, μόνο οι 145 πληρούσαν τα καθορισμένα κριτήρια, ενώ οι 75 συμμετείχαν σε πλήρως συνδεδεμένο δίκτυο κοινών αναφορών. Η ανάλυση πραγματοποιήθηκε με τη χρήση της τεχνικής LinLog modularity, η οποία δίνει έμφαση στις συνδέσεις που αναπτύσσονται στο εσωτερικό των συστάδων (clusters), επιτρέποντας τον εντοπισμό ομάδων συγγραφέων με ισχυρή επιστημονική συνάφεια και κοινό ερευνητικό προσανατολισμό. Στο δίκτυο παρατηρούνται διακριτές θεματικές συστάδες συγγραφέων, οι οποίες αντιστοιχούν σε διαφορετικές ερευνητικές κατευθύνσεις του fog computing. Οι μεγαλύτεροι κόμβοι αντιπροσωπεύουν συγγραφείς με υψηλή επιστημονική επιρροή και αυξημένο αριθμό κοινών αναφορών.

Ιδιαίτερα σημαντική θέση στο δίκτυο κατέχουν συγγραφείς όπως οι:

- Buyya Rajkumar
- Satyanarayanan Mahadev
- Bonomi Flavio
- Chiang Mung
- και Zhang Wei

Οι συγγραφείς αυτοί θεωρούνται από τους σημαντικότερους ερευνητές στον τομέα του fog computing, καθώς οι εργασίες τους αναφέρονται συχνά μαζί στη βιβλιογραφία και έχουν συμβάλει σημαντικά στη διαμόρφωση της επιστημονικής γνώσης γύρω από:

- την αρχιτεκτονική fog computing
- το edge computing

- το Internet of Things
- και τα καταναμημένα υπολογιστικά συστήματα

Παράλληλα, η ύπαρξη έντονων διασυνδέσεων μεταξύ των συγγραφέων δείχνει ότι το πεδίο παρουσιάζει υψηλό βαθμό επιστημονικής αλληλεπίδρασης και κοινής θεωρητικής βάσης. Οι ομάδες συγγραφέων που εμφανίζονται στο δίκτυο συμβάλλουν καθοριστικά στην ανάπτυξη νέων ερευνητικών κατευθύνσεων και τεχνολογικών εφαρμογών σχετικών με το fog computing.

Συνολικά, η ανάλυση κοινών αναφορών συγγραφέων καταδεικνύει ότι συγκεκριμένοι ερευνητές λειτουργούν ως βασικοί πυρήνες επιρροής στο επιστημονικό πεδίο, επηρεάζοντας σημαντικά την εξέλιξη και τη διάδοση της γνώσης γύρω από το fog computing [23].

5.3 Thematic Trend- Θεματικές Τάσεις

Η ανάλυση θεματικών τάσεων (thematic trend analysis) χρησιμοποιείται για τον εντοπισμό και τη μελέτη των βασικών ερευνητικών θεμάτων που αναπτύσσονται σε ένα επιστημονικό πεδίο. Μέσω της ανάλυσης αυτής είναι δυνατή η κατανόηση της εξέλιξης των ερευνητικών ενδιαφερόντων, καθώς και ο εντοπισμός των κυρίαρχων και αναδυόμενων θεματικών περιοχών.

Η ανάλυση βασίστηκε στη συν-εμφάνιση λέξεων-κλειδιών (keyword co-occurrence) και στη θεματική χαρτογράφηση (thematic analysis). Μέσω της διαδικασίας αυτής αναδεικνύονται οι βασικές ερευνητικές κατευθύνσεις που σχετίζονται με το fog computing και η εξέλιξή τους με την πάροδο του χρόνου.

5.3.1 Keyword Co-occurrence-Συν-εμφάνιση Λέξεων Κλειδιών

Η ανάλυση συν-εμφάνισης λέξεων κλειδιών (keyword co-occurrence analysis) χρησιμοποιείται για τον εντοπισμό των βασικών θεματικών περιοχών ενός επιστημονικού πεδίου μέσω της συχνότητας με την οποία οι λέξεις κλειδιά εμφανίζονται μαζί στις επιστημονικές δημοσιεύσεις. Μέσω της ανάλυσης αυτής είναι δυνατή η αναγνώριση των σημαντικότερων ερευνητικών τάσεων και των σχέσεων που αναπτύσσονται μεταξύ διαφορετικών θεματικών ενοτήτων.

Στην ανάλυση του δικτύου, οι κόμβοι αντιπροσωπεύουν λέξεις κλειδιά και οι συνδέσεις μεταξύ τους αποτυπώνουν τη συχνότητα συν-εμφάνισής τους στις επιστημονικές δημοσιεύσεις.

- και στη σύνδεση του fog computing με το Internet of Things

Παράλληλα, στο δίκτυο εμφανίζονται πιο εξειδικευμένα θέματα, όπως:

- task scheduling
- resource allocation
- blockchain
- energy efficiency
- και security

γεγονός που δείχνει τη σταδιακή εξέλιξη και εξειδίκευση της έρευνας στο πεδίο.

Η ύπαρξη έντονων διασυνδέσεων μεταξύ των λέξεων κλειδιών καταδεικνύει ότι οι διάφορες θεματικές περιοχές του fog computing παρουσιάζουν ισχυρή αλληλεπίδραση και επιστημονική συνάφεια.

Συνολικά, η ανάλυση συν-εμφάνισης λέξεων κλειδιών δείχνει ότι το fog computing αποτελεί ένα δυναμικά εξελισσόμενο επιστημονικό πεδίο, το οποίο συνδυάζει τεχνολογίες που σχετίζονται με το IoT, το edge computing και τα έξυπνα πληροφοριακά συστήματα [\[23\]](#).

6 Συμπεράσματα και προτάσεις

6.1 Συμπεράσματα

Η παρούσα διπλωματική εργασία είχε ως βασικό στόχο τη βιβλιομετρική ανάλυση της επιστημονικής παραγωγής που σχετίζεται με το fog computing, με σκοπό την καταγραφή της εξέλιξης του πεδίου, την αναγνώριση των σημαντικότερων ερευνητικών τάσεων και την αποτύπωση της επιστημονικής συνεργασίας μεταξύ συγγραφέων, οργανισμών και χωρών. Η ανάλυση πραγματοποιήθηκε με τη χρήση δεδομένων από τη βιβλιογραφική βάση Scopus και εργαλείων βιβλιομετρικής χαρτογράφησης, όπως τα VOSviewer και Bibliometrix/Biblioshiny. Μέσα από τη διαδικασία αυτή κατέστη δυνατή η ποσοτική και ποιοτική αποτύπωση της επιστημονικής δραστηριότητας γύρω από το fog computing.

Τα αποτελέσματα της ανάλυσης έδειξαν ότι το fog computing αποτελεί ένα δυναμικά εξελισσόμενο επιστημονικό πεδίο με έντονη αύξηση της επιστημονικής παραγωγής τα τελευταία χρόνια. Η αυξημένη ανάπτυξη του Internet of Things (IoT), των έξυπνων συσκευών και των εφαρμογών πραγματικού χρόνου έχει ενισχύσει σημαντικά το ενδιαφέρον της επιστημονικής κοινότητας για τεχνολογίες που σχετίζονται με την αποκεντρωμένη επεξεργασία δεδομένων και τη μείωση της καθυστέρησης. Μέσα από την ανάλυση συνεργασιών (co-authorship analysis) διαπιστώθηκε ότι η έρευνα στο fog computing βασίζεται σε έντονα συνεργατικά δίκτυα συγγραφέων και χωρών. Συγγραφείς όπως οι Buyya Rajkumar, Guizani Mohsen και Rodriguez Joel εμφανίζουν ισχυρή επιστημονική παρουσία και σημαντικό αριθμό συνεργασιών. Παράλληλα, χώρες όπως η Κίνα, η Ινδία και οι Ηνωμένες Πολιτείες παρουσιάζουν υψηλή επιστημονική παραγωγή και ισχυρές διεθνείς συνεργασίες.

Η ανάλυση κοινών αναφορών (co-citation analysis) ανέδειξε τις σημαντικότερες επιστημονικές εργασίες και πηγές που επηρεάζουν την εξέλιξη του πεδίου. Ειδικότερα, οι εργασίες των Addepalli, Buyya, Zhu και Li αποτελούν βασικές θεωρητικές αναφορές στη βιβλιογραφία του fog computing. Παράλληλα, επιστημονικά περιοδικά όπως τα IEEE Access, IEEE Internet of Things Journal και Future Generation Computer Systems λειτουργούν ως βασικοί φορείς διάδοσης της επιστημονικής γνώσης.

Μέσα από την ανάλυση συν-εμφάνισης λέξεων κλειδιών και τη θεματική χαρτογράφηση εντοπίστηκαν οι βασικές ερευνητικές κατευθύνσεις του πεδίου. Οι κυρίαρχες θεματικές σχετίζονται με:

- Internet of Things
- Cloud computing
- Edge computing
- Διαχείριση πόρων

και τη μείωση της καθυστέρησης (latency).

Παράλληλα, παρατηρήθηκε αυξημένο ερευνητικό ενδιαφέρον σε πιο εξειδικευμένες θεματικές περιοχές, όπως:

- το task scheduling,
- το resource allocation,
- η ενεργειακή αποδοτικότητα,
- η ασφάλεια,
- και η τεχνολογία blockchain

Η θεματική ανάλυση έδειξε επίσης ότι ζητήματα που σχετίζονται με την ασφάλεια, την ιδιωτικότητα και τις αποκεντρωμένες τεχνολογίες εμφανίζονται ως αναδυόμενες ερευνητικές περιοχές, γεγονός που υποδηλώνει ότι αναμένεται να απασχολήσουν σημαντικά τη μελλοντική έρευνα.

Συνολικά, η παρούσα βιβλιομετρική ανάλυση συνέβαλε στην κατανόηση της εξέλιξης και της δομής της επιστημονικής έρευνας γύρω από το fog computing, αναδεικνύοντας τις σημαντικότερες ερευνητικές τάσεις, τους βασικούς επιστημονικούς φορείς και τις κυρίαρχες θεματικές περιοχές του πεδίου.

6.2 Προτάσεις για Μελλοντική Έρευνα

Παρά τη σημαντική ανάπτυξη που παρουσιάζει το fog computing τα τελευταία χρόνια, εξακολουθούν να υπάρχουν αρκετές προκλήσεις και ερευνητικά ζητήματα που απαιτούν περαιτέρω διερεύνηση. Αρχικά, ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η περαιτέρω μελέτη θεμάτων που σχετίζονται με την ασφάλεια και την προστασία προσωπικών δεδομένων. Η αποκεντρωμένη αρχιτεκτονική του fog computing δημιουργεί νέες προκλήσεις σε θέματα κυβερνοασφάλειας, ιδιωτικότητας και διαχείρισης πρόσβασης, ιδιαίτερα σε περιβάλλοντα Internet of Things. Επιπλέον, σημαντικό ερευνητικό ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι τεχνικές διαχείρισης πόρων και προγραμματισμού εργασιών (resource allocation και task scheduling), καθώς η συνεχής αύξηση των συνδεδεμένων συσκευών δημιουργεί αυξημένες απαιτήσεις σε υπολογιστική ισχύ και αποδοτική διαχείριση δεδομένων.

Παράλληλα, η ενσωμάτωση τεχνολογιών τεχνητής νοημοσύνης και μηχανικής μάθησης στο fog computing αποτελεί μία ιδιαίτερα σημαντική μελλοντική ερευνητική κατεύθυνση. Η αξιοποίηση αλγορίθμων μηχανικής μάθησης μπορεί να συμβάλει:

- Στη βελτιστοποίηση της κατανομής πόρων
- Στη μείωση της καθυστέρησης
- Στη βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας των fog environments

Επιπλέον, η χρήση τεχνολογιών blockchain σε περιβάλλοντα fog computing αποτελεί ένα αναδυόμενο ερευνητικό πεδίο, καθώς μπορεί να συμβάλει στην ενίσχυση της ασφάλειας, της αξιοπιστίας και της διαφάνειας των δικτύων. Μία ακόμη σημαντική κατεύθυνση αφορά τη διασύνδεση του fog computing με τα δίκτυα 5G και τις εφαρμογές έξυπνων πόλεων (smart cities). Η ανάπτυξη εφαρμογών πραγματικού χρόνου, όπως αυτόνομα οχήματα, έξυπνα συστήματα μεταφορών και βιομηχανικά IoT συστήματα, αναμένεται να αυξήσει σημαντικά τη σημασία του fog computing τα επόμενα χρόνια. Παράλληλα, προτείνεται η πραγματοποίηση μελλοντικών βιβλιομετρικών αναλύσεων με χρήση περισσότερων βιβλιογραφικών βάσεων δεδομένων, όπως το Web of Science και το Google Scholar, ώστε να επιτευχθεί μεγαλύτερη κάλυψη της επιστημονικής παραγωγής και πιο ολοκληρωμένη αποτύπωση της ερευνητικής δραστηριότητας.

Τέλος, θα μπορούσαν να πραγματοποιηθούν συγκριτικές βιβλιομετρικές μελέτες μεταξύ fog computing, edge computing και cloud computing, με στόχο την καλύτερη κατανόηση των διαφορών, των ομοιοτήτων και της εξέλιξης των τεχνολογιών αυτών.

Συνολικά, το fog computing αποτελεί ένα ιδιαίτερα δυναμικό και συνεχώς εξελισσόμενο επιστημονικό πεδίο, το οποίο αναμένεται να διαδραματίσει σημαντικό ρόλο στις μελλοντικές τεχνολογικές εξελίξεις που σχετίζονται με το Internet of Things, τα έξυπνα συστήματα και τις εφαρμογές πραγματικού χρόνου.

Βιβλιογραφία

- [1] M. Ertz and S. Leblanc-Proulx, "Review of a proposed methodology for bibliometric and visualization analyses," *Journal of Marketing Analytics*, vol. 7, no. 3, pp. 210–225, 2019.
- [2] N. Donthu, S. Kumar, D. Mukherjee, N. Pandey, and W. M. Lim, "How to conduct a bibliometric analysis," *Journal of Business Research*, vol. 133, pp. 285–296, 2021.
- [3] F. Bonomi et al., "Fog Computing and its Role in the Internet of Things," in *Proceedings of the First Edition of the MCC Workshop on Mobile Cloud Computing*, Helsinki, 2012, pp. 13–16.
- [4] J. Cao, S. Mohan, and M. Goudar, "Edge and Fog Computing Paradigms for Internet of Things," *International Journal of Computers and Applications*, vol. 43, no. 4, pp. 356–364, 2021.
- [5] H. Gupta, A. V. Dastjerdi, S. K. Ghosh, and R. Buyya, "Ifogsim: A toolkit for modeling and simulation of resource management in the Internet of Things," *Software: Practice and Experience*, vol. 47, no. 9, pp. 1275–1296, 2017.
- [6] D. Mukherjee and W. Lim, "Network analysis for bibliometric studies," *Research Impact Metrics*, vol. 12, pp. 45–57, 2020.
- [7] Cisco Blogs - "Fog Computing: Εισαγωγή από την Cisco" <https://blogs.cisco.com/fogComputing>
- [8] Wikipedia, «Fog Computing" https://en.wikipedia.org/wiki/Fog_computing.
- [9] S. K. Sharma and X. Wang, "Live Data Analytics With Collaborative Edge and Cloud Processing in Wireless IoT Networks," *IEEE Access*, vol. 5, pp. 4621–4635, 2017.
- [10] A. Al-Fuqaha, M. Guizani, M. Mohammadi, M. Aledhari, and M. Ayyash, "Internet of Things: A survey on enabling technologies, protocols, and applications," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 17, no. 4, pp. 2347–2376, 2015.
- [11] L. Rayes and S. Salam, "Internet of Things From Hype to Reality: The Road to Digitization," Springer International Publishing, 2017.
- [12] G. Morabito, "A Comprehensive Introduction to Fog Computing," *Foundations and Trends in Networking*, vol. 13, no. 3, pp. 207–300, 2020.
- [13] T. H. Luan et al., "Fog Computing: Focusing on Mobile Users at the Edge," *IEEE Communications Magazine*, vol. 55, no. 8, pp. 120–126, 2017.
- [14] Otlet, P. (1934). *Traité de documentation*. Bruxelles: Editiones Mundaneum
- [15] Wang ,Y., Zhang, F., wang, J., Liu, L., & Wang, B.(2021). A

Bibliometric Analysis of Edge Computing for Internet of Things. Security and Communication Networks, 2021 , Article ID 5563868.

- [16] Hirsch, J. E. (2005). An index to quantify an individual's scientific research output. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 102(46), 16569–16572. <https://doi.org/10.1073/pnas.0507655102>.
- [17] Aria, M., & Cuccurullo, C. (2017). Bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis. *Journal of Informetrics*, 11(4), 959–975.
- [18] Baas, J., Schotten, M., Plume, A., Côté, G., & Karimi, R. (2020). Scopus as a curated, high-quality bibliometric data source. *Quantitative Science Studies*, 1(1), 377–386.
- [19] Cao, J., Mohan, S., & Goudar, M. (2021). Edge and Fog Computing paradigms. *International Journal of Computers and Applications*, 43(4).
- [20] Donthu, N., Kumar, S., Mukherjee, D., Pandey, N., & Lim, W. M. (2021). Bibliometric analysis overview. *Journal of Business Research*, 133, 285–296.
- [21] Harzing, A. W., & Alakangas, S. (2016). Google Scholar vs Scopus vs WoS. *Scientometrics*, 106(2), 787–804.
- [22] Thelwall, M., & Sud, P. (2022). Scopus developments. *Journal of Informetrics*, 16(1).
- [23] Van Eck, N. J., & Waltman, L. (2010). VOSviewer software. *Scientometrics*, 84(2), 523–538.
- [24] Zupic, I., & Čater, T. (2015). Bibliometric methods. *Organizational Research Methods*, 18(3), 429–472.
- [25] Vinueza-Naranjo, P. G., Chicaiza, J., & Rumipamba-Zambrano, R. (2024). Fog computing bibliometric analysis.
- [26] Rao, V. M., et al. (2025). Systematic review methodology and PRISMA.
- [27] Kitchenham, B., & Charters, S. (2007). Guidelines for performing systematic literature reviews in software engineering. Keele University.
- [28] Bonomi, F., Milito, R., Zhu, J., & Addepalli, S. (2012). Fog computing and its role in the Internet of Things.
- [29] Shi, W., Cao, J., Zhang, Q., Li, Y., & Xu, L. (2016). Edge computing: Vision and challenges. *IEEE Internet of Things Journal*.
- [30] Bornmann, L., & Daniel, H. D. (2008). What do citation counts measure? A review of studies on citing behavior. *Journal of Documentation*.
- [31] Lotka, A. J. (1926). The frequency distribution of scientific productivity.

- [32] Katz, J. S., & Martin, B. R. (1997). What is research collaboration? *Research Policy*.
- [33] Hirsch, J. E. (2005). An index to quantify an individual's scientific research output.
- [34] Bradford, S. C. (1934). Sources of information on specific subjects. *Engineering*.
- [35] Bornmann, L., Mutz, R., & Daniel, H. D. (2010). The Matthew effect in science
- [36] Callon, M., Courtial, J. P., & Laville, F. (1983). Co-word analysis as a tool for describing the network of interactions.