



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΕΞΥΠΝΩΝ ΠΟΛΕΩΝ

Κωνσταντίνου Λάμπρος
Επιβλέπων Καθηγητής: Στειακάκης Εμμανουήλ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2024

ΠΡΟΛΟΓΟΣ – ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Καθώς γράφω αυτόν τον πρόλογο, είμαι στη θέση να σκέφτομαι το μεγάλο ταξίδι που έφερα εις πέρας, της εργασίας σχετικά με το ανάρπαστο θέμα των τεχνολογιών των έξυπνων πόλεων. Με απέραντη χαρά, ευγνωμοσύνη και ταπεινότητα θέλω να εκφράσω τις ειλικρινείς μου ευχαριστίες στα άτομα που συνέβαλαν καθοριστικά στη διαμόρφωση αυτής της προσπάθειας. Πρώτα και κύρια, θα ήθελα να εκφράσω την ειλικρινή μου εκτίμηση στον επιβλέποντα καθηγητή μου, Εμμανουήλ Στειακάκη, του οποίου η καθοδήγηση και η τεχνογνωσία ήταν το φως σε όλο αυτό το ταξίδι για την πραγματοποίηση της βιβλιογραφικής αυτής εργασίας. Η αφοσίωσή σας στην προώθηση ενός καλού ακαδημαϊκού περιβάλλοντος και η δέσμευσή σας να καλλιεργήσετε περίεργα μυαλά αποτέλεσε τεράστια έμπνευση. Είμαι βαθιά ευγνώμων για την ευκαιρία να μάθω από εσάς μέσω των γνώσεων που μου έχετε μεταδώσει. Θα ήθελα επίσης να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στους αξιότιμους καθηγητές που ανέλυσαν σχετικά θέματα στα μαθήματά τους. Τα μαθήματά σας παρείχαν τη βάση πάνω στην οποία χτίστηκε αυτή η εργασία και το πάθος σας για τους αντίστοιχους τομείς σας, χρησίμευσε ως πηγή έμπνευσης. Η αφοσίωσή σας στην καλλιέργεια μιας κουλτούρας πνευματικής περιέργειας άφησε ένα ανεξίτηλο σημάδι στο ακαδημαϊκό μου ταξίδι έως τώρα. Επιπλέον, θέλω να εκφράσω τη βαθιά μου εκτίμηση στους συμφοιτητές μου που υπήρξαν αναπόσπαστο μέρος αυτής της εργασίας. Μέσα από αμέτρητες συζητήσεις, συνεδρίες καταιγισμού ιδεών και εποικοδομητική ανατροφοδότηση, έχετε φωτίσει νέες προοπτικές και εμπλουτίσατε την ποιότητα αυτής της εργασίας. Η βοήθειά σας υπήρξε απόδειξη της δύναμης της συλλογικής γνώσης και του πνεύματος της ακαδημαϊκής συντροφικότητας. Η εργασία αυτή είναι μια συλλογική προσπάθεια και η κορύφωση αυτού του έργου δεν θα ήταν δυνατή χωρίς την υποστήριξη, την ενθάρρυνση και τη συμβολή αυτών των αξιόλογων ατόμων.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ – ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ2

ΠΕΡΙΛΗΨΗ5

6

1. ΕΞΥΠΝΕΣ ΠΟΛΕΙΣ (Smart Cities)8

1.1. ΟΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΕΞΥΠΝΩΝ ΠΟΛΕΩΝ8

1.2. ΣΚΟΠΟΣ – ΣΤΟΧΟΙ9

1.3. ΣΥΝΕΙΣΦΟΡΑ ΤΩΝ ΕΞΥΠΝΩΝ ΠΟΛΕΩΝ10

13

2.1. ΟΡΙΣΜΟΣ ΔΙΑΔΙΚΤΥΟΥ ΤΩΝ ΠΡΑΓΜΑΤΩΝ13

2.2. ΑΝΑΓΚΗ ΤΟΥ ΔΙΑΔΙΚΤΥΟΥ ΤΩΝ ΠΡΑΓΜΑΤΩΝ ΣΤΙΣ ΕΞΥΠΝΕΣ ΠΟΛΕΙΣ14

2.3. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ INTERNET OF THINGS (IOT) ΣΤΗΝ ΑΝΑΠΤΥΞΗ
ΕΞΥΠΝΩΝ ΚΤΙΡΙΩΝ17

2.4. ΕΠΙΤΗΡΗΣΗ ΚΑΙ ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΠΥΡΚΑΓΙΩΝ ΜΕΣΩ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ20

2.5. ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΑΕΡΑ ΣΕ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΜΕΓΑΛΗΣ
ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ22

2.6. ΕΞΥΠΝΕΣ ΓΕΩΡΓΙΚΕΣ ΠΡΑΚΤΙΚΕΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ ΓΙΑ ΤΗ
ΓΕΩΡΓΙΑ24

2.7. ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΥΔΑΤΩΝ ΣΕ ΕΞΥΠΝΕΣ ΠΟΛΕΙΣ26

3. ΕΞΥΠΝΑ ΔΙΚΤΥΑ (SMART GRIDS)29

3.1. ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ30

3.2. ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΟΙΚΟΛΟΓΙΚΩΝ ΟΦΕΛΩΝΝ32

3.3. ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΟΣΤΟΥΣ – ΟΦΕΛΟΥΣ35

3.4. ΠΡΟΚΛΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ ΓΙΑ ΤΟ ΜΕΛΛΟΝ ΤΩΝ SMART GRIDS37

3.5.	ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ	39
4.	ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΗΣ ΣΥΜΦΟΡΗΣΗΣ ΣΤΙΣ ΕΞΥΠΝΕΣ ΠΟΛΕΙΣ	42
4.1.	ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΟΧΗΜΑΤΩΝ	43
4.2.	ΚΑΜΕΡΕΣ ΚΑΙ ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ ΓΙΑ ΟΧΗΜΑΤΑ ΜΕ ΥΨΗΛΗ ΕΚΠΟΜΠΗ ΚΑΥΣΙΜΩΝ	45
4.3.	ΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΤΗΣ ΣΤΑΘΜΕΥΣΗΣ ΣΤΑ ΜΕΓΑΛΑ ΑΣΤΙΚΑ ΚΕΝΤΡΑ	46
4.4.	ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ ΣΤΑΘΕΡΟΥ ΣΗΜΑΤΟΔΟΤΗ	49
5.	ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΟΧΗΜΑΤΑ (EVS)	51
5.1.	ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΑΠΟΔΟΣΗΣ	52
5.2.	ΔΙΚΤΥΑ ΦΟΡΤΙΣΗΣ ΚΑΙ ΥΠΟΔΟΜΕΣ	55
5.3.	ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΚΑΙ ΠΛΟΗΓΗΣΗΣ	57
5.4.	ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΑ ΚΑΙ ΚΟΙΝΩΝΙΚΑ ΟΦΕΛΗ ΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΣΕ ΕΞΥΠΝΕΣ ΠΟΛΕΙΣ	63
6.	ΣΥΝΟΨΗ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	66
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	69

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η συγκεκριμένη πτυχιακή εργασία στοχεύει στην ανάλυση και παρουσίαση των τεχνολογιών που βοηθούν στη δημιουργία και τη λειτουργία των έξυπνων πόλεων. Συγκεκριμένα δίνεται βάση στις κύριες τεχνολογικές υποδομές και εφαρμογές που έχουν ως στόχο τη βελτίωση της ποιότητας ζωής των πολιτών και της αποδοτικότητας των αστικών λειτουργιών. Οι κύριοι στόχοι είναι η κατανόηση του ρόλου του Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT), των έξυπνων δικτύων (Smart Grids), της διαχείρισης κυκλοφορίας και των ηλεκτρικών οχημάτων (EVs) στις έξυπνες πόλεις. Η έρευνα θεμελιώνεται στη μελέτη της υπάρχουσας βιβλιογραφίας και των τελευταίων ερευνών στον τομέα των έξυπνων πόλεων. Περιλαμβάνει τη θεωρητική ανάλυση των βασικών εφαρμογών, τεχνολογιών και των ωφελειών που προκύπτουν από την υιοθέτησή τους στο αστικό περιβάλλον.

Η εργασία περιέχει διάφορες μεθόδους έρευνας, όπως ανάλυση κόστους-οφέλους, ανάλυση βιβλιογραφίας και μελέτη περιπτώσεων. Η μεθοδολογία περιλαμβάνει την αξιολόγηση και την ανάλυση των τεχνολογικών λύσεων, ενώ λαμβάνει υπόψη τα οικονομικά, οικολογικά και κοινωνικά κριτήρια. Τα κύρια αποτελέσματα της έρευνας δείχνουν ότι οι τεχνολογίες των έξυπνων πόλεων, όπως το Διαδίκτυο των Πραγμάτων, τα Έξυπνα Δίκτυα, η Διαχείριση Κυκλοφορίας και τα Ηλεκτρικά Οχήματα, προσφέρουν σημαντικά στις αστικές περιοχές. Συγκεκριμένα, οι τεχνολογίες αυτές οδηγούν στη βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας, στη μείωση των εκπομπών άνθρακα και στην αύξηση της ασφάλειας και της ποιότητας ζωής των πολιτών.

Επίσης, η εργασία καταδεικνύει τις προκλήσεις και τις προοπτικές για το μέλλον των έξυπνων πόλεων και εστιάζει στην ασφάλεια δεδομένων, την ανάγκη για διαλειτουργικότητα και την βιώσιμη ανάπτυξη. Η έρευνα επισημαίνει την αναγκαιότητα των έξυπνων τεχνολογιών ώστε να αντιμετωπιστούν τα σύγχρονα αστικά προβλήματα και δίνει βάση στη σημασία μιας ολοκληρωμένης προσέγγισης για την εφαρμογή των έξυπνων πόλεων. Συνολικά, η εργασία παρέχει επαρκής πληροφορίες και αναλυτική κατανόηση των τεχνολογιών και των επιπτώσεων τους, προσφέροντας πολύτιμες γνώσεις σε φοιτητές, ερευνητές και επαγγελματίες που ενδιαφέρονται για το πεδίο των έξυπνων πόλεων.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα σύγχρονα αστικά περιβάλλοντα αντιμετωπίζουν πολλαπλές προκλήσεις και η έννοια των έξυπνων πόλεων έχει αποτελέσει μια σημαντική προσέγγιση για την αντιμετώπισή τους. Η ραγδαία αστικοποίηση και οι αυξανόμενες οδηγίες για βελτιωμένες υπηρεσίες και υποδομές έχουν ως αποτέλεσμα την εκτενή αναζήτηση λύσεων που στοχεύουν στην ενίσχυση της ποιότητας ζωής των κατοίκων, την αποτελεσματικότητα των αστικών λειτουργιών και την βιώσιμη ανάπτυξη. Σε αυτό το πλαίσιο, μια καινοτόμο προσέγγιση αποτελούν οι έξυπνες πόλεις, που ενσωματώνουν τεχνολογίες για τη διαχείριση και την επίλυση των αστικών προβλημάτων. Οι έξυπνες πόλεις έχουν ως βάση τη χρήση τεχνολογιών της πληροφορικής και της επικοινωνίας ώστε να βελτιωθεί ο τομέας των υπηρεσιών και των υποδομών. Οι τεχνολογίες αυτές περιλαμβάνουν το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT), τα έξυπνα δίκτυα (Smart Grids), τα συστήματα διαχείρισης κυκλοφορίας και τα ηλεκτρικά οχήματα (EVs).

Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων συνιστάται ως ένας από τους βασικούς πυλώνες των έξυπνων πόλεων, καθώς γίνεται επιτρεπτή η σύνδεση και η αλληλεπίδραση συσκευών και αισθητήρων, οι οποίοι προσφέρουν πολύτιμες πληροφορίες για τη διαχείριση των πόρων και των υποδομών. Σημαντική είναι η συμβολή των έξυπνων δικτύων στην αντιμετώπιση πολλαπλών προκλήσεων στην διαχείριση της ενέργειας, ενώ τα συστήματα διαχείρισης κυκλοφορίας βελτιστοποιούν τη ροή και μειώνουν τη καθυστέρηση και την ατμοσφαιρική ρύπανση. Τέλος, τα ηλεκτρικά οχήματα συνιστούν μια βιώσιμη λύση για τη μείωση των εκπομπών άνθρακα και την προώθηση της χρήσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Η συγκεκριμένη πτυχιακή εργασία έχει ως στόχο να εξετάσει διεξοδικά τις διάφορες τεχνολογίες που αποτελούν τις έξυπνες πόλεις και να αναδείξει τη συμβολή τους στην επιλογή των στόχων βιώσιμης ανάπτυξης. Η εργασία αρχίζει με την ανάλυση του ορισμού και του ρόλου των έξυπνων πόλεων, εστιάζοντας στις βασικές αρχές και τα χαρακτηριστικά που τις καθορίζουν.

Στη συνέχεια, αναφέρονται ο σκοπός και οι στόχοι της εφαρμογής των τεχνολογιών αυτών, με έμφαση στη βελτίωση της ποιότητας ζωής των κατοίκων, την αποδοτικότητα των αστικών λειτουργιών και την προώθηση της βιωσιμότητας. Στο πλαίσιο της εργασίας, διερευνάται το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT) και η τεράστια σημασία του για τις έξυπνες πόλεις. Η ανάλυση περιλαμβάνει την έρευνα του πώς οι αισθητήρες και οι συνδεδεμένες συσκευές αποτελούν αναπόσπαστο κομμάτι της συλλογής και της

ανάλυσης δεδομένων, που με τη σειρά τους βελτιώνουν τη διαχείριση των πόρων και τις υπηρεσίες παροχής στους πολίτες. Επίσης, σημαντική είναι η μελέτη των έξυπνων δικτύων (Smart Grids) που οδηγούν στην ενεργειακή αποδοτικότητα και τη μείωση των εκπομπών, πράγμα το οποίο αποτελεί κύριο πλεονέκτημα.

Η διαχείριση της κυκλοφορίας είναι ένα κρίσιμο ζήτημα για τις έξυπνες πόλεις, και η συγκεκριμένη μελέτη στοχεύει στο να εξετάσει τις τεχνολογικές λύσεις που εφαρμόζονται για την αντιμετώπιση του προβλήματος αυτού, όπως τα συστήματα έξυπνης διαχείρισης κυκλοφορίας και τους αισθητήρες παρακολούθησης της ποιότητας του αέρα. Επιπρόσθετα, αναλύεται το πώς τα ηλεκτρικά οχήματα συμβάλουν στην αστική βιωσιμότητα, αξιολογώντας τις υποδομές φόρτισης, τη διαχείριση της ενέργειας και τις περιβαλλοντικές τους συνεισφορές. Η μείωση των εκπομπών και η προώθηση της χρήσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας μπορούν να επιτευχθούν από την υιοθέτηση των ηλεκτρικών οχημάτων, ενισχύοντας έτσι τη βιωσιμότητα των αστικών περιοχών. Ζωτικής σημασίας είναι η κατανόηση και η εφαρμογή των τεχνολογιών των έξυπνων πόλεων έτσι ώστε να δημιουργηθούν βιώσιμα και ανθεκτικά αστικά περιβάλλοντα που μπορούν να ανταποκριθούν στις προκλήσεις του μέλλοντος.

Οι φιλοδοξίες αυτής της μελέτης βασίζονται στη συμβολή της προώθησης της γνώσης και της καινοτομίας στον τομέα των έξυπνων πόλεων, υποστηρίζοντας την ανάπτυξη πόλεων που είναι φιλικές προς το περιβάλλον, κοινωνικά δίκαιες και οικονομικά βιώσιμες. Με τη μελέτη της υπάρχουσας βιβλιογραφίας και τη διεξαγωγή συγκριτικών αναλύσεων, η εργασία επιδιώκει να προσφέρει πολύτιμες και ποικίλες γνώσεις και κατευθύνσεις για την επιπλέον ανάπτυξη και βελτίωση των έξυπνων πόλεων, παρέχοντας μια ολοκληρωμένη επισκόπηση των τεχνολογιών και των δυνατοτήτων τους.

1. ΕΞΥΠΝΕΣ ΠΟΛΕΙΣ (Smart Cities)

1.1. ΟΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΕΞΥΠΝΩΝ ΠΟΛΕΩΝ

Η έννοια του διαδικτύου των πραγμάτων αποτελείται από μια εφαρμογή των έξυπνων πόλεων. Η ραγδαία αύξηση του πληθυσμού και της αστικοποίησης έχει φέρει ως αποτέλεσμα την ανάγκη για καινοτόμους τρόπους πάνω στη διαχείριση της αστικοποίησης, του τρόπου ζωής των πολιτών και της διακυβέρνησης. Οι έννοιες της τηλεπικοινωνίας και της ψηφιακής πόλης έχουν προωθηθεί από την αρχική ενσωμάτωση της τεχνολογίας, των επικοινωνιών και των πληροφοριών (ICT) στις λειτουργίες των πόλεων. Αργότερα, οι έξυπνες πόλεις θεμελιώθηκαν από την έννοια του Διαδικτύου των Πραγμάτων όπου υποστηρίζονται οι λειτουργίες της πόλης με έξυπνο τρόπο και με ελάχιστη ανθρώπινη παρέμβαση. Σε γενικές γραμμές, σε μια έξυπνη πόλη όπου είναι ένα αστικό έξυπνο περιβάλλον χρησιμοποιούνται τεχνολογίες για τη βελτίωση της αποτελεσματικότητας των τακτικών λειτουργιών της πόλης και την ποιότητα των υπηρεσιών (QoS) που παρέχονται στους πολίτες.

Μια γνωστή προσέγγιση ορίζει μια έξυπνη πόλη ως μια πόλη όπου συνδέονται η φυσική, η κοινωνική και η υποδομή ICT ώστε να υπάρξει αύξηση στη νοημοσύνη της πόλης. Μια άλλη πιο δημοφιλή προσέγγιση ορίζει την έξυπνη πόλη ως σύγχρονη και προηγμένη η οποία προσφέρει τις τεχνολογίες ICT και άλλες τεχνολογίες με κύριο στόχο τη βελτίωση της ποιότητας ζωής (QoL), της ανταγωνιστικότητας, της αποδοτικότητας των λειτουργιών των αστικών υπηρεσιών, τη διασφάλιση και τη διάθεση πόρων για τις τωρινές και μελλοντικές γενιές σε κοινωνικούς, οικονομικούς και περιβαλλοντικούς όρους. Στην ουσία, οι έξυπνες πόλεις επικεντρώνονται στη προσπάθεια της βελτίωσης της ποιότητας ζωής των πολιτών μέσω της καινοτομίας, της αποδοτικότητας και της βιωσιμότητας των αστικών λειτουργιών, με την ενσωμάτωση προηγμένων τεχνολογιών για τη δημιουργία ενός περιβάλλοντος που να είναι κατάλληλο για στις ανάγκες των πολιτών με ευφυή και αποδοτικό τρόπο (Yin et al., 2015).

1.2. ΣΚΟΠΟΣ – ΣΤΟΧΟΙ

Ο βασικός στόχος των έξυπνων πόλεων είναι η βελτίωση της ποιότητας ζωής των πολιτών τους. Αυτό πραγματοποιείται με τη χρήση τεχνολογιών πληροφορικής και επικοινωνιών (ICT) αλλά και άλλων προηγούμενων τεχνολογιών για την εξέλιξη της αποδοτικότητας των αστικών υπηρεσιών και την ανταγωνιστικότητα των πόλεων. Ταυτόχρονα, διασφαλίζεται η βιώσιμη διαχείριση των πόρων, ώστε να είναι προσβάσιμοι τόσο για τις τωρινές όσο και για τις μελλοντικές γενιές και να καλύπτουν οικονομικές, κοινωνικές και περιβαλλοντικές πτυχές. Οι προκλήσεις που συνοδεύουν την ταχεία αστικοποίηση και την αύξηση του πληθυσμού έφεραν στην επιφάνεια τις έξυπνες πόλεις.

Οι βασικές προκλήσεις είναι η διαχείριση αποβλήτων δηλαδή, η ανάπτυξη συστημάτων για ανακύκλωση, η αποτελεσματική συλλογή και διάθεση των αποβλήτων και η ατμοσφαιρική ρύπανση για να μειωθούν οι εκπομπές και να βελτιωθεί η ποιότητα του αέρα. Επίσης η κυκλοφοριακή συμφόρηση αποτελεί μια από τις κύριες προκλήσεις για τη βελτιστοποίηση της κυκλοφορίας με έξυπνα συστήματα διαχείρισης της κυκλοφορίας και της δημόσιας συγκοινωνίας. Μια άλλη πρόκληση για την ανθρώπινη υγεία είναι η μείωση των αρνητικών επιπτώσεων στην υγεία που προκαλείται από την αστικοποίηση, συμπεριλαμβανομένης της ρύπανσης και των αστικών ασθενειών. Επιπλέον σημαντικό είναι το ζήτημα της έλλειψης πόρων όπου κύριο ρόλο αποτελεί η διαχείριση της κατανάλωσης νερού, της ενέργειας και άλλων φυσικών πόρων με βιώσιμο τρόπο αλλά και η γήρανση των υποδομών όπου στόχος είναι η συντήρηση και η αναβάθμιση των υπάρχον υποδομών για να ανταποκριθούν στις σύγχρονες ανάγκες.

Η οικονομική ανάπτυξη προωθείται επίσης από τις έξυπνες πόλεις, έτσι ώστε να δημιουργείται ένα περιβάλλον που ευνοεί την καινοτομία και την επιχειρηματικότητα. Η διαφάνεια και η αποτελεσματικότητα της δημόσιας διοίκησης βελτιώνονται με την ενσωμάτωση των τεχνολογιών στις αστικές λειτουργίες, και έτσι διευκολύνεται η αλληλεπίδραση μεταξύ των πολιτών, των προϊόντων και των κυβερνητικών φορέων. Η διαμόρφωση πολιτικών βασίζεται σε πραγματικά δεδομένα και ανάλυση που επιτρέπουν την αποτελεσματική εφαρμογή τους και την εφαρμογή των στόχων μιας βιώσιμης ανάπτυξης. Συμπερασματικά, κύριο μέλημα των έξυπνων πόλεων είναι η δημιουργία ενός βιώσιμου, ανθεκτικού και έξυπνου αστικού περιβάλλοντος που θα βελτιώσει τη ζωή των πολιτών και την οικονομία με τη χρήση της τεχνολογίας ως βασικό εργαλείο για την επίτευξη αυτών των στόχων (Silva et al., 2018).

1.3. ΣΥΝΕΙΣΦΟΡΑ ΤΩΝ ΕΞΥΠΝΩΝ ΠΟΛΕΩΝ

Η ποιότητα ζωής, η αποδοτικότητα των υπηρεσιών και η βιωσιμότητα των αστικών περιοχών επηρεάζονται σημαντικά από τις έξυπνες πόλεις. Στους κύριους τομείς στους οποίους συνεισφέρουν οι έξυπνες πόλεις περιλαμβάνονται η διαχείριση πόρων και υποδομών, η βελτίωση της αποτελεσματικότητας και της ποιότητας ζωής, η ενίσχυση της συμμετοχής των πολιτών, η προώθηση της διαφάνειας και της ανοιχτής διακυβέρνησης, καθώς και η βιώσιμη διαχείριση και ανάπτυξη. Οι έξυπνες πόλεις χρησιμοποιούν τις Τεχνολογίες Πληροφορικής και Επικοινωνιών (ICT) με στόχο να διαχειριστούν την ενίσχυση της διαχείρισης των πόρων και των υποδομών τους αποτελεσματικά. Ο γεωγραφικός παράγοντας διαδραματίζει κεντρικό ρόλο στην υποστήριξη λήψης αποφάσεων, παρέχοντας γρήγορη πρόσβαση σε διάφορα επίπεδα πληροφοριών που μπορούν να συνδυαστούν και να ενσωματωθούν για να διευκολύνουν την ανάλυση των καταστάσεων και τη λήψη βέλτιστων πληροφοριών.

Οι τεχνολογίες στοχεύουν στην παρακολούθηση και την εξέλιξη της χρήσης των φυσικών πόρων, όπως το νερό, η ενέργεια, οι δημόσιες υποδομές και οι υπηρεσίες έκτακτης ανάγκης. Η ενσωμάτωση των ICT με τις παραδοσιακές υποδομές, δημιουργεί ένα δίκτυο συνδέσεων μεταξύ ανθρώπων, αγαθών και συστημάτων ελέγχου. Η καλύτερη διαχείριση και ο έλεγχος των υποδομών εφαρμόζονται, έτσι ώστε να μειωθεί ο χρόνος απόκρισης και να βελτιωθεί η ποιότητα ζωής των πολιτών και επιτυγχάνεται με την παραπάνω συνδεσιμότητα. Οι ICT δίνουν πρόσβαση στους πολίτες σε πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο έτσι ώστε να συμβάλλουν στη λήψη αυτών, ενισχύοντας τη διαφάνεια, τη δημοκρατία και την εμπιστοσύνη των πολιτών.

Οι θετικές αλληλεπιδράσεις μεταξύ των πολιτών και της διοίκησης της πόλης ενισχύονται μέσω της πρόσβασης σε ανοιχτά δεδομένα και ουσιαστικές πληροφορίες. Οι πολίτες μέσω των ΤΠΕ μπορούν να παρακολουθούν και να συμμετέχουν στις διαδικασίες λήψης αποφάσεων, αυξάνοντας έτσι την εμπιστοσύνη και τη διαφάνεια πράγμα που οδηγεί στην βελτίωση της επικοινωνίας και της αλληλεπίδρασης μεταξύ των πολιτών και της δημόσιας διοίκησης. Η διαχείριση των φυσικών πόρων, όπως το νερό, ο αέρας και η ενέργεια, για να διατηρηθεί η ποιότητα, η υγεία και η ποιότητα του περιβάλλοντος αποτελούν προτεραιότητα για τις έξυπνες πόλεις. Επίσης οι γεωγραφικές πληροφορίες και οι τεχνολογία της τηλεόρασης βοηθούν στην παρακολούθηση και διαχείριση των πόρων σε πραγματικό χρόνο και με αυτό τον τρόπο οδηγούνται στην άμεση λήψη μέτρων για την προστασία του περιβάλλοντος και την

προώθηση της βιώσιμης ανάπτυξης. Τα παραδείγματα εφαρμογών ποικίλουν όπως η έξυπνη διαχείριση στάθμευσης όπου στη Νίκαια της Γαλλίας, το σύστημα έξυπνης διαχείρισης αισθητήρων οι οποίοι είναι ενσωματωμένοι στους δρόμους ενημερώνουν τους οδηγούς για τις διαθέσιμες θέσεις στάθμευσης σε πραγματικό χρόνο μέσω εφαρμογών για κινητά.

Αυτή η τεχνολογία μειώνει την κυκλοφοριακή συμφόρηση και εξοικονομεί χρόνο και καύσιμα για τους οδηγούς. Η διαχείριση εκχιονισμού στο Κεμπέκ, όπου ο εξοπλισμός εκχιονισμού είναι εξοπλισμένος με GPS, και ένα γεωγραφικό σύστημα πληροφοριών (GIS) συλλέγει τεχνικές πληροφορίες και χαρτογραφεί πραγματικό χρόνο τη βέλτιστη διαδρομή για την εκχιονιστική εργασία. Η λύση αυτή έχει αποτελεσματικότερο εκχιονισμό και βελτιώνει την κυκλοφορία κατά τη διάρκεια των χιονοπτώσεων. Ο συντονισμός έκτακτης ανάγκης στη Μαδρίτη, όπου μια συντονισμένη λύση έκτακτης ανάγκης βασίζεται σε ένα κεντρικό μοντέλο για τον έλεγχο και τη διοίκηση. Το σύστημα αυτό παρέχει πλήρη, σε πραγματικό χρόνο εικόνα των γεγονότων σε όλη την πόλη, επιτρέποντας τον καλύτερο συντονισμό των ομάδων έκτακτης ανάγκης και βελτιώνοντας την απόκρισή τους σε περιστατικά. Τέλος οι έξυπνες πόλεις αποτελούν κρίσιμο ρόλο στην ενίσχυση της ενεργειακής βιωσιμότητας τόσο στις ίδιες τις πόλεις όσο και στις χώρες τους. Η συμβολή τους μπορεί να κατανεμηθεί σε διάφορους τομείς, όπως η ενεργειακή ισότητα, η ενεργειακή ασφάλεια και η περιβαλλοντική βιωσιμότητα.

Η διαχείριση της προμήθειας ενέργειας από εγχώριες και εξωτερικές πηγές, η αξιοπιστία των ενεργειακών υποδομών και η ικανότητα των παρόχων ενέργειας να καλύπτουν την τρέχουσα και μελλοντική ζήτηση συμπεριλαμβάνονται στον τομέα της ενεργειακής ασφάλειας. Οι έξυπνες πόλεις συμβάλλουν στην ενεργειακή ασφάλεια μέσω της αυξημένης αποδοτικότητας και της ενσωμάτωσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω της χρήσης τεχνολογιών όπως τα έξυπνα δίκτυα (smart grids) που δημιουργούν τη διπλή ροή ενέργειας και την ενσωμάτωση κατανεμημένης παραγωγής ενέργειας (distributed generation). Η ενεργειακή ισότητα αναφέρεται στην προσπάθεια και την προστασία της προμήθειας για ολόκληρο τον πληθυσμό. Η προώθηση της αυτοκατανάλωσης (self-consumption) ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές, όπως τα φωτοβολταϊκά (PV) συστήματα στις στέγες των κτιρίων στις έξυπνες πόλεις βελτιώνουν την ενεργειακή ισότητα. Αυτή η προσέγγιση οδηγεί στη μείωση της εξάρτησης από εισαγωγικές πηγές ενέργειας και έτσι η ενέργεια γίνεται πιο προσιτή σε όλους τους πολίτες.

Η βελτίωση της αποδοτικότητας στην προμήθεια και ζήτηση ενέργειας και η ανάπτυξη ανανεώσιμων και άλλων χαμηλών εκπομπών πηγών ενέργειας οδηγούν στην επίτευξη της περιβαλλοντικής βιωσιμότητας. Η ενσωμάτωση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και η προώθηση της αποδοτικής χρήσης ενέργειας στις έξυπνες πόλεις συμβάλλουν στη μείωση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου (GHG). Επίσης, η παρακολούθηση και η διαχείριση των ενεργειακών πόρων σε πραγματικό χρόνο, βελτιώνοντας τη συνολική αποδοτικότητα του συστήματος πραγματοποιείται με τη χρήση τεχνολογιών ICT. Στις έξυπνες πόλεις ενισχύεται η διαχείριση της κατανάλωσης και της παραγωγής ενέργειας μέσω της χρήσης έξυπνων μετρητών και των συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας. Οι έξυπνοι μετρητές παρακολουθούν την κατανάλωσή τους σε πραγματικό χρόνο και να προσαρμόζουν τη χρήση τους ανάλογα με τις τιμές και τις ανάγκες. Αυτός ο μηχανισμός επιτρέπει την ανταπόκριση της ζήτησης (demand side response DSR), όπου έχουν τη δυνατότητα να τη μειώσουν κατά τις ώρες αιχμής και να μεταφέρουν τη χρήση τους σε ώρες χαμηλής ζήτησης, εξοικονομώντας κόστος και ενέργεια. Η αυτοκατανάλωση και η κατανεμημένη παραγωγή ενέργειας μέσω της χρήσης φωτοβολταϊκών συστημάτων στις στέγες των κτιρίων προωθούνται στις έξυπνες πόλεις. Στη τοπική παραγωγή ενέργειας μειώνονται οι απώλειες που προκύπτουν από τη μεταφορά της ενέργειας και βελτιώνεται η συνολική απόδοση του συστήματος.

Επιπρόσθετα, η έννοια των "κτιρίων σχεδόν μηδενικής ενέργειας" (Nearly Zero Energy Buildings, nZEB) επιτρέπει τη δημιουργία πόλεων με χαμηλή κατανάλωση ενέργειας και υψηλή απόδοση. Κρίσιμη είναι ευελιξία του ηλεκτρικού συστήματος έτσι ώστε να αυξηθεί η αποδοτικότητα και η διείσδυση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Τα έξυπνα δίκτυα βελτιστοποιούν τη λειτουργία του συστήματος διανομής ενέργειας, μειώνοντας την εξάρτηση από μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και ενισχύουν τη βιωσιμότητα του συστήματος. Συμπερασματικά οι έξυπνες πόλεις προσφέρουν μια ολοκληρωμένη βελτίωση της ενεργειακής βιωσιμότητας μέσω της ενσωμάτωσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, της προσέγγισης της αποδοτικότητας και της προώθησης της ενεργειακής βιωσιμότητας. Οι έξυπνες πόλεις αποτελούν ένα κρίσιμο εργαλείο για την επιλογή των στόχων βιωσιμότητας και την αντιμετώπιση των προκλήσεων της κλιματικής αλλαγής (Daniel, & Doran, 2013; Sharifi et al., 2021; Villa-Arrieta, & Sumper, 2019)

2. ΔΙΑΔΙΚΤΥΟ ΤΩΝ ΠΡΑΓΜΑΤΩΝ (INTERNET OF THINGS)

2.1. ΟΡΙΣΜΟΣ ΔΙΑΔΙΚΤΥΟΥ ΤΩΝ ΠΡΑΓΜΑΤΩΝ

Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT) αναφέρεται σε ένα δίκτυο διασυνδεδεμένων συσκευών που μπορούν να ανταλλάσσουν δεδομένα μεταξύ τους χωρίς την ανάγκη ανθρώπινης παρέμβασης. Αυτές οι συσκευές περιλαμβάνουν αισθητήρες, ακτινοβολητές, προγραμματιζόμενες συσκευές και άλλα ηλεκτρονικά συστήματα που μπορούν να συνδεθούν στο διαδίκτυο. Ο κύριος σκοπός του IoT είναι να επιτρέψει στις συσκευές να μοιράζονται πληροφορίες και να αλληλεπιδρούν με άλλες συσκευές, προσφέροντας έτσι νέες δυνατότητες και λειτουργίες. Αυτό μπορεί να γίνει μέσω της χρήσης των ασύρματων τεχνολογιών όπως το Wi-Fi, το Bluetooth και το RFID. Οι εφαρμογές του IoT είναι εκτενείς και ποικίλες, καλύπτοντας τομείς όπως η υγεία και η φροντίδα, η ασφάλεια των κατοικιών, η γεωργία και η βιομηχανία. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι οι έξυπνες πόλεις, όπου οι αισθητήρες και οι συσκευές IoT μπορούν να συλλέγουν δεδομένα σχετικά με την κυκλοφορία, την ενεργειακή απόδοση και την ασφάλεια, προσφέροντας έτσι ένα έξυπνο και βιώσιμο περιβάλλον για τους κατοίκους.

Η τεχνολογία IoT επιτρέπει τη δημιουργία ενός ολοκληρωμένου συστήματος που βελτιώνει την καθημερινή ζωή μέσω της αυτοματοποίησης και της αποδοτικότερης διαχείρισης των πόρων. Οι αισθητήρες σε γεωργικές εκμεταλλεύσεις, για παράδειγμα, μπορούν να παρακολουθούν την υγρασία του εδάφους και να ενημερώνουν τους αγρότες στο πότε πρέπει να ποτίσουν τα φυτά, εξοικονομώντας νερό και βελτιώνοντας τις αποδόσεις των καλλιεργειών. Στον τομέα της υγείας, τα έξυπνα ιατρικά συστήματα μπορούν να παρακολουθούν σε πραγματικό χρόνο τις ζωτικές ενδείξεις των ασθενών και να ειδοποιούν τους ιατρούς σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης.

Όσο οι συσκευές IoT γίνονται όλο και πιο δημοφιλείς, είναι κρίσιμο να ληφθούν υπόψη οι πτυχές της ασφάλειας και της ιδιωτικότητας, καθώς οι συσκευές αυτές συλλέγουν και αποθηκεύουν μεγάλους όγκους προσωπικών δεδομένων. Η ασφάλεια των δεδομένων και η προστασία της ιδιωτικότητας είναι πρωταρχικές προκλήσεις που πρέπει να αντιμετωπιστούν για την ευρεία υιοθέτηση και αποδοχή του IoT. Το Internet of Things είναι ένας ταχέως αναπτυσσόμενος τομέας που ανοίγει νέους ορίζοντες και αυξάνει τη δυνατότητα και την αυτονομία των συσκευών στην καθημερινή μας ζωή. Με τις συνεχείς εξελίξεις στην τεχνολογία και τη διεξόδυση του IoT σε όλο και περισσότερους τομείς ζωής, η δυνατότητα για καινοτομία και βελτίωση της ποιότητας είναι απεριόριστη.

2.2. ΑΝΑΓΚΗ ΤΟΥ ΔΙΑΔΙΚΤΥΟΥ ΤΩΝ ΠΡΑΓΜΑΤΩΝ ΣΤΙΣ ΕΞΥΠΝΕΣ ΠΟΛΕΙΣ

Το Internet of Things (IoT) είναι ένας σύγχρονος τεχνολογικός παράγοντας που έχει τη δυνατότητα να μεταμορφώσει τις πόλεις σε έξυπνες πόλεις. Οι πόλεις μπορούν να βελτιώσουν την ασφάλεια, την αποδοτικότητα και την ποιότητα ζωής των πολιτών τους μέσω της χρήσης συσκευών και αισθητήρων που συνδέονται μεταξύ τους και με το διαδίκτυο. Το IoT επιτρέπει την εγκατάσταση δικτύων αισθητήρων σε διάφορα σημεία της πόλης, όπως σε κτίρια, πάρκα και δημοτικούς φωτισμούς. Αυτοί οι αισθητήρες βοηθούν στη συλλογή δεδομένων σχετικά με την ποιότητα του αέρα, την υγρασία, τη θερμοκρασία, τον θόρυβο και τις δονήσεις. Για παράδειγμα, αισθητήρες ποιότητας αέρα να τοποθετούνται σε πολυσύχναστους δρόμους και πάρκα για να παρακολουθούν συνεχώς τα επίπεδα. Οι πληροφορίες αυτές χρησιμοποιούνται από τις δημοτικές αρχές για να λάβουν μέτρα για τη βελτίωση της ποιότητας του, όπως η προώθηση της χρήσης δημόσιων μέσων μεταφοράς ή η μείωση της κυκλοφορίας σε συγκεκριμένες περιοχές.

Παράλληλα, για την παρακολούθηση των καιρικών συνθηκών πραγματοποιείται η εγκατάσταση αισθητήρων θερμοκρασίας και υγρασίας σε διάφορα κατάλληλα σημεία. Η βελτίωση της διαχείρισης της ενέργειας σε δημόσια κτίρια και η προσαρμογή της θερμοκρασίας σε πραγματικό χρόνο, μειώνει την κατανάλωση ενέργειας και το κόστος λειτουργίας πράγμα στο οποίο βοηθούν οι παραπάνω πληροφορίες. Η ενεργειακή αποδοτικότητα αποτελεί κρίσιμο ζήτημα για τις σύγχρονες πόλεις και έτσι με τη χρήση συστημάτων IoT στις πόλεις παρακολουθείται και διαχειρίζεται η κατανάλωση ενέργειας σε διάφορους τομείς, όπως τα συστήματα μεταφοράς, ο δημόσιος φωτισμός και τα δημόσια κτίρια. Για παράδειγμα, οι αισθητήρες που τοποθετούνται σε δημοτικούς φωτισμούς μπορούν να παρακολουθούν την κατανάλωση ενέργειας και να προσαρμόζουν την ένταση του φωτισμού ανάλογα με τις ανάγκες.

Η ένταση του φωτισμού μπορεί να είναι πιο χαμηλή σε περιοχές με λιγότερη κυκλοφορία, εξοικονομώντας ενέργεια και μειώνοντας το κόστος κατά τη διάρκεια της νύχτας. Επιπλέον, μέσω των συστημάτων IoT μπορούν να εντοπίζονται πηγές σπατάλης ενέργειας και να παρέχονται δεδομένα που εξυπηρετούν τις δημοτικές αρχές έτσι ώστε να εφαρμοστούν μέτρα εξοικονόμησης ενέργειας. Αυτό περιλαμβάνει την εγκατάσταση έξυπνων μετρητών σε δημόσια κτίρια έτσι ώστε να παρακολουθείται η κατανάλωση ενέργειας σε πραγματικό χρόνο και να εφαρμόζονται αυτοματοποιημένα

συστήματα που προσαρμόζουν τη θέρμανση και την ψύξη ανάλογα με τις καιρικές συνθήκες και τη χρήση των κτιρίων. Ο δημόσιος φωτισμός αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους παράγοντες ενέργειας σε μια πόλη. Η χρήση αισθητήρων κίνησης και φωτός εξυπηρετούν την διαχείριση του φωτισμού μέσω των συστημάτων IoT, έτσι ανιχνεύεται η παρουσία πεζών και οχημάτων και προσαρμόζεται η ένταση του φωτισμού ανάλογα με την ώρα της ημέρας και τις καιρικές συνθήκες. Για παράδειγμα, σε περιοχές με μικρή κίνηση κατά τη διάρκεια της νύχτας, η ένταση του φωτισμού μπορεί να μειωθεί, εξοικονομώντας ενέργεια χωρίς να θίγεται η ασφάλεια των πολιτών. Με αυτά τα συστήματα εντοπίζονται βλάβες στις λάμπες και ειδοποιούνται οι αρμόδιες υπηρεσίες έτσι ώστε να αντικατασταθούν άμεσα, διασφαλίζοντας έτσι τη συνεχή λειτουργία του δημόσιου φωτισμού και την ασφάλεια στους δρόμους.

Η διαχείριση των αποβλήτων είναι από τα κύρια προβλήματα που αντιμετωπίζουν οι σύγχρονες πόλεις και λύση αποτελούν τα συστήματα IoT με στόχο να βελτιωθεί η διαχείριση των αποβλήτων μέσω της χρήσης έξυπνων κάδων απορριμμάτων οι οποίοι είναι εξοπλισμένοι με αισθητήρες που ανιχνεύουν το αν είναι πλήρης και στέλνουν ειδοποιήσεις στις δημοτικές αρχές όταν είναι γεμάτοι. Αυτό επιτρέπει την έγκαιρη συλλογή των απορριμμάτων και τη βελτιστοποίηση των διαδρομών συλλογής, μειώνοντας το κόστος και βελτιώνοντας την αποδοτικότητα της ανακύκλωσης. Επιπλέον, η ανάλυση των συνηθειών των πολιτών σχετικά με την απόρριψη αποβλήτων και τις στρατηγικές ανάπτυξης για την προώθηση της ανακύκλωσης και τη μείωση των αποβλήτων μπορεί να επιτευχθεί από τα δεδομένα τα οποία συλλέγονται από έξυπνους χρήστες. Επίσης τα συστήματα συμπίεσης με τα οποία μπορούν να εξοπλιστούν οι κάδοι οδηγούν στη μείωση του όγκου των αποβλήτων, επιτρέποντας τη συλλογή μεγαλύτερης ποσότητας απορριμμάτων πριν να αδειάσουν.

Η κυκλοφοριακή συμφόρηση και η έλλειψη διαθέσιμων θέσεων στάθμευσης είναι κοινά προβλήματα στις πόλεις και μπορούν να λυθούν μέσω των συστημάτων IoT έτσι ώστε να παρακολουθείται η ροή της κυκλοφορίας και να κατευθύνονται οι οδηγοί σε διαθέσιμες θέσεις στάθμευσης, με αποτέλεσμα να μειώνεται έτσι η κυκλοφοριακή συμφόρηση και οι εκπομπές άνθρακα. Για παράδειγμα, αισθητήρες που τοποθετούνται στους δρόμους και στους χώρους στάθμευσης μπορούν να ανιχνεύουν την κίνηση των οχημάτων και να παρέχουν δεδομένα σε πραγματικό χρόνο στις δημοτικές αρχές και στους οδηγούς. Οι οδηγοί χρησιμοποιώντας εφαρμογές για κινητά τηλέφωνα ενημερώνονται για τις διαθέσιμες θέσεις και κατευθύνονται στην πλησιέστερη ελεύθερη θέση. Αυτό δεν

μειώνει μόνο τον χρόνο που χρειάζεται για την εύρεση θέσης αυτής, αλλά μειώνει και την κατανάλωση καυσίμων και τις εκπομπές ρύπων, με αποτέλεσμα η ποιότητα του αέρα στην πόλη να είναι καλύτερη.

Ο αυτοματισμός των δημόσιων κτιρίων είναι ένας ακόμη τομέας όπου το IoT μπορεί να φέρει σημαντικά αποτελέσματα. Με την εγκατάσταση αισθητήρων που παρακολουθούν διάφορους παραμέτρους όπως η υγρασία, η θερμοκρασία και ο φωτισμός, με αυτό το τρόπο οι δημοτικές αρχές μπορούν να διασφαλίσουν την άνεση των ατόμων που εργάζονται ή επισκέπτονται αυτά τα κτίρια. Για παράδειγμα, οι αισθητήρες θερμοκρασίας μπορούν να αυτοματοποιούν τα συστήματα θέρμανσης και ψύξης, προσαρμόζοντας τη θερμοκρασία ανάλογα με τις καιρικές συνθήκες και τη χρήση του κτιρίου. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και του κόστους λειτουργίας, ενώ παράλληλα διασφαλίζει υγιεινές συνθήκες για τους χρήστες των κτιρίων. Επιπλέον, οι αισθητήρες μπορούν να ειδοποιούν τις αρμόδιες υπηρεσίες για την άμεση επισκευή βλαβών για προβλήματα όπως οι διαρροές νερού ή οι βλάβες στον εξοπλισμό, αποτρέποντας έτσι την επέκταση των ζημιών και την αύξηση του κόστους επισκευής.

Συμπερασματικά η υιοθέτηση των τεχνολογιών IoT από τις έξυπνες πόλεις προσφέρει πολλαπλά πλεονεκτήματα, τόσο για τις δημοτικές αρχές όσο και για τους πολίτες. Μέσω της εξέλιξης των υπηρεσιών του δημοσίου, της μείωσης του λειτουργικού κόστους και της βελτίωσης της ποιότητας ζωής, το IoT μπορεί να μεταμορφώσει τις πόλεις σε πιο βιώσιμες και αποδοτικές. Τέλος, η διαφάνεια και η ενεργή συμμετοχή των πολιτών στη διαχείριση της πόλης ενισχύεται μέσω της χρήσης των δεδομένων που συλλέγονται από τα συστήματα IoT, δημιουργώντας έτσι ένα περιβάλλον κατάλληλο για την επίτευξη κοινών στόχων των πολιτών και των αρχών μέσω της συνεργασίας τους (Zanella et al., 2014; De Paz et al., 2016).

2.3. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ INTERNET OF THINGS (IOT) ΣΤΗΝ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΕΞΥΠΝΩΝ ΚΤΙΡΙΩΝ

Τα τελευταία χρόνια έχει γίνει μια εκτενής έρευνα για έξυπνα κτίρια, κοινότητες, πόλεις και υποδομές. Ο βασικός στόχος αυτών των ερευνών είναι η παροχή αξιόπιστων και ενεργειακά αποδοτικών υπηρεσιών χωρίς να μειώνεται η άνεση και η ικανοποίηση των ανθρώπων. Ωστόσο, δεν υπάρχει μεγάλη πρόοδος στην ανάπτυξη έξυπνων κτιρίων και ο κύριος λόγος είναι οι περιορισμοί στις εφαρμογές του IoT και των δικτύων αισθητήρων που δεν είναι πλήρως ενοποιημένα. Η έννοια των έξυπνων κτιρίων προκύπτει από την αυξημένη ενσωμάτωση προηγμένης τεχνολογίας στα κτίρια και τα συστήματά τους, έτσι ώστε να μπορεί να λειτουργήσει και να ελεγχθεί απομακρυσμένα με ευκολία, άνεση και με καλύτερο τρόπο από πλευράς κόστους και ενέργειας ολόκληρος ο κύκλος ζωής των κτιρίων.

Η υλοποίηση των έξυπνων κτιρίων, όπως η ανάπτυξη δικτύων αισθητήρων, η ανάλυση big data, η υπολογιστική νέφους, η ανάπτυξη λογισμικού και οι αλγόριθμοι αλληλεπιδράσεων ανθρώπου-υπολογιστή είναι απαραίτητα στη χρήση νέων τεχνολογιών. Το διαδίκτυο των πραγμάτων επιτρέπει σε ένα κτίριο την ενσωμάτωση και τη συνεργασία διαφορετικών λειτουργικών μονάδων. Η αρχιτεκτονική του εξοπλίζει όλα τα αντικείμενα έτσι ώστε να έχουν δυνατότητες να αναγνωρίζουν, να αισθάνονται, να δικτυώνονται και να επεξεργάζονται, ώστε με αυτά τα αντικείμενα να είναι εφικτή η ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ τους και η ανάπτυξη προηγμένων υπηρεσιών μέσω του διαδικτύου. Αυτό επιτρέπει να εγκαθιστούν τους στόχους των έξυπνων κτιρίων, όπως το να δημιουργούν μια παγκόσμια υποστηρικτική υποδομή για υπολογιστική πανταχού παρουσία και ενημερότητα για το περιβάλλον μεταξύ των συσκευών.

Η τεχνολογία του IoT αναγνωρίζεται ως κρίσιμη για την ανάπτυξη έξυπνων κτιρίων και στοχεύει να καθοδηγήσει τους πολίτες στη βιομηχανία κατασκευών σχετικά με τον τρόπο χρήσης του IoT ώστε να αντιμετωπιστούν συγκεκριμένα ζητήματα για μελλοντική πρόοδο. Επίσης σημαντικές είναι οι βελτιωμένες λειτουργίες που παρέχει το διαδίκτυο των πραγμάτων και οι λύσεις για την υιοθέτηση του στα κτίρια, αντί να αναδεικνύονται τα τεχνικά ελαττώματα του ίδιου του IoT. Επιπλέον μέσω των ερευνών παρέχεται μια ολιστική επισκόπηση της γνώσης σχετικά με το IoT στους ερευνητές και επαγγελματίες στους τομείς της πολιτικής μηχανικής, της κατασκευαστικής τεχνολογίας και της βιωσιμότητας. Η σχεδίαση της αρχιτεκτονικής ενός συστήματος IoT είναι βασική για τη λειτουργικότητά του και επιτρέπει τη διασύνδεση διαφορετικών συστατικών του κλάδου

μέσω του Διαδικτύου. Η αρχιτεκτονική του IoT έχει οδηγήσει σε πολλές προτάσεις οι οποίες έχουν καταταθεί για την κάλυψη διαφορετικών αναγκών. Η τριεπίπεδη αρχιτεκτονική του IoT περιλαμβάνει το Επίπεδο Αντίληψης, το Επίπεδο Δικτύου και το Επίπεδο Εφαρμογών. Το Επίπεδο Αντίληψης αποτελείται από τη συλλογή δεδομένων και πληροφοριών από τον φυσικό κόσμο μέσω συστημάτων ενεργοποίησης και αισθητήρων. Το Επίπεδο Δικτύου σχετίζεται με τη μετάδοση και την επεξεργασία των δεδομένων. Το Επίπεδο Εφαρμογών είναι το επίπεδο το οποίο ασχολείται με την αλληλεπίδραση των τελικών χρηστών και περιλαμβάνει την ανάλυση και τη λήψη των δεδομένων.

Οι τεχνολογίες ενίσχυσης της Επιπέδου Αντίληψης περιλαμβάνουν τις Βιντεοκάμερες, τα Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων (WSN), τη Ραδιοσυχνική Αναγνώριση (RFID) και άλλες τεχνολογίες όπως το GPS και τις συσκευές NFC. Οι Βιντεοκάμερες σχετίζονται με την καταγραφή και την παρακολούθηση πληροφοριών σε πραγματικό χρόνο. Τα Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων περιλαμβάνουν διάφορους τύπους αισθητήρων οι οποίοι σχηματίζουν ένα δίκτυο για τους σκοπούς της επικοινωνίας. Η Ραδιοσυχνική Αναγνώριση χρησιμοποιείται έτσι ώστε αυτόματα να αναγνωρίζονται και να παρακολουθούνται διάφορα αντικείμενα. Οι τεχνολογίες του Επιπέδου Δικτύου περιλαμβάνουν το Bluetooth, το Wi-Fi, το LTE και το Zigbee. Το Bluetooth είναι μια τεχνολογία επικοινωνίας ασύρματα που αφορά δεδομένα σε μικρές αποστάσεις. Το Wi-Fi είναι μια τεχνολογία που με τη χρήση ραδιοκυμάτων βοηθά τη δικτύωση σε τοπικό επίπεδο. Το LTE στοχεύει στην ταχύτητα της ασύρματης επικοινωνίας και το Zigbee αποτελεί μια προδιαγραφή έτσι ώστε στη σύντομη διάρκεια επικοινωνίας να καταναλώνεται χαμηλότερη ενέργεια.

Οι τεχνολογίες ενίσχυσης του Επιπέδου Εφαρμογών περιλαμβάνουν την Ενισχυμένη Γνώση και την Ενισχυμένη Νοημοσύνη όπου η Ενισχυμένη Νοημοσύνη χρησιμοποιείται για την πρόβλεψη, την περιγραφή και την ανάλυση των σχέσεων μεταξύ των φαινομένων. Η Ενισχυμένη Γνώση οδηγεί στη βελτίωση της συμμόρφωσης με τις προβλεπόμενες δράσεις και περιλαμβάνει τεχνολογίες όπως το Υπολογιστικό Νέφος και τα Μεγάλα Δεδομένα. Επίσης ένα από τα παραδείγματα εφαρμογών είναι ο εντοπισμός και η παρακολούθηση κατοίκων και πόρων όπου γίνεται επιτρεπτή η ακριβή παρακολούθηση της θέσης των κατοίκων και των πόρων στο εσωτερικό των κτιρίων. Η διαχείριση της ενέργειας επιτρέπει την και βελτιστοποίηση και την

παρακολούθηση της κατανάλωσης ενέργειας στα κτίρια. Η διαχείριση εγκαταστάσεων διευκολύνει την προληπτική συντήρηση και την ανίχνευση δυσλειτουργιών.

Η κεντροποιημένη του δημόσιου φωτισμού έχει ως στόχο την εξοικονόμηση ενέργειας και τη διατήρηση της μέγιστης οπτικής άνεσης στις φωτιζόμενες περιοχές. Υπάρχουν διάφορες αρχιτεκτονικές αλλά οι πιο σημαντικές είναι αυτές που συνδυάζουν διάφορες τεχνικές τεχνητής νοημοσύνης (AI) και στατιστικής, όπως τεχνητά νευρωνικά δίκτυα (ANN), τον αλγόριθμο EM, πολυπρακτικά συστήματα (MAS), μια Προσανατολισμένη στην Υπηρεσία Προσέγγισης (SOA) και βασισμένες μεθόδους στην ANOVA. Αρχικά η έννοια των Έξυπνων Πόλεων αποτελεί μια αυξανόμενη τάση στα τεχνολογικά έργα, με στόχο την ισορροπία των φυσικών πόρων και του περιβάλλοντος. Οι Έξυπνες Πόλεις στοχεύουν στη βελτίωση της ποιότητας ζωής των πολιτών και των ιδρυμάτων εφαρμόζοντας πρακτικές βιώσιμης ανάπτυξης.

Τα συστήματα ζωής που αναπτύσσονται υπό την έννοια των Πόλεων έχουν ως στόχο να εφαρμόζουν νέες τεχνολογίες για την παροχή καλύτερης ποιότητας ζωής και βιώσιμης οικονομικής ανάπτυξης. Η αρχιτεκτονική που προτείνεται βασίζεται στο να βελτιστοποιεί την κατανάλωση ενέργειας και του κόστους και χρησιμοποιεί μια αρθρωτή αρχιτεκτονική που είναι σε πλήρες βαθμό προσαρμοσμένη στα υπάρχοντα συστήματα φωτισμού. Αυτή η έρευνα είναι μέρος μεγαλύτερου έργου της ερευνητικής ομάδας μιας ομάδας BISITE του Πανεπιστημίου της Σαλαμάνκας, που στοχεύει στο να δημιουργήσει ένα σύστημα το οποίο να έχει τη δυνατότητα στο να μπορεί να κεντροποιήσει τη διαχείριση και τον έλεγχο του δημόσιου φωτισμού. Η προτεινόμενη αρχιτεκτονική, η περιλαμβάνει τρία κύρια συστατικά όπως το επίπεδο αφαιρετικής ενέργειας, τον διαχειριστικό διαχειριστή και την διαδικτυακή εφαρμογή.

Το επίπεδο αφαιρετικής υλικού σχετίζεται με την επικοινωνία του υποκείμενου υλικού, ο διαχειριστικός διαχειριστής βασίζεται σε έξυπνους αλγόριθμους για αποτελεσματική διαχείριση ενέργειας και αλγόριθμους διαχείρισης συσκευών, ενώ η διαδικτυακή εφαρμογή επιτρέπει την πρόσβαση σε όλες τις λειτουργίες έτσι ώστε να ρυθμίζονται τα προγράμματα φωτισμού και των εγκαταστάσεων. Η διαδικασία εργασίας (ροή εργασίας) για τη δημιουργία σχεδίων φωτισμού βάσει περιβαλλοντικών παραγόντων και προτιμήσεων χρηστών περιλαμβάνει την ταξινόμηση των ημερών με χρήση της τεχνικής ANOVA, τη συλλογή ιστορικών δεδομένων ροής πεζών και κυκλοφορίας και την εφαρμογή του αλγορίθμου clustering EM με την οποία ταξινομούνται τα δεδομένα σε ομάδες με παρόμοια χαρακτηριστικά. Επιπλέον, εξετάζεται η εκτίμηση της κατανάλωσης

ενέργειας και του αντίστοιχου κόστους μέσω νευρωνικού δικτύου MLP (Multi-Layer Perceptron), όπου γίνεται η εκπαίδευση με ιστορικά δεδομένα για τον τύπο φωτιστικού που χρησιμοποιείται σε κάθε εγκατάσταση της πόλης.

Τα αποτελέσματα της έρευνας περιλαμβάνουν μια περίπτωση μελέτης όπου εφαρμόστηκε το σύστημα σε ένα πρωτότυπο πειραματικό περιβάλλον. Η περίπτωση μελέτης εστιάζει στον έλεγχο και στην εγκατάσταση ενός συστήματος διανομής φωτισμού που προσαρμόζεται στις ανάγκες της πόλης, με αποτέλεσμα την βέλτιστη κατανάλωση ενέργειας και το βέλτιστο κόστος. Τέλος αρχιτεκτονική που προτείνεται προσφέρει έναν τρόπο για τον έξυπνο έλεγχο του δημόσιου φωτισμού, έτσι ώστε να εξοικονομείται ενέργεια και να βελτιώνεται η ποιότητα ζωής των κατοίκων. Επίσης προτείνονται μελλοντικές κατευθύνσεις για την ανάπτυξη του συστήματος, όπως η ανάπτυξη νέων αλγορίθμων για τη συνεργασία των φωτιστικών σωμάτων μεταξύ τους και η προσθήκη επιπλέον αισθητήρων για τη βελτίωση της ευφυΐας του συστήματος. Συνοπτικά, αναλύεται εις βάθος η ανάπτυξη που προσφέρει και η υλοποίηση μιας έξυπνης αρχιτεκτονικής φωτισμού για τις έξυπνες πόλεις, χρησιμοποιώντας τεχνική ΑΙ και στρατηγικές που στοχεύουν στην εξοικονόμηση ενέργειας και στη βελτίωση της διαχείρισης του δημόσιου φωτισμού. Αυτή η προσαρμοστική αρχιτεκτονική αποτελεί ένα σημαντικό βήμα προς την κατεύθυνση της βιώσιμης ανάπτυξης και της βελτίωσης της ποιότητας ζωής στις σύγχρονες πόλεις (Brad, & Murar, 2014; Bashir, & Gill, 2017; Jia et al., 2019).

2.4. ΕΠΙΤΗΡΗΣΗ ΚΑΙ ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΠΥΡΚΑΓΙΩΝ ΜΕΣΩ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ

Ένα πολύ σημαντικό ζήτημα αποτελεί η πρόβλεψη και η επιτήρηση των πυρκαγιών στις έξυπνες πόλεις μέσω της χρήσης αισθητήρων IoT λόγω των καταστροφικών επιπτώσεων που μπορούν να έχουν οι πυρκαγιές στην ανθρώπινη ζωή και στο περιβάλλον. Τα έξυπνα συστήματα παρακολούθησης για τα προβλήματα πυρκαγιών βασίζονται στο διαδίκτυο των πραγμάτων (IoT) και σε τεχνολογίες τεχνητής

νοημοσύνης (AI) και παρέχουν νέες δυνατότητες για την αντιμετώπιση και την ανίχνευση πυρκαγιών σε πρώτο στάδιο. Οι δασικές πυρκαγιές είναι ένα φυσικό και επαναλαμβανόμενο φαινόμενο, αλλά η πρόκλησή τους συχνά μπορεί να οφείλεται σε ανθρώπινες δραστηριότητες. Η δασική παρακολούθηση και η πρόβλεψη των πυρκαγιών είναι σημαντική για την προστασία του περιβάλλοντος, των ζώων, της ανθρώπινης υγείας αλλά και της παρουσίας των ανθρώπων.

Οι παραδοσιακές μέθοδοι ανίχνευσης βασίζονται συχνά σε εικόνες και αναφορές απο δορυφόρους από την τοπική κοινότητα, αλλά αυτές οι μέθοδοι έχουν περιορισμούς στην ταχύτητα απόκρισης και στην ακρίβεια. Η χρήση ασύρματων δικτύων αισθητήρων (WSN) σε συνδυασμό με την τεχνολογία IoT μπορεί να αποτελέσει μια πιο γρήγορη και ακριβή λύση για την παρακολούθηση και ανίχνευση δασικών πυρκαγιών. Ένα παράδειγμα ανάπτυξης ενός τέτοιου συστήματος είναι το σύστημα που ανιχνεύει τη θερμοκρασία και τα υγρά καπνού. Αυτοί οι αισθητήρες μπορούν να τοποθετηθούν σε πολλές συγκεκριμένες θέσεις μέσα στο δάσος και να συλλέγουν δεδομένα σε πραγματικό χρόνο. Τα δεδομένα αυτά μεταφέρονται μέσω δικτύων χαμηλής ενέργειας σε έναν κεντρικό διακομιστή, όπως το LoRa.

Η προτεινόμενη αρχιτεκτονική περιλαμβάνει τρία κύρια συστατικά τα οποία είναι το επίπεδο αφαιρετικής υλικού, τη διαδικτυακή εφαρμογή και τον διαχειριστικό διακομιστή. Το επίπεδο αφαιρετικής υλικού κάνει επιτρεπτή την επικοινωνία ανεξάρτητα από το υποκείμενο υλικό. Ο διαχειριστικός διαχειριστής περιέχει διάφορους αλγόριθμους οι οποίοι διαχειρίζονται συσκευές και έξυπνους αλγόριθμους για αποτελεσματική διαχείριση ενέργειας, ενώ η διαδικτυακή εφαρμογή δίνει πρόσβαση σε όλες τις λειτουργίες για τη ρύθμιση των προγραμμάτων και των εγκαταστάσεων και του φωτισμού. Ένα άλλο στοιχείο καίριας σημασίας είναι η χρήση διαφόρων τεχνικών μηχανικής μάθησης που οδηγούν στην πρόβλεψη των πυρκαγιών. Για παράδειγμα, μια μέθοδος η οποία έχει ως βάση βαθιά μάθηση και δεδομένα από αισθητήρες για την πρόβλεψη των πυρκαγιών αποτελείται από ένα σύστημα με μια σειρά από έξυπνους αισθητήρες και μια ψηφιακή κάμερα έτσι ώστε να παρακολουθείται η αποστολή των δεδομένων σε έναν απομακρυσμένο διακομιστή. Εκεί, ένας αλγόριθμος βαθιάς μάθησης λειτουργεί ώστε να αναλύσει τα δεδομένα και να προβλέψει την πιθανότητα εκδήλωσης πυρκαγιάς. Το συγκεκριμένο σύστημα προσαρμοστικής αρχιτεκτονικής προσφέρει τον συνδυασμό διαφόρων τεχνικών τεχνητής νοημοσύνης και στατιστικής, όπως τα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα, τα πολυπρακτικά συστήματα και οι μέθοδοι βασισμένοι στην ανάλυση της

διακύμανσης. Αυτό το σύστημα επιτρέπει τον σχεδιασμό και την ανάπτυξη ενός ολοκληρωμένου συστήματος όπου μπορεί να γίνεται η παρακολούθηση και η πρόβλεψη δασικών πυρκαγιών υψηλής ακρίβειας.

Συνοψίζοντας, η χρήση του IoT και της τεχνητής νοημοσύνης βοηθά στην πρόβλεψη και στην επιτήρηση των πυρκαγιών των έξυπνων πόλεων προσφέροντας σημαντικά πλεονεκτήματα, όπως η έγκαιρη ανίχνευση πυρκαγιών, η αποδοτική διαχείριση ενέργειας και η βελτίωση της ποιότητας ζωής των πολιτών. Η ανάπτυξη τέτοιων συστημάτων απαιτεί τη συνεργασία διάφορων τεχνολογιών και την εφαρμογή προχωρημένων αλγορίθμων (Ananti et al., 2022; Khadar et al., 2021; Imran et al., 2021).

2.5. ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΑΕΡΑ ΣΕ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΜΕΓΑΛΗΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ

Κρίσιμης σημασίας για την προστασία της δημόσιας υγείας και την περιβαλλοντική διαχείριση αποτελεί η παρακολούθηση της ποιότητας του αέρα σε περιοχές μεγάλης κυκλοφορίας. Με την αύξηση των αστικών περιοχών και των οχημάτων, οι εκπομπές ρύπων έχουν αυξηθεί δραματικά, επηρεάζοντας σε μεγάλο βαθμό την ποιότητα του αέρα και προκαλώντας σοβαρά προβλήματα υγείας, όπως πρόωρους θανάτους και αναπνευστικές παθήσεις. Παραδοσιακά, η ποιότητα του αέρα παρακολουθούνταν βάση ακριβών εξοπλισμών όπου η εγκατάστασή τους γινόταν σε σταθερές τοποθεσίες, περιορίζοντας την ικανότητα ανίχνευσης τοπικών διαφοροποιήσεων της ρύπανσης. Οι νέες τεχνολογίες του διαδικτύου των πραγμάτων (Internet of Things) προσφέρουν καινοτόμες λύσεις έτσι ώστε η ποιότητα του αέρα να παρακολουθείται σε πραγματικό χρόνο.

Ένα σύστημα IoT μπορεί να ενσωματώνει αισθητήρες που μετρούν τη συγκέντρωση διαφόρων ρύπων, όπως το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂), το μονοξείδιο του άνθρακα (CO) και οι πτητικές οργανικές ενώσεις (VOCs), και να επιτρέπει την μεταφορά των

δεδομένων σε μια κεντρική πλατφόρμα στην οποία συνεισφέρουν τα ασύρματα δίκτυα. Τα δεδομένα αυτά δεν μπορούν να αναλυθούν εύκολα και να γίνει η χρήση τους για την παροχή υπηρεσιών όπως οι ειδοποιήσεις για την ποιότητα του αέρα, τη δημιουργία χαρτών και την καθοδήγηση για την επιλογή υγιεινών διαδρομών. Μια συγκεκριμένη πρωτοβουλία αναφέρεται στην δημιουργία ενός πρωτότυπου χαμηλού κόστους συστήματος παρακολούθησης της ποιότητας του αέρα που μετρά τις συγκεντρώσεις HCHO και CO. Ο σχεδιασμός του συστήματος αυτού επιτρέπει την παρακολούθηση της ποιότητας του αέρα σε εσωτερικούς χώρους και μπορεί να στέλνει ειδοποιήσεις όταν οι συγκεντρώσεις των ρύπων ξεπερνούν τα ασφαλή όρια.

Το σύστημα αυτό μέσω της επικοινωνίας μπορεί να μεταφέρει τα δεδομένα σε μια κεντρική πλατφόρμα, επιτρέποντας την άμεση ενημέρωση των χρηστών και την παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο. Ένα άλλο σύστημα IoT περιλαμβάνει τη χρήση τεχνικών μηχανικής μάθησης και ανάλυσης παλινδρόμησης για την εκτίμηση του Δείκτη Ποιότητας Αέρα (AQI). Το σύστημα αυτό συνδυάζει διάφορα δεδομένα από τηλεοπτικές εκπομπές και αισθητήρες ποιότητας για να παρέχει ακριβείς εκτιμήσεις των επιπέδων ρύπανσης σε αστικές περιοχές. Η ανάλυση των δεδομένων επιτρέπει την ακριβή εκτίμηση των εκπομπών των οχημάτων αλλά και τις επιπτώσεις τους στην ποιότητα του αέρα και προσφέρει σημαντική βελτίωση στην διαχείριση και την κατανόηση των ρύπων. Παράλληλα, η ανάπτυξη ενός πυκνού δικτύου αισθητήρων σε μια σύγχρονη πόλη οδηγεί στην διάθεση πολλών δεδομένων υψηλής ανάλυσης για την ποιότητα του αέρα και έτσι επιτρέπει την παροχή υπηρεσιών σε πραγματικό χρόνο σε μεγάλο αριθμό χρηστών.

Τέτοια συστήματα για αλγόριθμους διασποράς δεδομένων βοηθούν για τη δημιουργία λεπτομερών χαρτών ρύπανσης και προσφέρουν υπηρεσίες όπως ειδοποιήσεις για την ποιότητα του αέρα και δυναμική δρομολόγηση. Ένα παράδειγμα αυτής της προσέγγισης είναι η εφαρμογή της στο Ελσίνκι, όπου το σύστημα Snap4City της επιτροπής όπου έχει μια πυκνή αίσθηση αισθητήρων για την παρακολούθηση της ποιότητας του αέρα σε πραγματικό χρόνο. Η χρήση των τεχνολογιών IoT για την παρακολούθηση της ποιότητας του αέρα παρέχει σημαντικά πλεονεκτήματα, όπως η συλλογή δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, η δυνατότητα συνεχούς παρακολούθησης και η άμεση ενημέρωση των χρηστών.

Τα δεδομένα αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την προστασία της δημόσιας υγείας, την ενημέρωση των πολιτών και τη βελτίωση της ποιότητας ζωής στις αστικές περιοχές. Συνολικά, οι τεχνολογίες IoT προσφέρουν σημαντικές δυνατότητες ώστε να βελτιωθεί η παρακολούθηση της ποιότητας του αέρα σε περιοχές μεγάλης κυκλοφορίας

και παρέχουν κρίσιμα δεδομένα σε πραγματικό χρόνο τα οποία δίνουν τη δυνατότητα μέσω της χρήσης τους να προστατεύεται η δημόσια υγεία (Martin-Baos et al., 2022; Tapashetti et al., 2016; Badii et al., 2020).

2.6. ΕΞΥΠΝΕΣ ΓΕΩΡΓΙΚΕΣ ΠΡΑΚΤΙΚΕΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ ΓΙΑ ΤΗ ΓΕΩΡΓΙΑ

Επανάσταση στη γεωργία επέφεραν οι έξυπνες γεωργικές πρακτικές μέσω της χρήσης αισθητήρων και τεχνολογιών IoT παρέχοντας στους γεωργούς τη τεράστια ευκολία στη δυνατότητα διαχείρισης των καλλιεργειών τους με μεγάλη ακρίβεια και αποτελεσματικότητα. Αυτές οι τεχνολογίες προσφέρουν πολυάριθμα πλεονεκτήματα, όπως η εξοικονόμηση πόρων, η βελτίωση της παραγωγικότητας και η μείωση της περιβαλλοντικής επιβάρυνσης. Μια από τις πιο βασικές εφαρμογές των τεχνολογιών IoT στη γεωργία είναι η παρακολούθηση των συνθηκών του εδάφους και των καλλιεργειών σε πραγματικό χρόνο.

Οι αισθητήρες που εγκαθίστανται στα χωράφια βοηθούν στη μέτρηση διαφόρων παραμέτρων όπως η υγρασία του εδάφους, η θερμοκρασία, η συγκέντρωση θρεπτικών συστατικών και η ατμοσφαιρική πίεση. Αυτά τα δεδομένα αποστέλλονται σε κεντρικά συστήματα πράγμα στο οποίο συμβάλουν τα ασύρματα δίκτυα, όπου γίνεται η ανάλυση και η αξιολόγηση με αποτέλεσμα να παρέχουν χρήσιμες πληροφορίες στους γεωργούς. Για παράδειγμα, οι αισθητήρες υγρασίας εδάφους μπορούν να παρέχουν πληροφορίες για την ακριβή ποσότητα νερού που χρειάζονται οι καλλιέργειες, επιτρέποντας στους γεωργούς να ποτίζουν τα φυτά τους μόνο όταν είναι απαραίτητο. Αυτό όχι μόνο μειώνει τη σπατάλη νερού αλλά και βελτιώνει την ανάπτυξη των φυτών.

Η συγκεκριμένη τεχνολογία μπορεί να συνδυαστεί με αλγόριθμους που σχετίζονται με αναλύσεις δεδομένων για την ακριβή εκτίμηση της κατάστασης του εδάφους και των καλλιεργειών. Επιπλέον, η χρήση UAVs (Unmanned Aerial Vehicles) σε συνδυασμό με αισθητήρες πολλαπλών φασμάτων επιτρέπει τη συλλογή υψηλής

ανάλυσης δεδομένων και εικόνων από τις καλλιέργειες. Τα drones αυτά έχουν τη δυνατότητα να πετούν πάνω από τα χωράφια έτσι ώστε να γίνεται η συλλογή δεδομένων για την υγεία των φυτών, για τη βλάστηση και την παρουσία ασθενειών ή παρασίτων. Η χρήση αυτών των δεδομένων μπορεί να συμβάλει στη δημιουργία χαρτών των καλλιεργειών, οι οποίοι βοηθούν τους γεωργούς στον εντοπισμό προβλημάτων και στη λήψη έγκαιρων μέτρων.

Η χρήση της τεχνολογίας FANSCAN για την ακριβή ανάλυση και τη δημιουργία λεπτομερών χαρτών της κατάστασης των καλλιεργειών χρησιμοποιεί τεχνολογίες IoT στη γεωργία οι οποίες επεκτείνονται επίσης στη διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας και την πρόγνωση της παραγωγής. Με τη χρήση αλγορίθμων μηχανικής μάθησης και αισθητήρων, οι γεωργοί μπορούν να προβλέπουν τις ανάγκες των καλλιεργειών τους και να προσαρμόζουν τις πρακτικές τους ανάλογα με αυτές. Για παράδειγμα, ένας γεωργός μπορεί να βελτιστοποιήσει την εφαρμογή λιπασμάτων, να βρει την καλύτερη στιγμή για τη συγκομιδή και να μειώσει τη χρήση φυτοφαρμάκων. Αυτές οι τεχνολογίες οδηγούν τους γεωργούς στη μείωση του κόστους παραγωγής και στην αύξηση της απόδοσης των καλλιεργειών τους. Επιπλέον, η ενσωμάτωση της τεχνητής νοημοσύνης (AI) και των μεγάλων δεδομένων (Big Data) επιτρέπει την ανάλυση τεράστιου όγκου δεδομένων και την ανάπτυξη καινοτόμων μοντέλων. Αυτά τα μοντέλα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να εκτιμηθούν οι καλλιέργειες και να προβλέψουν τις αποδοχές τους έτσι ώστε να λαμβάνουν πιο ενημερωμένες αποφάσεις. Για παράδειγμα, οι γεωργοί μπορούν να δημιουργηθούν νέα μοντέλα για να εντοπίζονται περιοχές που χρειάζονται επιπλέον φροντίδα ή για να προβλέπουν την εμφάνιση και να λαμβάνουν προληπτικά μέτρα. Ένα παράδειγμα αυτών των τεχνολογιών είναι η χρήση των UAV για τη χαρτογράφηση των καλλιεργειών και την παρακολούθηση της ανάπτυξης των φυτών.

Η χρήση UAVs εξοπλισμού με πολυφασματικές κάμερες επιτρέπει τη συλλογή δεδομένων υψηλής ανάλυσης από τις καλλιέργειες όπου με τα δεδομένα αυτά μπορούν να δημιουργήσουν τρισδιάστατα μοντέλα του εδάφους και των καλλιεργειών και μπορούν να βοηθήσουν τους γεωργούς να κατανοήσουν καλύτερα την κατάσταση των καλλιεργειών τους έτσι ώστε να γίνει η λήψη σωστών αποφάσεων για τη διαχείρισή τους. Οι έξυπνες γεωργικές πρακτικές με τη χρήση αισθητήρων και τεχνολογιών IoT προσφέρουν σημαντικά στη βελτίωση της παραγωγικότητας και της βιωσιμότητας της γεωργίας και δίνουν στους γεωργούς την δυνατότητα για τη λήψη έγκυρων και ενημερωμένων αποφάσεων με αποτέλεσμα να βελτιώνουν την απόδοση των καλλιεργειών τους και να

μειώνουν την περιβαλλοντική επίπτωση. Με τη χρήση αυτών των τεχνολογιών, οι γεωργοί μπορούν να προσαρμόσουν τις πρακτικές τους σύμφωνα με τις πραγματικές ανάγκες των καλλιεργειών και να εξοικονομήσουν πόρους αλλά και να μειώσουν το κόστος παραγωγής (Mancini et al., 2017; Nadler, 2005; Dyson et al., 2019; Song et al., 2022).

2.7. ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΥΔΑΤΩΝ ΣΕ ΕΞΥΠΝΕΣ ΠΟΛΕΙΣ

Τεράστια αλλαγή στον τρόπο με τον οποίο οι πόλεις διαχειρίζονται τους υδάτινους πόρους έχει φέρει η ενσωμάτωση των τεχνολογιών IoT (Internet of Things) στα συστήματα διαχείρισης υδάτων στις πόλεις. Τα έξυπνα συστήματα διαχείρισης υδάτων αξιοποιούν την τεχνολογία IoT για να γίνεται πιο εύκολη η παρακολούθηση και ο έλεγχος διαφόρων πτυχών του αστικού κύκλου του νερού, διασφαλίζοντας έτσι την αποτελεσματική χρήση των υδάτινων πόρων και αντιμετωπίζοντας με ευκολία τις προκλήσεις που προκύπτουν από την κλιματική αλλαγή, την αυξανόμενη αστικοποίηση και την οικονομική ανάπτυξη. Ένα από τα βασικά συστατικά των έξυπνων συστημάτων διαχείρισης υδάτων είναι η παρακολούθηση της ποσότητας και της ποιότητας του νερού σε πραγματικό χρόνο.

Συσκευές του διαδικτύου των πραγμάτων, όπως διάφοροι αισθητήρες, επιτρέπουν τη συλλογή δεδομένων για παραμέτρους όπως το pH, το επίπεδο νερού, την θολότητα, τη θερμοκρασία, την αγωγιμότητα και τα συνολικά διαλυμένα στερεά (TDS). Αυτοί οι αισθητήρες αναλαμβάνουν τη μετάδοση των δεδομένων σε ένα κεντρικό σύστημα όπου γίνεται η επεξεργασία και η ανάλυση, επιτρέποντας έτσι τον άμεσο εντοπισμό προβλημάτων όπως υπερχειλίσσεις, διαρροές ή τη μόλυνση. Αυτή η συλλογή και ανάλυση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο επιτρέπει τη λήψη έγκαιρων μέτρων για την αποφυγή σπατάλης νερού, τη διαχειριστική αντιμετώπιση και την εξασφάλιση ασφαλούς πόσιμου νερού. Για παράδειγμα, το σύστημα Water Wise (W2S) ενσωματώνει τεχνολογίες IoT, μηχανικής μάθησης και βαθιάς μάθησης για να παρέχει

μια ολοκληρωμένη λύση για την αστική διαχείριση υδάτων. Αυτό το σύστημα παρέχει την παρακολούθηση των δικτύων ύδρευσης σε πραγματικό χρόνο, προβλέπει μελλοντικά προβλήματα και ανιχνεύει ανωμαλίες χρησιμοποιώντας προηγμένες αναλυτικές μεθόδους και προγνωστικά μοντέλα.

Η ενσωμάτωση με το SCADA (Σύστημα Εποπτικού Ελέγχου και Απόκτησης Δεδομένων), το EPANET (λογισμικό μοντελοποίησης δικτύων ύδρευσης) και το GIS (Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών) ενισχύει περαιτέρω την ικανότητα του συστήματος στη διαχείριση και τη βελτιστοποίηση του δικτύου διανομής αποτελεσματικά. Ένα άλλο σημαντικό στοιχείο της διαχείρισης υδάτων με τη χρήση IoT είναι η προηγμένη υποδομή μέτρησης (AMI) και οι έξυπνοι μετρητές. Οι τεχνολογίες αυτές μειώνουν την ανάγκη για χειροκίνητη ανάγνωση των μετρητών, αυτοματοποιούν τη καταγραφή των δεδομένων κατανάλωσης νερού και εξασφαλίζουν ακριβέστερους λογαριασμούς. Οι έξυπνοι μετρητές εντοπίζουν μοτίβα χρήσης νερού, κάτι που μπορεί να είναι ορθό για την πρόληψη της απώλειας νερού και τον εντοπισμό διαρροών. Η μηχανική μάθηση αποτελεί κρίσιμο κομμάτι στην ενίσχυση των δυνατοτήτων των συστημάτων διαχείρισης υδάτων με τη χρήση IoT.

Μέσω της ιστορικής ανάλυσης και του εντοπισμού μοτίβων, οι αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης μπορούν να οδηγήσουν στην αποτελεσματική πρόβλεψη της ζήτησης του νερού, στη βελτιστοποίηση της λειτουργίας των δικτύων διανομής νερού και ακόμη και στη πρόβλεψη του αντικτύπου των καιρικών φαινομένων στην ποιότητα και τη διάθεση δεδομένων του. Για παράδειγμα, η χρήση Υποστηρικτικών Μηχανών Διανυσμάτων (Support Vector Machines - SVM) και άλλων μοντέλων μηχανικής μάθησης μπορεί να προβλέψει τα πρότυπα χρήσης και εντοπισμού ανωμαλιών που πιθανώς υποδηλώνουν προβλήματα στο σύστημα ύδρευσης.

Επίσης, η ασφάλεια με τη χρήση IoT αποτελεί μια κρίσιμη παράμετρο στα συστήματα διαχείρισης υδάτων. Τα δεδομένα των μεγάλων ποσοτήτων που συλλέγονται από διάφορους αισθητήρες χρειάζονται για την εξασφάλιση της ακεραιότητας του συστήματος ύδρευσης και την αποτροπή της εξουσιοδοτημένης πρόσβασης. Εν κατακλείδι, τα έξυπνα συστήματα διαχείρισης υδάτων με τη χρήση IoT οδηγούν στην προσφορά μιας ολοκληρωμένης και αποτελεσματικής λύσης στις προκλήσεις της αστικής διαχείρισης υδάτων ενσωματώνοντας έτσι την παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο, τη μηχανική μάθηση και τις προηγούμενες αναλυτικές μεθόδους.

Τα συστήματα αυτά στις πόλεις διαχειρίζονται τους υδάτινους πόρους με μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα, διασφαλίζουν την παροχή ασφαλούς πόσιμου νερού και μειώνουν τη σπατάλη. Η συνεχής ανάπτυξη και η υιοθέτηση αυτών των τεχνολογιών θα διαδραματίσουν καθοριστικό ρόλο στην αντιμετώπιση των αυξανόμενων ανησυχιών για την έλλειψη νερού και τη βιωσιμότητα στις αστικές περιοχές. Η τεχνολογία του Διαδικτύου των Πραγμάτων (Internet of Things - IoT) αποτελεί μία από τις πιο κρίσιμες εξελίξεις της ψηφιακής εποχής αφού προσφέρει καινοτόμες λύσεις σε ποικίλους τομείς. Η έξυπνη διαχείριση υδάτων στις πόλεις συμβάλλει στην ορθή χρήση των υδάτινων πόρων και έτσι μειώνει τη σπατάλη και βελτιώνει την ποιότητα του νερού. Στη γεωργία, η χρήση αισθητήρων και τεχνολογιών IoT βελτιώνει παραγωγικότητα και την αποδοτικότητα, προσφέροντας λύσεις για την παρακολούθηση των καλλιεργειών και την ακριβή άρδευση. Συμπερασματικά, η αξιοποίηση του Διαδικτύου των Πραγμάτων προσφέρει σημαντικά πλεονεκτήματα και διευκολύνει την προστασία του περιβάλλοντος, την αποτελεσματική διαχείριση πόρων και την ενίσχυση της ποιότητας ζωής. Η συνεχόμενη εξέλιξη και η υιοθέτηση των τεχνολογιών IoT αποτελεί κλειδί έτσι ώστε να διαμορφωθεί ένα βιώσιμο και έξυπνο μέλλον (Gade, 2021; Singh, & Ahmed, 2021; Figueiredo et al., 2021).

3. ΕΞΥΠΝΑ ΔΙΚΤΥΑ (SMART GRIDS)

Τα έξυπνα δίκτυα είναι εξελιγμένα δίκτυα που ενσωματώνουν τεχνολογίες επικοινωνιών και πληροφορικής για να βελτιώσουν την απόδοση, την αξιοπιστία και τη διαχείριση της ενέργειας. Τα Smart Grids είναι διαφορετικά σε σχέση με τα παραδοσιακά δίκτυα ενέργειας και η κύρια διαφορά τους είναι η δυνατότητα που προσφέρουν στην αυτοματοποιημένη παρακολούθηση και διαχείριση της ροής της ενέργειας, καθώς και την ενσωμάτωση αποθηκευτικών συστημάτων και ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Ένα βασικό χαρακτηριστικό των έξυπνων δικτύων είναι η δυνατότητα αμφίδρομης επικοινωνίας μεταξύ των καταναλωτών και των παρόχων ενέργειας. Μέσω αυτής της επικοινωνίας, δίνουν τη δυνατότητα της λήψης πληροφοριών σε πραγματικό χρόνο για την κατανάλωση ενέργειας και να προσαρμόσουν τη χρήση τους ανάλογα με τους καταναλωτές και τις τιμές της ενέργειας. Έτσι γίνεται επιτρεπτή η καλύτερη διαχείριση ενέργειας και η μείωση της κατανάλωσης κατά τις ώρες αιχμής. Τα Smart Grids ενσωματώνουν επίσης προηγμένες τεχνολογίες αισθητήρων και μέτρησης, για την παρακολούθηση των διαφόρων παραμέτρων του δικτύου, όπως το ρεύμα, η τάση και η ποιότητα της ενέργειας.

Αυτοί οι αισθητήρες συλλέγουν δεδομένα και τα μεταδίδουν σε κεντρικά σημεία όπου γίνεται η ανάλυση των συστημάτων για την βελτιστοποίηση της λειτουργίας του δικτύου. Η ανάλυση αυτών των δεδομένων προβλέπει την δημιουργία βλαβών και διακοπών και επιτρέπει την έγκαιρη διάγνωση προβλημάτων. Ένα άλλο σημαντικό στοιχείο των Smart Grids είναι η ενσωμάτωση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, όπως η αιολική και η ηλιακή ενέργεια. Τα Smart Grids στοχεύουν στη διασπορά της παραγωγής ενέργειας μέσω μικρών και διανεμημένων πηγών ενέργειας, ενώ τα παραδοσιακά δίκτυα ενέργειας βασίζονται σε κεντρικές μονάδες παραγωγής ενέργειας. Αυτό καθιστά τα έξυπνα δίκτυα πιο ευέλικτα και ανθεκτικά, αφού η προσαρμογή τους μπορεί να γίνεται καλύτερη στις μεταβολές της παραγωγής ενέργειας και της ζήτησης.

Επιπλέον, τα Smart Grids περιλαμβάνουν συστήματα αποθήκευσης ενέργειας για τη χρήση σε περιόδους αυξημένης ζήτησης ή χαμηλής παραγωγής από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Με την αποθήκευση ενέργειας λειτουργεί ομαλά και συνεχόμενα το δίκτυο και εξασφαλίζεται η συνεχόμενη παροχή σταθερής ενέργειας, ανεξαρτήτως των παλιών συνθηκών ή άλλων παραγόντων που επηρεάζουν την παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές. Τα Smart Grids προσφέρουν επίσης βελτιωμένη αξιοπιστία και

ασφάλεια λόγω της χρήσης προηγμένων τεχνολογιών οι οποίες περιλαμβάνουν τη χρήση ασφαλών πρωτοκόλλων επικοινωνίας, την κρυπτογράφηση των δεδομένων και την τακτική παρακολούθηση του δικτύου για την ανίχνευση και την αντιμετώπιση απειλών. Εν κατακλείδι, τα Smart Grids αποτελούν το μέλλον της διαχείρισης ενέργειας, προσφέροντας ποικίλα πλεονεκτήματα όπως η ενσωμάτωση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, η αυξημένη ασφάλεια και η ευελιξία. Η ανάπτυξη και η υιοθέτηση αυτών των τεχνολογιών είναι απαραίτητη για την εφαρμογή των στόχων βιωσιμότητας και της ενεργειακής ανεξαρτησίας, καθώς και για την αντιμετώπιση των προκλήσεων που προκύπτουν από την αυξανόμενη ζήτηση ενέργειας και την κλιματική αλλαγή.

3.1. ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Μια από τις πιο σημαντικές καινοτομίες στην ενεργειακή τεχνολογία στην διαχείριση ενέργειας στις έξυπνες πόλεις αποτελούν τα Smart Grids, αφού προσφέρουν βελτιωμένη αποδοτικότητα, αξιοπιστία και βιωσιμότητα στα ενεργειακά συστήματα. Τα Smart Grids αποτελούν συνδυασμό ψηφιακών τεχνολογιών με εκτεταμένα δίκτυα μεταφοράς για τη βέλτιστη κατανάλωση ενέργειας και επιτρέπουν εξελιγμένες διαδικασίες για την παραγωγή και τη διανομή ενέργειας. Μία από τις βασικές προκλήσεις που αντιμετωπίζουν τα σύγχρονα ενεργειακά συστήματα είναι η αύξηση της ζήτησης της ενέργειας, ιδιαίτερα κατά τις περιόδους αιχμής. Για να ανταποκριθούν σε αυτή την πρόκληση, τα Smart Grids χρησιμοποιούν ηλεκτρονικές τεχνολογίες επικοινωνιών και υπολογιστών για να παρακολουθήσουν και να διαχειριστούν την κατανάλωση ενέργειας σε πραγματικό χρόνο.

Αυτό επιτρέπει την πρόβλεψη και την αποτροπή προβλημάτων, όπως οι διακοπές ρεύματος και με αυτό τον τρόπο μειώνει το κόστος συντήρησης του δικτύου και τις απώλειες ενέργειας. Μέσω των Smart Grids, οι κατοικίες και οι επιχειρήσεις που μπορούν να λειτουργούν τόσο όσο και ως παραγωγοί ηλεκτρικής ενέργειας. Οι κάτοικοι μπορούν να προσαρμόσουν την κατανάλωση τους ανάλογα με τις τιμές της ενέργειας και να πουλήσουν την παραγόμενη ενέργεια πίσω στο δίκτυο. Αυτό

πραγματοποιείται με τη χρήση των έξυπνων μετρητών και της προηγμένης υποδομής μέτρησης, που έχει την αυτόματη καταγραφή της κατανάλωσης και την ακριβή χρέωση. Για παράδειγμα, η Ισπανία αποφάσισε την αντικατάσταση όλων των μετρητών ηλεκτρικής ενέργειας για να επιτρέψει τη διάκριση στις ώρες χρέωσης, ώστε οι χρήστες να μπορούν να προσαρμόσουν τη χρήση τους σύμφωνα με τις χαμηλότερες τιμές που παρέχονται σε συγκεκριμένες ώρες της ημέρας.

Ένα άλλο σημαντικό στοιχείο των Smart Grids είναι η ενσωμάτωση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, όπως η αιολική ενέργεια και η ηλιακή ενέργεια. Τα έξυπνα δίκτυα κάνουν πιο εύκολη τη διασπορά της παραγωγής ενέργειας με μικρές και διανεμημένες πηγές, καθιστώντας τα δίκτυα πιο ανθεκτικά και ευέλικτα. Αυτό επιτρέπει την καλύτερη προσαρμογή στις μεταβολές της ζήτησης και της παραγωγής ενέργειας και μειώνει την εξάρτηση από τις κεντρικές μονάδες παραγωγής. Τα Smart Grids ενσωματώνουν επίσης καινοτόμες τεχνολογίες αποθήκευσης ενέργειας, που επιτρέπουν την αποθήκευση της ενέργειας για χρήση σε περιόδους αυξημένης ζήτησης ή χαμηλής παραγωγής από ανανεώσιμες πηγές. Αυτό συμβάλλει στη σταθεροποίηση του δικτύου και εξασφαλίζει συνεχή παροχή ενέργειας, ανεξαρτήτως των καιρικών συνθηκών. Για παράδειγμα, η χρήση μπαταριών μεγάλης κλίμακας μπορεί να αποθηκεύσει την περισσότερη ενέργεια από ηλιακά πάνελ κατά τη διάρκεια της ημέρας για να χρησιμοποιηθεί το βράδυ.

Επιπλέον, τα Smart Grids χρησιμοποιούν τεχνολογίες μηχανικής μάθησης και την ανάλυση μεγάλων δεδομένων για την πρόβλεψη της ζήτησης ενέργειας για τη βέλτιστη λειτουργία των δικτύων διανομής. Οι αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης κάνουν ανάλυση ιστορικών δεδομένων και εντοπίζουν μοτίβα, βοηθώντας στην πρόβλεψη της κατανάλωσης και την αποφυγή αιχμών στη ζήτηση. Για παράδειγμα, σε περιοχές με μεγάλη ζήτηση ενέργειας κατά τις ώρες αιχμής, η χρήση αυτών των τεχνολογιών μπορεί να βοηθήσει στη μείωσή της. Οι αισθητήρες παρακολουθούν την κατανάλωση ενέργειας και μεταδίδουν δεδομένα σε πραγματικό χρόνο σε ένα κεντρικό σύστημα, το οποίο αναλύει τα δεδομένα και προσαρμόζει τη χρήση ενέργειας με τις τρέχουσες ανάγκες και τις τιμές της ενέργειας.

Συνολικά, η διαχείριση ενέργειας στις έξυπνες πόλεις μέσω των Smart Grids προσφέρει σημαντικά πλεονεκτήματα, όπως η ενσωμάτωση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, η βελτίωση της αποδοτικότητας, η αυξημένη ασφάλεια και η ευελιξία. Η ανάπτυξη και η υιοθέτηση αυτών των τεχνολογιών είναι απαραίτητη για την εφαρμογή των στόχων βιωσιμότητας και της ενεργειακής ανεξαρτησίας, καθώς και για την αντιμετώπιση των

προκλήσεων που προκύπτουν από την αυξανόμενη ζήτηση ενέργειας και την κλιματική αλλαγή (Pramangioloulis et al., 2019; Moghaddam, & Seifi, 2011).

3.2. ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΟΙΚΟΛΟΓΙΚΩΝ ΟΦΕΛΩΝ

Τα Smart Grids έχουν στη διάθεσή τους ενεργά οφέλη στη διαχείριση ενέργειας, επιτρέποντάς τους να γίνουν τόσο όσο το δυνατόν περισσότερα και παράγωγα ηλεκτρικής ενέργειας. Οι έξυπνοι μετρητές και η προηγμένη υποδομή μέτρησης (AMI) την αυτόματη καταγραφή της κατανάλωσης και την ακριβή χρέωση, έχουν ως αποτέλεσμα την καλύτερη διαχείριση της ζήτησης, ενώ μπορεί να προσαρμοστεί η κατανάλωση τους ανάλογα με τις τιμές της ενέργειας και να πουληθεί η παραγόμενη ενέργεια πίσω στο δίκτυο. Επίσης τα έξυπνα δίκτυα κάνουν πιο εύκολη τη διασπορά της παραγωγής ενέργειας μέσω μικρών και διανεμημένων πηγών, καθιστώντας τα δίκτυα πιο ευέλικτα και ανθεκτικά. Για παράδειγμα, οι Φερόες Νήσοι ήταν το πρώτο αρχιπέλαγος που υλοποίησε ένα έξυπνο δίκτυο με μεγάλη χρήση αιολικής ενέργειας και επέτρεψε την καλύτερη προσαρμογή στις μεταβολές της ζήτησης και της παραγωγής ενέργειας και έτσι μειώθηκε η εξάρτηση από τις κεντρικές μονάδες παραγωγής.

Τα Smart Grids επιτρέπουν επίσης την ενσωμάτωση προηγμένων τεχνολογιών αποθήκευσης ενέργειας, όπως οι μπαταρίες μεγάλης κλίμακας, των οποίων αρμοδιότητα είναι η αποθήκευση των περισσότερων πηγών ενέργειας για χρήση σε περιόδους αυξημένης ζήτησης ή χαμηλής κατανάλωσης από ανανεώσιμες πηγές. Η χρήση τέτοιων τεχνολογιών συμβάλλει στη σταθεροποίηση του δικτύου και εξασφαλίζει συνεχή παροχή ενέργειας, ανεξαρτήτως των καιρικών συνθηκών.

Επιπλέον, η ενσωμάτωση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας συμβάλλει στη μείωση της εξάρτησης από τα ορυκτά καύσιμα και τη μείωση των εκπομπών CO₂, προωθώντας την περιβαλλοντική βιωσιμότητα. Η Αίγυπτος αποτελεί χαρακτηριστικό παράδειγμα χώρας που έχει υιοθετήσει τις τεχνολογίες Smart Grids για τη βελτίωση της ενεργειακής

απόδοσης και την ενσωμάτωση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Η κυβέρνηση της Αιγύπτου έχει θέσει ως στόχο να παράγει το 20% της ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές μέχρι το 2022 και να αυξήσει αυτό το ποσοστό στο 42% μέχρι το 2035. Η υλοποίηση των Smart Grids στην Αίγυπτο περιλαμβάνει την ανάπτυξη υβριδικών δικτύων που συνδυάζουν φωτοβολταϊκά συστήματα, υδροηλεκτρική ενέργεια και θερμική ενέργεια, παρέχοντας σταθερή και αποδοτική παροχή ενέργειας. Ένα άλλο παράδειγμα είναι ένα προτεινόμενο υβριδικό δίκτυο για μια αγροτική κοινότητα στη Δυτική Αυστραλία, που περιλαμβάνει 100 σπίτια και μικρές βιομηχανικές μονάδες. Αυτό το σύστημα φωτοβολταϊκών συστημάτων και τεχνολογιών αποθήκευσης ενέργειας χρησιμοποιείται για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών της κοινότητας, εξασφαλίζοντας την ενεργειακή ανησία και τη μείωση του κόστους του καυσίμου.

Επιπρόσθετα, οι τεχνολογίες αποθήκευσης ενέργειας όπως οι μπαταρίες συνδυάζονται με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας για την κάλυψη των αυξημένων αναγκών σε ώρες αιχμής. Στη Γερμανία, η εταιρεία Sonnen προσφέρει μπαταρίες για οικιακή χρήση, οι οποίες αποθηκεύουν την ενέργεια που παράγεται από φωτοβολταϊκά συστήματα κατά τη διάρκεια της ημέρας και την απελευθερώνουν κατά τη διάρκεια της νύχτας ή σε περιόδους υψηλής ζήτησης. Η ενσωμάτωση των τεχνολογιών IoT (Internet of Things) στα Smart Grids βελτιώνει την αποδοτικότητα και τη διαχείριση των ενεργειακών συστημάτων. Οι αισθητήρες IoT παρέχουν σε πραγματικό χρόνο δεδομένα σχετικά με την κατανάλωση και την παραγωγή ενέργειας, επιτρέποντας στους διαχειριστές των δικτύων να λαμβάνουν ενημερωμένες αποφάσεις.

Στην Ιταλία, η Enel αισθητήρες IoT παρακολουθούν τα δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας και την ανίχνευση προβλημάτων σε πραγματικό χρόνο και μειώνουν τις διακοπές βελτιώνοντας έτσι την αξιοπιστία του συστήματος. Οι έξυπνοι μετρητές πρέπει να παρακολουθούν την κατανάλωση ενέργειας και να προσαρμόζουν τις συνήθειές τους για να μειώσουν το κόστος και την σπατάλη. Στο Ηνωμένο Βασίλειο, το πρόγραμμα Smart Metering Implementation Program (SMIP) στοχεύει στην εγκατάσταση έξυπνων μετρητών σε όλα τα δίκτυα. Οι έξυπνοι μετρητές θα επιτρέψουν την παρακολούθηση της κατανάλωσης ενέργειας σε πραγματικό χρόνο, την καλύτερη κατανόηση των συνηθειών τους και να λάβουν μέτρα για τη μείωση της κατανάλωσης και του κόστους. Για παράδειγμα, σε περιοχές με μεγάλη ζήτηση ενέργειας κατά τις ώρες αιχμής, η χρήση αυτών των τεχνολογιών μπορεί να βοηθήσει στη μείωση της ζήτησης και της αποφυγής διακοπών.

Στην Κοπεγχάγη, η πόλη έχει αναπτυχθεί από τα πιο προηγμένα συστήματα Smart Grid στον κόσμο. Η πόλη διαθέτει συνδυασμό αιολικής και ηλιακής ενέργειας, καθώς και τεχνολογιών αποθήκευσης ενέργειας για να καλύψει τις ανάγκες της σε ενέργεια. Η Κοπεγχάγη επίσης επενδύει σε ένα εκτεταμένο δίκτυο έξυπνων μετρητών και αισθητήρων, που παρακολουθεί και τη διαχείριση της κατανάλωσης ενέργειας σε πραγματικό χρόνο, αυτό έχει ως αποτέλεσμα να αυξάνεται η αποδοτικότητα του δικτύου. Στη Σιγκαπούρη, το πρόγραμμα Smart Nation περιλαμβάνει την ανάπτυξη ενός έξυπνου δικτύου για αισθητήρες και δεδομένα σε πραγματικό χρόνο την παρακολούθηση και τη διαχείριση της κατανάλωσης ενέργειας.

Η Σιγκαπούρη έχει επενδύσει σε τεχνολογίες αποθήκευσης ενέργειας και ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, προκειμένου να μειώσει την εξάρτησή της από τα ορυκτά καύσιμα και να βελτιώσει την ενεργειακή της αποδοτικότητα. Στην Ιαπωνία, η Tokyo Electric Power Company (TEPCO) έχει αναπτύξει ένα έξυπνο δίκτυο που αισθητήρες IoT για την παρακολούθηση της κατανάλωσης ενέργειας και την ανίχνευση προβλημάτων σε πραγματικό χρόνο. Το σύστημα αυτό επιτρέπει την έγκαιρη επιδιόρθωση των προβλημάτων και την αποφυγή διακοπών, βελτιώνοντας την αξιοπιστία του δικτύου και μειώνοντας το κόστος συντήρησης. Η Κίνα έχει επίσης επενδύσει σημαντικά σε τεχνολογίες Smart Grid. Η πόλη Τιαντζίν έχει αναπτύξει ένα έξυπνο δίκτυο που χρησιμοποιεί ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, όπως η ηλιακή και η αιολική ενέργεια, καθώς και οι τεχνολογίες αποθήκευσης ενέργειας για την κάλυψη των αναγκών της πόλης.

Το δίκτυο αυτό επιτρέπει την παρακολούθηση και τη διαχείριση της κατανάλωσης ενέργειας σε πραγματικό χρόνο, βελτιώνοντας την αποδοτικότητα. Τα Smart Grids έχουν την ενσωμάτωση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, μειώνοντας την εξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα και προωθώντας την περιβαλλοντική βιωσιμότητα.

Επιπλέον, τα Smart Grids συμβάλλουν στη βελτίωση της αξιοπιστίας των ενεργειακών συστημάτων, μειώνοντας τις διακοπές και τα προβλήματα συντήρησης. Συνολικά, τα Smart Grids προσφέρουν σημαντικά τα αποτελέσματα και βελτιώνουν την απόδοση και την αξιοπιστία των ενεργειακών συστημάτων. Με την ενσωμάτωση τεχνολογιών IoT, ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και τεχνολογιών αποθήκευσης ενέργειας, τα Smart Grids αποτελούν το μέλλον της διαχείρισης ενέργειας στις έξυπνες πόλεις, προσφέροντας μια πιο βιώσιμη και αποδοτική μέθοδο παραγωγής και διανομής

ενέργειας (Khalil et al., 2021; Farmanbar et al., 2019; Moretti et al., 2017; Lamnatou et al., 2022).

3.3. ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΟΣΤΟΥΣ – ΟΦΕΛΟΥΣ

Η ανάλυση κόστους-έλους (CBA) αποτελεί κύριο παράγοντα στον τομέα της αξιολόγησης της οικονομικής αποδοτικότητας των Smart Grids, βοηθώντας στην επιλογή και στη λήψη των πιο αποδοτικών στρατηγικών παρέμβασης. Από τις κύριες προκλήσεις που αντιμετωπίζουν τα σύγχρονα ενεργειακά συστήματα είναι η συνεχώς αυξανόμενη ζήτηση ενέργειας, ιδιαίτερα κατά τις περιόδους αιχμής. Τα Smart Grids ηλεκτρονικών τεχνολογιών επικοινωνιών και υπολογιστών χρησιμοποιούνται για την παρακολούθηση και τη διαχείριση της κατανάλωσης ενέργειας σε πραγματικό χρόνο, επιτρέποντας την πρόβλεψη και την αποτροπή προβλημάτων, όπως οι διακοπές ρεύματος, μειώνοντας το κόστος συντήρησης του και τις απώλειες ενέργειας.

Τα Smart Grids έχουν στη διάθεσή τους ενεργά στη διαχείριση της ενέργειας, επιτρέποντάς τους να γίνουν τόσο όσο το δυνατόν περισσότερα και παράγωγα ηλεκτρικής ενέργειας. Οι έξυπνοι μετρητές και η προηγμένη υποδομή μέτρησης επιτρέπουν την αυτοματοποίηση της διαδικασίας της καταγραφής της κατανάλωσης και την ακριβή χρέωση. Η ενσωμάτωση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, όπως η ηλιακή και η αιολική ενέργεια, αποτελεί ένα σημαντικό στοιχείο των Smart Grids. Τα Smart Grids ενσωματώνουν επίσης προηγμένες τεχνολογίες αποθήκευσης ενέργειας, όπως οι μπαταρίες μεγάλης κλίμακας, που αποθηκεύουν τις περισσότερες πηγές ενέργειας για χρήση σε περιόδους αυξημένης ζήτησης ή χαμηλής κατανάλωσης από ανανεώσιμες πηγές.

Η χρήση τέτοιων τεχνολογιών συμβάλλει στη σταθεροποίηση του δικτύου και εξασφαλίζει συνεχή παροχή ενέργειας, ανεξαρτήτως των καιρικών συνθηκών. Παράδειγμα είναι η πόλη του Άμστερνταμ, όπου ένα πρωτότυπο αισθητήριο και διαχείριση συστημάτων για την παρακολούθηση και βελτιστοποίηση της χρήσης ενέργειας σε δημόσια κτίρια και υποδομές. Τα οικονομικά στοιχεία των Smart Grids είναι σημαντικά για την συμπερίληψη της εξοικονόμησης κόστους, τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και την αύξηση της αποδοτικότητας. Ένα παράδειγμα των οικονομικών οφελών είναι η μείωση του κόστους λειτουργίας και της συντήρησης των δικτύων, καθώς και η παρακολούθηση και η διαχείριση της ενέργειας σε πραγματικό χρόνο την έγκαιρη ανίχνευση και την επιδιόρθωση προβλημάτων.

Επιπλέον, οι τεχνολογίες αποθήκευσης ενέργειας όπως οι μπαταρίες συνδυάζονται με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας για την κάλυψη των αυξημένων αναγκών σε ώρες αιχμής. .

Η ενσωμάτωση των τεχνολογιών IoT (Internet of Things) στα Smart Grids βελτιώνει περαιτέρω την αποδοτικότητα και τη διαχείριση των ενεργειακών συστημάτων. Οι έξυπνοι μετρητές πρέπει να παρακολουθούν την κατανάλωση ενέργειας και να προσαρμόζουν τις συνήθειές τους για να μειώσουν το κόστος.

Η αξιολόγηση των οικονομικών οφελών των Smart Grids περιλαμβάνει την ανάλυση των δαπανών που εξοικονομούν ενέργεια και άνθρακα. Τα Smart Grids συμβάλλουν στη βελτίωση της αξιοπιστίας των ενεργειακών συστημάτων, μειώνοντας τις διακοπές και τα προβλήματα συντήρησης. Η ανάλυση κόστους-οφέλους των Smart Grids περιλαμβάνει την εκτίμηση των επενδύσεων και των οικονομικών οφελών που προβλέπονται από την υλοποίηση αυτών των συστημάτων.

Σύμφωνα με τη μελέτη "Cost Benefit Analysis and Smart Grids Projects" από το Politecnico di Torino, η ανάλυση αυτή περιλαμβάνει τα βήματα της αναγνώρισης του κόστους και των ωφελειών του έργου, την εκτίμηση των χρηματικών αξιών, την κατανομή του εκτιμώμενου κόστους και των εκτιμώμενων ωφελειών κατά τη διάρκεια του χρόνου και την κατασκευή της ταμειακής ροής, τον ορισμό του κοινωνικού ποσοστού προεξόφλησης και τον υπολογισμό των οικονομικών δεικτών απόδοσης, όπως η Καθαρή Παρούσα Αξία (NPV) και ο λόγος ωφέλειας/κόστους (B/C). Η ανάλυση κόστους-οφέλους (CBA) περιλαμβάνει την εκτίμηση των κοινωνικών ωφελειών που προκύπτουν από την υλοποίηση ενός έργου. Τα έξυπνα δίκτυα (Smart Grids) προσφέρουν πολλά οικονομικά και κοινωνικά δίκτυα, όπως η δημιουργία πράσινων θέσεων εργασίας, η βελτίωση της ενεργειακής ασφάλειας και η αύξηση της αξίας των ακινήτων. Για παράδειγμα, η δημιουργία νέων θέσεων εργασίας από τα έργα ενεργειακής ανακαίνισης υπολογίστηκε με βάση την έρευνα του Janssen και Staniaszek (2012), λαμβάνοντας υπόψη την αξία 19 καθαρών νέων θέσεων για κάθε 1 εκατομμύριο ευρώ που επενδύονται σε μέτρα ενεργειακής απόδοσης (EEMs).

Επιπλέον, οι νέες θέσεις εργασίας αποτελούν θετικά θεμέλια για το μέλλον βάσει των όρων πρόσθετης οικονομικής ανάπτυξης και δημιουργίας απασχόλησης και έτσι προσφέρουν σύμφωνα με την αγορά μια πιο αποδοτική παραγωγή αγαθών και υπηρεσιών στον τομέα της αγοράς της πράσινης οικονομίας. Η δημιουργία κενών θέσεων εργασίας που οδηγεί στην καταπολέμηση της ανεργίας και θεωρείται μια θετική εξωτερική δραστηριότητα των Smart Grids. Τα έργα ενεργειακής απόδοσης συμβάλλουν στη μείωση των εξόδων ανεργίας και στην αύξηση της συνολικής ποιότητας ζωής. Για παράδειγμα, η πόλη του Τορίνο στην Ιταλία έχει εφαρμοστεί ένα

πιλοτικό έργο έξυπνου δικτύου σε μια κατοικημένη περιοχή, χρησιμοποιώντας τεχνολογίες ενεργειακής ανακαίνισης για παράδειγμα την αύξηση της ενεργειακής απόδοσης και τη μείωση των εκπομπών CO₂. Το κόστος-οφέλους που πραγματοποιήθηκε για αυτό το έργο ότι το σενάριο που έχει βιομάζα και προηγούμενα μέτρα ενεργειακής απόδοσης ήταν η πιο αποδοτική σε σχέση με την κοινωνικοοικονομική άποψη, προσφέροντας έτσι τα μεγαλύτερα οικονομικά αποτελέσματα και δημιουργώντας τεράστιο αριθμό νέων θέσεων εργασίας σχετικά με τα προηγούμενα δεδομένα.

Συνοπτικά, τα Smart Grids προσφέρουν σημαντικά οικονομικά και κοινωνικά οφέλη που οδηγούν στην βελτίωση της απόδοσης και της αξιοπιστίας των ενεργειακών συστημάτων. Με την ενσωμάτωση τεχνολογιών IoT, ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και τεχνολογιών αποθήκευσης ενέργειας, τα Smart Grids είναι το μέλλον πάνω στη διαχείριση ενέργειας στις έξυπνες πόλεις, αφού προσφέρει μια πιο αποδοτική και βιώσιμη μέθοδο παραγωγής και διανομής ενέργειας. Η ανάλυση κόστους-οφέλους αποτελεί ένα κρίσιμο εργαλείο για την αξιολόγηση των οικονομικών και κοινωνικών επιπτώσεων των Smart Grids, βοηθώντας στη λήψη ενημερωμένων προϊόντων και στην επιλογή των πιο αποδοτικών στρατηγικών παρέμβασης (Marnay et al., 2016; Becchio et al., 2016; Stright et al., 2022).

3.4. ΠΡΟΚΛΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ ΓΙΑ ΤΟ ΜΕΛΛΟΝ ΤΩΝ SMART GRIDS

Η μετάβαση στα έξυπνα δίκτυα αφορά την κάλυψη των απαιτήσεων για την ενσωμάτωση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και την αντιμετώπιση των αυξανόμενων απαιτήσεων στις αστικές περιοχές. Παρά τις πολλές δυνατότητες και τα πλεονεκτήματα των έξυπνων δικτύων, υπάρχουν και σημαντικές προκλήσεις που μπορούν να αποβούν μοιραίες και πρέπει να αντιμετωπιστούν για να μπορέσουν να αξιοποιηθούν πλήρως οι προοπτικές τους. Μια από τις κύριες προκλήσεις που αντιμετωπίζουν τα έξυπνα δίκτυα είναι η ανάγκη για εκσυγχρονισμό των υποδομών, διότι πολλές είναι οι πόλεις που έχουν

στη διάθεσή τους παλιές και απαρχαιωμένες υποδομές οι οποίες δεν έχουν τη δυνατότητα να υποστηρίξουν τις νέες τεχνολογίες. Αυτό απαιτεί μεγάλες επενδύσεις για την αναβάθμιση των συστημάτων μεταφοράς και διανομής ενέργειας.

Επιπλέον, η εγκατάσταση αισθητήρων και έξυπνων μετρητών σε μεγάλη κλίμακα μπορεί να είναι χρονοβόρα και δαπανηρή αλλά και η ασφάλεια και η προστασία από κυβερνοεπιθέσεις είναι μια άλλη σημαντική πρόκληση. Τα έξυπνα δίκτυα βασίζονται σε μεγάλο βαθμό σε ψηφιακές τεχνολογίες και δίκτυα επικοινωνιών, καθιστώντας τα ευάλωτα σε κυβερνοεπιθέσεις με αποτέλεσμα η προστασία των δεδομένων και η ασφάλεια των συστημάτων να βρίσκεται σε κρίσιμο στάδιο όσον αναφορά την αποτροπή πιθανών επιθέσεων που θα μπορούσαν να προκαλέσουν διακοπές ρεύματος ή άλλες σοβαρές επιθέσεις. Ο τομέας διαχείρισης των δεδομένων είναι επίσης μια σημαντική πρόκληση, αφού τα έξυπνα δίκτυα συμβάλουν στη παραγωγή τεράστιου όγκου δεδομένων από αισθητήρες και μετρητές όπου πρέπει να γίνεται η συλλογή, η αποθήκευσή και η ανάλυσή τους σε πραγματικό χρόνο. Η ανάπτυξη και η συντήρηση υποδομών για τη διαχείριση αυτών των δεδομένων προϋποθέτει πόρους και τεχνογνωσία.

Η ενσωμάτωση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στα έξυπνα δίκτυα παρουσιάζει επίσης προκλήσεις, επειδή οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, όπως η αιολική και η ηλιακή ενέργεια, είναι διαλείπουσες και εξαρτώνται από τις καιρικές συνθήκες, καθιστώντας με αυτό τον τρόπο δύσκολη τη διαχείριση της ζήτησης και της προσφοράς ενέργειας. Η ανάπτυξη τεχνολογιών αποθήκευσης ενέργειας είναι σημαντική έτσι ώστε να εξισορροπούνται αυτές οι διακυμάνσεις. Παρά τις διάφορες προκλήσεις, τα έξυπνα δίκτυα προσφέρουν πολλές προοπτικές για το μέλλον της ενεργειακής διαχείρισης. Ένα από τα βασικά πλεονεκτήματα είναι η βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης όπου με τη χρήση αισθητήρων και έξυπνων μετρητών, οι διαχειριστές των δικτύων μπορούν να παρακολουθούν την κατανάλωση ενέργειας σε πραγματικό χρόνο και να λαμβάνουν μέτρα για τη μείωση της σπατάλης. Τα έξυπνα δίκτυα επίσης την ενσωμάτωση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας σε μεγαλύτερη κλίμακα.

Η ικανότητα διαχείρισης της διαλείπουσας παραγωγής από ηλιακά και αιολικά συστήματα βελτιώνει την αξιοπιστία του δικτύου και μειώνει την εξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα. Η χρήση των τεχνολογιών IoT (Internet of Things) στα έξυπνα δίκτυα βελτιώνει περαιτέρω τη διαχείριση και την αποδοτικότητα των ενεργειακών συστημάτων. Οι αισθητήρες IoT παρέχουν σε πραγματικό χρόνο δεδομένα σχετικά με

την κατανάλωση και την παραγωγή ενέργειας, επιτρέποντας στους διαχειριστές των δικτύων να λαμβάνουν ενημερωμένες αποφάσεις. Τα έξυπνα δίκτυα προσφέρουν επίσης καινοτόμα επιχειρηματικά μοντέλα. Οι έξυπνοι μετρητές πρέπει να παρακολουθούν την κατανάλωση ενέργειας και να προσαρμόζουν τις συνήθειές τους για να μειώσουν το κόστος. Η προοπτική για την ανάπτυξη των έξυπνων δικτύων περιλαμβάνει επίσης τη δημιουργία έξυπνων πόλεων ζωής που βασίζονται στην τεχνολογία για τη βελτίωση της ποιότητας των κατοίκων τους.

Οι έξυπνες πόλεις χρησιμοποιούν τεχνολογίες IoT για τη διαχείριση των αστικών υποδομών και της παροχής υπηρεσιών όπως η διαχείριση της κυκλοφορίας, η βελτίωση της ενεργητικής απόδοσης και η παροχή υπηρεσιών υγείας και εκπαίδευσης. Παρά τις προκλήσεις, η προοπτική για τα έξυπνα δίκτυα είναι λαμπρή. Οι τεχνολογίες συνεχίζουν να εξελίσσονται και να βελτιώνονται, καθιστώντας τα έξυπνα δίκτυα πιο αποτελεσματικά και προσιτά. Η συνεχής επένδυση στην ανάπτυξη στην έρευνα, καθώς και η συνεργασία μεταξύ κυβερνήσεων, προϊόντων και ακαδημαϊκών ιδρυμάτων, είναι απαραίτητη για να επιτευχθούν οι στόχοι βιωσιμότητας και ενεργειακής ανεξαρτησίας.

Συμπερασματικά, τα έξυπνα δίκτυα προσφέρουν σημαντικές προοπτικές για τη βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας, την ενσωμάτωση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και τη βελτίωση της ποιότητας ζωής στις πόλεις. Η αντιμετώπιση των προκλήσεων που σχετίζονται με τον εκσυγχρονισμό των υποδομών, την ασφάλεια, τη διαχείριση των δεδομένων και την ενσωμάτωση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι κρίσιμη για την επιτυχή ανάπτυξη των έξυπνων δικτύων. Με τη σωστή στρατηγική και τις κατάλληλες επενδύσεις, τα έξυπνα δίκτυα μπορούν να διαδραματίσουν καθοριστικό ρόλο στη μετάβαση προς μια πιο βιώσιμη και αποδοτική ενεργειακή μελλοντική κατάσταση (Ahmad et al., 2022; Ruben et al., 2019; O'Dwyer et al., 2019; Alotaibi et al., 2020).

3.5. ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ

Η αλληλεπίδραση των έξυπνων δικτύων (Smart Grids) με το δίκτυο μεταφορών και τα ηλεκτρικά οχήματα (EVs) είναι μια κρίσιμη πτυχή της μετάβασης προς τις έξυπνες πόλεις. Αυτή η αλληλεπίδραση περιλαμβάνει την ανάπτυξη υποδομών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων που συνδέονται με το έξυπνο δίκτυο και επιτρέπουν τη διαχείριση της φόρτισης με τρόπο που στοχεύει στη να μεγιστοποιήσει της αποδοτικότητας και στο να ελαχιστοποιήσει τις απαιτήσεις. Η τεχνολογία Vehicle-to-Grid (V2G) και Vehicle-to-Sway (V2S) στα ηλεκτρικά οχήματα τους δίνει τη δυνατότητα να λειτουργούν ως κινητές συσκευές αποθήκευσης ενέργειας και να επιστρέφουν την ενέργεια στο δίκτυο όταν η ζήτηση είναι υψηλή και να αποθηκεύουν την ενέργεια όταν η ζήτηση είναι χαμηλή. Για παράδειγμα, στην Κοπεγχάγη, οι ιδιοκτήτες που έχουν στην κατοχή τους ηλεκτρικά οχήματα μπορούν να φορτίζουν τα οχήματα τους και να επιστρέφουν ενέργεια στο δίκτυο, βοηθώντας στη μείωση των αιχμών ζήτησης και στη βελτίωση της αξιοπιστίας του δικτύου.

Μια άλλη σημαντική εφαρμογή είναι η χρήση της αναγεννητικής ενέργειας φρένων (RBE) στα συστήματα αστικών μεταφορών, όπως το μετρό. Η RBE ανακτά την ενέργεια που παράγεται κατά το φρενάρισμα των τρένων και αποθηκεύεται για μελλοντική χρήση. Η ενσωμάτωση των EVs στα έξυπνα δίκτυα προσφέρει πολλαπλά αποτελέσματα. Πρώτη, συμβάλλει στην εξισορρόπηση της προσφοράς και της ζήτησης και στη σταθερότητα του δικτύου. Δεύτερον, οδηγεί στη μείωση της την ανάγκης για επενδύσεις σε σταθερές μονάδες αποθήκευσης ενέργειας και εφεδρικές μονάδες παραγωγής ενέργειας. Τρίτον, οι κάτοχοι των ηλεκτρικών οχημάτων έχουν ένα επιπλέον κίνητρο, καθώς μπορεί να αποκομιστεί οικονομικά από τη συμμετοχή τους στην εξισορρόπηση του δικτύου.

Η αλληλεπίδραση των έξυπνων δικτύων με τα συστήματα μεταφορών και τα ηλεκτρικά οχήματα στοχεύουν στο να αναπτυχθούν κατάλληλες πολιτικές και κανονισμοί για να έχουν μεγάλα αποτελέσματα στον τομέα της ασφάλειας και της αξιοπιστίας του δικτύου. Η προστασία των δεδομένων και η ασφάλεια των συστημάτων αποτελεί κρίσιμο παράγοντα για να αποτραπούν πιθανές επιθέσεις που θα μπορούσαν να προκαλέσουν διακοπές ρεύματος ή άλλες σοβαρές επιθέσεις. Η προοπτική για την ανάπτυξη των έξυπνων δικτύων περιλαμβάνει τη δημιουργία έξυπνων πόλεων ζωής που βασίζονται στην τεχνολογία για τη βελτίωση της ποιότητας των κατοίκων τους. Οι έξυπνες πόλεις τεχνολογίες IoT για τη διαχείριση των αστικών υποδομών και την

παροχή υπηρεσιών όπως η διαχείριση της κυκλοφορίας, η βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης και η παροχή υπηρεσιών υγείας και εκπαίδευσης.

Παρά τις προκλήσεις, όπως η ανάγκη για εκσυγχρονισμό των υποδομών, η ασφάλεια και η διαχείριση των δεδομένων, οι προοπτικές είναι εντυπωσιακές. Με τη σωστή στρατηγική και τις κατάλληλες επενδύσεις, τα έξυπνα δίκτυα μπορούν να διαδραματίσουν καθοριστικό ρόλο στη μετάβαση προς μια πιο αποδοτική και βιώσιμη μελλοντική κατάσταση, ενισχύοντας την αλληλεπίδραση μεταξύ της παραγωγής, της διανομής και της κατανάλωσης ενέργειας (Syed et al., 2022; Wided et al., 2022; Hilmani et al., 2020; Mustapha et al., 2018).

4. ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΗΣ ΣΥΜΦΟΡΗΣΗΣ ΣΤΙΣ ΕΞΥΠΝΕΣ ΠΟΛΕΙΣ

Ο τρόπος με τον οποίο διαχειρίζονται τη κυκλοφοριακή συμμόρφωση στις έξυπνες πόλεις αποτελεί έναν από τους πιο κρίσιμους τομείς για τη βελτίωση της ποιότητας ζωής και την αύξηση της αποδοτικότητας των αστικών συστημάτων. Οι τεχνολογίες έξυπνων δικτύων και η ενσωμάτωση των ηλεκτρικών οχημάτων προσφέρουν νέες δυνατότητες για την αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος. Ένα από τα βασικά συστήματα για τη διαχείριση της κυκλοφοριακής συμμόρφωσης είναι τα έξυπνα συστήματα ελέγχου της κυκλοφορίας (Intelligent Traffic Control Systems). Αυτά τα συστήματα αισθητήρων και αλγορίθμων μπορούν να παρακολουθούν τις συνθήκες κυκλοφορίας σε πραγματικό χρόνο και να προσαρμόζουν τα φανάρια ανάλογα με την κυκλοφορία. Για παράδειγμα, στην πόλη του Άμστερνταμ, ένα καινοτόμο σύστημα διαχείρισης της κυκλοφορίας δεδομένων από αισθητήρες για τη βελτίωση της ροής της κυκλοφορίας, μειώνοντας έτσι τη συμμόρφωση και τις εκπομπές CO₂.

Ένα άλλο παράδειγμα είναι το σύστημα προσαρμοστικού ελέγχου της κυκλοφορίας (Adaptive Traffic Control System - ATCS) που αναπτύχθηκε για την πόλη του Σιάτλ. Αυτό το σύστημα αφορά αλγορίθμους μηχανικής μάθησης που αναλύουν δεδομένα κυκλοφορίας και προσαρμόζουν τα φαναριών σε πραγματικό χρόνο, με αποτέλεσμα τη μείωση του χρόνου αναμονής στα φανάρια και τη βελτίωση της συνολικής ροής της κυκλοφορίας. Η ενσωμάτωση των ηλεκτρικών οχημάτων (EVs) στα έξυπνα δίκτυα είναι επίσης σημαντική για τη διαχείριση της κυκλοφορίας αφού έχουν τη δυνατότητα να λειτουργούν ως κινητές συσκευές αποθήκευσης ενέργειας, να βοηθούν στη σταθεροποίηση του δικτύου και στην εξισορρόπηση της προσφοράς και της ζήτησης ενέργειας.

Στην Κοπεγχάγη, όπως προαναφέρθηκε, οι ιδιοκτήτες EV μπορούν να φορτίζουν τα οχήματά τους και να επιστρέφουν ενέργεια στο δίκτυο κατά τις ώρες αιχμής, μειώνοντας έτσι τη συμμόρφωση και βελτιώνοντας την αξιοπιστία του δικτύου. Η τεχνολογία Vehicle-to-Grid (V2G) είναι μια άλλη καινοτόμος προσέγγιση που επιτρέπει στα ηλεκτρικά οχήματα να επιστρέφουν ενέργεια στο δίκτυο όταν δεν αναφέρεται, συμβάλλοντας στη μείωση των αιτημάτων και στη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης. Για παράδειγμα, στην πόλη της Οσάκα στην Ιαπωνία, έχει

αναπτυχθεί ένα δίκτυο V2G που επιτρέπει στους κατόχους EVs να συμβάλλουν στην εξισορρόπηση της ενεργειακής. Η χρήση αναγεννητικής επιπλέον ενέργειας φρένων (RBE) στα συστήματα αστικών μεταφορών μπορεί να συμβάλει στη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και των εκπομπών. Οι έξυπνες πόλεις επίσης κάνουν χρήση τεχνολογιών IoT για τη διαχείριση της κυκλοφορίας και την παροχή υπηρεσιών όπως η διαχείριση του σταθμού και η ενημέρωση των οδηγών σε πραγματικό χρόνο.

Στην πόλη της Βαρκελώνης, ένα προηγμένο σύστημα διαχείρισης αισθητήρων για την παρακολούθηση των θέσεων και την ενημέρωση των οδηγών μέσω εφαρμογών για κινητά τηλέφωνα, μειώνοντας έτσι τον χρόνο αναζήτησης θέσεων στάθμευσης και τη συμφόρηση στους δρόμους. Η ανάπτυξη πολυπρακτικών συστημάτων (Multi-Agent Systems - MAS) είναι επίσης μια καινοτόμος προσέγγιση για τη διαχείριση της κυκλοφορίας στις έξυπνες πόλεις. Τα MAS πολλαπλούς ανεξάρτητους πράκτορες που συνεργάζονται για την επίλυση προβλημάτων κυκλοφορίας. Για παράδειγμα, στην πόλη του Πεκίνου, ένα πολυπρακτικό σύστημα διαχείρισης της κυκλοφορίας χρησιμοποιώντας πράκτορες για την παρακολούθηση και την προσαρμογή των φαναριών σε πραγματικό χρόνο, βελτιώνοντας τη ροή της κυκλοφορίας και μειώνοντας τον χρόνο αναμονής στα φανάρια. Συνολικά, η διαχείριση της κυκλοφοριακής συμφόρησης στις έξυπνες πόλεις απαιτεί τη χρήση προηγούμενων τεχνολογιών και καινοτόμων προσεγγίσεων για την εφαρμογή των βέλτιστων αποτελεσμάτων.

4.1. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΟΧΗΜΑΤΩΝ

Η ενσωμάτωση των εφαρμογών οχημάτων στις έξυπνες πόλεις αποτελεί έναν κρίσιμο τομέα για την ποιότητα ζωής και την αύξηση της απόδοσης των αστικών συστημάτων. Η ανάπτυξη τεχνολογιών IoT και η χρήση των έξυπνων δικτύων επιτρέπουν την εφαρμογή καινοτόμων λύσεων για την αντιμετώπιση προβλημάτων κυκλοφοριακής συμφόρησης και την ενίσχυση της βιώσιμης κινητικότητας. Μία από τις πιο σημαντικές εφαρμογές είναι τα Έξυπνα Συστήματα Διαχείρισης Κυκλοφορίας (Intelligent Traffic Management Systems),

όπου οι συσκευές αισθητήρων και οι αλγόριθμοι παρακολουθούν και διαχειρίζονται την κυκλοφορία.

Στην πόλη της Βελώνης, ένα προηγμένο σύστημα διαχείρισης των εσωτερικών αισθητήρων παρακολουθεί την κυκλοφορία και προσαρμόζει τα φανάρια, έτσι μειώνεται η κυκλοφοριακή συμφόρηση και να βελτιώνεται η ροή της κυκλοφορίας. Η χρήση των ηλεκτρικών οχημάτων (EVs) στις έξυπνες πόλεις προσφέρει επίσης νέες ιδέες για την ανάπτυξη υποδομής. Στην πόλη του Λος Άντζελες, οι σταθμοί φόρτισης EVs είναι εξοπλισμένοι με τεχνολογίες IoT που παρακολουθούν την κατάσταση της φόρτισης σε πραγματικό χρόνο και την καλύτερη διαχείριση της ενέργειας. Η τεχνολογία αναγεννητικής ενέργειας φρένων (Regenerative Braking Energy - RBE) στα συστήματα μεταφορών μπορεί να συμβάλει στο να μειωθεί η κατανάλωσης ενέργειας και οι εκπομπές. Οι έξυπνες πόλεις χρησιμοποιούν επίσης τεχνολογίες IoT για τη διαχείριση του σταθμού και την παροχή υπηρεσιών όπως η ενημέρωση των οδηγών σε πραγματικό χρόνο και η διαχείριση της κυκλοφορίας.

Στο Σαν Φρανσίσκο, ένα προηγμένο σύστημα διαχείρισης αισθητήρων έχει τη δυνατότητα να παρακολουθεί τις θέσεις και να ενημερώνει τους οδηγούς μέσω εφαρμογών για κινητά τηλέφωνα, με τον χρόνο αναζήτησης θέσεων στάθμευσης και τη συμφόρηση στους δρόμους. Η χρήση πολυπρακτικών συστημάτων (Multi-Agent Systems - MAS) είναι επίσης μια καινοτόμος προσέγγιση για τη διαχείριση της κυκλοφορίας στις έξυπνες πόλεις. Η ενσωμάτωση της τεχνητής νοημοσύνης (AI) στα συστήματα διαχείρισης της κυκλοφορίας παρέχει επίσης νέες δυνατότητες για την ανάλυση δεδομένων και την πρόβλεψη κυκλοφοριακών προβλημάτων. Στο Λονδίνο, ένα σύστημα AI χρησιμοποιεί στοιχεία από κάμερες και αισθητήρες για την ανάλυση της κυκλοφορίας και την πρόβλεψη πιθανών προβλημάτων και έτσι επιτρέπει στις αρχές να λαμβάνουν έγκαιρα μέτρα για την αποτροπή της συμφόρησης. Η τεχνολογία Vehicle-to-Home (V2H) επιτρέπει στα ηλεκτρικά οχήματα να τροφοδοτούν τα σπίτια με ενέργεια, προσφέροντας έναν εναλλακτικό τρόπο αποθήκευσης και χρήσης ενέργειας. Στην Καλιφόρνια, οι ιδιοκτήτες EVs μπορούν να χρησιμοποιούν τα οχήματα τους για να τροφοδοτούν τα σπίτια τους, και με αυτό τον τρόπο αμβλύνουν το κόστος ενέργειας και βελτιώνουν την ενεργειακή αποδοτικότητα. Οι έξυπνες πόλεις επίσης αξιοποιούν τα δεδομένα από τις μεταφορές για να αναπτύξουν πολιτικές και στρατηγικές που εξελίσσουν την αποδοτικότητα και τη βιωσιμότητα των αστικών συστημάτων. Στο Παρίσι, συλλέγονται τα δεδομένα από τα συστήματα μεταφορών για

την ανάπτυξη στρατηγικών που προωθούν τη χρήση των δημοσίων συγκοινωνιών και τη μείωση της κυκλοφοριακής συμφόρησης. Συνολικά, η ενσωμάτωση των εφαρμογών μεταφοράς οχημάτων στις έξυπνες πόλεις προσφέρει σημαντικές προοπτικές για τη βελτίωση της ποιότητας και την αύξηση της απόδοσης των αστικών συστημάτων (Javed et al., 2022; Ang et al., 2018; Mohamed et al., 2020).

4.2. ΚΑΜΕΡΕΣ ΚΑΙ ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ ΓΙΑ ΟΧΗΜΑΤΑ ΜΕ ΥΨΗΛΗ ΕΚΠΟΜΠΗ ΚΑΥΣΙΜΩΝ

Οι κάμερες και οι αισθητήρες για οχήματα με υψηλή εκπομπή καυσίμων αποτελούν καθοριστικό ρόλο στη διαχείριση της κυκλοφορίας και στη μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στις έξυπνες πόλεις. Η χρήση αυτών των τεχνολογιών επιτρέπει την παρακολούθηση των εκπομπών από τα οχήματα και την εφαρμογή κατάλληλων μέτρων για τη μείωση των επιπτώσεων. Μία από τις κύριες εφαρμογές είναι η χρήση καμερών και αισθητήρων σε στρατηγικά σημεία της πόλης για την παρακολούθηση των εκπομπών από τα οχήματα. Οι αισθητήρες μπορούν να ενσωματωθούν σε σταθμούς φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων και σε άλλες υποδομές της πόλης και να συλλέγουν δεδομένα σχετικά με τις εκπομπές και τη χρήση καυσίμων. Οι κάμερες που εξυπηρετούν την καταγραφή παραβάσεων κυκλοφορίας, όπως η υπέρβαση ορίων ταχύτητας ή η μη τήρηση των κανόνων κυκλοφορίας. Ο αισθητήρας μπορεί επίσης να ανιχνεύσει επίπεδα και να προσαρμόσει τις ρυθμίσεις για τη μείωση των εκπομπών. Αυτές οι τεχνολογίες προσφέρουν σημαντικά πλεονεκτήματα στη βελτίωση της ποιότητας του αέρα και στη μείωση των αστικών εκπομπών.

Η χρήση αισθητήρων και καμερών επιτρέπει την παρακολούθηση των εκπομπών σε πραγματικό χρόνο και την εφαρμογή καταλόγου μέτρων για τον μετριασμό των επιπτώσεων. Στην πόλη του Βερολίνου, η παρακολούθηση εκπομπών συστημάτων αισθητήρων υψηλού επιπέδου προσαρμόζει τις ρυθμίσεις κυκλοφορίας για τη μείωση των εκπομπών σε περιοχές με υψηλή κυκλοφορία. Οι αισθήσεις μπορούν επίσης να

χρησιμοποιηθούν για την παρακολούθηση των εκπομπών από τα μέσα μαζικής μεταφοράς, όπως τα λεωφορεία και τα τρένα.

Συνολικά, η χρήση φωτογραφικών μηχανών και αισθητήρων για την παρακολούθηση των εκπομπών σε έξυπνες πόλεις προσφέρει σημαντικές προοπτικές για τη βελτίωση της ποιότητας του αέρα και τη μείωση των εκπομπών. Με τις σωστές στρατηγικές επενδύσεις, οι έξυπνες πόλεις μπορούν να βελτιώσουν σημαντικά την ποιότητα του αέρα, να μειώσουν τις εκπομπές και να βελτιώσουν την ποιότητα ζωής των κατοίκων. Η τεχνολογία του διαδικτύου των πραγμάτων και οι καινοτόμες προσεγγίσεις στη διαχείριση των εκπομπών παρέχουν εργαλεία και δυνατότητες για την υλοποίηση αυτών των στόχων, καθιστώντας τις πόλεις πιο βιώσιμες και αποτελεσματικές (Ramirez-Moreno et al., 2021; Tchuitcheu et al., 2020; Elassy et al., 2024).

4.3. ΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΤΗΣ ΣΤΑΘΜΕΥΣΗΣ ΣΤΑ ΜΕΓΑΛΑ ΑΣΤΙΚΑ ΚΕΝΤΡΑ

Το ζήτημα της στάθμευσης στο κέντρο μιας μεγάλης πόλης είναι από τα σημαντικότερα προβλήματα που αντιμετωπίζουν οι σύγχρονες πόλεις. Η αυξανόμενη αστικοποίηση και η εξάρτηση από τα ιδιωτικά αυτοκίνητα έχουν σημαντική αύξηση της ζήτησης για χώρους στάθμευσης που συχνά ξεπερνούν την προσφορά. Αυτό προκαλεί σοβαρά προβλήματα όπως κυκλοφοριακή συμφόρηση, αυξημένες εκπομπές, απόβλητα καυσίμων και επιβάρυνση της ποιότητας ζωής των πολιτών. Οι έξυπνες πόλεις αναζητούν λύσεις σε αυτά τα προβλήματα αξιοποιώντας τεχνολογίες αιχμής όπως αισθητήρες και κάμερες. Ένα από τα κύρια συστήματα είναι το έξυπνο σύστημα διαχείρισης στάθμευσης. Αυτά τα συστήματα αισθητήρων ανιχνεύουν την παρουσία ενός οχήματος σε χώρο στάθμευσης και παρέχουν πληροφορίες σε πραγματικό στον οδηγό σχετικά με τις διαθέσιμες θέσεις.

Οι αισθητήρες που μπορούν να τοποθετηθούν σε στρατηγικά σημεία της πόλης, όπως οι εισοδοί και οι εξοδοί αλλά και σε στάσεις, για την ανίχνευση της παρουσίας οχημάτων και την παρακολούθηση της διαθεσιμότητάς τους σε πραγματικό χρόνο. Η τεχνική καθοδήγηση και οι πληροφορίες σταθμών (ΠΠΕ) είναι επίσης σημαντικές για τη διαχείριση σταθμών οχημάτων σε έξυπνες πόλεις. Τα συστήματα αυτά παρέχουν πληροφορίες στον οδηγό σχετικά με τις διαθέσιμες τοποθεσίες σε πραγματικό χρόνο μέσω ψηφιακών εφαρμογών σήμανσης και κινητών τηλεφώνων. Η τεχνολογία crowd sourcing χρησιμοποιείται για την ανίχνευση διαθέσιμων χώρων στάθμευσης είναι μια καινοτόμος προσέγγιση που χρησιμοποιείται στην πόλη του Λονδίνου.

Ένα σύστημα crowd sourcing των υπερηχητικών αισθητήρων τοποθετείται σε ένα όχημα για να ανιχνευτούν οι διαθέσιμες θέσεις κοντά σε ένα σταθμευμένο όχημα. Η τεχνολογία φωτοηλεκτρικών αισθητήρων χρησιμοποιείται επίσης για την ανίχνευση διαθέσιμων χώρων στάθμευσης. Στη Νέα Υόρκη, αυτοί οι αισθητήρες τοποθετούνται στις εισόδους και τις εξόδους των χώρων στάθμευσης και συνδέονται με έναν κεντρικό υπολογιστή για την επεξεργασία και τη μετάδοση πληροφοριών. Αυτή η προσέγγιση παρέχει πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο σχετικά με τον αριθμό των διαθέσιμων θέσεων, αλλά και παρέχει την ακριβή τοποθεσία της κενής θέσης.

Ωστόσο, η χρήση αυτής της τεχνολογίας ήταν σημαντική για τη βελτίωση της αποτελεσματικότητας του αυτοκινήτου και τη μείωση της κυκλοφοριακής συμφόρησης. Ένα άλλο καινοτόμο παράδειγμα είναι η χρήση της τεχνολογίας όρασης για τον εντοπισμό και την παρακολούθηση τοποθεσιών. Η πόλη της Πίζας είναι εξοπλισμένη με ένα έξυπνο σύστημα κάμερας αλγορίθμων μηχανικής όρασης που ανιχνεύει τις διαθέσιμες θέσεις στάθμευσης και παρέχει πληροφορίες στους οδηγούς μέσω ψηφιακών πινακίδων και εφαρμογών κινητών τηλεφώνων. Το σύστημα αυτό έχει αποδειχθεί εξαιρετικά αποτελεσματικό στην παρακολούθηση της τοποθεσίας και στη βελτίωση της απόδοσης του χώρου.

Η χρήση drones για την παρακολούθηση τοποθεσιών είναι μια άλλη καινοτόμος προσέγγιση. Στους δρόμους του Τόκιο, τα αεροσκάφη καταγράφουν βίντεο και αναλύουν δεδομένα για την ανίχνευση διαθέσιμων χώρων στάθμευσης. Αυτή η προσέγγιση παρέχει μια ευέλικτη και αποτελεσματική λύση για την παρακολούθηση χώρων στάθμευσης σε μεγάλες περιοχές για περιοχές όπου η εγκατάσταση σταθερών αισθητήρων είναι δύσκολη ή μη πρακτική. Οι αισθητήρες μαγνητικής ανίχνευσης είναι μια άλλη τεχνολογία που χρησιμοποιείται για την παρακολούθηση των χώρων στάθμευσης. Ένα άλλο σημαντικό

παράδειγμα είναι η χρήση αισθητήρων υπερύθρων για την ανίχνευση διαθέσιμων χώρων στάθμευσης. Στην πόλη της Φρανκφούρτης, οι αισθητήρες υπερύθρων εγκαθίστανται σε δημόσιους χώρους στάθμευσης για την παροχή πληροφοριών σε πραγματικό χρόνο στους οδηγούς μέσω ψηφιακών πινακίδων και εφαρμογών κινητών τηλεφώνων. Η χρήση αυτής της τεχνολογίας συνέβαλε στη μείωση του χρόνου αναζήτησης χώρου στάθμευσης και στη βελτίωση της αποτελεσματικότητας του χώρου. Αυτές οι τεχνολογίες παρέχουν σημαντικά στοιχεία για τη διαχείριση σταθμών ηλεκτροπαραγωγής σε έξυπνες πόλεις.

Χρησιμοποιώντας αισθητήρες και κάμερες, οι πόλεις μπορούν να παρακολουθούν και να διαχειρίζονται χώρους στάθμευσης σε πραγματικό χρόνο, μειώνοντας τη συμφόρηση και τις εκπομπές. Επιπλέον, οι οδηγοί μπορούν να βρουν διαθέσιμες θέσεις πιο γρήγορα και αποτελεσματικά, βελτιώνοντας την οδική κυκλοφορία και μειώνοντας το άγχος που προκαλείται από την αναζήτηση θέσεων σταθμών οχημάτων. Η χρήση αισθητήρων πίεσης είναι μια άλλη καινοτόμος προσέγγιση για την ανίχνευση διαθέσιμων χώρων στάθμευσης. Στην πόλη της Στοκχόλμης, αισθητήρες πίεσης τοποθετούνται στο έδαφος στις εγκαταστάσεις για να ανιχνεύσουν την παρουσία οχημάτων και να παρέχουν πληροφορίες στους οδηγούς μέσω ψηφιακών πινακίδων και εφαρμογών κινητών τηλεφώνων. Η προσέγγιση αυτή έχει αποδειχθεί εξαιρετικά αποτελεσματική στην παρακολούθηση της τοποθεσίας και στη βελτίωση της αποδοτικότητας του χώρου. Η χρήση θερμικών αισθητήρων για την ανίχνευση διαθέσιμων χώρων στάθμευσης είναι επίσης μια σημαντική τεχνολογία.

Η πόλη της Βιέννης έχει εγκαταστήσει θερμικούς αισθητήρες σε δημόσιους χώρους στάθμευσης και παρέχει πληροφορίες. Αυτή η προσέγγιση βοήθησε στη μείωση του χρόνου αναζήτησης τοποθεσίας και στη βελτίωση της αποτελεσματικότητας του σταθμού. Η χρήση αισθητήρων λέιζερ για την ανίχνευση διαθέσιμων θέσεων στάσης είναι μια άλλη καινοτόμος προσέγγιση. Στην πόλη του Παρισιού, οι αισθητήρες λέιζερ εγκαθίστανται σε δημόσιους χώρους στάθμευσης για την παροχή πληροφοριών σε πραγματικό χρόνο στους οδηγούς. Αυτές οι τεχνολογίες παρέχουν σημαντικά οφέλη, χρησιμοποιώντας αισθητήρες και κάμερες, οι πόλεις που μπορούν να παρακολουθούν και να διαχειρίζονται χώρους στάθμευσης, μειώνοντας τη συμφόρηση και τις εκπομπές.

Επιπλέον, οι οδηγοί μπορούν να βρουν διαθέσιμες θέσεις στάθμευσης πιο γρήγορα και αποτελεσματικά, βελτιώνοντας την οδική κυκλοφορία και μειώνοντας το άγχος που προκαλείται από τους σταθμούς αναζήτησης. Γενικότερα, η χρήση τεχνολογιών και

αισθητήρων IoT για την παρακολούθηση και τη διαχείριση αυτοκινήτων σε έξυπνες πόλεις προσφέρει σημαντικές προοπτικές για τη βελτίωση της ποιότητας ζωής και την αποτελεσματικότητα των αστικών συστημάτων. Με τη σωστή στρατηγική και την επένδυση, οι έξυπνες πόλεις μπορούν να βελτιώσουν σημαντικά τη ροή της κυκλοφορίας, να μειώσουν τις εκπομπές και να προσφέρουν καλύτερη ποιότητα ζωής στους κατοίκους. Η τεχνολογία IoT και οι καινοτόμες προσεγγίσεις στη διαχείριση των χώρων παρέχουν εργαλεία και για την επιλογή αυτών των στόχων, καθιστώντας τις πόλεις πιο βιώσιμες και αποτελεσματικές (Said et al., 2021; Al-Turjman, & Malekloo, 2019; Jemmali et al., 2022; Alam et al., 2018).

4.4. ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ ΣΤΑΘΕΡΟΥ ΣΗΜΑΤΟΔΟΤΗ

Η αντιμετώπιση του προβλήματος των σταθερών σηματοδοτών στις έξυπνες πόλεις είναι ένας σημαντικός τομέας για τη βελτίωση των μεταφορών και της ποιότητας ζωής. Τα σταθερά φανάρια που λειτουργούν σε προκαθορισμένα χρονοδιαγράμματα συχνά αποτυγχάνουν να ανταποκριθούν στις αλλαγές στις συνθήκες κυκλοφορίας, οδηγώντας σε κυκλοφοριακή συμφόρηση και καθυστερήσεις. Οι έξυπνες πόλεις αξιοποιούν τεχνολογίες αιχμής όπως αισθητήρες, κάμερες και αλγόριθμους τεχνητής νοημοσύνης για τη βελτιστοποίηση των φαναριών και τον προγραμματισμό τους σε πραγματικό χρόνο. Ένα από τα κύρια συστήματα είναι το έξυπνο σύστημα διαχείρισης της κυκλοφορίας. Αυτά τα συστήματα αισθητήρων είναι για την ανίχνευση της κυκλοφορίας και την παροχή δεδομένων σε πραγματικό χρόνο στους κεντρικούς ελεγκτές κυκλοφορίας. Ο αλγόριθμος λαμβάνει υπόψη παραμέτρους όπως ο αριθμός των οχημάτων, η ταχύτητα κυκλοφορίας και ο χρόνος αναμονής στα φανάρια για τη βελτιστοποίηση της ροής της κυκλοφορίας και τη μείωση των καθυστερήσεων.

Η τεχνολογία αισθητήρων IoT (Internet of Things) είναι επίσης σημαντική για την αντιμετώπιση του προβλήματος του σταθερού σημειωματοδότη. Διάφοροι αισθητήρες IoT εγκαθίστανται σε φανάρια και διασταυρώσεις για την ανίχνευση της κυκλοφορίας και την

προσαρμογή των σημάτων σε πραγματικό χρόνο. Οι αισθητήρες αυτοί εισάγονται για να παρέχουν δεδομένα κυκλοφορίας, όπως ο αριθμός και η ταχύτητα των οχημάτων, για να ρυθμίζουν τα σήματα κυκλοφορίας και να βελτιώνουν τη ροή της κυκλοφορίας. Με βάση τις πληροφορίες που λαμβάνονται από το όχημα, χρησιμοποιούνται διάφορα συστήματα για την ανίχνευση των συνθηκών κυκλοφορίας και την προσαρμογή των σημάτων κυκλοφορίας. Η τεχνολογία συμβάλλει στη μείωση της κυκλοφοριακής συμφόρησης και στη βελτίωση της ροής της κυκλοφορίας. Αυτές οι τεχνολογίες προσφέρουν σημαντικά οφέλη στη διαχείριση της κυκλοφορίας στις έξυπνες πόλεις. Χρησιμοποιώντας αισθητήρες και κάμερες, οι πόλεις μπορούν να παρακολουθούν και να διαχειρίζονται τη ροή της κυκλοφορίας σε πραγματικό χρόνο, μειώνοντας τη συμφόρηση και τις καθυστερήσεις.

Επιπλέον, ο οδηγός μπορεί να γνωρίζει την κατάσταση της κυκλοφορίας και να βελτιώσει την εμπειρία αλλά και να μειώσει το άγχος που προκαλείται από την κυκλοφοριακή συμφόρηση. Ένα άλλο παράδειγμα χρήσης προηγούμενης τεχνολογίας για την αντιμετώπιση προβλημάτων σταθερού σήματος είναι η πόλη της Σαγκάης. Στη Σαγκάη, προηγμένο σύστημα διαχείρισης κυκλοφορίας με χρήση αλγορίθμων τεχνητής νοημοσύνης και αισθητήρων ανιχνεύουν την κυκλοφορία και ρυθμίζουν τα σήματα κυκλοφορίας σε πραγματικό χρόνο. Το σύστημα αυτό συνέβαλε στη βελτίωση της ροής της κυκλοφορίας και στη μείωση των καθυστερήσεων. Η χρήση τεχνολογίας drone για την παρακολούθηση της κυκλοφορίας είναι μια άλλη καινοτόμος προσέγγιση που χρησιμοποιείται σε ορισμένες έξυπνες πόλεις. Η τεχνολογία Τεχνητής Νοημοσύνης κινείται προς την ανάπτυξη αλγορίθμων βελτιστοποίησης της κυκλοφορίας. Η χρήση της τεχνολογίας αισθητήρων υπερύθρων είναι επίσης σημαντική για την αντιμετώπιση του προβλήματος των σταθερών φαναριών. Πολλοί αισθητήρες υπερύθρων εγκαθίστανται σε φανάρια και διασταυρώσεις για την ανίχνευση της κυκλοφορίας και την προσαρμογή των σημάτων σε πραγματικό χρόνο. Οι αισθητήρες αυτοί εισάγονται για να παρέχουν δεδομένα κυκλοφορίας, όπως ο αριθμός και η ταχύτητα των οχημάτων, για να ρυθμίζουν τα σήματα κυκλοφορίας και να βελτιώνουν τη ροή της κυκλοφορίας. Αυτές οι τεχνολογίες προσφέρουν σημαντικά οφέλη στη διαχείριση της κυκλοφορίας στις έξυπνες πόλεις. Χρησιμοποιώντας αισθητήρες και κάμερες, οι πόλεις μπορούν να παρακολουθούν και να διαχειρίζονται τη ροή της κυκλοφορίας σε πραγματικό χρόνο, μειώνοντας τη συμφόρηση και τις καθυστερήσεις.

Επιπλέον, ο οδηγός μπορεί να γνωρίζει την κατάσταση της κυκλοφορίας σε πραγματικό χρόνο, να βελτιώσει την εμπειρία του και την καθημερινότητά του. Συνολικά, η χρήση τεχνολογιών και αισθητήρων IoT για την παρακολούθηση και τη διαχείριση της κυκλοφορίας σε έξυπνες πόλεις παρέχει σημαντικές προοπτικές για τη βελτίωση της ποιότητας ζωής και τη βελτίωση της αποτελεσματικότητας των αστικών συστημάτων (Lee, & Chiu, 2020; Karbane et al., 2018; Hilmani et al., 2020).

5. ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΟΧΗΜΑΤΑ (EVS)

Τα ηλεκτρικά οχήματα (Evs) διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη έξυπνων πόλεων, παρέχοντας μια βιώσιμη και φιλική προς το περιβάλλον εναλλακτική λύση στις μετακινήσεις. Οι έξυπνες πόλεις δίνουν βάση στη χρήση της τεχνολογίας για τη βελτίωση της ποιότητας ζωής των πολιτών και τα ηλεκτρικά οχήματα ενσωματώνονται πλήρως σε αυτό το όραμα. Η χρήση ηλεκτρικών οχημάτων μειώνει σε μεγάλο βαθμό τις εκπομπές ρύπων και θορύβου και συμβάλλει σε ένα καθαρότερο και πιο ήσυχο αστικό περιβάλλον. Επιπλέον, τα ηλεκτρικά οχήματα ενσωματώνονται εύκολα σε έξυπνα δίκτυα κινητικότητας, όπως διασυνδεδεμένες υποδομές φόρτισης και συστήματα διαχείρισης στόλου, επιτρέποντας την αποτελεσματική διαχείριση των πόρων και την ελαχιστοποίηση του ενεργειακού κόστους.

Τα ηλεκτρικά οχήματα μπορούν επίσης να φορτιστούν σε συνδυασμό με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας όπως η ηλιακή και η αιολική ενέργεια, αυξάνοντας την αυτονομία από τα παραδοσιακά καύσιμα στις πράσινες οικονομίες και τις έξυπνες πόλεις. Η εξέλιξη των υποδομών φόρτισης σε στρατηγικά τμήματα των πόλεων διευκόλυνε την υιοθέτηση ηλεκτρικών οχημάτων από το ευρύ κοινό και κίνητρα από κυβερνήσεις και τοπικές κυβερνήσεις, όπως φορολογικές περικοπές και προνόμια στάθμευσης, περαιτέρω, η τεχνολογία ηλεκτρικών οχημάτων αναπτύσσεται συνεχώς, βελτιώνοντας την εμβέλεια, τη διάρκεια ζωής της μπαταρίας και το χρόνο φόρτισης. Αυτό καθιστά τα ηλεκτρικά οχήματα μια ελκυστική επιλογή για καθημερινά ταξίδια και μεταφορά φορτίου.

Ταυτόχρονα, η ενσωμάτωση των ηλεκτρικών οχημάτων σε συστήματα κοινής χρήσης αυτοκινήτων και μικρο-κινητικότητας, όπως τα ηλεκτρικά ποδήλατα και τα σκούτερ, συμβάλλει σημαντικά στη μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα, στη βελτίωση της ποιότητας του αέρα και στη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης στο σύνολό της για ευελιξία στις μεταφορές και πρόσβαση σε έξυπνες πόλεις. Καθώς οι πόλεις συνεχίζουν να αναπτύσσονται και να υιοθετούν έξυπνες τεχνολογίες, η χρήση ηλεκτρικών οχημάτων θα διαδραματίσει όλο και πιο κεντρικό ρόλο στη δημιουργία ενός βιώσιμου και ανθεκτικού αστικού περιβάλλοντος.

5.1. ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΑΠΟΔΟΣΗΣ

Η διαχείριση ενέργειας και απόδοσης των ηλεκτρικών οχημάτων (Evs) στις έξυπνες πόλεις είναι ένας σημαντικός τομέας για τη την αποδοτικότητα και τη βιωσιμότητα των αστικών συστημάτων. Καινοτόμες τεχνολογίες όπως αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης έξυπνων πόλεων, αισθητήρες IoT και συστήματα V2G (Vehicle-to-Grid) βελτιστοποιούν την ενεργειακή διαχείριση των ηλεκτρικών οχημάτων και βελτιώνουν την απόδοση. Μία από τις κύριες τεχνολογίες που αναφέρονται για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των ηλεκτρικών οχημάτων είναι το επαναλαμβανόμενο νευρωνικό δίκτυο (RNN). Στο Παρίσι, υπάρχει μια μελέτη που χρησιμοποίησε Rnns για να προβλέψει την κατανάλωση ενέργειας και τη διαδρομή των ηλεκτρικών οχημάτων, λαμβάνοντας υπόψη τα δεδομένα κίνησης 60 ημερών.

Ο αλγόριθμος RNN έχει αποδειχθεί ιδιαίτερα ακριβής στην πρόβλεψη, ακόμη και σε μακροπρόθεσμες διαδρομές, συμβάλλοντας στο να βελτιστοποιηθεί η κατανάλωση ενέργειας και να αποτραπεί η αποστράγγιση της μπαταρίας. Μια άλλη προσέγγιση είναι η χρήση της τεχνολογίας μακροχρόνιας βραχυπρόθεσμης μνήμης (Lstm), η οποία είναι επίσης μια μορφή αλγορίθμων μηχανικής μάθησης. Στη Βαρκελώνη, οι ερευνητές χρησιμοποίησαν το Lstm για να μοντελοποιήσουν και να μάθουν τις διαδρομές της πόλης και τις καθυστερήσεις των ηλεκτρικών οχημάτων. Εφαρμόσαμε αυτήν την πρόβλεψη σε μοντέλα έλξης και κλιματισμού για να βελτιώσουμε την ενεργειακή απόδοση και να αποτρέψουμε την αποστράγγιση της μπαταρίας Ev. Εκτός από τις προβληματικές τεχνολογίες, η χρήση του αλγορίθμου X Heuristics μπορεί επίσης να βοηθήσει στη βελτιστοποίηση της κατανάλωσης ενέργειας των έξυπνων πόλεων.

Στην πόλη Veroni, οι ερευνητές έχουν αναπτύξει έναν αλγόριθμο x-heuristic που ανιχνεύει την κυκλοφοριακή συμφόρηση, τα ατυχήματα και προτείνει τη βέλτιστη διαδρομή από την προέλευση στον προορισμό. Αυτή η προσέγγιση μας επέτρεψε να βελτιστοποιήσουμε την κατανάλωση ενέργειας των ηλεκτρικών οχημάτων, να μειώσουμε το χρόνο ταξιδιού και να βελτιώσουμε την ενεργειακή απόδοση. Η τεχνολογία Vehicle-to-Grid (V2G) είναι μια άλλη καινοτόμος προσέγγιση που επιτρέπει την επιστροφή ισχύος στο δίκτυο όταν δεν αναφέρονται EV. Στην πόλη της Οσάκα, οι ιδιοκτήτες ηλεκτρικών οχημάτων μπορούν να επιστρέψουν τη συσσωρευμένη ενέργεια πίσω στο δίκτυο, συμβάλλοντας στη σταθερότητα του δικτύου και μειώνοντας την αύξηση της ζήτησης.

Η τεχνολογία V2G θα εξισορροπήσει την προσφορά και τη ζήτηση ενέργειας και θα βελτιώσει την αποδοτικότητα του ενεργειακού συστήματος της πόλης. Η χρήση της τεχνολογίας Vehicle-to-Infrastructure (V2I) επιτρέπει την επικοινωνία μεταξύ οχημάτων

και αστικών υποδομών, όπως φανάρια και σταθμοί φόρτισης. Η πόλη του Άμστερνταμ χρησιμοποιεί το σύστημα V2I για να ανιχνεύει τις συνθήκες κυκλοφορίας με βάση τις πληροφορίες που λαμβάνονται από τα οχήματα και να ρυθμίζει τα φανάρια και τους σταθμούς φόρτισης. Η τεχνολογία έχει συμβάλει στο να μειωθεί η κυκλοφοριακή συμφόρηση, στο να βελτιωθεί η ροή της κυκλοφορίας και να βελτιστοποιηθεί η φόρτιση των ηλεκτρικών οχημάτων. Η ενεργειακή διαχείριση των ηλεκτρικών οχημάτων δεν αφορά μόνο την κατανάλωση σε κίνηση, αλλά και την αποτελεσματική φόρτιση των μπαταριών. Στις πόλεις της Σιγκαπούρης, το σύστημα σε πραγματικό χρόνο προτείνει τον πλησιέστερο σταθμό φόρτισης στο Έν με τη χαμηλότερη αναμονή, με βάση δεδομένα GPS και ιστορικές πληροφορίες φόρτισης. Το σύστημα έχει αποδειχθεί ότι μειώνει το χρόνο φόρτισης κατά 50% και βελτιώνει τη συνολική απόδοση των ηλεκτρικών οχημάτων.

Επιπλέον, η συνεταιριστική οικονομία συμβάλλει στη βελτιστοποίηση της κατανάλωσης ενέργειας των ηλεκτρικών οχημάτων. Ένα παράδειγμα είναι η κοινή χρήση αυτοκινήτων, η οποία μπορεί να μειώσει την κυκλοφοριακή συμφόρηση και την κατανάλωση ενέργειας. Σε μια μελέτη που διεξήχθη στη Βαρκελώνη, οι ερευνητές χρησιμοποίησαν τον ευρετικό αλγόριθμο X για να διαθέσουν βέλτιστα οχήματα και διαδρομές σε ένα σύστημα κοινής χρήσης οχημάτων. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το σύστημα μειώνει την κατανάλωση ενέργειας κατά 30% και βελτιώνει την αποδοτικότητα των μεταφορών. Η χρήση τεχνολογιών βαθιάς μάθησης και ανάλυσης μεγάλων δεδομένων είναι επίσης σημαντική για τη βελτίωση της διαχείρισης της ενέργειας των ηλεκτρικών οχημάτων στις έξυπνες πόλεις. Η πόλη της Φρανκφούρτης έχει αναπτύξει ένα σύστημα που χρησιμοποιεί τεχνολογία βαθιάς μάθησης για την ανάλυση μεγάλων δεδομένων και την πρόβλεψη της ζήτησης χρέωσης για ηλεκτρικά οχήματα.

Το σύστημα βελτίωσε τη διαχείριση των σταθμών φόρτισης και τη συνολική ενεργειακή απόδοση των ηλεκτρικών οχημάτων. Η τεχνολογία Blockchain μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για τη βελτίωση της ενεργειακής διαχείρισης των ηλεκτρικών οχημάτων. Σε διάφορες πόλεις, οι ερευνητές έχουν αναπτύξει ένα σύστημα που χρησιμοποιεί τεχνολογία blockchain για την παρακολούθηση και τη διαχείριση της κατανάλωσης ενέργειας των ηλεκτρικών οχημάτων. Το σύστημα παρέχει διαφάνεια ασφαλείας στις Ενεργειακές συναλλαγές μεταξύ ηλεκτρικών οχημάτων και σταθμών φόρτισης, αυξάνοντας την αποδοτικότητα και τη διαφάνεια της διαχείρισης ενέργειας.

Τέλος, η ανάπτυξη και υιοθέτηση έξυπνων δικτύων στις πόλεις μπορεί να συμπληρωθεί για τη βελτίωση της ενεργειακής διαχείρισης των ηλεκτρικών οχημάτων. Οι έξυπνοι μετρητές οδηγούν στη παροχή δεδομένων σε πραγματικό χρόνο όσο αναφορά την κατανάλωση ενέργειας, επιτρέποντας στους φορείς εκμετάλλευσης του δικτύου να λαμβάνουν τεκμηριωμένες αποφάσεις και να βελτιώνουν την αποδοτικότητα της διαχείρισης της ενέργειας. Συνολικά, η διαχείριση της ενέργειας και της αποδοτικότητας των ηλεκτρικών οχημάτων στις έξυπνες πόλεις απαιτεί τη χρήση καινοτόμων τεχνολογιών και προσεγγίσεων για την επίτευξη των καλύτερων αποτελεσμάτων. Η τεχνολογία IoT, οι αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης, οι στρατηγικές συνεργασίας και η τεχνολογία blockchain μπορούν να βοηθήσουν στη βελτιστοποίηση της κατανάλωσης ενέργειας και στη βελτίωση της αποτελεσματικότητας των ηλεκτρικών οχημάτων. Με τη σωστή στρατηγική και επένδυση, οι έξυπνες πόλεις μπορούν να βελτιώσουν σημαντικά την ενεργειακή απόδοση και τη βιωσιμότητα των συστημάτων αστικών μεταφορών, να παρέχουν καλύτερη ποιότητα ζωής στους κατοίκους και να προστατέψουν το περιβάλλον (Kumar et al., 2022; Ghorbani et al., 2023; Laroui et al., 2019; Pandiyan et al., 2023).

5.2. ΔΙΚΤΥΑ ΦΟΡΤΙΣΗΣ ΚΑΙ ΥΠΟΔΟΜΕΣ

Η εξάπλωση των ηλεκτρικών οχημάτων (EVs) και η ενσωμάτωση σε έξυπνες πόλεις απαιτεί στο να αναπτυχθούν προηγμένα δίκτυα φόρτισης και υποδομών. Η σωστή διαχείριση αυτών των υποδομών είναι απαραίτητη για τη βελτιστοποίηση της κατανάλωσης ενέργειας, τη μείωση της φόρτισης και την αύξηση της αυτονομίας των ηλεκτρικών οχημάτων. Πρώτον, τα στατικά και δυναμικά συστήματα ασύρματης φόρτισης είναι καινοτόμες λύσεις για την αντιμετώπιση των προκλήσεων. Δεδομένου ότι η στατική φόρτιση επιτρέπει στο όχημα να φορτίζεται κατά τη στάθμευση και η δυναμική ασύρματη φόρτιση επιτρέπει στο όχημα να φορτίζεται εν κινήσει, η τεχνολογία ασύρματης

μεταφοράς ισχύος (WPT) είναι ιδανική για το σκοπό αυτό, επειδή μπορεί να μειώσει το κόστος της μπαταρίας, ο χρόνος επαναφόρτισης και το βάρος του αυτοκινήτου.

Η πιο ελπιδοφόρα τεχνολογία είναι η σύζευξη μαγνητικού συντονισμού, η οποία παρέχει μεγαλύτερη μετάδοση ενέργειας, μεγαλύτερη απόσταση φόρτισης, με απόδοση που φτάνει το 96%. Σε ορισμένες ευρωπαϊκές πόλεις έχουν ξεκινήσει πιλοτικά έργα για την εγκατάσταση δυναμικών συστημάτων φόρτισης για τους οδηγούς. Αυτά τα συστήματα μαγνητικά πεδία μεταφέρουν ενέργεια από το δρόμο στο όχημα καθώς κινείται, επιτρέποντας έτσι τη συνεχή φόρτιση και μειώνοντάς την για στάσεις φόρτισης. Η εφαρμογή τέτοιων τεχνολογιών μπορεί να μειώσει σημαντικά τον χρόνο αναμονής για τη φόρτιση και να βελτιώσει την απόδοση και την αποδοτικότητα των ηλεκτρικών οχημάτων σε πραγματικές συνθήκες κυκλοφορίας.

Ταυτόχρονα, τα συστήματα διαχείρισης φόρτισης είναι απαραίτητα για την οργάνωση και τον προγραμματισμό της φόρτισης εν, ειδικά σε αστικές περιοχές υψηλής πυκνότητας. Το σύστημα αυτών των αλγορίθμων προβλέπει τις ενεργειακές απαιτήσεις των οχημάτων και τις χρεώσεις προγραμμάτων για την αποφυγή υπερφόρτωσης δικτύου και καθυστερήσεων. Επιπλέον, αναπτύσσονται ευφυή συστήματα διαχείρισης φόρτισης με χαμηλή χρέωση παρόμοια με αυτή της οικιακής, συμπεριλαμβανομένων των Τεχνολογιών Internet of Things (Iot) και fog computing.

Το σύστημα επιτρέπει στο όχημα να επικοινωνεί με την υποδομή φόρτισης και να προγραμματίζει τη φόρτιση με βάση την τρέχουσα κατάσταση του δικτύου και τη συγκεκριμένη ζήτηση. Παράλληλα με τις ασύρματες λύσεις, οι παραδοσιακές λύσεις φόρτισης καλωδίων παραμένουν απαραίτητες, ειδικά για μεγάλα ταξίδια και βαρέα οχήματα. Αυτή η υποδομή περιλαμβάνει έναν σταθμό γρήγορης φόρτισης που μπορεί να φορτίσει το αυτοκίνητό σας σε μόλις 30 λεπτά, ώστε να μπορείτε να το επαναφέρετε γρήγορα στην κυκλοφορία. Η Ιαπωνία, για παράδειγμα, έχει επενδύσει σε μεγάλο βαθμό στην εγκατάσταση σταθμών γρήγορης φόρτισης σε εθνικό επίπεδο για να μειώσει το άγχος της εμβέλειας των οδηγών εν. Αυτοί οι σταθμοί βρίσκονται σε στρατηγικές τοποθεσίες όπως αυτοκινητόδρομοι, εμπορικά κέντρα και τουριστικά αξιοθέατα. Αυτή η στρατηγική θα επιτρέψει στους οδηγούς εύκολη πρόσβαση στα σημεία φόρτισης κατά την οδήγηση, μειώνοντας τις ανησυχίες σχετικά με την αυτονομία του οχήματος.

Επιπλέον, αναπτύσσονται διάφορες τεχνολογίες οι οποίες είναι αμφίδρομες τεχνολογίες επικοινωνίας μεταξύ των ηλεκτρικών οχημάτων και των ενεργειακών

δικτύων. Αυτό επιτρέπει στο όχημα να επιστρέφει ενέργεια στο δίκτυο όταν δεν είναι απαραίτητη, συμβάλλοντας στη σταθερότητα του δικτύου και βελτιστοποιώντας έτσι τη χρήση ενέργειας. Παραδείγματα υπάρχουν σε διάφορες έξυπνες πόλεις όπου ξεκινούν διάφορα προγράμματα, στα οποία τα ηλεκτρικά οχήματα λειτουργούν ως κινητές συσκευές αποθήκευσης ενέργειας. Καθώς αυξάνεται η ζήτηση ενέργειας, τα ηλεκτρικά οχήματα μπορούν να επιστρέψουν ενέργεια στο δίκτυο, μειώνοντας την αύξηση της ζήτησης και βελτιώνοντας τη σταθερότητα του δικτύου.

Η ανάπτυξη της υποδομής χρέωσης είναι επίσης κρίσιμη για τη μετάβαση σε έξυπνες πόλεις. Αυτό περιλαμβάνει όχι μόνο την εγκατάσταση σταθμών φόρτισης σε δημόσιους χώρους όπως πάρκα, εμπορικά κέντρα και χώρους εργασίας, αλλά και την ενσωμάτωση αυτών των υποδομών στο έξυπνο ενεργειακό δίκτυο της πόλης. Ένα άλλο παράδειγμα είναι η ανάπτυξη ενός εκτεταμένου δικτύου σταθμών φόρτισης σε δημόσιους χώρους, επιτρέποντας στους κατοίκους και τους δήμους να φορτίζουν εύκολα τα οχήματα με χαμηλή χρέωση. Οι σταθμοί αυτοί συνδέονται με το έξυπνο δίκτυο της πόλης για τη βελτιστοποίηση της διαχείρισης της ενέργειας και τη μείωση των εκπομπών CO₂. Αυτή η προσέγγιση όχι μόνο διευκολύνει την πρόσβαση στη γρήγορη φόρτιση, αλλά και ενισχύει τη βιωσιμότητα της πόλης μέσω της μείωσης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Συνοπτικά, η διαχείριση του δικτύου φόρτισης και της υποδομής ηλεκτρικών οχημάτων είναι απαραίτητη για την επιτυχή υλοποίηση των έξυπνων πόλεων.

Καινοτόμες τεχνολογίες, όπως η ασύρματη φόρτιση, η διαχείριση χρεώσεων IoT και η διασύνδεση οχημάτων και υποδομών, παρέχουν τις λύσεις που απαιτούνται για την αντιμετώπιση των προκλήσεων που σχετίζονται με τη χρήση και τη χρήση ενέργειας. Παραδείγματα από διάφορες πόλεις σε όλο τον κόσμο δείχνουν πώς μπορούν να εφαρμοστούν αυτές οι τεχνολογίες για τη βελτίωση της αστικής κινητικότητας και της βιωσιμότητας. Μέσω της συνεχούς καινοτομίας και της στρατηγικής εφαρμογής αυτών των τεχνολογιών, οι πόλεις μπορούν να επιτύχουν σημαντικές βελτιώσεις στην ποιότητα ζωής των κατοίκων τους και στην περιβαλλοντική βιωσιμότητα (Marino, & Marufuzzaman, 2020; Wanger et al., 2014; Shaikh, & Mouftah, 2021).

5.3. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΚΑΙ ΠΛΟΗΓΗΣΗΣ

Τα συστήματα ελέγχου και πλοήγησης για ηλεκτρικά οχήματα σε έξυπνες πόλεις είναι απαραίτητα για τη βελτιστοποίηση της ροής της κυκλοφορίας, τη διασφάλιση της αποδοτικής χρήσης ενέργειας και τη βελτίωση της αξιοπιστίας ολόκληρου του δικτύου μεταφορών. Η ενσωμάτωση προηγμένων τεχνολογιών όπως η ανάλυση μεγάλων δεδομένων και το Διαδίκτυο Οχημάτων (IoV) συνέβαλε σημαντικά στην αποτελεσματικότητα αυτών των συστημάτων. Σε αυτήν την ανάλυση, εστιάζουμε στα μεγάλα δεδομένα και την τεχνολογία IoV για συστήματα ελέγχου και πλοήγησης EV σε έξυπνες πόλεις και χρησιμοποιούμε το controller area network ως παράδειγμα πραγματικών εφαρμογών και ερευνητικών αποτελεσμάτων ως ουσιαστικό μέρος των συστημάτων ελέγχου EV, συμπεριλαμβανομένων των ελεγκτών οχημάτων, των ελεγκτών κινητήρα και της διαχείρισης μπαταριών. Έτσι διευκολύνει την επικοινωνία μεταξύ των κύριων εξαρτημάτων του οχήματος, όπως το σύστημα, το σύστημα ελέγχου ασφαλείας και ο ελεγκτής φορτιστή.

Αυτή η δομή δικτύου επιτρέπει την ανταλλαγή δεδομένων σε πραγματικό χρόνο για τον έλεγχο του κινητήρα, της μπαταρίας και των συστημάτων πέδησης, επιτρέποντας την ασφάλεια και την απόδοση των ηλεκτρικών οχημάτων. Η αποτελεσματικότητα των προηγμένων δικτύων είναι απαραίτητη για τον ακριβή έλεγχο των διαφόρων λειτουργιών του οχήματος που είναι απαραίτητες για την ενσωμάτωση των ηλεκτρικών οχημάτων σε υποδομές έξυπνης πόλης. Τα δίκτυα μπορούν να χρησιμοποιούν ισχυρά και ανεκτικά σε σφάλματα πρωτόκολλα επικοινωνίας που είναι ιδιαίτερα σημαντικά στο πλαίσιο των ηλεκτρικών οχημάτων όπου η αξιοπιστία και η ασφάλεια είναι πρωταρχικής σημασίας. Αυτή η αρχιτεκτονική συστήματος επιτρέπει τη μεταφορά δεδομένων υψηλής ταχύτητας μεταξύ μικροελεγκτών και συσκευών εντός οχήματος, διευκολύνοντας την απρόσκοπτη λειτουργία κρίσιμων συστημάτων όπως το σύστημα μετάδοσης κίνησης, η διαχείριση μπαταριών και τα προηγμένα συστήματα υποβοήθησης οδηγού (ADAS). Ένα βασικό στοιχείο του συστήματος ελέγχου EV είναι το σύστημα διαχείρισης μπαταριών, το οποίο παρακολουθεί και διαχειρίζεται την κατάσταση της μπαταρίας. Αυτό το σύστημα μπορεί να βελτιστοποιείται με την εξισορρόπηση της μεμονωμένης χρέωσης κυττάρων και τη διαχείριση των θερμικών όρων για να αποτρέψει την υπερφόρτιση τη βαθιά απαλλαγή, και το overheating. Οι έξυπνες πόλεις, χρησιμοποιούν διάφορα συστήματα τα οποία μπορούν να ενσωματωθούν με συστήματα IoV για την παροχή δεδομένων σε πραγματικό χρόνο σχετικά με την κατάσταση της μπαταρίας, επιτρέποντας την έξυπνη συντήρηση και την

παρατεταμένη διάρκεια ζωής της μπαταρίας. Η τεχνολογία Big Data analytics ενισχύει τα συστήματα ελέγχου EV και παρέχουν πληροφορίες σχετικά με τα πρότυπα κυκλοφορίας, την απόδοση των οχημάτων και την κατανάλωση ενέργειας. Η τεχνολογία μπορεί να αναλύσει τεράστιες ποσότητες δεδομένων χρησιμοποιώντας αλγόριθμους όπως η ομαδοποίηση k-mean και η ομαδοποίηση fuzzy-mean για τη βελτιστοποίηση της ροής της κυκλοφορίας και τη μείωση της συμφόρησης. Για παράδειγμα, αλγόριθμοι χρησιμοποιούνται για την προσομοίωση δικτύων EV, παρουσιάζοντας σημαντικές βελτιώσεις στην απόδοση μετάδοσης δεδομένων δικτύου και την αποτελεσματική διαχείριση της συμφόρησης.

Τα συστήματα ελέγχου EV μπορούν να αξιοποιήσουν μεγάλα δεδομένα για να προβλέψουν και να προσαρμόσουν τις μεταβαλλόμενες καταστάσεις σε πραγματικό χρόνο. Αυτή η δυνατότητα είναι απαραίτητη στο να διαχειριστούν μεγάλοι στόλοι από ηλεκτρικά οχήματα σε αστικά περιβάλλοντα όπου η δυναμική της κυκλοφορίας είναι εξαιρετικά απρόβλεπτη. Με την ανάλυση μεγάλων δεδομένων, μπορούμε να προβλέψουμε τη ζήτηση ενέργειας και να βελτιστοποιήσουμε τα χρονοδιαγράμματα φόρτισης ώστε να ταιριάζουν με τις περιόδους παραγωγής ανανεώσιμης ενέργειας για να βοηθήσουμε στην ανάπτυξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Το Vehicle Internet (IoV) επεκτείνει τις αρχές του IoT στη μεταφορά για την ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ οχημάτων, υποδομών και ατόμων που χρησιμοποιούν ηλεκτρονικά τερματικά, έξυπνες εγκαταστάσεις, συστήματα πλοήγησης και ασύρματες επικοινωνίες. Με την τεχνολογία IoV, μπορούν να αντιληφθούν τις συνθήκες κυκλοφορίας σε πραγματικό χρόνο, να μειωθούν τα ατυχήματα και να βελτιωθεί η αποδοτικότητα των ταξιδιών. Για παράδειγμα, η ενσωμάτωση του IoV στα συστήματα πλοήγησης EV επιτρέπει δυναμικές προσαρμογές διαδρομής με βάση τα τρέχοντα δεδομένα κυκλοφορίας για τη βελτιστοποίηση του χρόνου ταξιδιού και τη μείωση της συμφόρησης. Το σύστημα IOV βελτιώνει την πλοήγηση παρέχοντας στα οχήματα ενημερώσεις σε πραγματικό χρόνο σχετικά με τις συνθήκες κυκλοφορίας, το κλείσιμο δρόμων και τους διαθέσιμους σταθμούς φόρτισης. Αυτές οι πληροφορίες επιτρέπουν στο EV να προσαρμόζει δυναμικά τη διαδρομή του για να αποφύγει τη συμφόρηση και να εξασφαλίσει έγκαιρη επαναφόρτιση.

Αλγόριθμοι βιολογικής έμπνευσης, όπως αυτοί που βασίζονται σε χημική σηματοδότηση παρόμοια με τη συμπεριφορά αναζήτησης τροφής από μυρμήγκια, έχουν προσαρμοστεί σε αστικά περιβάλλοντα για τη μείωση του χρόνου εξερεύνησης. Ο αλγόριθμος περιλαμβάνει ένα διαταραγμένο μοντέλο αλυσίδας Markov που μιμείται τη

συμπεριφορά των μυρμηγκιών, αποφεύγοντας επαναλαμβανόμενες διαδρομές και βελτιστοποιώντας τη δρομολόγηση EV τοποθετώντας αποτελεσματικά σταθμούς φόρτισης. Αυτή η μέθοδος έχει επικυρωθεί μέσω πειραμάτων με πρωτότυπα ρομπότ, αποδεικνύοντας ότι ο χρόνος που απαιτείται για την εύρεση ενός σταθμού φόρτισης μειώνεται σημαντικά σε σύγκριση με τις παραδοσιακές μεθόδους. Αυτοί οι αλγόριθμοι βιολογικής έμπνευσης είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικοί σε πολύπλοκα αστικά περιβάλλοντα όπου τα παραδοσιακά συστήματα πλοήγησης μπορεί να δυσκολεύονται. Μιμούμενοι φυσικές συμπεριφορές όπως ο τρόπος με τον οποίο τα μυρμήγκια αφήνουν ίχνη φερομονών για να βρουν τροφή, αυτοί οι αλγόριθμοι επιτρέπουν στα ηλεκτρικά οχήματα να εξερευνούν πιο αποτελεσματικά τις αστικές περιοχές. Αυτός ο αλγόριθμος προσαρμόζεται δυναμικά σε αλλαγές στο περιβάλλον, όπως νέα εμπόδια και αλλαγές στη ροή της κυκλοφορίας, έτσι ώστε τα ηλεκτρικά οχήματα να βρίσκουν πάντα την πιο αποτελεσματική διαδρομή προς τον προορισμό τους. Η ανάλυση μεγάλων δεδομένων βοηθά στην πρόβλεψη των μοτίβων κυκλοφορίας και στη βελτιστοποίηση της δρομολόγησης των οχημάτων και το σύστημα IoV επιτρέπει την ανταλλαγή δεδομένων σε πραγματικό χρόνο μεταξύ οχημάτων και υποδομής.

Η ενσωμάτωση αυτή θα διασφαλίσει την αποτελεσματική διαχείριση της αστικής κυκλοφορίας, θα ενισχύσει την ασφάλεια και θα υποστηρίξει τη δυναμική δρομολόγηση και επαναφόρτιση των ηλεκτρικών οχημάτων. Για παράδειγμα, χρησιμοποιούμε τεχνικές βαθιάς μάθησης βασισμένες σε μεγάλα δεδομένα για να προβλέψουμε τις ταχύτητες των οχημάτων και να βελτιώσουμε τη συνολική απόδοση των δικτύων EV σε έξυπνες πόλεις. Η ενσωμάτωση μεγάλων δεδομένων και IoV επιτρέπει τη δημιουργία έξυπνων δικτύων που μπορούν να προσαρμοστούν δυναμικά στις ενεργειακές απαιτήσεις των ηλεκτρικών οχημάτων.

Αναλύοντας δεδομένα από διάφορες πηγές, συμπεριλαμβανομένων των καιρικών συνθηκών, των συνθηκών κυκλοφορίας και των τάσεων κατανάλωσης ενέργειας, αυτά τα συστήματα μπορούν να βελτιστοποιήσουν τη διανομή ισχύος σε ηλεκτρικά οχήματα, να μειώσουν το μέγιστο φορτίο δικτύου και να διασφαλίσουν ότι τα ηλεκτρικά οχήματα φορτίζονται αποτελεσματικά και βιώσιμα. Το πλαίσιο CONCP χρησιμοποιεί πολύπλευρη βαθιά ενισχυμένη μάθηση (MADRL) για τη βελτιστοποίηση της πλοήγησης και της φόρτισης αυτόνομων ηλεκτρικών οχημάτων (AEVS) σε πολύπλοκα περιβάλλοντα. Το πλαίσιο εξασφαλίζει ασφαλή πλοήγηση, μειώνει την κυκλοφοριακή

συμφόρηση και μεγιστοποιεί την ενεργειακή απόδοση επιλέγοντας δυναμικά τις καλύτερες διαδρομές και σταθμούς φόρτισης.

Το μοντέλο MADRL επιτρέπει στο AEV να μάθει βέλτιστες στρατηγικές πλοήγησης και φόρτισης βασισμένες σε περιβαλλοντικά δεδομένα σε πραγματικό χρόνο, εξασφαλίζοντας αποτελεσματική λειτουργία παρουσία δυναμικών εμποδίων. Το πλαίσιο CONCP είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικό σε σενάρια όπου πολλοί AEV πρέπει να συντονίσουν τις ενέργειές τους για να αποφευχθεί η συμφόρηση και να διασφαλιστεί η αποτελεσματική χρήση της υποδομής χρέωσης.

Μαθαίνοντας από δεδομένα σε πραγματικό χρόνο, το σύστημα μπορεί να βελτιώνει συνεχώς τη στρατηγική του, να προσαρμόζεται στις νέες συνθήκες και να βελτιστοποιεί τη συνολική απόδοση του δικτύου μεταφορών. Μελέτες προσομοίωσης έχουν δείξει την αποτελεσματικότητα αυτών των συστημάτων σε διάφορα αστικά περιβάλλοντα. Για παράδειγμα, μελέτες που χρησιμοποιούν τεχνικές ανάλυσης μεγάλων δεδομένων για τη βελτίωση των δικτύων μεταφοράς ηλεκτρικών οχημάτων έχουν δείξει σημαντικές μειώσεις στις καθυστερήσεις των επιδόσεων μετάδοσης δεδομένων συστήματος και την αποτελεσματική διαχείριση της συμφόρησης.

Ομοίως, οι προσομοιώσεις δυναμικών συστημάτων τιμολόγησης και διαχείρισης της κυκλοφορίας σε πόλεις όπως το Πεκίνο έχουν μειώσει σημαντικά την κυκλοφοριακή συμφόρηση και τους χρόνους χρέωσης. Σε ένα παράδειγμα, οι ερευνητές πραγματοποίησαν πειράματα χρησιμοποιώντας πρωτότυπα ρομπότ για να επαληθεύσουν ένα μοντέλο πλοήγησης εμπνευσμένο από οργανισμούς. Αυτά τα πειράματα έδειξαν ότι ο αλγόριθμος μειώνει σημαντικά τον χρόνο που απαιτείται για την εύρεση ενός σταθμού επαναφόρτισης σε σύγκριση με τις συμβατικές μεθόδους. Η επιτυχία αυτών των προσομοιώσεων υπογραμμίζει την εφαρμογή παρόμοιων συστημάτων σε αστικά περιβάλλοντα πραγματικού κόσμου.

Στην πράξη, μπορούν να αναπτυχθούν αυτά τα συστήματα σε έξυπνες πόλεις για να γίνει πιο εύκολη η διαχείριση του στόλου AEV και να διασφαλιστεί η βέλτιστη δρομολόγηση και φόρτιση. Σε σενάρια καταστροφών, οι στόλοι AEV πλοηγούνται σε αποκλεισμένους δρόμους και δυναμικά εμπόδια για να εξασφαλίσουν αποτελεσματική μεταφορά και έγκαιρη επαναφόρτιση. Η ενσωμάτωση των τεχνολογιών VANET και IoV διευκολύνει αυτό παρέχοντας δεδομένα κυκλοφορίας σε πραγματικό χρόνο και επιτρέποντας την επικοινωνία μεταξύ οχημάτων και υποδομής. Πόλεις όπως η Σιγκαπούρη και το Λονδίνο, για παράδειγμα, έχουν εφαρμόσει προγράμματα τιμολόγησης

συμφόρησης που χρησιμοποιούν τεχνολογίες IOV και big data για την αποτελεσματική διαχείριση των ροών κυκλοφορίας.

Αυτά τα συστήματα επιβραβεύουν τους οδηγούς που ακολουθούν εναλλακτικές διαδρομές, μειώνουν τη συμφόρηση και βελτιώνουν τις συνολικές συνθήκες κυκλοφορίας. Με την ενσωμάτωση αυτών των τεχνολογιών, οι έξυπνες πόλεις μπορούν να δημιουργήσουν πιο αποτελεσματικά και βιώσιμα δίκτυα μεταφορών. Τα συστήματα ελέγχου και πλοήγησης ηλεκτρικών οχημάτων σε έξυπνες πόλεις είναι απαραίτητα για τη διαχείριση της πολυπλοκότητας των δικτύων αστικών μεταφορών. Τα συστήματα αυτά αξιοποιούν προηγμένες τεχνολογίες όπως δίκτυα can, IoV, big data και αλγόριθμους εμπνευσμένους από βιολογικά προϊόντα για να εξασφαλίσουν η αποτελεσματική, η ασφαλή και η βιώσιμη οδήγηση ηλεκτρικών οχημάτων. Η ενσωμάτωση της δυναμικής διαχείρισης της κυκλοφορίας και ενός συνεργατικού πλαισίου πλοήγησης θα ενισχύσει περαιτέρω τις δυνατότητες της υποδομής έξυπνων πόλεων για την παροχή ευελιξίας για μελλοντικές προκλήσεις.

Εν κατακλείδι, η επιτυχής ενσωμάτωση των συστημάτων ελέγχου και πλοήγησης σε μια έξυπνη πόλη εξαρτάται από τη συνεργασία προηγμένων τεχνολογιών και καινοτόμων αλγορίθμων. Με τη συνεχή εξέλιξη και προσαρμογή αυτών των συστημάτων, οι έξυπνες πόλεις μπορούν να ανταποκριθούν στις απαιτήσεις των σύγχρονων αστικών συγκοινωνιών και να ανοίξουν το δρόμο για ένα πιο συνδεδεμένο και αποτελεσματικό μέλλον (Raja et al., 2023; Aung et al., 2021; Garcia et al., 2017; Lv et al., 2021).

5.4. ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΑ ΚΑΙ ΚΟΙΝΩΝΙΚΑ ΟΦΕΛΗ ΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΣΕ ΕΞΥΠΝΕΣ ΠΟΛΕΙΣ

Τα ηλεκτρικά οχήματα (EVs) προσφέρουν σημαντικά περιβαλλοντικά και κοινωνικά οφέλη στις έξυπνες πόλεις. Αντικαθιστώντας τα συμβατικά οχήματα με ηλεκτρικά, μειώνονται σημαντικά οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, όπως το CO₂, καθώς και οι ρύποι όπως το NO_x, τα PM_{2.5}, τα NMVOC και το SO₂. Αυτές οι εκπομπές συμβάλλουν στη ρύπανση του αέρα, η οποία είναι ιδιαίτερα προβληματική στις αστικές περιοχές όπου τα επίπεδα ρύπανσης είναι συνήθως υψηλότερα λόγω της υψηλής πυκνότητας κυκλοφορίας και των βιομηχανικών δραστηριοτήτων. Η μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης έχει άμεσο θετικό αντίκτυπο στη δημόσια υγεία, καθώς μειώνεται η επίπτωση των αναπνευστικών και καρδιαγγειακών παθήσεων. Επιπλέον, τα χαμηλότερα επίπεδα ρύπανσης συμβάλλουν στον μετριασμό της κλιματικής αλλαγής, καθώς μειώνουν τη συσσώρευση θερμοκηπικών αερίων στην ατμόσφαιρα, ευθυγραμμίζόμενα με τον Στόχο Βιώσιμης Ανάπτυξης. Τα κοινωνικά οφέλη των ηλεκτρικών οχημάτων στις έξυπνες πόλεις είναι εξίσου σημαντικά. Η βελτίωση της ποιότητας του αέρα ενισχύει τη συνολική ποιότητα ζωής των κατοίκων, καθώς ο καθαρότερος αέρας σημαίνει λιγότερα προβλήματα υγείας και καλύτερη ευεξία.

Μειώνοντας το βάρος των δαπανών υγείας τόσο για τους ιδιώτες όσο και για τα δημόσια συστήματα υγείας, η μείωση των ρύπων που σχετίζονται με τα ηλεκτρικά οχήματα οδηγεί σε λιγότερες εισαγωγές στα νοσοκομεία και χαμηλότερες δαπάνες για ιατρική περίθαλψη. Αυτό απελευθερώνει δημόσιους πόρους που μπορούν να επενδυθούν εκ νέου σε άλλες κοινοτικές υπηρεσίες, όπως η εκπαίδευση και η κοινωνική φροντίδα. Αυτή η βελτίωση της δημόσιας υγείας συμβάλλει στην επίτευξη του στόχου βιώσιμης ανάπτυξης, βελτιώνοντας την ποιότητα ζωής και μειώνοντας τις ανισότητες στην πρόσβαση στην υγειονομική περίθαλψη. Από οικονομική άποψη, η ευρεία υιοθέτηση των ηλεκτρικών οχημάτων μπορεί να οδηγήσει σε σημαντικές εξοικονομήσεις κόστους.

Καθώς οι δημόσιες δαπάνες για την υγεία που σχετίζονται με τη ρύπανση μειώνονται, αυτές οι εξοικονομήσεις μπορούν να ανακατευθυνθούν προς την παροχή κινήτρων για την αγορά περισσότερων ηλεκτρικών οχημάτων. Αυτό δημιουργεί έναν αυτοενισχυόμενο κύκλο όπου η αυξημένη υιοθέτηση των ηλεκτρικών οχημάτων οδηγεί σε περαιτέρω περιβαλλοντικά και υγειονομικά οφέλη, τα οποία με τη σειρά τους παρέχουν περισσότερα οικονομικά κίνητρα για τη συνεχιζόμενη υιοθέτηση. Για παράδειγμα, σε περιοχές όπως το Πιεμόντε της Ιταλίας, ένα τέτοιο στρατηγικό μοντέλο έχει δείξει σημαντικά οφέλη σε μια

περίοδο 12 ετών, καταδεικνύοντας την οικονομική βιωσιμότητα της μετάβασης σε ηλεκτρικά οχήματα. Το μοντέλο αυτό επιτυγχάνει τη μείωση του κόστους μετακίνησης, ενώ παράλληλα ενισχύει την οικονομική δραστηριότητα στον τομέα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Συγκεκριμένα παραδείγματα δείχνουν αυτά τα οφέλη σε πραγματικές συνθήκες. Στη όπου, εκτεταμένα κυβερνητικά κίνητρα έχουν οδηγήσει τα ηλεκτρικά οχήματα να αποτελούν σχεδόν το ήμισυ των νέων πωλήσεων αυτοκινήτων, μειώνοντας σημαντικά την αστική ρύπανση και δημιουργώντας ένα πρότυπο για άλλες πόλεις παγκοσμίως.

Οι πρωτοβουλίες περιλαμβάνουν φορολογικές απαλλαγές, δωρεάν στάθμευση και πρόσβαση σε λωρίδες λεωφορείων, ενθαρρύνοντας έτσι περισσότερους πολίτες να επιλέξουν ηλεκτρικά οχήματα. Ένα άλλο παράδειγμα είναι η πόλη Σεντσέν, η οποία έχει αντικαταστήσει ολόκληρο τον στόλο λεωφορείων της με ηλεκτρικά λεωφορεία, με αποτέλεσμα τη σημαντική μείωση των αστικών εκπομπών και της ηχορύπανσης, βελτιώνοντας έτσι τις συνθήκες διαβίωσης για εκατομμύρια κατοίκους. Η μείωση της ηχορύπανσης είναι ιδιαίτερα σημαντική σε πυκνοκατοικημένες περιοχές, καθώς βελτιώνει την ποιότητα ζωής και μειώνει το άγχος των κατοίκων. Ένα παράδειγμα επιτυχούς ενσωμάτωσης των ηλεκτρικών οχημάτων στις έξυπνες πόλεις είναι αυτές που έχουν εγκαταστήσει δημόσια σημεία φόρτισης που να καλύπτουν όλο το εύρος της πόλης, εξασφαλίζοντας έτσι την εύκολη πρόσβαση σε σταθμούς φόρτισης για τους ιδιοκτήτες ηλεκτρικών οχημάτων. Αυτή η υποδομή διευκολύνει την καθημερινή χρήση των ηλεκτρικών οχημάτων και ενθαρρύνει τους πολίτες να υιοθετήσουν αυτήν την τεχνολογία.

Επιπλέον, η Σαν Ντιέγκο έχει αναπτύξει μια ισχυρή υποδομή φόρτισης, ενσωματώνοντας ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και έξυπνα δίκτυα για βέλτιστη διαχείριση της ενέργειας. Αυτή η προσέγγιση όχι μόνο μειώνει τις εκπομπές αλλά και βελτιώνει την αξιοπιστία του ενεργειακού συστήματος, δημιουργώντας μια πιο βιώσιμη αστική υποδομή. Επίσης, η Γιοκοχάμα έχει αναπτύξει μια ολοκληρωμένη υποδομή φόρτισης και έχει ενσωματώσει ηλεκτρικά λεωφορεία στο δίκτυο δημόσιων συγκοινωνιών της, βελτιώνοντας την ποιότητα του αέρα και μειώνοντας το θόρυβο. Η πρωτοβουλία αυτή αποτελεί μέρος ενός ευρύτερου σχεδίου για τη μείωση της εξάρτησης από τα ορυκτά καύσιμα και την προώθηση της χρήσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Συγκεκριμένα παραδείγματα επιτυχούς ενσωμάτωσης των ηλεκτρικών οχημάτων περιλαμβάνουν τις πόλεις της βόρειας Ευρώπης, οι οποίες έχουν εφαρμόσει ένα δίκτυο ηλεκτρικών λεωφορείων και σταθμών φόρτισης που συνδυάζονται με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Αυτή η στρατηγική όχι μόνο μειώνει τις εκπομπές αλλά και προωθεί τη χρήση καθαρής ενέργειας. Στο Αμβούργο, έχει αναπτυχθεί ένα σύστημα ενοικίασης ηλεκτρικών ποδηλάτων που συνδυάζεται με έξυπνες εφαρμογές κινητών για τη βέλτιστη χρήση των διαδρομών και τη μείωση της κυκλοφοριακής συμφόρησης. Οι χρήστες μπορούν να βρουν και να νοικιάσουν ποδήλατα μέσω των εφαρμογών, διευκολύνοντας έτσι την καθημερινή μετακίνηση χωρίς αυτοκίνητο.

Σε σύγχρονες πόλεις της Αμερικής, τα EVs χρησιμοποιούνται για να βοηθούν στην εξισορρόπηση της ζήτησης και προσφοράς στο δίκτυο ενέργειας, επιτρέποντας την καλύτερη ενσωμάτωση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Αυτά τα παραδείγματα δείχνουν ότι η ενσωμάτωση των ηλεκτρικών οχημάτων στις έξυπνες πόλεις δεν είναι μόνο επωφελής αλλά και απαραίτητη για την επίτευξη βιώσιμης αστικής ανάπτυξης. Οι περιβαλλοντικές και κοινωνικές επιπτώσεις της ενσωμάτωσης των ηλεκτρικών οχημάτων είναι προφανείς και απαραίτητες για τη βελτίωση της ποιότητας ζωής στις πόλεις και την προώθηση της βιώσιμης ανάπτυξης (Pautasso et al., 2019; Apata et al., 2023; Anthony, 2021).

6. ΣΥΝΟΨΗ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η παρούσα εργασία επικεντρώνεται στο Διαδίκτυο των πραγμάτων (Iot), τα έξυπνα δίκτυα, τη διαχείριση της κυκλοφορίας και τα ηλεκτρικά οχήματα (EV) για να διερευνήσει διεξοδικά τις τεχνολογίες που συμβάλλουν στη δημιουργία και λειτουργία έξυπνων πόλεων. Η ανάλυση στοχεύει στην ανάδειξη των προκλήσεων που προκύπτουν από την εφαρμογή της τεχνολογίας στις σύγχρονες αστικές περιοχές. Πρώτον, εξετάσαμε τον ορισμό και τη σημασία των έξυπνων πόλεων, εστιάζοντας σε βασικά χαρακτηριστικά που είναι απαραίτητα για τη σύγχρονη αστική ζωή. Οι έξυπνες πόλεις διαθέτουν προηγμένες τεχνολογίες πληροφοριών και Επικοινωνιών (ΤΠΕ) για τη βελτίωση των αστικών υπηρεσιών και υποδομών, τη βελτίωση της ποιότητας ζωής των κατοίκων και την προώθηση της βιολογικής ανάπτυξης. Οι έξυπνες πόλεις ενσωματώνουν τεχνολογίες όπως το Διαδίκτυο των πραγμάτων (IoT), τα έξυπνα δίκτυα, τα συστήματα διαχείρισης της κυκλοφορίας και τα ηλεκτρικά οχήματα (EV) για να δημιουργήσουν ένα συνδεδεμένο και λειτουργικό περιβάλλον όπου οι πληροφορίες και οι υπηρεσίες είναι προσβάσιμες και αλληλένδετες.

Στη συνέχεια, εστίασαμε στη σημασία του Διαδικτύου των πραγμάτων (IoT) για τις έξυπνες πόλεις. Το IoT επιτρέπει τη συνδεσιμότητα και την αλληλεπίδραση μεταξύ διαφορετικών συσκευών και αισθητήρων για τη συλλογή και ανάλυση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο. Αυτή η ικανότητα θα βελτιώσει τη διαχείριση των πόρων και την παροχή υπηρεσιών, καθιστώντας τις πόλεις πιο αποτελεσματικές και βιώσιμες. Το έγγραφο αναλύει την εφαρμογή του Διαδικτύου των πραγμάτων σε πολλούς τομείς, συμπεριλαμβανομένης της έξυπνης ανάπτυξης κτιρίων, της παρακολούθησης και πρόβλεψης πυρκαγιάς, της παρακολούθησης της ποιότητας του αέρα σε περιοχές υψηλής κυκλοφορίας, των έξυπνων γεωργικών πρακτικών και της διαχείρισης των υδάτων. Αυτές οι εφαρμογές καταδεικνύουν την πολυδιάστατη χρήση του IoT σε έξυπνες πόλεις και τα πολλαπλάσια που μπορούν να παρέχουν.

Επικεντρώνεται επίσης στα έξυπνα δίκτυα, τα οποία είναι απαραίτητα για την ενεργειακή απόδοση και τη βιώσιμη ανάπτυξη στις πόλεις. Τα έξυπνα δίκτυα παρέχουν αποτελεσματική διαχείριση ενέργειας, μειώνουν τις απώλειες και προωθούν τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Η ανάλυση περιλαμβάνει διαχείριση ενέργειας, εκτίμηση οικολογικού οφέλους, ανάλυση κόστους-οφέλους και μελλοντικές προκλήσεις και προοπτικές για έξυπνα δίκτυα.

Τα έξυπνα δίκτυα συμβάλλουν στη δημιουργία πόλεων που είναι ενεργειακά αποδοτικές και περιβαλλοντικά βιώσιμες. Η διαχείριση της κυκλοφορίας είναι ένας άλλος σημαντικός τομέας που εξετάζεται σε αυτό το έγγραφο. Η ανάλυση περιλαμβάνει επίσης την αντιμετώπιση εφαρμογών μεταφοράς οχημάτων, κάμερες και αισθητήρες για οχήματα με υψηλές εκπομπές καυσίμων, προβλήματα διακοπής σε μεγάλα κέντρα πόλεων και προβλήματα σταθερού σήματος.

Αυτές οι τεχνολογικές λύσεις μπορούν να συμβάλουν στη βελτίωση της ροής της κυκλοφορίας, στη μείωση των καθυστερήσεων και της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και στη δημιουργία ενός πιο βιώσιμου αστικού περιβάλλοντος. Τα ηλεκτρικά οχήματα αποτελούν επίσης σημαντικό συστατικό στοιχείο της αστικής βιωσιμότητας. Η εργασία επικεντρώνεται στη διαχείριση ενέργειας και την απόδοση των ηλεκτρικών οχημάτων, των δικτύων φόρτισης και των υποδομών, των συστημάτων ελέγχου και πλοήγησης, καθώς και στο περιβάλλον και την κοινωνία των ηλεκτρικών οχημάτων στις έξυπνες πόλεις.

Η υιοθέτηση ηλεκτρικών οχημάτων μπορεί να μειώσει τις εκπομπές, να προωθήσει τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και να αυξήσει την αστική βιωσιμότητα. Συμπερασματικά, κατέδειξε τη σημασία της υιοθέτησης καινοτόμων τεχνολογιών για την αντιμετώπιση των προκλήσεων των σύγχρονων αστικών περιβαλλόντων. Οι έξυπνες πόλεις παρέχουν μια ολοκληρωμένη προσέγγιση που συνδυάζει την τεχνολογική καινοτομία και τη βιώσιμη διαχείριση των πόρων για τη βελτίωση της ποιότητας ζωής των κατοίκων και την προώθηση της οικονομικής και Κοινωνικής Ανάπτυξης. Όσο αντιμετωπίζονται οι προκλήσεις της διαλειτουργικότητας, της ασφάλειας των δεδομένων και της βιώσιμης ανάπτυξης, οι μελλοντικές προοπτικές για τις έξυπνες πόλεις είναι φωτεινές. Η συνεχής έρευνα και καινοτομία σε αυτόν τον τομέα είναι απαραίτητη για τη δημιουργία ενός ανθεκτικού και βιώσιμου αστικού περιβάλλοντος που μπορεί να ανταποκριθεί στις μελλοντικές οδηγίες.

Η έρευνα αυτή έχει ως στόχο να συμβάλει στην προώθηση της γνώσης και της καινοτομίας στον τομέα των έξυπνων πόλεων παρέχοντας πολύτιμες γνώσεις και κατεύθυνση για την περαιτέρω ανάπτυξη και βελτίωση των έξυπνων πόλεων. Με τη μελέτη της γενικής βιβλιογραφίας και τη διεξαγωγή συγκριτικής ανάλυσης, στοχεύει να παρέχει μια ολοκληρωμένη επισκόπηση της τεχνολογίας και των δυνατοτήτων της και να συμβάλει στη δημιουργία φιλικών προς το περιβάλλον, κοινωνικά δίκαιων και οικονομικά βιώσιμων πόλεων. Το έγγραφο αναγνωρίζει επίσης τη σημασία της κοινωνικής αποδοχής και της συμμετοχής των πολιτών στην επιτυχία των έξυπνων πόλεων. Η ενσωμάτωση των

πολιτών στη διαδικασία λήψης αποφάσεων και η ενθάρρυνση της ενεργού συμμετοχής μπορούν να αυξήσουν την αποτελεσματικότητα και τη βιωσιμότητα των τεχνολογικών λύσεων που εφαρμόζονται. Μέσω προγραμμάτων Διαφωτισμού και εκπαίδευσης, οι πολίτες μπορούν να ενημερώνονται για τα οφέλη και τις δυνατότητες των έξυπνων τεχνολογιών και να συμμετέχουν ενεργά στη διαμόρφωση αστικών περιβαλλόντων. Η συνεργασία μεταξύ του δημόσιου και του ιδιωτικού τομέα, καθώς και η μεγαλύτερη διαφάνεια και εμπιστοσύνη στις νέες τεχνολογίες, είναι καθοριστικής σημασίας για την επιτυχία των έξυπνων πόλεων. Τέλος, εξετάζει τις πολιτικές και ρυθμιστικές προσεγγίσεις που απαιτούνται για την υποστήριξη της ανάπτυξης των έξυπνων πόλεων και υπογραμμίζει την ανάγκη για ευέλικτες και προσαρμοστικές στρατηγικές για την αντιμετώπιση μελλοντικών προκλήσεων.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ahmad, T., Madonski, R., Zhang, D., Huang, C., & Mujeeb, A. (2022). Data-driven probabilistic machine learning in sustainable smart energy/smart energy systems: Key developments, challenges, and future research opportunities in the context of smart grid paradigm. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 160, 112128.

Alam, M., Moroni, D., Pieri, G., Tampucci, M., Gomes, M., Fonseca, J., ... & Leone, G. R. (2018). Real-time smart parking systems integration in distributed its for smart cities. *Journal of Advanced transportation*, 2018(1), 1485652.

Alotaibi, I., Abido, M. A., Khalid, M., & Savkin, A. V. (2020). A comprehensive review of recent advances in smart grids: A sustainable future with renewable energy resources. *Energies*, 13(23), 6269.

Al-Turjman, F., & Malekloo, A. (2019). Smart parking in IoT-enabled cities: A survey. *Sustainable Cities and Society*, 49, 101608.

Ananthi, J., Sengottaiyan, N., Anbukaruppusamy, S., Upreti, K., & Dubey, A. K. (2022). Forest fire prediction using IoT and deep learning. *International Journal of Advanced Technology and Engineering Exploration*, 9(87), 246-256.

Ang, L. M., Seng, K. P., Ijamaru, G. K., & Zungeru, A. M. (2018). Deployment of IoV for smart cities: Applications, architecture, and challenges. *IEEE access*, 7, 6473-6492.

Anthony Jnr, B. (2021). Integrating electric vehicles to achieve sustainable energy as a service business model in smart cities. *Frontiers in sustainable cities*, 3, 685716.

Apata, O., Bokoro, P. N., & Sharma, G. (2023). The risks and challenges of electric vehicle integration into smart cities. *Energies*, 16(14), 5274.

Aung, N., Zhang, W., Sultan, K., Dhelim, S., & Ai, Y. (2021). Dynamic traffic congestion pricing and electric vehicle charging management system for the internet of vehicles in smart cities. *Digital Communications and Networks*, 7(4), 492-504.

Badii, C., Bilotta, S., Cenni, D., Difino, A., Nesi, P., Paoli, I., & Paolucci, M. (2020). High density real-time air quality derived services from IoT networks. *Sensors*, 20(18), 5435.

Bashir, M. R., & Gill, A. Q. (2017, September). IoT enabled smart buildings: A systematic review. In *2017 Intelligent Systems Conference (IntelliSys)* (pp. 151-159). IEEE.

Becchio, C., Bottero, M., Corgnati, S. P., & Dell'Anna, F. (2016). Cost benefit analysis and smart grids projects. *Proceedings of Sustainable Built Environment: Towards Post-Carbon Cities*, 278-287.

Brad, B. S., & Murar, M. M. (2014). Smart buildings using IoT technologies. *Stroitel'stvo Unikal'nyh Zdanij i Sooruzenij*, (5), 15.

Daniel, S., & Doran, M. A. (2013, June). geoSmartCity: geomatics contribution to the smart city. In *Proceedings of the 14th annual international conference on digital government research* (pp. 65-71).

Dyson, J., Mancini, A., Frontoni, E., & Zingaretti, P. (2019). Deep learning for soil and crop segmentation from remotely sensed data. *Remote Sensing*, 11(16), 1859.

De Paz, J. F., Bajo, J., Rodríguez, S., Villarrubia, G., & Corchado, J. M. (2016). Intelligent system for lighting control in smart cities. *Information Sciences*, 372, 241-255.

Elassy, M., Al-Hattab, M., Takruri, M., & Badawi, S. (2024). Intelligent transportation systems for sustainable smart cities. *Transportation Engineering*, 100252.

Farmanbar, M., Parham, K., Arild, Ø., & Rong, C. (2019). A widespread review of smart grids towards smart cities. *Energies*, 12(23), 4484.

Figueiredo, I., Esteves, P., & Cabrita, P. (2021). Water wise—a digital water solution for smart cities and water management entities. *Procedia computer science*, 181, 897-904.

Gade, D. S. (2021). Reinventing smart water management system through ICT and IoT driven solution for smart cities. *International Journal of Applied Engineering and Management Letters (IJAEML)*, 5(2), 132-151.

Ghorbani, E., Fluechter, T., Calvet, L., Ammouriova, M., Panadero, J., & Juan, A. A. (2023). Optimizing energy consumption in smart cities' mobility: Electric vehicles, algorithms, and collaborative economy. *Energies*, 16(3), 1268.

Hilmani, A., Maizate, A., & Hassouni, L. (2020). Automated real-time intelligent traffic control system for smart cities using wireless sensor networks. *Wireless Communications and mobile computing*, 2020(1), 8841893.

Imran, Iqbal, N., Ahmad, S., & Kim, D. H. (2021). Towards mountain fire safety using fire spread predictive analytics and mountain fire containment in iot environment. *Sustainability*, 13(5), 2461.

Javed, A. R., Shahzad, F., ur Rehman, S., Zikria, Y. B., Razzak, I., Jalil, Z., & Xu, G. (2022). Future smart cities: Requirements, emerging technologies, applications, challenges, and future aspects. *Cities*, 129, 103794.

Jemmali, M., Melhim, L. K. B., Alharbi, M. T., Bajahzar, A., & Omri, M. N. (2022). Smart-parking management algorithms in smart city. *Scientific Reports*, 12(1), 6533.

Jia, M., Komeily, A., Wang, Y., & Srinivasan, R. S. (2019). Adopting Internet of Things for the development of smart buildings: A review of enabling technologies and applications. *Automation in Construction*, 101, 111-126.

Kabrane, M., Krit, S. D., & El Maimouni, L. (2018). Smart Cities: Study and Comparison of Traffic Light Optimization in Modern Urban Areas Using Artificial Intelligence. *Int. J. Adv. Res. Comput. Sci. Softw. Eng*, 8(2), 10-18.

Khadar, M., Ranjith, V., & Varalakshmi, K. (2021). Iot Integrated Forest Fire Detection and Prediction using NodeMCU. *Int. J. of Electronics Engineering and Applications*, 9(1), 28-35.

Khalil, M. I., Jhanjhi, N. Z., Humayun, M., Sivanesan, S., Masud, M., & Hossain, M. S. (2021). Hybrid smart grid with sustainable energy efficient resources for smart cities. *sustainable energy technologies and assessments*, 46, 101211.

Kumar, P., Nikolovski, S., Ali, I., Thomas, M. S., & Ahuja, H. (2022). Impact of Electric Vehicles on Energy Efficiency with Energy Boosters in Coordination for Sustainable Energy in Smart Cities. *Processes*, 10(8), 1593.

Lamnatou, C., Chemisana, D., & Cristofari, C. (2022). Smart grids and smart technologies in relation to photovoltaics, storage systems, buildings and the environment. *Renewable Energy*, 185, 1376-1391.

Laroui, M., Dridi, A., Afifi, H., Moun gla, H., Marot, M., & Cherif, M. A. (2019, June). Energy management for electric vehicles in smart cities: a deep learning approach. In *2019 15th International Wireless Communications & Mobile Computing Conference (IWCMC)* (pp. 2080-2085). IEEE.

Lee, W. H., & Chiu, C. Y. (2020). Design and implementation of a smart traffic signal control system for smart city applications. *Sensors*, 20(2), 508.

Ly, Z., Qiao, L., Cai, K., & Wang, Q. (2020). Big data analysis technology for electric vehicle networks in smart cities. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 22(3), 1807-1816.

Mancini, A., Dyson, J., Frontoni, E., & Zingaretti, P. (2017). Soil and Crop/Tree Segmentation from Remotely Sensed Data by Using Digital Surface Models.

Marino, C. A., & Marufuzzaman, M. (2020). Unsupervised learning for deploying smart charging public infrastructure for electric vehicles in sprawling cities. *Journal of cleaner production*, 266, 121926.

Martín García, R., Prieto-Castrillo, F., Villarrubia González, G., Prieto Tejedor, J., & Corchado, J. M. (2017). Stochastic navigation in smart cities. *Energies*, 10(7), 929.

Marnay, C., Liu, L., Yu, J., Zhang, D., Mauzy, J., Shaffer, B., ... & Zhu, L. (2016). Benefits Analysis of Smart Grid Projects.

Martín-Baos, J. Á., Rodríguez-Benitez, L., García-Ródenas, R., & Liu, J. (2022). IoT based monitoring of air quality and traffic using regression analysis. *Applied Soft Computing*, 115, 108282.

Moghaddam, A. A., & Seifi, A. R. (2011). A comprehensive study on future smart grids: definitions, strategies and recommendations. *Journal of North Carolina Academy of Science*, 127(1), 28-34.

Mohamed, N., Al-Jaroodi, J., Jawhar, I., Idries, A., & Mohammed, F. (2020). Unmanned aerial vehicles applications in future smart cities. *Technological forecasting and social change*, 153, 119293.

Moretti, M., Djomo, S. N., Azadi, H., May, K., De Vos, K., Van Passel, S., & Witters, N. (2017). A systematic review of environmental and economic impacts of smart grids. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 68, 888-898.

Nadler, A. (2005). Methodologies and the practical aspects of the bulk soil EC (σ_a)—soil solution EC (σ_w) relations. *Advances in agronomy*, 88, 273-312.

O'Dwyer, E., Pan, I., Acha, S., & Shah, N. (2019). Smart energy systems for sustainable smart cities: Current developments, trends and future directions. *Applied energy*, 237, 581-597.

Pandiyar, P., Saravanan, S., Usha, K., Kannadasan, R., Alsharif, M. H., & Kim, M. K. (2023). Technological advancements toward smart energy management in smart cities. *Energy Reports*, 10, 648-677.

Pautasso, E., Osella, M., & Caroleo, B. (2019). Addressing the sustainability issue in smart cities: a comprehensive model for evaluating the impacts of electric vehicle diffusion. *Systems*, 7(2), 29.

Pramangioulis, D., Atsonios, K., Nikolopoulos, N., Rakopoulos, D., Grammelis, P., & Kakaras, E. (2019). A methodology for determination and definition of key performance indicators for smart grids development in island energy systems. *Energies*, 12(2), 242.

Raja, G., Saravanan, G., Prathiba, S. B., Akhtar, Z., Khowaja, S. A., & Dev, K. (2023). Smart navigation and energy management framework for autonomous electric vehicles in complex environments. *IEEE Internet of Things Journal*.

Ramírez-Moreno, M. A., Keshtkar, S., Padilla-Reyes, D. A., Ramos-López, E., García-Martínez, M., Hernández-Luna, M. C., ... & Lozoya-Santos, J. D. J. (2021). Sensors for sustainable smart cities: A review. *Applied Sciences*, 11(17), 8198.

Said, A. M., Kamal, A. E., & Afifi, H. (2021). An intelligent parking sharing system for green and smart cities based IoT. *Computer Communications*, 172, 10-18.

Sánchez-Corcuera, R., Nuñez-Marcos, A., Sesma-Solance, J., Bilbao-Jayo, A., Mulero, R., Zulaika, U., ... & Almeida, A. (2019). Smart cities survey: Technologies, application domains and challenges for the cities of the future. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 15(6), 1550147719853984.

Shaikh, P. W., & Mouftah, H. T. (2021, May). Intelligent charging infrastructure design for connected and autonomous electric vehicles in smart cities. In 2021 IFIP/IEEE International Symposium on Integrated Network Management (IM) (pp. 992-997). IEEE.

Silva, B. N., Khan, M., & Han, K. (2018). Towards sustainable smart cities: A review of trends, architectures, components, and open challenges in smart cities. *Sustainable cities and society*, 38, 697-713.

Singh, M., & Ahmed, S. (2021). IoT based smart water management systems: A systematic review. *Materials Today: Proceedings*, 46, 5211-5218.

Song, C., Ma, W., Li, J., Qi, B., & Liu, B. (2022). Development trends in precision agriculture and its management in china based on data visualization. *Agronomy*, 12(11), 2905.

Stright, J., Cheetham, P., & Konstantinou, C. (2022). Defensive cost–benefit analysis of smart grid digital functionalities. *International Journal of Critical Infrastructure Protection*, 36, 100489.

Syed, A. S., Sierra-Sosa, D., Kumar, A., & Elmaghraby, A. (2022). Making cities smarter—optimization problems for the iot enabled smart city development: A mapping of applications, objectives, constraints. *Sensors*, 22(12), 4380.

Tapashetti, A., Vegiraju, D., & Ogunfunmi, T. (2016, October). IoT-enabled air quality monitoring device: A low cost smart health solution. In 2016 IEEE Global Humanitarian Technology Conference (GHTC) (pp. 682-685). IEEE.

Tchuitcheu, W. C., Bobda, C., & Pantho, M. J. H. (2020). Internet of smart-cameras for traffic lights optimization in smart cities. *Internet of Things*, 11, 100207.

Wagner, S., Brandt, T., & Neumann, D. (2014). Smart city planning-developing an urban charging infrastructure for electric vehicles.

Wided, A., Assia, B., & Fatima, B. (2023). Traffic Management system and Traffic Light Control in Smart City to Reduce Traffic Congestion. *International Journal of Automation and Smart Technology*, 13(1), 2464-2464.

Yin, C., Xiong, Z., Chen, H., Wang, J., Cooper, D., & David, B. (2015). A literature survey on smart cities. *Science China. Information Sciences*, 58(10), 1-18.

Zanella, A., Bui, N., Castellani, A., Vangelista, L., & Zorzi, M. (2014). Internet of things for smart cities. *IEEE Internet of Things journal*, 1(1), 22-32.