



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**  
**ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**  
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ ΚΑΙ ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ ΥΠΟΔΟΜΗΣ  
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΗΣ ΤΕΧΝΙΚΗΣ

## **ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**Αξιολόγηση Μη Επανδρωμένων Συσκευών Καταγραφής  
Εικόνας στη Συλλογή Κινηματικών Χαρακτηριστικών Πεζών**



**Μαρία Ε. Καλαϊτζή**

**Επιβλέπουσα: Ελένη Ι. Βλαχογιάννη, Επίκουρη Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.**

**Αθήνα, Μάρτιος 2016**

## Ευχαριστίες

Ευχαριστώ θερμά την κ. Ελένη Βλαχογιάννη, Επίκουρη Καθηγήτρια της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών Ε.Μ.Π., τόσο για την επιλογή του θέματος όσο και για την πολύτιμη καθοδήγησή της και την πολύ δημιουργική συνεργασία κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας.

Παράλληλα, ευχαριστώ τα υπόλοιπα μέλη της εξεταστικής επιτροπής: κ. Ιωάννη Γκόλια, Καθηγητή της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών Ε.Μ.Π. και τον κ. Γιώργο Γιαννή, Καθηγητή της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών Ε.Μ.Π. για τις εποικοδομητικές παρατηρήσεις τους.

Εξίσου θερμά ευχαριστώ τον κ. Εμμανουήλ Μπαρμπουνάκη, Υποψήφιο Διδάκτορα Πολιτικό Μηχανικό Ε.Μ.Π. για την πολύτιμη βοήθεια του κατά τη διαδικασία διεξαγωγής του πειράματος και συλλογής των δεδομένων από το Μη Επανδρωμένο Αεροσκάφος, καθώς και για τις συμβουλές και τις υποδείξεις του πάνω σε σημαντικά ζητήματα της Διπλωματικής Εργασίας και ιδιαίτερα κατά το στάδιο της μεθοδολογικής προσέγγισης σε θέματα που αφορούν στη λειτουργία του Μη Επανδρωμένου Αεροσκάφους και στην επεξεργασία του βιντεοσκοπημένου υλικού που εξάγεται από αυτό.

Τέλος, ευχαριστώ την οικογένεια μου και τους φίλους μου για την ανεκτίμητη υποστήριξη τους καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών, αλλά και της ζωής μου.

Μαρία Ε. Καλαϊτζή

# Αξιολόγηση Μη Επανδρωμένων Συσκευών Καταγραφής Εικόνας Στη Συλλογή Κινηματικών Χαρακτηριστικών Πεζών

---

Μαρία Ε. Καλαϊτζή

Επιβλέπουσα: Ελένη Ι. Βλαχογιάννη, Επίκουρη Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

## Σύνοψη

Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για την καταγραφή κυκλοφοριακών μεγεθών των πεζών πρέπει να εξάγουν ακριβή αποτελέσματα που να προσομοιάζουν όσο το δυνατόν καλύτερα την ανθρώπινη κίνηση. Στόχος της Διπλωματικής εργασίας είναι η διερεύνηση της βέλτιστης πηγής καταγραφής της κίνησης των πεζών, εφαρμόζοντας τη μέθοδο της βιντεοσκόπησης με τη χρήση Μη Επανδρωμένου Αεροσκάφους (UAV) και σταθερής κάμερας. Η λήψη των δεδομένων της έρευνας γίνεται από πραγματικές μετρήσεις που καταγράφονται από τα δύο μέσα βιντεοσκόπησης. Τα δεδομένα που συλλέγονται εξετάζονται με τη χρήση στατιστικών ελέγχων, οι οποίοι διερευνούν τη συσχέτιση των δύο μέσων καταγραφής. Προκύπτει ότι οι ταχύτητες που εξάγονται από το UAV ανταποκρίνονται καλύτερα στις ταχύτητες που υπολογίσθηκαν με χειροκίνητη μέτρηση, οι οποίες προσεγγίζουν την πραγματική ταχύτητα διαδρομής των πεζών. Ακόμα, τα δεδομένα των δύο μέσων καταγραφής παρουσιάζουν στατιστικά σημαντική απόκλιση. Συνεπώς, το UAV καταγράφει ακριβέστερα τα κινηματικά χαρακτηριστικά των πεζών από ότι η σταθερή κάμερα, γεγονός που οφείλεται στη διαφορά των τεχνικών χαρακτηριστικών λειτουργίας τους, η οποία επηρεάζει σημαντικά τη διαδικασία επεξεργασίας και την ακρίβεια των δεδομένων.

**Λέξεις κλειδιά:** τροχιές πεζών, UAV, Ταχύτητα διαδρομής, Στατιστικοί έλεγχοι, Συσχέτιση δεδομένων

# Evaluation of Unmanned Aerial Vehicles for Extracting Kinematic Characteristics from Video Recordings

---

Maria E. Kalaitzi

Supervisor: Eleni I. Vlachogianni, Assistant Professor NTUA

## Abstract

The methods being used for recording kinematic characteristics of pedestrians must extract accurate results that simulate to the greatest extent human movement. The present Diploma Thesis aims to investigate the optimal means of recording pedestrian movement using the method of video recording provided by an Unmanned Aerial Vehicle (UAV) and a fixed location camera. The extracted data are examined using statistical hypothesis tests, which indicate the statistical relationship of the two means of recording. The results show that the speed measurements extracted from the UAV are in par with those measured manually, which approximate real pedestrian speed. Furthermore, statistical analysis indicates that the data of the two recording devices show statistically significant difference. Consequently, the UAV can track more accurately the kinematic characteristics of pedestrians compared to the fixed camera. This is probably due to the differences between their technical characteristics of function, a difference which significantly affects data processing and data accuracy.

**Keywords:** Pedestrian trajectories, UAV, Mean Speed, Statistical analysis, Data correlation

# Περίληψη

---

Η αναλυτική καταγραφή κυκλοφοριακών μεγεθών σε ένα οδικό δίκτυο ή μία περιοχή, αποτελεί έναν από τους βασικότερους παράγοντες στις έρευνες της κυκλοφοριακής ροής για την κατανόηση των πολύπλοκων κυκλοφοριακών φαινομένων και της συμπεριφοράς του χρήστη, με σκοπό τη διασφάλιση της ομαλής ροής και της ασφάλειας.

Αντικείμενο της παρούσας Διπλωματικής εργασίας αποτελεί η διερεύνηση της βέλτιστης πηγής καταγραφής των κινηματικών χαρακτηριστικών των πεζών, εφαρμόζοντας τη μέθοδο της βιντεοσκόπησης με τη χρήση του Μη Επανδρωμένου Αεροσκάφους (UAV) και της σταθερής κάμερας.

Η συλλογή των δεδομένων πραγματοποιείται από τη μαγνητοσκόπηση μιας συγκεκριμένης περιοχής μελέτης, όπου τα δύο μέσα καταγράφουν τους ίδιους πεζούς, ώστε να είναι δυνατή η σύγκριση και αξιολόγηση των εξαγόμενων δεδομένων. Συνολικά καταγράφονται 178 τροχιές πεζών από το UAV και 178 από τη σταθερή κάμερα, ενώ για κάθε έναν πεζό υπολογίζεται με χειροκίνητη μέτρηση η μέση ταχύτητα διαδρομής του.

Προκειμένου να επιτευχθεί η καταγραφή των κυκλοφοριακών μεγεθών, πραγματοποιείται κατάλληλη επεξεργασία του βιντεοσκοπημένου υλικού που προέκυψε από το UAV και τη σταθερή κάμερα, τα βήματα της οποίας είναι η σταθεροποίηση των πλάνων του UAV, η διόρθωση της διαστρεβλωμένης προοπτικής, που οφείλεται σε μικρή γωνία λήψης και σε παραμορφώσεις που προκαλεί η χρήση ευρυγώνιου φακού και τέλος, η βαθμονόμηση των διαστάσεων της εικόνας ώστε να προσεγγίζουν τις πραγματικές.

Τα μεγέθη που μελετώνται, ώστε να προκύψουν τα βασικά αποτελέσματα της συσχέτισης των μέσων καταγραφής είναι η μέση ταχύτητα διαδρομής των πεζών με χειροκίνητη μέτρηση και οι μέσες ταχύτητες διαδρομής, όπως προέκυψαν από το UAV και τη σταθερή κάμερα.

Η στατιστική επεξεργασία των δεδομένων επιτυγχάνεται με την προσομοίωση τους σε μαθηματικά μοντέλα και με την εφαρμογή στατιστικών ελέγχων, οι οποίοι αναδεικνύουν τη συσχέτιση των δεδομένων που εξάχθηκαν από τα δύο μέσα καταγραφής, συγκρίνοντας τις μέσες ταχύτητες διαδρομής τους, καθώς και κάθε μία από αυτές με τις ταχύτητες που προέκυψαν από τη χειροκίνητη μέτρηση, οι οποίες προσεγγίζουν τις μέσες πραγματικές τιμές και υπολογίστηκαν προκειμένου να δημιουργηθεί μια βάση σύγκρισης για τα εξαγόμενα μεγέθη του UAV και της σταθερής κάμερας.

Με την ανάλυση των αποτελεσμάτων προκύπτει το βασικό συμπέρασμα πως το Μη Επανδρωμένο Αεροσκάφος εξάγει ορθότερα και ακριβέστερα αποτελέσματα σε σχέση με αυτά της σταθερής κάμερας, γεγονός το οποίο οφείλεται σε πολλαπλούς παράγοντες.

Αρχικά, σημαντικό ρόλο για τη διάρθρωση των αποτελεσμάτων έχει η υψομετρική διαφορά των δύο μέσων, καθώς το UAV καταγράφει σε απόσταση 20 μέτρων από την περιοχή μελέτης, ενώ η κάμερα σε απόσταση 8 μέτρων και όσο μεγαλύτερο είναι το υψόμετρο του μέσου καταγραφής τόσο μεγαλύτερη είναι και η επιφάνεια βιντεοσκόπησης.

Βασικός παράγοντας είναι επίσης η γωνία λήψης των βιντεοσκοπημένων δειγμάτων, καθώς, στο παρόν πείραμα, δεν υπήρχε η δυνατότητα τοποθέτησης της σταθερής κάμερας σε θέση όπου να είναι δυνατή η κατακόρυφη μαγνητοσκόπηση, με αποτέλεσμα να προκύπτει μικρή γωνία λήψης σε σχέση με το UAV, όπου η γωνία λήψης είναι σχεδόν 180° και η βιντεοσκόπηση κατακόρυφη. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα το UAV να δίνει τη δυνατότητα καλύτερης απεικόνισης της περιοχή μελέτης και να μην υπάρχουν προβλήματα προοπτικής κατά τη διάρκεια επεξεργασίας της βάσης δεδομένων.

Τα παραπάνω έχουν σημαντική επιρροή στην αποτελεσματικότερη προσαρμογή των πραγματικών διαστάσεων σε αυτές του βίντεο, παράγοντας ιδιαίτερα σημαντικός για την εξαγωγή ορθών δεδομένων καθώς στα βιντεοσκοπημένα δείγματα του UAV οι διαστάσεις βρίσκονται πολύ πιο κοντά στις πραγματικές από ότι αυτές της κάμερας. Η σωστή απόδοση των διαστάσεων αποτελεί κυρίαρχο παράγοντα για τη διαμόρφωση σωστών αποτελεσμάτων καθώς η ταχύτητα υπολογίζεται συναρτήσει της διανυόμενης απόστασης και του χρόνου διαδρομής και σε περίπτωση που η απόσταση είναι εσφαλμένη, το σφάλμα αυτό μεταδίδεται και στην ταχύτητα. Αυτό συμβαίνει και στα βίντεο της σταθερής κάμερας όπου εξαιτίας της μεγάλης απόκλισης της διαγωνίου από την πραγματική τιμή της, έχει ως αποτέλεσμα η κατακόρυφη διάσταση κίνησης των πεζών να εμφανίζεται διπλάσια από ότι θα έπρεπε και γι' αυτό το λόγο οι μέσες ταχύτητες διαδρομής έχουν αρκετή απόκλιση τόσο από τις πραγματικές όσο και από αυτές του UAV. Εξαιτίας αυτής της απόκλισης, η διαφορά των μέσων ταχυτήτων διαδρομής της κάμερας με τις πραγματικές ταχύτητες και με αυτές του UAV παρουσιάζονται ως στατιστικά σημαντικές. Επιπλέον, το μεγάλο υψόμετρο βιντεοσκόπησης και η μεγάλη γωνία λήψης επηρεάζουν το κατά πόσο η διαδικασία καταγραφής των τροχιών θα γίνει ευκολότερη για το μελετητή και ακριβέστερη. Συγκεκριμένα, στα δείγματα του UAV η διαδικασία αυτή πραγματοποιήθηκε αυτόματα, γίνοντας καταγραφή του ίδιου ακριβώς σημείου σε κάθε καρτέ, αντίθετα με τα δείγματα της κάμερας, όπου στην αυτόματη διαδικασία καταγραφόταν αρκετές φορές εσφαλμένο σημείο με αποτέλεσμα την αναγκαστική καταγραφή χειροκίνητα, στην οποία εγκυμονείται κίνδυνος επιλογής αποκλίνοντος σημείου από το προβλεπόμενο, οδηγώντας σε διαστρεβλωμένα αποτελέσματα.

Παρά τις διαφορές στις τιμές των ταχυτήτων των δειγμάτων του Μη Επανδρωμένου Αεροσκάφους και της σταθερής κάμερας, δεν ισχύει το ίδιο και για τις τυπικές αποκλίσεις. Παρόλο που μεμονωμένα εμφανίζουν διαφορά στις τιμές τους, εφαρμόζοντας τον έλεγχο υποθέσεων για τις διακυμάνσεις των δειγμάτων προκύπτει πως τόσο στη σύγκριση της διακύμανσης των ταχυτήτων της κάμερας σε σχέση με αυτή του UAV όσο και σε σχέση με τη διακύμανση που εμφανίζουν οι πραγματικές ταχύτητες διαδρομής, η διαφορά τους δεν είναι στατιστικά σημαντική. Επίσης το γεγονός πως η διακύμανση στο δείγμα του Μη Επανδρωμένου Αεροσκάφους είναι σχεδόν ίση με αυτή των πραγματικών ταχυτήτων είναι

αναμενόμενο από τη στιγμή που και οι τιμές τους είναι παρόμοιες και δεν παρουσιάζουν στατιστικά σημαντικές διαφορές.

Με βάση όσα αναφέρθηκαν, προκύπτει πως το UAV αποτελεί καταλληλότερο μέσο καταγραφής κυκλοφοριακών μεγεθών από ότι η σταθερή κάμερα, τα πλεονεκτήματα του οποίου σε σχέση με άλλα διαθέσιμα συστήματα είναι κυρίως, η μαγνητοσκόπηση μεγαλύτερης περιοχής και η αντιμετώπιση περιορισμών, όπως η μετακίνηση του σε οποιαδήποτε περιοχή για την επιλογή της βέλτιστης θέσης και η δυνατότητα αποφυγής σημείων που εμποδίζουν την ολοκληρωμένη καταγραφή του εκάστοτε αντικειμένου. Παρόλα αυτά, παρουσιάζουν ελαττώματα ως προς την αντοχή της μπαταρίας που διαθέτουν και κατά συνέπεια έχουν περιορισμένο χρόνο πτήσης περίπου στα 15 λεπτά καθώς επίσης η πτήση τους εξαρτάται από τις εκάστοτε καιρικές συνθήκες, από τη στιγμή που δεν είναι δυνατή η πτήση τους σε περίπτωση βροχής και δυνατού ανέμου, τομείς στους οποίους η σταθερή κάμερα υπερτερεί.

Με την καλύτερη ανάπτυξη προκειμένου να ξεπεραστούν τα παραπάνω εμπόδια, το Μη Επανδρωμένο Αεροσκάφος μπορεί να προσφέρει πολλά στον τομέα Μεταφορών και Συγκοινωνιακής Υποδομής, δίνοντας τη δυνατότητα για εξελιγμένες έρευνες και μελέτες κυκλοφοριακών μεγεθών και διαχείρισης της κυκλοφορίας, με σκοπό την ασφάλεια και την αποτελεσματικότητα.

# Περιεχόμενα

---

Σύνοψη.....	ii
Abstract .....	iii
Περίληψη .....	iv
Περιεχόμενα.....	vii
Κεφάλαιο 1.....	1
1.1 Γενικά .....	1
1.2 Σκοπός Διπλωματικής εργασίας .....	3
1.3 Διάρθρωση Διπλωματικής εργασίας.....	3
Κεφάλαιο 2.....	5
2.1 Μέθοδοι συλλογής κυκλοφοριακών μεγεθών πεζών .....	5
2.2 Μηχανική όραση στην Καταγραφή Κυκλοφορίας.....	8
2.3 Συλλογή Δεδομένων με Μη Επανδρωμένα Αεροσκάφη .....	9
2.4 Συμπεράσματα βιβλιογραφίας.....	14
Κεφάλαιο 3.....	16
3.1 Λήψη Δεδομένων .....	16
3.2 Εξαγωγή δεδομένων από το βίντεο.....	21
3.3 Επεξεργασία βάσης δεδομένων .....	26
3.4 Εφαρμογή Στατιστικών Ελέγχων .....	28
Κεφάλαιο 4.....	31
4.1 Εισαγωγή.....	31
4.2 Περιοχή Μελέτης.....	31
4.3 Προκαταρκτική Επεξεργασία Βίντεο .....	32
4.4 Περιγραφική ανάλυση δεδομένων .....	39
4.5 Προσαρμογή Στατιστικών κατανομών.....	44
4.6 Συγκριτική αξιολόγηση UAV και σταθερής κάμερας .....	52
4.7 Εφαρμογή Παραμετρικού ελέγχου.....	54
4.8 Έλεγχος υποθέσεων για τη διακυμάνση της ταχύτητας .....	57
4.9 Σύνοψη αποτελεσμάτων .....	58
Κεφάλαιο 5.....	62
5.1 Εισαγωγή.....	62



5.2 Μεθοδολογία .....	63
5.3 Βασικά Συμπεράσματα.....	64
5.4 Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα .....	65
Βιβλιογραφία .....	67
Παράρτημα Ι.....	71

# Ευρετήριο Εικόνων

---

Εικόνα 1: Βασικοί τομείς εφαρμογής της Μηχανικής Όρασης.....	8
Εικόνα 2: Διεξαγωγή πειράματος με UAV στον αυτοκινητόδρομο Lane Ave. (αριστερά), στη διασταύρωση Kenny Rd και Lane Ave. (δεξιά), (πηγή: Coifman et al. 2004).....	12
Εικόνα 3: Διεξαγωγή πειράματος με UAV σε πολύπλοκο οδικό δίκτυο (αριστερά) και σε χώρο στάθμευσης (δεξιά), (πηγή: Coifman et al. 2004).....	12
Εικόνα 4: Περιοχή μελέτης: λήψη από UAV.....	17
Εικόνα 5: Περιοχή μελέτης: λήψη από σταθερή κάμερα.....	17
Εικόνα 6: Σταθερή κάμερα-Τρίποδο.....	18
Εικόνα 7: UAV έτοιμο για απογείωση (αριστερά), πτήση UAV (δεξιά).....	18
Εικόνα 8: Ειδικός εξολισμός UAV.....	19
Εικόνα 9: Περιοχή μελέτης-Εικόνα από UAV.....	32
Εικόνα 10: Αρχή των αξόνων στην περιοχή μελέτης.....	33
Εικόνα 11: Η περιοχή μελέτης πριν (αριστερά) και μετά (δεξιά) την εφαρμογή του φίλτρου διόρθωσης προοπτικής.....	34
Εικόνα 12: Βαθμονόμηση της περιοχής μελέτης.....	35
Εικόνα 13: Καταγραφή τροχιών πεζών.....	37
Εικόνα 14: Καταγραφή της τροχιάς σε πίνακα και διάγραμμα.....	37

# Ευρετήριο Διαγραμμάτων

---

Διάγραμμα 1: Αυτόματη συλλογή μικροσκοπικών δεδομένων των πεζών (πηγή: Teknomo et al., 2001).....	2
Διάγραμμα 2: Σύστημα καταγραφής κυκλοφοριακών μεγεθών (πηγή: Teknomo et al., 2001) .....	2
Διάγραμμα 3: $X(t)$ -Ταύτιση με γραμμική εξίσωση      Διάγραμμα 4: $Y(t)$ -Ταύτιση με κυβική εξίσωση .....	38
Διάγραμμα 5: Διάγραμμα $v(t)$ .....	39
Διάγραμμα 6: Ιστόγραμμα Μέσης Ταχύτητας Διαδρομής Πεζών από χειροκίνητη μέτρηση, UAV και σταθερή κάμερα.....	42
Διάγραμμα 7: Διάγραμμα διασποράς Ταχύτητας Διαδρομής UAV-Χρόνος Διαδρομής.....	43
Διάγραμμα 8: Διάγραμμα Διασποράς Μέσης Ταχύτητας Διαδρομής Κάμερας-Χρόνος Διαδρομής.....	43
Διάγραμμα 9: Συνάρτηση Πυκνότητας Πιθανότητας της Γενικευμένης Λογιστικής κατανομής για την Ταχύτητα Διαδρομής .....	45
Διάγραμμα 10: Συνάρτηση Πυκνότητας Πιθανότητας της Γενικευμένης Λογιστικής κατανομής για τη Μέση Ταχύτητα διαδρομής Drone .....	46
Διάγραμμα 11: Συνάρτηση Πυκνότητας Πιθανότητας Γενικευμένης Λογιστικής κατανομής για τη Μέση Ταχύτητα Διαδρομής κάμερας .....	46
Διάγραμμα 12: Αθροιστική Συνάρτηση Κατανομής Γενικευμένης Λογιστικής κατανομής για την Ταχύτητα Διαδρομής .....	47
Διάγραμμα 13: Αθροιστική Συνάρτηση Κατανομής Γενικευμένης Λογιστικής κατανομής για τη Μέση Ταχύτητα Διαδρομής UAV .....	47
Διάγραμμα 14: Αθροιστική Συνάρτηση Κατανομής Γενικευμένης Λογιστικής κατανομής της Μέσης Ταχύτητας Διαδρομής κάμερας .....	48
Διάγραμμα 15: Διάγραμμα Ταχύτητας-Χρόνου UAV (αριστερά) και σταθερής κάμερας (δεξιά) για τον πεζό 12 .....	60
Διάγραμμα 16: Διάγραμμα Ταχύτητας-Χρόνου UAV (αριστερά) και σταθερής κάμερας (δεξιά) για τον πεζό 15 .....	60

# Ευρετήριο Πινάκων

---

Πίνακας 1: Σύγκριση τεχνικών χαρακτηριστικών UAV-Σταθερής κάμερας .....	21
Πίνακας 2: Προϋποθέσεις χρήσης Παραμετρικού ελέγχου για την ανάλυση μη κανονικών δεδομένων (πηγή: Frost, 2015) .....	30
Πίνακας 3: Περιγραφικά Μεγέθη Μέσης Ταχύτητας Διαδρομής Πεζών από χειροκίνητη μέτρηση, UAV και σταθερή κάμερα .....	40
Πίνακας 4: Τεστ υπόθεσης για την κατανομή στο δείγμα Μέσης Ταχύτητας Διαδρομής από χειροκίνητη μέτρηση .....	49
Πίνακας 5: Τεστ υπόθεσης για την κατανομή στο δείγμα Μέσης Ταχύτητας Διαδρομής UAV .....	49
Πίνακας 6: Τεστ υπόθεσης για την κατανομή στο δείγμα Μέσης Ταχύτητας Διαδρομής σταθερής κάμερας .....	49
Πίνακας 7: Παράμετροι κατανομής για τις Μέσες Ταχύτητες Διαδρομής από χειροκίνητη μέτρηση.....	50
Πίνακας 8: Παράμετροι κατανομής για τις Μέσες Ταχύτητες Διαδρομής UAV .....	50
Πίνακας 9: Παράμετροι κατανομής για τις Μέσες Ταχύτητες Διαδρομής σταθερής κάμερας .....	50
Πίνακας 10: Αποτελέσματα Μη Παραμετρικού Ελέγχου .....	53
Πίνακας 11: Αποτελέσματα Μη Παραμετρικού Ελέγχου .....	53
Πίνακας 12: Αποτελέσματα Μη Παραμετρικού Ελέγχου .....	54
Πίνακας 13: Έλεγχος Καλής Προσαρμογής για τις Μέσες Ταχύτητες Διαδρομής από χειροκίνητη μέτρηση.....	54
Πίνακας 14: Έλεγχος Καλής Προσαρμογής για τις Μέσες Ταχύτητες Διαδρομής UAV .....	55
Πίνακας 15: Έλεγχος Καλής Προσαρμογής για τις Μέσες Ταχύτητες Διαδρομής σταθερής κάμερας.....	55
Πίνακας 16: Αποτελέσματα Παραμετρικού ελέγχου Welch two sample t test .....	55
Πίνακας 17: Αποτελέσματα Παραμετρικού ελέγχου Welch two sample t test .....	56
Πίνακας 18: Αποτελέσματα Παραμετρικού ελέγχου Welch two sample t test .....	56
Πίνακας 19: Αποτελέσματα Ελέγχου Διακυμάνσεων .....	57
Πίνακας 20: Αποτελέσματα Ελέγχου Διακυμάνσεων .....	57
Πίνακας 21: Αποτελέσματα Ελέγχου Διακυμάνσεων .....	57
Πίνακας 22: Στατιστικά χαρακτηριστικά των ταχυτήτων ανάλογα με το μέσο καταγραφής .	59

# Κεφάλαιο 1

---

## Εισαγωγή

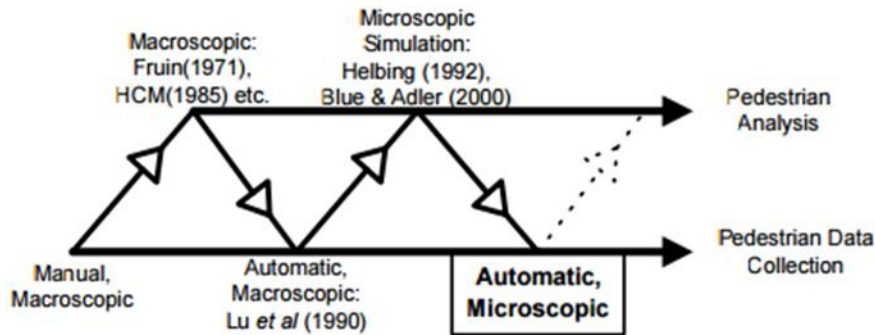
### 1.1 Γενικά

Οι νέοι τρόποι ανάπτυξης και σχεδιασμού του οδικού δικτύου των αστικών περιοχών δίνουν ιδιαίτερη έμφαση στη δημιουργία βιώσιμων μεθόδων μεταφοράς και ειδικά στην ασφαλή κίνηση των πεζών. Συνεπώς, η ολοκληρωμένη κατανόηση της συμπεριφοράς των πεζών αποτελεί ζήτημα μεγάλης σημασίας, η επίτευξη του οποίου αποτελεί μεγάλη και λεπτομερή βάση δεδομένων.

Μία από τις κύριες δυσκολίες στην ανάλυση της συμπεριφοράς των πεζών είναι η έλλειψη αξιόπιστων δεδομένων, η συλλογή των οποίων είναι χρονοβόρα διαδικασία και απαιτεί εντατική εργασία, γεγονός το οποίο έχει σημαντικό αντίκτυπο στον τομέα της μηχανικής και του σχεδιασμού των έργων συγκοινωνιακής υποδομής. Δύο από τους πιο σημαντικούς τομείς στη συλλογή δεδομένων πεζών είναι ο υπολογισμός της πυκνότητας και της μέσης ταχύτητας κίνησης. Η ανεπάρκεια δεδομένων των ταχυτήτων κίνησης των πεζών οδηγεί στην εφαρμογή μέσων τιμών σε σημαντικά μεγάλες περιοχές, αγνοώντας διακυμάνσεις που προκύπτουν από παράγοντες, όπως οι γεωγραφικές και οι συμπεριφορικές διαφορές. Ως εκ τούτου, τα ακριβή δεδομένα ταχύτητας κίνησης είναι σημαντικά καθώς χρησιμοποιούνται σε διάφορες εφαρμογές, όπως η ρύθμιση του χρόνου των φωτεινών σηματοδοτών κυκλοφορίας και ο υπολογισμός του χρόνου μετακίνησης των πεζών, για λόγους σχεδιασμού. Επίσης συνεισφέρουν σημαντικά στην ανάλυση της αποτελεσματικής διαμόρφωσης και ασφάλειας που παρέχει μια υποδομή στους χρήστες της, όπως είναι το επίπεδο εξυπηρέτησης και οι επικρατούσες συνθήκες κίνησης των πεζών, καθώς επίσης στην ανάλυση της συμπεριφοράς του πλήθους σε εγκαταστάσεις που προσελκύουν μεγάλο αριθμό κοινού. Με βάση τα προαναφερθέντα ζητήματα, προκύπτει σημαντική ανάγκη για τη διερεύνηση νέων μεθόδων συλλογής ακριβέστερων και περισσότερων δεδομένων κυκλοφορίας των πεζών.

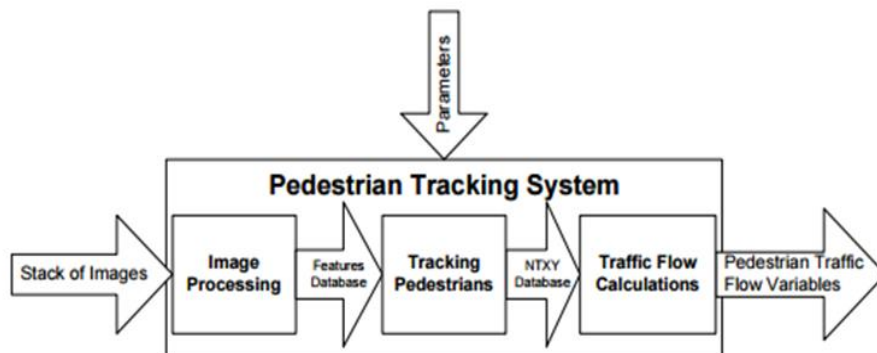
Η τεχνολογική ανάπτυξη στις εφαρμογές επεξεργασίας βίντεο και εικόνων έχουν επηρεάσει σε μεγάλο βαθμό τις έρευνες κίνησης και συμπεριφοράς των πεζών, καθώς η πρόοδος της ανάλυσης απαιτεί καλύτερη συλλογή δεδομένων, ενώ ταυτόχρονα η πρόοδος στη μέθοδο συλλογής δεδομένων οδηγεί με τη σειρά της στην περαιτέρω ανάπτυξη των μεθόδων ανάλυσης. Έχουν πραγματοποιηθεί διάφορες έρευνες για τη συλλογή και ανάλυση των κινηματικών χαρακτηριστικών σε μακροσκοπικό επίπεδο, με πιο πρόσφατη την ανάπτυξη μεθόδων επεξεργασίας σε μικροσκοπικό επίπεδο. Συγκεκριμένα, το 1974 ο Fruin χρησιμοποίησε τα χαρακτηριστικά κίνησης των πεζών για μακροσκοπική ανάλυση, ενώ το 1992 ο Helbing αναθεώρησε το μοντέλο του Henderson, μέσω του οποίου ανέπτυξε την ανάλυση κινηματικών χαρακτηριστικών των πεζών, χρησιμοποιώντας ένα μοντέλο δυναμικής των ρευστών, ενώ αργότερα δημιούργησε το Social Force Model, βασική αρχή

του οποίου είναι ότι η κίνηση ενός πεζού είναι δυνατόν να περιγραφεί σαν ο εξεταζόμενος πεζός να είναι υποκείμενος σε “κοινωνικές δυνάμεις”, όπου με τον όρο δύναμη εννοείται το εσωτερικό του κίνητρο να αναπτύξει μια κίνηση. Σημαντικό βήμα στη μικροσκοπική προσομοίωση των κινηματικών χαρακτηριστικών των πεζών αποτέλεσε αυτό των Blue και Adler, οι οποίοι ανέπτυξαν ένα μοντέλο τύπου Cellular automata, που χρησιμοποιεί απλούς αυτόνομους παράγοντες οι οποίοι υπακούν σε φυσικούς και ενστικτώδεις κανόνες και χωρίζει το χώρο που γίνεται η προσομοίωση σε κελιά. Παρακάτω απεικονίζεται η ιστορική εξέλιξη της έρευνας πάνω στην κίνηση των πεζών καθώς και η χρονική τοποθέτηση της αυτόματης συλλογής των μικροσκοπικών χαρακτηριστικών τους.



Διάγραμμα 1: Αυτόματη συλλογή μικροσκοπικών δεδομένων των πεζών (πηγή: Teknomo et al., 2001)

Η αυτοματοποιημένη συλλογή δεδομένων των πεζών αποτελεί μια δύσκολη διαδικασία, εξαιτίας της συνεχούς αλλαγής κατεύθυνσης προσανατολισμού τους, εφόσον η επιλογή των κινήσεων τους οφείλεται εξ’ ολοκλήρου στην ελεύθερη βούληση. Αυτός είναι και ο κυριότερος λόγος για τον οποίο οι μέθοδοι αυτοματοποιημένης συλλογής δεδομένων είναι περισσότερο ανεπτυγμένες στην κυκλοφορία των οχημάτων. Παρ’ όλα αυτά, με την ανάπτυξη καταλλήλων λογισμικών ανεπτυγμένης τεχνολογίας, έχει επιτευχθεί η αυτόματη καταγραφή των κινηματικών χαρακτηριστικών των πεζών, ακολουθώντας μια συγκεκριμένη διαδικασία, η οποία αποτελείται από τρία βήματα. Αρχικά, απαραίτητη είναι η επεξεργασία της εικόνας, ενώ έπειτα ακολουθεί η ανίχνευση του εξεταζόμενου αντικειμένου και τέλος, με τη χρήση της υπάρχουσας βάσης δεδομένων που έχει προκύψει από την καταγραφή της κίνησης των πεζών (NTXY database), γίνεται ο υπολογισμός των κυκλοφοριακών μεγεθών.



Διάγραμμα 2: Σύστημα καταγραφής κυκλοφοριακών μεγεθών (πηγή: Teknomo et al., 2001)

Τέλος, με την ανάπτυξη των μεθόδων καταγραφής κυκλοφοριακών μεγεθών, ο τομέας των ανεπτυγμένων συστημάτων μεταφοράς (Intelligent Transportation Systems-ITS) έχει βελτιωθεί σημαντικά στις αυτοματοποιημένες μεθόδους καταγραφής, με σκοπό όχι μόνο τη συλλογή μακροσκοπικών κυκλοφοριακών μεγεθών σε ένα συγκεκριμένο οδικό τμήμα, αλλά και την εξαγωγή λεπτομερών πληροφοριών μικροσκοπικού επιπέδου, σε ευρείες περιοχές του οδικού δικτύου. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την εφαρμογή ανεπτυγμένων μεθόδων στο γενικό οδικό δίκτυο καθώς και σε κρίσιμα τμήματα του, όπως είναι οι διασταυρώσεις, με σκοπό την ασφάλεια των χρηστών, την αποφυγή ατυχημάτων και τη διασφάλιση της ομαλής κυκλοφορίας.

## 1.2 Σκοπός Διπλωματικής εργασίας

Η καταγραφή και η ανάλυση των δεδομένων κυκλοφορίας αποτελεί τη βάση στους τομείς των μεταφορών και της κυκλοφοριακής τεχνικής. Η συνεχής καταγραφή κυκλοφοριακών δεδομένων, καθώς και η ακρίβεια στην καταγραφή τους συντελούν σημαντικά στην κατανόηση της συμπεριφοράς των χρηστών του οδικού δικτύου και συνεπώς, στην ολοκληρωμένη εξαγωγή συμπερασμάτων, τα οποία αποσκοπούν στη λήψη ορθών μέτρων για τη διασφάλιση της ομαλής κυκλοφορίας. Σε αντίθεση με την παρακολούθηση των οχημάτων, των οποίων οι κινήσεις καθορίζονται από τον κώδικα οδικής κυκλοφορίας και τη γεωμετρία του χώρου, ο πεζός έχει άπειρες επιλογές κίνησης και τρόπους για να προσεγγίσει τον προορισμό του. Γι' αυτόν το λόγο, η κατανόηση της συμπεριφοράς τους σε μεμονωμένο επίπεδο αλλά και σε επίπεδο αλληλεπίδρασης με άλλους πεζούς ή οχήματα αποτελεί μία πολύπλοκη διαδικασία, η οποία απαιτεί τη συλλογή μεγάλου αριθμού λεπτομερών δεδομένων. Τα μέσα που χρησιμοποιούνται για την καταγραφή των κινηματικών χαρακτηριστικών, πρέπει να εξάγουν ακριβή αποτελέσματα που να προσομοιάζουν όσο το δυνατόν καλύτερα την ανθρώπινη κίνηση.

Στην παρούσα έρευνα διερευνάται η βέλτιστη πηγή καταγραφής της κίνησης των πεζών, εφαρμόζοντας τη μέθοδο της βιντεοσκόπησης με τη χρήση του Μη Επανδρωμένου Αεροσκάφους (Unmanned Aerial Vehicle ή Drone) και της σταθερής κάμερας. Η λήψη των δεδομένων της έρευνας γίνεται από πραγματικές μετρήσεις και συνεπώς αποτελούν πειραματικά στοιχεία και όχι δεδομένα προτύπων προσομοίωσης. Το πείραμα αφορά σε συγκεκριμένη περιοχή μελέτης, που όμως δεν παρουσιάζει κάποιον σημαντικό γεωμετρικό ή άλλο περιορισμό, ώστε τα αποτελέσματα να μπορούν να ανάγονται σε γενικότερη κλίμακα. Τέλος, πραγματοποιείται στατιστική σύγκριση των δεδομένων που προκύπτουν από τα δύο μέσα βιντεοσκόπησης και από τις χειροκίνητες μετρήσεις, προκειμένου να διερευνηθεί ο βαθμός συσχέτισης τους, με σκοπό την ανάδειξη του βέλτιστου μέσου καταγραφής των κινηματικών χαρακτηριστικών των πεζών.

## 1.3 Διάρθρωση Διπλωματικής εργασίας

Η παρούσα διπλωματική χωρίζεται σε έξι κεφάλαια. Αναλυτικότερα:

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μια συνοπτική αναφορά στην εξέλιξη της έρευνας της καταγραφής κυκλοφοριακών μεγεθών οχημάτων και κινηματικών χαρακτηριστικών των

πεζών, καθώς και στους περιορισμούς που εμφανίζονται. Επίσης πραγματοποιείται μια σύντομη περιγραφή στην ανάπτυξη των μεθόδων που βοήθησαν στην αντιμετώπιση των περιορισμών αυτών, με σκοπό τη βελτίωση των συστημάτων. Επιπρόσθετα, σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζεται ο σκοπός και η διάρθρωση της παρούσας έρευνας.

Στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι δημοφιλέστερες μέθοδοι μαγνητοσκόπησης και καταγραφής κυκλοφοριακών μεγεθών, οι οποίες παρατηρούνται στη βιβλιογραφία και αναφέρονται στις κινήσεις πεζών και οχημάτων. Δίνεται έμφαση στον τρόπο με τον οποίο οι μέθοδοι αυτές προσεγγίζουν και προσομοιάζουν τις κινήσεις των εξεταζόμενων αντικειμένων, στην ακρίβεια των δεδομένων που εξάγουν, καθώς και στα μειονεκτήματα και στις ελλείψεις που παρουσιάζουν, τα οποία λήφθηκαν υπόψιν και συνετέλεσαν στη διεκπεραίωση της παρούσας έρευνας. Το κεφάλαιο κλείνει με τα βασικά συμπεράσματα που προκύπτουν από τις έρευνες, προκειμένου να διαπιστωθεί εάν και κατά πόσο κάποιες από αυτές είναι ικανές να συμβάλλουν στην παρούσα Διπλωματική εργασία.

Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζεται η μεθοδολογική προσέγγιση της έρευνας. Περιγράφεται η διαδικασία συλλογής των στοιχείων, ο διαθέσιμος εξοπλισμός και η σύγκριση των δύο μέσων μαγνητοσκόπησης, όσον αφορά τα τεχνικά χαρακτηριστικά λειτουργίας τους. Επιπλέον, αναφέρεται το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε για την εξαγωγή των μετρήσεων και η επεξεργασία του βιντεοσκοπημένου υλικού που απαιτείται, ώστε να είναι δυνατή η εξαγωγή των αποτελεσμάτων. Ακόμη, αναπτύσσεται το θεωρητικό υπόβαθρο της στατιστικής ανάλυσης των δεδομένων, που αποσκοπεί στην κατανόηση των στατιστικών δεικτών που εμφανίζονται κατά τη διαδικασία της στατιστικής συσχέτισης τους.

Στο τέταρτο κεφάλαιο πραγματοποιείται η αναλυτική περιγραφή του πειράματος, η οποία περιλαμβάνει τη διαδικασία επιλογής της περιοχής μελέτης καθώς και την διαδικασία εξαγωγής δεδομένων. Ακολουθεί εκτενής ανάλυση των δεδομένων με τη χρήση της περιγραφικής στατιστικής, καθώς και η συσχέτιση τους με τους κατάλληλους στατιστικούς ελέγχους. Ο σκοπός της στατιστικής ανάλυσης είναι η σύγκριση των εξαγόμενων αποτελεσμάτων από τα δύο μέσα βιντεοσκόπησης και τελικά η συσχέτιση τους, όσον αφορά την αποδοτικότητα τους στην καταγραφή των μικροσκοπικών χαρακτηριστικών των πεζών, οι οποίοι αποτελούν τη βάση μελέτης στην παρούσα Διπλωματική εργασία. Το κεφάλαιο κλείνει με τη σύνοψη των αποτελεσμάτων, όπου γίνεται η συσχέτιση των δύο μέσων καταγραφής σε μεμονωμένο επίπεδο με σκοπό την πολύπλευρη συσχέτιση και την εξακριβωμένη επαλήθευση των υπολογιζόμενων αποτελεσμάτων.

Στο πέμπτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα συμπεράσματα της παρούσας έρευνας, όπως αυτά εξάγονται από τη ανάλυση των αποτελεσμάτων. Πραγματοποιείται εκτενής ανάλυση κατά πόσο τα συμπεράσματα αυτά συμβάλλουν στην εκπλήρωση του σκοπού της έρευνας, καθώς και παρατίθενται προτάσεις για περαιτέρω έρευνα.

Τέλος, στο έκτο κεφάλαιο παρατίθεται ο κατάλογος των βιβλιογραφικών αναφορών. Ο κατάλογος αυτός περιλαμβάνει αναφορές, που αφορούν τόσο σε έρευνες που παρουσιάστηκαν στα κεφάλαια της εισαγωγής και της βιβλιογραφικής ανασκόπησης, όσο και σε στατιστικές έννοιες και μεθόδους που αναλύθηκαν στην στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων.



# Κεφάλαιο 2

---

## *Βιβλιογραφική Ανασκόπηση*

### **2.1 Μέθοδοι συλλογής κυκλοφοριακών μεγεθών πεζών**

Η εκτίμηση και ο υπολογισμός μοντέλων για την εξαγωγή κυκλοφοριακών δεδομένων και προσομοίωσης της συμπεριφοράς των οδηγών και των πεζών, απαιτούν μεγάλη ποσότητα καταλλήλως διαμορφωμένων και λεπτομερών δεδομένων, η συλλογή των οποίων αποτελεί συνήθως μια χρονοβόρα διαδικασία. Συνεπώς, η εξακρίβωση και ο σχεδιασμός κατάλληλων μεθόδων συλλογής δεδομένων, αποτελεί ζήτημα μεγάλης σημασίας.

Οι βασικές μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για τη συλλογή κυκλοφοριακών μεγεθών και κινηματικών χαρακτηριστικών των οχημάτων και των πεζών αναφέρονται και περιγράφονται αναλυτικά παρακάτω.

Αρχικά, για την καταγραφή των κινηματικών χαρακτηριστικών των πεζών έχουν χρησιμοποιηθεί ολοκληρωμένα συστήματα πλοήγησης όπως είναι το GPS (Sohn et al., 2006), όπου κατά τη διάρκεια του πειράματος οι πεζοί είναι εξοπλισμένοι με συσκευή GPS, η οποία καταγράφει τη θέση και την ταχύτητα τους με μια ανακρίβεια που οφείλεται σε περιπτώσεις χαμηλού σήματος μετάδοσης. Επιπλέον, η παρούσα μέθοδος έχει χρησιμοποιηθεί για την εξαγωγή συντεταγμένων κινούμενων οχημάτων με μεγάλη ακρίβεια στην απόδοση της θέσης (απόκλιση λίγων χιλιοστών) ανά τακτά χρονικά διαστήματα και στο χρόνο ανταπόκρισης. Παρ' όλα αυτά μπορούν να προκύψουν δεδομένα μόνο για τα οχήματα ή τους πεζούς που διαθέτουν GPS στα πλαίσια του πειράματος, με αποτέλεσμα τα εξαγόμενα κυκλοφοριακά και κινηματικά μεγέθη να είναι κατά βάση πειραματικά και όχι εμπειρικά, καθώς η συμπεριφορά των παρατηρούμενων επηρεάζεται από τη συμμετοχή τους στο πείραμα.

Μία άλλη μέθοδος για την καταγραφή και εντοπισμό οχημάτων ή πεζών είναι η χρήση κινητών τηλεφώνων, όπου καταγράφεται η θέση στην οποία βρίσκεται ο χρήστης, κάθε φορά που στέλνει μήνυμα ή παίρνει τηλέφωνο. Το γεγονός ότι τα δεδομένα που εξαγονται ανανεώνονται συνεχώς χωρίς να είναι απαραίτητη η διεκπεραίωση κάποιου πειράματος, καθιστούν τη μέθοδο αυτή ιδανική για έρευνες απεικόνισης της μετακίνησης (Phithakkitnukoon et al., 2010, Phithakkitnukoon and Ratti, 2011, Reades et al., 2009 και Asakura and Hato, 2004), εξαγωγής προτύπων κινητικότητας (Wang et al., 2012, González et al., 2008, Song et al., 2010, Simini et al., 2012, Candia et al., 2008, Sevtsuk and Ratti, 2010, Asgari et al., 2013, Calabrese et al., 2013), μοντελοποίησης της επιλογής διαδρομής (Schlaich et al., 2010, Becker et al., 2011) και υπολογισμού κυκλοφοριακής ροής (Demissie et al., 2013, Cheng et al., 2006). Παρά την ευρέως διαδεδομένη χρήση τους σε τέτοιου είδους έρευνες, παρουσιάζουν ορισμένα μειονεκτήματα, τα οποία δεν τα καθιστούν κατάλληλα για να χρησιμοποιηθούν σε περαιτέρω μελέτες. Συγκεκριμένα, η βάση

δεδομένων τους δεν είναι σχεδιασμένη κατάλληλα για να χρησιμοποιείται για λόγους μοντελοποίησης, με αποτέλεσμα η εξαγωγή των δεδομένων να απαιτεί χρονοβόρα επεξεργασία. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιούνται κυρίως σε έρευνες κινητικότητας, μετακίνησης και αφετηρίας-προορισμού των χρηστών, ενώ η χρήση τους για εξαγωγή κυκλοφοριακών δεδομένων σε μικροσκοπικό επίπεδο αποδίδει σημαντικές ανακρίβειες. Τέλος, το βασικότερο μειονέκτημα τους είναι πως μπορεί να αποδώσουν μεγάλη ανακρίβεια στη τοποθεσία του αντικειμένου που μελετάται, παρουσιάζοντας κατά μέσο όρο απόκλιση της τάξης των 320 μέτρων, σε σχέση με τα αποτελέσματα που εξάγονται από το GPS.

Επιπλέον, για λόγους καταγραφής εξ' ολοκλήρου των κινηματικών χαρακτηριστικών των πεζών, δημιουργήθηκε η μέθοδος πλοήγησης πεζών Pedestrian Navigation Modules (PNM) από τους Spasson et al (2007), η οποία παρέχει ακριβείς μετρήσεις της κίνησης των πεζών σε μία συγκεκριμένη περιοχή μελέτης, αρκεί να υπάρχει διαθέσιμος χάρτης για την απεικόνιση της περιοχής αυτής, είτε με τη χρήση GPS ή με αδρανειακούς αισθητήρες, όταν το GPS δεν είναι διαθέσιμο. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιεί μοντέλα συμπεριφοράς κίνησης που επιτρέπουν την εξαγωγή των κινηματικών χαρακτηριστικών των πεζών, απαιτεί όμως, μεγάλη ακρίβεια στη μοντελοποίηση των κινήσεων για να παράγει ορθά αποτελέσματα.

Τέλος, τα τελευταία χρόνια, με την ανάπτυξη της τεχνολογίας, η κάμερα χαμηλού κόστους έχει χρησιμοποιηθεί επιτυχώς στην εξαγωγή κυκλοφοριακών μεγεθών σε συγκεκριμένες περιοχές μελέτης. Για τη μελέτη της κυκλοφορίας έχουν πραγματοποιηθεί πειράματα στο παρελθόν με τοποθέτηση της σταθερής κάμερας σε εναέριες πλατφόρμες (Komietani and Sasaki, 1959, Treiterer and Myers, 1974, Xing, 1995 and Hoogendoorn et al., 2004) ή σε υπερυψωμένα κτίρια και τοποθεσίες (Ozaki, 1993, Coifman et al., 1998). Το βασικό μειονέκτημα τους είναι πως επιτρέπουν την παρατήρηση και καταγραφή των κυκλοφοριακών μεγεθών σε περιορισμένο χώρο ή τμήμα του δρόμου, με αποτέλεσμα ο μελετητής να μην μπορεί να καταγράψει ένα συγκεκριμένο αντικείμενο καθ' όλη τη διάρκεια κίνησης του με σκοπό να εξαγει βασικά συμπεράσματα για τη συνολική περιοχή διεκπεραίωσης του πειράματος. Η μόνη λύση για την αποφυγή αυτού του περιορισμού είναι η τοποθέτηση πολλαπλών καμερών, όμως σε αυτήν την περίπτωση εμφανίζεται το πρόβλημα του εντοπισμού του ίδιου αντικειμένου στα διαφορετικά βίντεο. Επίσης, η τοποθέτηση της σταθερής κάμερας σε σχέση με τη γωνία λήψης της, μπορεί να οδηγήσει στην βιντεοσκόπηση σημείων που εμποδίζουν την ολοκληρωμένη καταγραφή των τροχιών, καθώς επίσης και η βιντεοσκόπηση από αρκετά ψηλά σημεία προκειμένου να αποφευχθούν αυτοί οι περιορισμοί, μπορούν να συντελέσουν στη λανθασμένη εκτίμηση της απόστασης ανάμεσα στο εξεταζόμενο αντικείμενο και σε αυτά που κινούνται γύρω του. Παρ' όλα αυτά, όσο μεγαλύτερη είναι η γωνία λήψης της σταθερής κάμερας σε συνδυασμό με την υπερυψωμένη τοποθέτηση της, τόσο καλύτερα διαχωρίζονται τα αντικείμενα μεταξύ τους, σε περιπτώσεις υψηλής συμφόρησης και τόσο ευκολότερος γίνεται ο εντοπισμός και η καταγραφή τους.

Η ανάγκη για τον έλεγχο της κυκλοφορίας και την πρόληψη εμπλοκών, οδήγησαν στην εύρεση περαιτέρω μεθόδων για τη συλλογή των κυκλοφοριακών δεδομένων.

Μια μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε για την κατανόηση των κυκλοφοριακών φαινομένων αλλά με μικρή επιτυχία, είναι αυτή στην οποία διεξάγεται πείραμα με ένα αυτοκίνητο εξοπλισμένο με οπτικό ταχύμετρο και με radar, το οποίο ακολουθώντας άλλους χρήστες καταγράφει τη μεταξύ τους απόσταση (car following), σε μεταβλητές συνθήκες κίνησης (Wu et al., 2003). Παρ' όλο που τα πειράματα αυτά βοήθησαν στην κατανόηση των κυκλοφοριακών φαινομένων, τα περιορισμένα δεδομένα που εξάγονταν καθώς επίσης και η ανομοιογένεια στις συνθήκες κίνησης, δε βοήθησαν στην κατανόηση της πολύπλευρης θεωρίας της κυκλοφοριακής ροής. Για την αντιμετώπιση τέτοιων περιορισμών, δημιουργήθηκε το πρόγραμμα Next Generation Simulation (NGSIM), το οποίο στοχεύει στη θεωρητική ανάπτυξη νέων μοντέλων συμπεριφοράς κίνησης και στη συλλογή λεπτομερών βάσεων δεδομένων. Με τη χρήση του συγκεκριμένου προγράμματος, έχουν αναπτυχθεί αλγόριθμοι που προσομοιάζουν τη συμπεριφορά του οδηγού σε καταστάσεις εμπλοκής και σε συνδυασμό με την εξακριβωμένη συλλογή δεδομένων, παρουσιάζουν μοντέλα προσομοίωσης της κυκλοφοριακής ροής σε μικροσκοπικό επίπεδο.

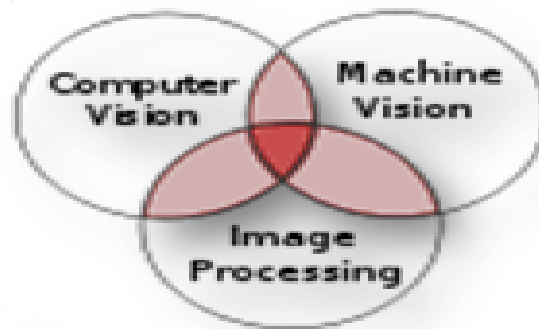
Επιπλέον, η συλλογή κυκλοφοριακών μεγεθών έχει επιτευχθεί και με συσκευές ανίχνευσης διαφόρων ειδών, όπως οι ανιχνευτές υπερύθρων, radar, οι επαγωγικοί βρόγχοι και οι υπερηχητικοί ανιχνευτές (Klein et al., 2006).

Η καταγραφή και συλλογή δεδομένων για τους πεζούς, αποτελεί δυσκολότερη διαδικασία από τη συλλογή κυκλοφοριακών μεγεθών των οχημάτων, εξαιτίας της παρουσίας του ανθρώπινου παράγοντα και της συμπεριφοράς του πλήθους, έχοντας ως αποτέλεσμα την αδυναμία ελέγχου των κινήσεών τους. Επιπλέον, εμφανίζονται συχνά σε ομάδες με μικρή απόσταση μεταξύ τους, γεγονός που δυσχεραίνει ακόμα περισσότερο τη διαδικασία εντοπισμού και καταγραφής τους.

Έχουν χρησιμοποιηθεί διάφορες μέθοδοι για την καταγραφή των κινηματικών χαρακτηριστικών τους, οι οποίες κατηγοριοποιούνται σε χειροκίνητες και αυτόματες. Συγκεκριμένα, πριν αναπτυχθεί η αυτόματη διαδικασία, η συλλογή των δεδομένων της πυκνότητας και της ταχύτητας γινόταν με ερωτηματολόγια ή με ηλεκτρονικά και μηχανικά μέσα, χρησιμοποιώντας πίνακες καταμέτρησης. Η πρώτη συσκευή αυτόματης καταγραφής αναπτύχθηκε σε έρευνα του Lu, Y.J. το 1990 με τη χρήση σταθερής κάμερας, όπου συλλέχθηκαν μακροσκοπικά χαρακτηριστικά ροής και έπειτα πραγματοποιήθηκαν σημαντικές αναλύσεις της κίνησης των πεζών με τη χρήση κάμερας (Staufner et al., 2000, Ricquebourg et al., 2000, Haritaoglu et al., 2000). Επιπλέον, πραγματοποιούνται έρευνες για τη μελέτη της συμπεριφοράς του πλήθους με χειροκίνητη παρατήρηση, με βιντεοσκόπηση και με τη διεξαγωγή ελεγχόμενων πειραμάτων για τη συλλογή εμπειρικών και πειραματικών δεδομένων (Daamen and Hoogendoorn, 2003). Τέτοιου είδους πειράματα σκοπεύουν στη μελέτη της ανθρώπινης συμπεριφοράς σε καταστάσεις διαφορετικής διαμόρφωσης του χώρου κίνησης (bottleneck) και στην εκτίμηση της χωρητικότητας της εγκατάστασης στην οποία διεξάγεται το πείραμα (Seyfield et al., 2009, Hoogendoorn and Daamen, 2005).

Η ανάγκη εύρεσης μεθόδων που αποσκοπούν στην αύξηση των διαθέσιμων εξαγόμενων δεδομένων των πεζών, οδήγησε στη δημιουργία τεχνικών για αυτόματη εξαγωγή των κινηματικών χαρακτηριστικών τους, με τη βοήθεια της μηχανικής όρασης (Computer

Vision). Ο τομέας αυτός, χρησιμοποιεί μοντέλα επεξεργασίας και ανάλυσης των πολυδιάστατων δεδομένων που εισάγονται σε μια εικόνα, με σκοπό την εξαγωγή πληροφοριών που να αντιστοιχούν στις πραγματικές παρατηρήσεις.



Εικόνα 1: Βασικοί τομείς εφαρμογής της Μηχανικής Όρασης

Μέχρι πρόσφατα, η χρήση του Computer Vision περιοριζόταν στην εξαγωγή μακροσκοπικών μεγεθών (πυκνότητα, μέση ταχύτητα, πληρότητα), παρ' όλα αυτά με την τεχνολογική ανάπτυξη, δημιουργήθηκαν κατάλληλα λογισμικά για την εξαγωγή δεδομένων και σε μικροσκοπικό επίπεδο (Mallikajuna et al., 2009), με εφαρμογή σε έρευνες κυκλοφοριακής ροής πεζών (Hoogendoorn et al.), διαχείρισης της ασφάλειας ευάλωτων χρηστών όπως πεζοί και ποδηλάτες σε διασταυρώσεις (Saunier and Sayed, 2006, Ismail et al., 2010, Zangenehour et al., 2015), αλληλεπίδρασης των οχημάτων με την παρουσία σηματοδότησης (Jaume et al., 2010) καθώς επίσης συνετέλεσε στη συλλογή κυκλοφοριακών μεγεθών και κινηματικών χαρακτηριστικών σε ανομοιογενείς κυκλοφοριακές συνθήκες, τόσο σε μακροσκοπικό όσο και σε μικροσκοπικό επίπεδο.

Τέλος, τα βήματα που ακολουθεί το σύστημα του Computer Vision για την ολοκληρωμένη εξαγωγή των αποτελεσμάτων, είναι: η προαπαιτούμενη επεξεργασία της εικόνας, ο εντοπισμός και η καταγραφή των τροχιών και τελικά, η εξαγωγή μεγεθών κυκλοφοριακής ροής.

## 2.2 Μηχανική όραση στην Καταγραφή Κυκλοφορίας

Ο εντοπισμός και η καταγραφή οχημάτων και πεζών αποτελούν πλέον, με τη βοήθεια των ανεπτυγμένων λογισμικών, μια εύκολα πραγματοποιήσιμη και διαχειρίσιμη διαδικασία, η οποία μπορεί να εφαρμοστεί με διαφορετικούς τρόπους προσέγγισης. Συγκεκριμένα, οι προσεγγίσεις αυτές καθώς και τα μοντέλα που χρησιμοποιούν, μπορούν να διαχωριστούν σε κατηγορίες, ανάλογα με τον τρόπο λειτουργίας τους για τον εντοπισμό του εξεταζόμενου οχήματος ή πεζού.

Η μέθοδος που χρησιμοποιείται κυρίως για τον εντοπισμό και την καταγραφή ενός κινούμενου αντικείμενου, είναι αυτή που ανιχνεύει ένα συγκεκριμένο στοιχείο πάνω στο αντικείμενο όπως είναι οι γωνίες παραθύρου και προφυλακτήρα για τα οχήματα και το κεφάλι για τους πεζούς, ακολουθώντας το καθ'όλη τη διάρκεια των διαδοχικών εικόνων

από καρέ σε καρέ (**feature-based model**). Οι αλγόριθμοι που χρησιμοποιούνται στο συγκεκριμένο μοντέλο, εξάγουν αποτελέσματα σε πραγματικό χρόνο, χωρίς να μεσολαβεί καθυστέρηση στην εξαγωγή των πληροφοριών, ενώ βασικό τους μειονέκτημα είναι η αδυναμία της πλήρους ταύτισης του επιλεγμένου σημείου ανίχνευσης στο σωστό αντικείμενο, με αποτέλεσμα την καταγραφή λανθασμένου σημείου από το προβλεπόμενο.

Επιπρόσθετα, άλλες δύο μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση και την καταγραφή των κινηματικών χαρακτηριστικών και μπορούν να ενσωματωθούν σε μία ενιαία κατηγορία, είναι οι εξής. Αρχικά παρουσιάζεται η μέθοδος που προκειμένου να καταγράψει την τροχιά ενός αντικειμένου, ορίζει μια περιοχή γύρω από αυτό και την ανιχνεύει σε όλη τη διάρκεια των διαδοχικών εικόνων, με την προϋπόθεση ότι το χρώμα και η εστίαση της περιοχής αυτής παραμένουν σταθερά (**region-based model**). Η δεύτερη μέθοδος βασίζεται στο περίγραμμα του αντικειμένου (**contour-based model**), που έχει οριστεί από την αρχική εικόνα και καταγράφεται συνεχόμενα από καρέ σε καρέ, μέχρι την ολοκλήρωση της κίνησης του. Τα δύο αυτά μοντέλα εντοπίζουν και καταγράφουν ολόκληρο το επιλεγμένο αντικείμενο ανίχνευσης και όχι ένα μέρος του. Για το λόγο αυτό, σε περιπτώσεις υψηλής συμφόρησης, όπου τα αντικείμενα κινούνται σε πολύ μικρή απόσταση μεταξύ τους, τα μοντέλα παρουσιάζουν δυσκολία στον εντοπισμό τους.

Επιπλέον, μία άλλη μέθοδος χρησιμοποιεί τρισδιάστατα μοντέλα για τον εντοπισμό των αντικειμένων (**3D-based model**) και χρησιμοποιείται κυρίως για καταγραφή οχημάτων, τα μοντέλα των οποίων είναι καταγεγραμμένα στο σύστημα, με αποτέλεσμα να μην είναι δυνατή η επεξεργασία όλων των οχημάτων που παρατηρούνται στην περιοχή μελέτης.

Τέλος, ένας τρόπος ανίχνευσης και καταγραφής των αντικειμένων είναι η μέθοδος κατηγοριοποίησης του Bayes (**probabilistic model**), σύμφωνα με την οποία γίνεται μία πιθανοτική πρόβλεψη της μετακίνησης του αντικειμένου, λαμβάνοντας υπόψιν την τρέχουσα και τις προηγούμενες θέσεις εντοπισμού. Σε μία γραμμική κίνηση μπορεί να χρησιμοποιηθεί το Φίλτρο Kalman, το οποίο όμως ενδέχεται να δώσει λανθασμένα και ανακριβή αποτελέσματα σε περιπτώσεις όπου τα αντικείμενα καταγραφής αλληλεπιδρούν μεταξύ τους.

## 2.3 Συλλογή Δεδομένων με Μη Επανδρωμένα Αεροσκάφη

Όσο η συμφόρηση στο οδικό δίκτυο αυξάνει, τόσο μεγαλύτερη σημασία αποκτά η συλλογή άμεσων και ακριβών πληροφοριών, με σκοπό τον καλύτερο έλεγχο της κυκλοφορίας και τη γρηγορότερη ανταπόκριση σε περιπτώσεις υψηλής συμφόρησης, εμπλοκών και ατυχημάτων. Τα μέσα παρακολούθησης της κυκλοφορίας που εφαρμόζονται μέχρι τώρα, χρησιμοποιούν ανιχνευτές (συμπεριλαμβανομένου της κάμερας), οι οποίοι είναι τοποθετημένοι σε σταθερές θέσεις. Προκειμένου, όμως, να εξασφαλιστεί άμεση ανταπόκριση στις εκάστοτε συνθήκες που επικρατούν στο δίκτυο, είναι αναγκαία η χρήση μεγάλου αριθμού ανιχνευτών.

Η τεχνολογική ανάπτυξη στις ηλεκτρονικές συσκευές και στις τηλεπικοινωνίες έχει προσφέρει μια εναλλακτική λύση ανίχνευσης και επιτήρησης της κυκλοφορίας, σε σχέση με τα σταθερά μέσα. Τα UAV έχουν ενσωματωμένη κάμερα υψηλής ανάλυσης, GPS και εξοπλισμό τηλεπικοινωνίας για τη μεταβίβαση των δεδομένων στο σταθμό εδάφους, σε πραγματικό χρόνο. Με την ανάπτυξη της τεχνολογίας τους, γίνεται δυνατή η χρήση τους σε επαγγελματικές και ερευνητικές μελέτες, καθώς μπορούν να ανταποκριθούν άμεσα σε εφαρμογές μεταφοράς και σχεδιασμού. Τα UAV εφαρμόζονται σε διάφορους τομείς, όπως στην επαγγελματική φωτογραφία, στη δημοσιογραφική κάλυψη γεγονότων, στη γεωργία και στις επιθεωρήσεις κτιρίων και ειδικών κατασκευών.

### Πλεονεκτήματα Μη Επανδρωμένων Αεροσκαφών

Τα πλεονεκτήματα τους ποικίλουν όσον αφορά στη χρήση τους σε σχέση με τα υπόλοιπα μέσα καταγραφής καθώς και με τα Επανδρωμένα Αεροσκάφη. Συγκεκριμένα, τα UAV έχουν την ικανότητα να μαγνητοσκοπήσουν μεγάλες περιοχές και να εντοπίσουν προβλήματα σε μια ολόκληρη περιοχή και όχι μόνο σε μια συγκεκριμένη τοποθεσία, όπως συμβαίνει με τα υπόλοιπα μέσα. Επίσης, έχουν τη δυνατότητα να ταξιδεύουν με μεγαλύτερη ταχύτητα στον αέρα χωρίς να επηρεάζονται από τις συνθήκες που επικρατούν στο οδικό δίκτυο, με αποτέλεσμα να φθάνουν απ'ευθείας στον προορισμό τους.

Σε σχέση με τα Επανδρωμένα Αεροσκάφη, τα UAV απαιτούν οικονομικότερο εξοπλισμό για τη συντήρησή τους και για την αποκατάσταση φθορών καθώς επίσης δεν απαιτούν κατανάλωση καυσίμων για την πτήση τους από τη στιγμή που χρησιμοποιούν μπαταρίες. Επιπλέον, δεν χρειάζεται προετοιμασία προσωπικού για την πτήση του (πιλότος, βοηθητικό προσωπικό), όπως συμβαίνει στα επανδρωμένα, με αποτέλεσμα να έχει ταχύτερο χρόνο ανταπόκρισης και να είναι δυνατή η πτήση του σε κρίσιμες καταστάσεις, στις οποίες η βιντεοσκόπηση με επανδρωμένα αεροσκάφη είναι επικίνδυνη και μπορεί να διακινδυνεύσει την ασφάλεια του πληρώματος. Τα μικρών διαστάσεων UAV έχουν την ικανότητα να πετάξουν πολύ κοντά στο έδαφος και να λειτουργήσουν σε καταστάσεις που τα επανδρωμένα δεν μπορούν.

Επίσης, παρέχουν γρήγορη ανταπόκριση στις εκάστοτε συνθήκες που κυριαρχούν, γεγονός που πολύ σημαντικό σε περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης, όπου η άμεση πληροφόρηση είναι υψίστης σημασίας. Συγκεκριμένα, σε περιοχές όπου οι εγκαταστάσεις έκτακτης ανάγκης είναι περιορισμένες, κρίνεται ιδιαίτερα σημαντική η άμεση και ακριβής εκτίμηση και μετάδοση του γεγονότος. Σημαντική είναι η εφαρμογή των UAV και σε αστικές περιοχές, όπου σε περίπτωση ατυχήματος μπορούν να αναμεταδώσουν στη μονάδα άμεσης βοήθειας την επικρατούσα κατάσταση στο οδικό δίκτυο, προκειμένου να επιταχύνει και να φτάσει συντομότερα στο σημείο του ατυχήματος.

Οι ανεπτυγμένες διαθέσιμες υποδομές των UAV, καθιστούν χρήσιμη την εφαρμογή τους σε έρευνες διαχείρισης της κυκλοφορίας, μετάδοσης της υπάρχουσας κυκλοφοριακής κατάστασης, συλλογής δεδομένων για την εξαγωγή πληροφοριών και δεικτών που περιγράφουν το ποσοστό χρήσης και εξυπηρέτησης ενός οδικού δικτύου, όπως είναι ο δείκτης Ετήσιας Μέσης Καθημερινής Κυκλοφορίας (Average annual daily travel) και ο δείκτης Στάθμης Εξυπηρέτησης (Coifman et al., 2004), καθώς επίσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν και για την καταγραφή ροών σε έρευνες εκτίμησης των σημείων

προέλευσης-προορισμού (origin-destination). Συγκεκριμένα, όσον αφορά το πείραμα που διεξάχθηκε για τον υπολογισμό του δείκτη Ετήσιας Μέσης Καθημερινής Κυκλοφορίας, συλλέχθηκαν δεδομένα από δορυφορικές εικόνες και από επίγειους ανιχνευτές, με τα συμπεράσματα της έρευνας να δείχνουν την υπεροχή της εφαρμογής των δορυφορικών εικόνων, λόγω της εξαγωγής μικρότερων σφαλμάτων στα δεδομένα και εξαιτίας της μεγάλης ποσότητας των διαθέσιμων δεδομένων που προσφέρουν, χωρίς όμως να επιβεβαιώνεται η χρήση των αεροφωτογραφιών για την καταγραφή κυκλοφοριακών μεγεθών (McCord et al., 2002). Μεταξύ άλλων, στην έρευνα που διεξάχθηκε για την εκτίμηση της προέλευσης-προορισμού των οχημάτων, τοποθετήθηκαν κάμερες υψηλής ποιότητας σε εναέριες πλατφόρμες, βιντεοσκοπώντας τρεις διασταυρώσεις, δίνοντας τη δυνατότητα καταγραφής των στροφών και του χρόνου διαδρομής των οχημάτων, γεγονός το οποίο ενίσχυσε την ακρίβεια της εκτίμησης των σημείων προέλευσης προορισμού, κάτι το οποίο θα ήταν αδύνατο να συμβεί χρησιμοποιώντας συμβατικούς ανιχνευτές εδάφους (Coifman et al., 2004).

Ενα επιπλέον πείραμα που αποδεικνύει τη αποτελεσματικότητα των αερομεταφερόμενων βιντεοσκοπημένων υλικών στη καταγραφή τροχιών, είναι αυτό που πραγματοποιήθηκε από τους Anand Shastry και Robert Schowengerdt το 2002, όπου τοποθέτησαν κάμερα σε ελικόπτερο, με σκοπό την μαγνητοσκόπηση των οχημάτων, τονίζοντας τα πλεονεκτήματα της αερομεταφερόμενης κάμερας σε σχέση με τη σταθερή. Αξίζει να σημειωθεί πως μία από τις πρώτες προσπάθειες εφαρμογής του UAV ήταν το πρόγραμμα WITAS UAV, το οποίο σκόπευε στο σχεδιασμό απαραίτητων τεχνολογιών και λειτουργιών για την πλήρη ανάπτυξη ενός αυτόνομου UAV που θα μπορούσε να πετάξει πάνω από οδικές αρτηρίες για να βιντεοσκοπήσει και να καταγράψει συγκεκριμένου είδους οχήματα, με σκοπό να εντοπίσει διάφορα πρότυπα συμπεριφοράς σε συνθήκες προσπέρασης, διασταυρώσεων και ελιγμών στάθμευσης (Granlund et al., 2000). Επίσης, διεξάχθηκαν έρευνες όπου το βιντεοσκοπημένο υλικό του UAV χρησιμοποιήθηκε για την εξαγωγή κινηματικών χαρακτηριστικών, με σκοπό τη βελτίωση των ήδη υπάρχοντων μοντέλων προσομοίωσης της κυκλοφορίας (Puri et al., 2007) και για την εξαγωγή μικροσκοπικών μεγεθών όπως η ταχύτητα κίνησης και η επιτάχυνση των οχημάτων (Reinartz et al., 2006).

Επιπλέον, το 2003 διεξάχθηκαν περαιτέρω πειράματα χρησιμοποιώντας το UAV σε έρευνες συλλογής κυκλοφοριακών μεγεθών, με την έγκριση της Ομοσπονδιακής Διοίκησης Αεροπορίας (Coifman et al., 2005). Συγκεκριμένα, διεξάχθηκαν τέσσερα διαφορετικά πειράματα, εκ των οποίων το πρώτο πραγματοποιήθηκε σε αυτοκινητόδρομο, με σκοπό τη μελέτη των ταχυτήτων, των ροών, της πυκνότητας και της καταγραφής των τροχιών των οχημάτων. Το δεύτερο και το τρίτο πείραμα διεξάχθηκαν αντίστοιχα σε περιοχή διαστάυρωσης και σε πολύπλοκο οδικό δίκτυο αποτελούμενο από επτά διασταυρώσεις, με σκοπό την παρατήρηση των ροών και των ελιγμών των οχημάτων και της συμφόρησης του οδικού δικτύου. Επίσης, έγινε η μαγνητοσκόπηση χώρου στάθμευσης για την εκτίμηση του ποσοστού χρήσης του από τους οδηγούς. Βέβαια, εξαιτίας της χαμηλής ανάλυσης της κάμερας, ήταν αδύνατος ο εντοπισμός διακριτών χαρακτηριστικών μεμονομένων οχημάτων, όπως επίσης και η καταγραφή τροχιών των οχημάτων που απομακρύνονταν από το πεδίο μαγνητοσκόπησης και επανεμφανίζονταν μετά από κάποιο χρονικό διάστημα. Επιπλέον, προέκυψαν προβλήματα στη μετάδοση των εικόνων όταν το UAV βρισκόταν σε

απόσταση 1,5 χιλιομέτρου από τη βάση του, λόγω παρεμβολών στο σήμα μετάδοσης, ενώ λόγω των σταθερών ελίκων του, ήταν δύσκολο να ανακτήσει την πορεία και την ταχύτητα του σε περιπτώσεις ελιγμών. Παρ' όλες τις δυσκολίες που προέκυψαν κατά τη διάρκεια των συγκεκριμένων πειραμάτων, φάνηκε ότι η εφαρμογή των UAV σε έρευνες συγκοινωνιακής υποδομής και διαχείρισης της κυκλοφορίας είναι εφικτή, με την προϋπόθεση διεξαγωγής συνεχών πειραμάτων, ώστε να επιτευχθεί περαιτέρω ανάπτυξη στην εφαρμογή τους. Στις Εικόνες 2 και 3 απεικονίζεται το πείραμα, το οποίο διεξάχθηκε σε τέσσερα διαφορετικά οδικά τμήματα.



Εικόνα 2: Διεξαγωγή πειράματος με UAV στον αυτοκινητόδρομο Lane Ave. (αριστερά), στη διασταύρωση Kenny Rd και Lane Ave. (δεξιά), (πηγή: Coifman et al. 2004)



Εικόνα 3: Διεξαγωγή πειράματος με UAV σε πολύπλοκο οδικό δίκτυο (αριστερά) και σε χώρο στάθμευσης (δεξιά), (πηγή: Coifman et al. 2004)

Επιπλέον, το 2014 διεξάχθηκε πείραμα για την καταγραφή τροχιών οχημάτων με UAV τεσσάρων ελίκων, όπου χρησιμοποιήθηκε συγκεκριμένος αλγόριθμος για την ανίχνευση των οχημάτων και την εξαγωγή των συντεταγμένων τους. Παρατηρήθηκε πως η οριζόντια απόσταση των καταγραφόμενης θέσης παρουσίαζε μέγιστη απόκλιση από την πραγματική



της τάξης του ποσοστού 6%, ενώ η κάθετη παρουσίαζε μέγιστο σφάλμα της τάξης 7%, γεγονός το οποίο οφειλόταν και σε σφάλμα που παρουσίαζε ο ίδιος ο αλγόριθμος. Τα αποτελέσματα του συγκεκριμένου πειράματος εξάχθηκαν με σχετική ακρίβεια, τονίζοντας την επιτυχημένη εφαρμογή του UAV (Gao et al., 2014). Ένα ακόμα πείραμα που πραγματοποιήθηκε με UAV, είναι η βιντεοσκόπηση διασταύρωσης, με σκοπό την καταγραφή των κυκλοφοριακών μεγεθών των οχημάτων και της συμπεριφοράς του χρήστη πριν την είσοδο και κατά την έξοδο του από τη διασταύρωση. Το μέγιστο σφάλμα που παρατηρήθηκε στη βαθμονόμηση της περιοχής του συγκεκριμένου πειράματος, ήταν απόκλιση της τάξης των 155 χιλιοστών από τις πραγματικές διαστάσεις, το οποίο ερμηνεύεται σε μέγιστο σφάλμα καταγραφής ταχυτήτων λιγότερο από 1 km/hr και αποτελεί μία απόδειξη των δυνατοτήτων του UAV σε έρευνες συλλογής κυκλοφοριακών δεδομένων, αποδίδοντας πολύ καλή ακρίβεια (Barmounakis et al., 2015).

Τα UAV κατηγοριοποιούνται ανάλογα με τον τρόπο λειτουργίας των ελίκων τους και με την αυτονομία των κινήσεων τους. Όσον αφορά τον τρόπο λειτουργίας, οι έλικες χωρίζονται σε σταθερούς και περιστρεφόμενους, όπου οι τελευταίοι δίνουν τη δυνατότητα αιώρησης σε στάσιμο σημείο, χωρίς να είναι αναγκαία η συνεχόμενη κίνηση του UAV στο χώρο, προκειμένου να συνεχίσει να αιωρείται και δυνατότητα κατακόρυφης πτήσης, απογείωσης και προσγείωσης. Επίσης εξαιτίας της κίνησης των περιστρεφόμενων ελίκων, το UAV απαιτεί λιγότερο χρόνο απογείωσης και μικρότερο χώρο προσγείωσης. Όσον αφορά την αυτονομία του τρόπου χειρισμού τους, διακρίνονται σε: πλήρως αυτόματα με προγραμματισμένη πτήση εκ των προτέρων, ημιαυτόματα, στα οποία ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να επέμβει κατά τη διάρκεια πτήσης τους και σε χειροκίνητα, όπου η κίνηση τους ελέγχεται εξ' ολοκλήρου από τον χρήστη, μέσω τηλεχειριστηρίου.

Η χρήση τους, σε σχέση με άλλους τρόπους καταγραφής της κυκλοφορίας, είναι αισθητά βελτιωμένη, ακριβέστερη και οικονομικότερη, καθώς παρέχει άμεση καταγραφή και μετάδοση δεδομένων, καθώς επίσης κάλυψη μεγάλης περιοχής, χωρίς να χρειάζεται η τοποθέτηση πολλαπλών μέσων βιντεοσκόπησης, γεγονός εκ του οποίου συνεπάγεται το χαμηλό κόστος εφαρμογής του UAV. Σε αντίθεση με τη σταθερή κάμερα, το UAV δίνει τη δυνατότητα ελεύθερης επιλογής περιοχής μελέτης, χωρίς τον περιορισμό τοποθέτησης του σε υψηλά σημεία (γέφυρες, κτίρια). Επιπλέον, λόγω του μικρού μεγέθους τους μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε μελέτες συλλογής κυκλοφοριακών μεγεθών οχημάτων και πεζών, χωρίς να γίνει αισθητή η παρουσία τους από τους χρήστες, με αποτέλεσμα τα δεδομένα που εξάγονται να είναι κατά βάση εμπειρικά και όχι πειραματικά.

Ένα από τα βασικότερα ζητήματα που πρέπει να πληροί ένα μέσο καταγραφής είναι η ακρίβεια των συλλεγόμενων δεδομένων και συνεπώς η ακρίβεια των αποτελεσμάτων. Η σημαντικότερη παράμετρος που καθορίζει την ακρίβεια είναι ο αριθμός των πίξελ που αποτελούν την εικόνα, καθώς όσο αυτός αυξάνει, τόσο μεγαλώνει και η ακρίβεια στη συλλογή των δεδομένων. Συγκεκριμένα, η διεξαγωγή πρόσφατης έρευνας έδειξε πως η ανάλυση του βιντεοσκοπημένου υλικού από το UAV μπορεί να καταγράψει ακριβέστατα τα οχήματα, δίνοντας ένα τυπικό σφάλμα ταχύτητας 3km/h (Reinartz et al., 2006). Η κατανόηση της συμπεριφοράς του χρήστη σε τμήματα του οδικού δικτύου, όπου η σύγκρουση και η εμπλοκή παρουσιάζουν αρκετές πιθανότητες εμφάνισης, είναι ζήτημα

μεγάλης σημασίας κυρίως για λόγους ασφαλείας. Η ακριβής και λεπτομερή εξαγωγή τροχιών μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την κατανόηση και την πρόβλεψη τέτοιων φαινομένων και συνεπώς η συλλογή αυτών των δεδομένων μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον εντοπισμό ασυνήθιστων συμπεριφορών, με σκοπό τη βελτίωση της ασφάλειας και της κυκλοφορίας.

Τέλος, με την εξέλιξη των συστημάτων που διαθέτει το UAV, είναι δυνατή η εφαρμογή του για την ακριβή και λεπτομερή συλλογή κινηματικών χαρακτηριστικών των πεζών, γεγονός που διευκολύνει τη μελέτη και ανάλυση της συμπεριφοράς και του τρόπου κίνησης τους (Floris et al., 2015).

## 2.4 Συμπεράσματα βιβλιογραφίας

Η εφαρμογή διαφόρων μεθόδων για τον έλεγχο και τη διαχείριση της κυκλοφορίας, έχει αποδειχθεί χρήσιμη, καταλήγοντας σε βασικά συμπεράσματα για την κατανόηση κυκλοφοριακών προβλημάτων και της συμπεριφοράς των χρηστών σε αντίξοες και ασυνήθιστες συνθήκες κυκλοφορίας. Από τις συμβατικές μεθόδους καταγραφής, αυτή που ξεχωρίζει είναι η μαγνητοσκόπηση με σταθερή κάμερα, η οποία αποτελεί ένα από τα πιο διαδεδομένα μέσα καταγραφής ειδικά μετά την ανάπτυξη κατάλληλων λογισμικών, τα οποία παρέχουν τη δυνατότητα λεπτομερούς εξαγωγής κυκλοφοριακών μεγεθών τόσο σε μακροσκοπικό όσο και σε μικροσκοπικό επίπεδο. Παρ' όλα αυτά εισάγει αρκετούς περιορισμούς όσον αφορά τη θέση καταγραφής της, γεγονός το οποίο δυσχεραίνει τη χρήση της σε όλα τα πιθανά πεδία εφαρμογής.

Η τεχνολογία των UAV ξεπερνά τους περιορισμούς που παρουσιάζουν άλλες μέθοδοι, καθιστώντας τα ικανά να συλλέξουν ακριβή και λεπτομερή κυκλοφοριακά μεγέθη. Τα πλεονεκτήματά τους, σχετικά με τις υπόλοιπες μεθόδους, συνοψίζονται στη μεγαλύτερη περιοχή καταγραφής, στο χαμηλότερο κόστος εφαρμογής και στην άμεση μαγνητοσκόπηση και ανταπόκριση σε δύσκολα διαχειρίσιμες κυκλοφοριακές συνθήκες. Επιπλέον, αποτελούν πολύ καλή πηγή εξαγωγής κινηματικών μεγεθών των πεζών, σε πραγματικό χρόνο, γεγονός πολύ σημαντικό για τη μελέτη των χαρακτηριστικών και την ανάλυση της συμπεριφοράς τους, σε επίπεδο αλληλεπίδρασης με οχήματα ή με άλλους πεζούς, βοηθώντας με αυτόν τον τρόπο σε έρευνες διαμόρφωσης της συμπεριφοράς του πλήθους σε καταστάσεις έντονης συμφόρησης ή σε περιπτώσεις εκκένωσης του χώρου, με σκοπό την πρόληψη εμπλοκών και σοβαρών ατυχημάτων.

Παρ' όλα αυτά, η άμεση αντιμετώπιση ορισμένων ζητημάτων, όπως η χαμηλή διάρκεια μπαταρίας τους και η αδυναμία πτήσης υπό άσχημες καιρικές συνθήκες, είναι αναγκαία για τη βελτίωση της λειτουργίας τους. Παρά το γεγονός ότι η χρήση των UAV μπορεί να βελτιώσει την ασφάλεια και την αποδοτικότητα των οδικών δικτύων για ασφαλές μετακινήσεις οχημάτων και πεζών, η εφαρμογή τους είναι περιορισμένη στις κυκλοφοριακές έρευνες, καθώς δεν έχουν θεσμοθετηθεί κανονισμοί για τη χρήση τους στα πλαίσια της Ευρωπαϊκής Ένωσης, ενώ πρόσφατα προτάθηκε μια βάση κανονισμών στην Αμερική από την Ομοσπονδιακή Διοίκηση Αεροπορίας.

Τέλος, όσον αφορά τη συγκριτική αξιολόγηση διαφόρων μεθόδων καταγραφής κινηματικών χαρακτηριστικών που εμφανίζεται στη βιβλιογραφία, παρατηρείται ότι έχουν διεξαχθεί πειράματα που συγκρίνουν τη σταθερή κάμερα με μεθόδους ανίχνευσης εδάφους, όπως είναι οι επαγωγικοί βρόγχοι. Επίσης αναφέρονται τα πλεονεκτήματα της αερομεταφερόμενης κάμερας σε σχέση με τη σταθερή, τα οποία περιορίζονται μόνο στη σύγκριση των χαρακτηριστικών λειτουργίας, χωρίς να γίνεται εξαγωγή δεδομένων και από τις δύο μεθόδους, ώστε να συγκριθούν μεταξύ τους και να προκύψουν ολοκληρωμένα συμπεράσματα. Επιπρόσθετα, πραγματοποιείται σύγκριση για τη λήψη δεδομένων από δορυφορικές εικόνες και επίγειους ανιχνευτές καταγραφής κυκλοφοριακών μεγεθών, χωρίς όμως να γενικεύονται τα αποτελέσματα της έρευνας για την αξιολόγηση των αεροφωτογραφιών στην εφαρμογή τους σε έρευνες κυκλοφοριακής τεχνικής.

Συνεπώς, το βασικό συμπέρασμα που συνάγεται από την εν λόγω βιβλιογραφική ανασκόπηση της παρούσας έρευνας, είναι πως παρά την διεξαγωγή αρκετών πειραμάτων με το UAV, δεν έχει πραγματοποιηθεί, τουλάχιστον μέχρι σήμερα, συγκριτική αξιολόγηση του τελευταίου για την καταγραφή κυκλοφοριακών μεγεθών σε σχέση με άλλες διαδεδομένες μεθόδους, όπως είναι η σταθερή κάμερα.

# Κεφάλαιο 3

---

## *Μεθοδολογική Προσέγγιση*

Στο παρόν κεφάλαιο αναλύεται ο τρόπος με τον οποίο συμπληρώνεται η βάση δεδομένων για το πειραματικό στάδιο της έρευνας καθώς και ο τρόπος με τον οποίο πραγματοποιείται η επεξεργασία της προκειμένου να εξαχθούν τα αποτελέσματα και τα τελικά συμπεράσματα.

### **3.1 Λήψη Δεδομένων**

Η λήψη των πληροφοριών για την δημιουργία της βάσης δεδομένων έγινε μέσω της χρήσης σταθερής κάμερας αλλά και UAV, τα χαρακτηριστικά των οποίων αναλύονται παρακάτω.

Η επιλογή της περιοχής μελέτης πρέπει να πληροί συγκεκριμένες προϋποθέσεις. Καταρχάς, πρέπει να είναι ένα ενιαίο επίπεδο χωρίς κοίλες και κυρτές κλίσεις ή ύπαρξη σκάλας, προκειμένου να μην δημιουργηθούν προβλήματα κατά τη διαδικασία εξαγωγής αποτελεσμάτων. Μία ακόμα βασική προϋπόθεση είναι και η ύπαρξη μεγάλου φόρτου ροής πεζών, προκειμένου να συλλεγούν αρκετά δεδομένα έτσι ώστε να είναι δυνατή και ακριβέστερη η στατιστική τους επεξεργασία. Επιπλέον, η περιοχή στην οποία πραγματοποιούνται οι τροχιές των πεζών πρέπει να αποτελεί αποκλειστικά περιοχή κίνησης πεζών, ώστε οι κινήσεις τους να μην διακόπτονται από εισερχόμενα οχήματα. Με αυτόν τον τρόπο, συλλέγονται ροές, οι οποίες δεν επηρεάζονται από άλλους παράγοντες, παρά μόνο από την μεταξύ τους αλληλεπίδραση, με σκοπό την αποδοτικότερη μελέτη των κινηματικών χαρακτηριστικών των πεζών. Επίσης, όσον αφορά στην τοποθέτηση της κάμερας, η περιοχή μελέτης πρέπει να παρέχει στον ερευνητή την δυνατότητα λήψης βίντεο από μια υπερυψωμένη θέση προκειμένου η γωνία εγγραφής να είναι όσο το δυνατόν πιο απότομη (με βέλτιστη επιλογή την κατακόρυφη μαγνητοσκόπηση). Τέλος, εφόσον γίνεται χρήση UAV, πρέπει να υπάρχει προστατευμένος χώρος για την απογείωση και προσγείωση του.

Έχοντας τους παραπάνω περιορισμούς έγινε η αναζήτηση για την περιοχή στην οποία θα πραγματοποιηθεί η βιντεοσκόπηση της κίνησης των πεζών. Για το παρόν πείραμα επιλέχθηκε η περιοχή έξω από τα Νέα Κτίρια Πολιτικών Μηχανικών και συγκεκριμένα, η περιοχή έξω από το κτίριο που στεγάζει τις αίθουσες διδασκαλίας.

Με βάση τις προϋποθέσεις που αναφέρθηκαν προηγουμένως, καταλληλότερος χώρος για την τοποθέτηση της σταθερής κάμερας και για τις ασφαλείς απογειώσεις-προσγειώσεις του UAV, επιλέχθηκε η ταράτσα του κτιρίου, η οποία απέχει περίπου 7 μέτρα από το επίπεδο της περιοχής μελέτης. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν κατά τη διάρκεια της εξεταστικής περιόδου του Σεπτεμβρίου, με σκοπό τη υψηλότερη δυνατή λήψη δεδομένων. Συγκεκριμένα, βιντεοσκοπήθηκαν τα δεκαπέντε λεπτά πριν την έναρξη της εξεταστικής διαδικασίας και τα δεκαπέντε λεπτά μετά τη λήξη της, διότι αυτές τις χρονικές περιόδους εμφανίζεται ο μέγιστος φόρτος ροής πεζών κατά την είσοδο και έξοδο τους από το κτίριο.

Επιπλέον, για να επιτευχθεί η σύγκριση των κινηματικών χαρακτηριστικών των πεζών μεταξύ του UAV και της σταθερής κάμερας, αναγκαία ήταν η ταυτόχρονη λήψη και διάρκεια μετρήσεων των δύο μέσων, με σκοπό τη βιντεοσκόπηση των ίδιων τροχιών. Στις Εικόνες 4 και 5 φαίνονται χαρακτηριστικές λήψεις της περιοχής μελέτης από UAV και σταθερή κάμερα αντίστοιχα.



Εικόνα 4: Περιοχή μελέτης: λήψη από UAV



Εικόνα 5: Περιοχή μελέτης: λήψη από σταθερή κάμερα

### 3.1.1 Λήψη με Σταθερή Κάμερα

Χρησιμοποιήθηκε κάμερα χειρός υψηλής ανάλυσης και συγκεκριμένα η SONY Handycam HDR-SR7E, καθώς μία κάμερα με υψηλότερη ευκρίνεια δίνει τη δυνατότητα στην εικόνα να έχει μεγαλύτερη ανάλυση, με αποτέλεσμα τη μεγαλύτερη ακρίβεια στα δεδομένα που εξάγονται. Η συγκεκριμένη κάμερα, η οποία ανήκει στον Τομέα Μεταφορών και Συγκοινωνιακής Υποδομής του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, παρέχει στον χρήστη την δυνατότητα λήψης δείγματος υψηλής ποιότητας το οποίο αποθηκεύεται κατ' ευθείαν σε ψηφιακή μορφή και μπορεί να επεξεργαστεί εύκολα από οποιοδήποτε ηλεκτρονικό υπολογιστή. Επιπρόσθετα, επειδή οι βιντεοσκοπήσεις πρέπει να απεικονίζουν ένα σταθερό περιβάλλον, μέσα στο οποίο θα διαδραματίζονται οι ροές των πεζών, απαραίτητη είναι η χρήση ενός τριπόδου προκειμένου να επιτευχθεί με ακρίβεια η βαθμονόμηση. Συνεπώς,

για την σταθερότητα του πλάνου λήψης χρησιμοποιήθηκε τρίποδο το οποίο ανήκει κι αυτό στο Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο. Προκειμένου να ελεγχθούν τα σφάλματα λόγω προοπτικής στις εικόνες, η βιντεοκάμερα πρέπει να τοποθετηθεί το ψηλότερο δυνατό και η γωνία εγγραφής να είναι όσο πιο απότομη γίνεται. Επιπλέον, η βιντεοκάμερα πρέπει να έχει όσο το δυνατόν μεγαλύτερο εστιακό μήκος, το οποίο έχει να κάνει με τους φακούς της κάμερας και θα πρέπει να αποφευχθούν φακοί με μεγάλη παραμόρφωση στα μεγάλα μήκη. Τέλος, η ροή κυκλοφορίας πρέπει να γίνεται σε ένα ενιαίο επίπεδο, δηλαδή να μην υπάρχουν κοίλες ή κυρτές κλίσεις στην οδό ή στο φέρετρό.

Η κάμερα τοποθετήθηκε σε ύψος 8 μέτρων από το επίπεδο όπου πραγματοποιούνται οι τροχίες των πεζών, με γωνία λήψης  $42^\circ$  (Εικόνα 6).



Εικόνα 6: Σταθερή κάμερα-Τρίποδο

### 3.1.2 Μη Επανδρωμένο Αεροσκάφος

Το εργαστήριο έρευνας του τομέα Μεταφορών και Συγκοινωνιακής Υποδομής του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, έχει στη διάθεσή του ένα UAV για διεξαγωγή κυκλοφοριακών μελετών, και συγκεκριμένα το μοντέλο DJI S900 hexacopter-Spreading Wings (Εικόνα 7). Το συγκεκριμένο UAV παρουσιάζει κάποια ειδικά χαρακτηριστικά που το καθιστούν κατάλληλο για καταγραφή κινηματικών χαρακτηριστικών και τα οποία αναλύονται παρακάτω.



Εικόνα 7: UAV έτοιμο για απογείωση (αριστερά), πτήση UAV (δεξιά)

Το γεγονός ότι διαθέτει έξι έλικες, εκ των οποίων οι τρεις στρέφονται ωρολογιακά και οι υπόλοιποι τρεις αντιωρολογιακά, του προσδίδει υψηλή σταθερότητα κατά την απογείωση και προσγείωση του, καθώς και κατά τη διάρκεια που βρίσκεται στον αέρα, βιντεοσκοπώντας. Επιπλέον, αυτή η αλληλουχία και ο συνδυασμός κινήσεων (ωρολογιακά-αντιωρολογιακά) του δίνουν τη δυνατότητα να κάνει όλους τους δυνατούς ελιγμούς, με αποτέλεσμα να είναι εύκολο στη χρήση και διαχείριση του. Επιπλέον, η μέγιστη ταχύτητα του για απογείωση και προσγείωση φτάνει τα 6m/s, ενώ η οριζόντια αγγίζει τα 16m/s, με βασική προϋπόθεση τις ευνοϊκές καιρικές συνθήκες και το ελάχιστο δυνατό βάρος. Επίσης, έχει την ικανότητα να φτάσει 1 χιλιόμετρο μακριά από τη βάση του. Η κάμερα που διαθέτει ανήκει στην κατηγορία Gopro, με πολύ υψηλή ανάλυση εικόνας και έχει γωνία εγγραφής 180°. Είναι συνδεδεμένη στο UAV με έναν γυροσκοπικό μηχανισμό, ο οποίος της επιτρέπει να κάνει ελεγχόμενες στροφές και επομένως να σταθεροποιεί τα πλάνα λήψης κατά τη διάρκεια πτήσης του UAV. Ο μέγιστος χρόνος πτήσης του είναι δεκαοχτώ λεπτά, σε ιδανικές καιρικές συνθήκες, αλλά υπάρχει η δυνατότητα αντικατάστασης της μπαταρίας εφόσον είναι απαραίτητο. Επίσης, σε περίπτωση χαμηλής στάθμης της μπαταρίας, έχει την ικανότητα να πραγματοποιεί αυτόματες προσγειώσεις στο σημείο εκκίνησης. Συγκεκριμένα, έχει ορίσει σε 0 μέτρα υψόμετρο το σημείο απογείωσης, οπότε σε μία περίπτωση ανάγκης, «αναζητεί» το μηδενικό υψόμετρο και προσγειώνεται σε αυτό. Στο παρόν πείραμα το υψόμετρο εκκίνησης και προσγείωσης το αποτελεί η ταράτσα του κτίριου, όπου είναι τοποθετημένος ο εξοπλισμός, ενώ με κατάλληλη ρύθμιση, γίνεται η πρώτη προειδοποίηση στο 50% της αντοχής της μπαταρίας και σε ποσοστό 40% πραγματοποιείται η αυτόματη προσγείωση για λόγους ασφαλείας. Ένα επιπλέον στοιχείο που καθιστά το UAV κατάλληλο για την εξαγωγή κινηματικών δεδομένων των πεζών, είναι ο ειδικός εξοπλισμός του, ο οποίος αποτελείται από (Εικόνα 8):

1. Τηλεχειριστήριο (controller)
2. Monitor
3. Laptop, για την τηλεμετρία



Εικόνα 8: Ειδικός εξοπλισμός UAV

Ειδικά, με το controller (1) ο χρήστης ρυθμίζει και ελέγχει τις κινήσεις του UAV, δίνοντας του τη δυνατότητα να το μετακινήσει οπουδήποτε επιθυμεί. Στο monitor (2) μεταφέρεται η ζωντανή εικόνα κατά τη διάρκεια της μαγνητοσκόπησης (First Person View), στοιχείο πολύ σημαντικό για την λήψη της κατάλληλης εικόνας και την εξαγωγή σωστών πληροφοριών, καθώς ο χρήστης μπορεί να αποφύγει σημεία που ενδεχομένως να εμποδίζουν την ολοκληρωμένη καταγραφή τροχιών των πεζών στην περιοχή μελέτης του (hidden points). Τέλος, πηγή σημαντικών πληροφοριών αποτελεί η τηλεμετρία, που στην ουσία πρόκειται για ψηφιακή ροή δεδομένων, όσον αφορά τα στοιχεία της πτήσης του UAV. Η εμφάνιση των δεδομένων γίνεται στο laptop (ground station) (3), όπου είναι συνδεδεμένη μία κεραία, από την οποία λαμβάνονται οι πληροφορίες, οι οποίες ενημερώνουν το χρήστη για το υψόμετρο, την ταχύτητα του ανέμου και UAV, τη διαθέσιμη στάθμη μπαταρίας, τη θέση του σχετικά με τη νοητή γραμμή του ορίζοντα καθώς και την εκτροπή του.

Απο τα κυριότερα πλεονεκτήματα του είναι η κατακόρυφη μαγνητοσκόπηση της περιοχής μελέτης από μεγάλο υψόμετρο και η γωνία λήψης της ενσωματωμένης κάμερας, η οποία έχει την ικανότητα εμφάνισης πεδίου 180°. Στο συγκεκριμένο πείραμα, η υψομετρική απόσταση του UAV από το επίπεδο διεξαγωγής τροχιών των πεζών είναι περίπου 20 μέτρα.

Επιπρόσθετα, βασικό μειονέκτημα που χαρακτηρίζει το UAV και επηρεάζει τη διάρκεια της πτήσης του και την ποιότητα των εξαγόμενων βίντεο είναι οι εκάστοτε καιρικές συνθήκες που επικρατούν. Συγκεκριμένα, σε περίπτωση υψηλής ταχύτητας ανέμου (>5 beaufort), αποφεύγεται η απογείωση του, καθώς προκύπτουν δυσκολίες διαχείρισης του όσο βρίσκεται στον αέρα, όπως η παραμονή του σε ένα συγκεκριμένο σημείο ενδιαφέροντος (hovering), η μετατόπιση του σε ένα άλλο σημείο, η ανύψωση και προσγείωση του. Ακόμα και να επιτευχθεί η πτήση του για ένταση ανέμου 5 beaufort, θα προκύψουν δυσκολίες στα δεδομένα βίντεο, αφού η αδυναμία του να παραμείνει σταθερό σε ένα σημείο αλλά και η πιθανή ταλάντευση της κάμερας, θα έχουν σαν αποτέλεσμα τη συνεχή κίνηση της εικόνας. Ένα άλλο καιρικό φαινόμενο κατά το οποίο δεν συνιστάται η χρήση του είναι η βροχή. Στην παρούσα έρευνα, υπήρξαν περιπτώσεις αρκετής έντασης ανέμου, όπου το UAV είτε έμεινε στον αέρα για λιγότερη ώρα από την προβλεπόμενη (<15 λεπτά) ή δεν πραγματοποιήθηκε καθόλου η ανύψωση του. Κατά κύριο λόγο, στις περισσότερες μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν η ένταση του ανέμου κυμαινόταν από 2-3 beaufort.

Εφόσον έχει γίνει χρήση δύο διαφορετικών μέσων καταγραφής των κυκλοφοριακών δεδομένων, πρέπει να γίνει μία αναφορά στις τεχνικές διαφορές τους, πριν να καταλήξει ο ερευνητής σε κάποιο συμπέρασμα κατά την ολοκλήρωση της ανάλυσης των δεδομένων. Με αυτόν τον τρόπο, αποκτάται μια πρώτη γενική γνώση, η οποία θα φανεί χρήσιμη στη σύγκριση των αποτελεσμάτων καθώς και στην ανάλυση των συμπερασμάτων, κατά την διεκπεραίωση της έρευνας.

Στον Πίνακα 1 αναφέρονται τα κυριότερα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα του κάθε μέσου καταγραφής των κινηματικών χαρακτηριστικών των πεζών, στη δεδομένη περιοχή μελέτης, με σκοπό τη μεταξύ τους σύγκριση, με βασικό άξονα τα τεχνικά χαρακτηριστικά τους.



Πίνακας 1: Σύγκριση τεχνικών χαρακτηριστικών UAV-Σταθερής κάμερας

	UAV	Σταθερή κάμερα
<b>Πλεονεκτήματα</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• μετακίνηση σε οποιαδήποτε θέση, με σκοπό την καλύτερη επιλογή περιοχής μελέτης</li> <li>• Δυνατότητα αποφυγής σημείων που εμποδίζουν την ολοκληρωμένη καταγραφή ροών(hidden points)</li> <li>• Κάθετη μαγνητοσκόπηση από μεγάλο υψόμετρο</li> <li>• Ευρεία γωνία λήψης 180 μοιρών</li> <li>• Δυνατότητα βιντεοσκόπησης μεγάλης περιοχής μελέτης</li> <li>• Η χρήση του ειδικού εξοπλισμού δίνει περαιτέρω στοιχεία στον χρήστη για την πτήση του UAV</li> <li>• Πολύ υψηλή ανάλυση εικόνας, εξαιτίας του μεγάλου αριθμού pixel</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Η χρήση της δεν έχει άμεση εξάρτηση από τις εκάστοτε καιρικές συνθήκες</li> <li>• Σε συνδυασμό με το τρίποδο, εξάγονται πλήρως σταθερά πλάνα</li> <li>• Υψηλή διάρκεια μπαταρίας (90 λεπτά)</li> </ul>
<b>Μειονεκτήματα</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Η χρήση του εξαρτάται από τις καιρικές συνθήκες, για τις οποίες ο χρήστης πρέπει να είναι ενήμερος</li> <li>• Χρειάζεται συγκεκριμένη επεξεργασία για τη σταθεροποίηση των πλάνων(stabilization)</li> <li>• Ύπαρξη προστατευμένου χώρου γύρω από την περιοχή μελέτης, για απογείωση-προσγείωση του</li> <li>• Χαμηλή διάρκεια μπαταρίας (15 λεπτά)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Εύρεση περιοχή μελέτης στην οποία είναι δυνατή η βιντεοσκόπηση από υπερυψωμένη θέση</li> <li>• Αρκετά μικρή γωνία λήψης συγκριτικά με το UAV</li> <li>• Ύπαρξη σημείων που εμποδίζουν την ολοκληρωμένη καταγραφή τροχιών</li> <li>• Αισθητά περιορισμένη περιοχή μελέτης σε σύγκριση με το UAV</li> </ul>

Τα βιντεοσκοπημένα δείγματα προκειμένου να μπορέσουν να παρέχουν εξαγόμενες πληροφορίες πρέπει να επεξεργαστούν κατάλληλα. Η επεξεργασία αυτή απαιτεί συγκεκριμένη ψηφιακή μορφή ώστε να είναι συμβατά με το εκάστοτε λογισμικό και να μην επηρεάζονται από φαινόμενα διαστρέβλωσης της εικόνας (fisheye effect, stabilization, perspective filter), για τα οποία θα γίνει εκτενής ανάλυση σε παρακάτω κεφάλαιο.

### 3.2 Εξαγωγή δεδομένων από το βίντεο

Εφόσον έχει ολοκληρωθεί η βιντεοσκόπηση, απαραίτητη είναι η επεξεργασία των ληφθέντων βίντεο, προκειμένου να εξαχθούν οι μετρήσεις και οι παρατηρήσεις, οι οποίες θα διαμορφώσουν τη βάση δεδομένων του πειράματος. Για τη διαδικασία αυτή έχουν αναπτυχθεί διάφορα λογισμικά, αυτό όμως που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα έρευνα είναι το λογισμικό Tracker Video Analysis.

Το Tracker Video Analysis είναι ένα λογισμικό το οποίο αναπτύχθηκε για να αναλύει και να μοντελοποιεί τις κινήσεις των σωμάτων που έχουν καταγραφεί σε ένα βίντεο, μέσα από

αλληλουχίες καρτέ βίντεο (25 frames/sec). Συγκεκριμένα, δίνει τη δυνατότητα στον ερευνητή να καταγράψει μικροσκοπικά μεγέθη όπως η ταχύτητα, η επιτάχυνση, η επιβράδυνση καθώς και αλληλεπιδράσεις μεταξύ των σωμάτων, όπως η διαφορά ταχυτήτων και ο χωρικός διαχωρισμός. Συνεπώς, το συγκεκριμένο λογισμικό είναι κατάλληλο για την καταγραφή και ανάλυση των κινηματικών χαρακτηριστικών κυκλοφοριακών δεδομένων και στην παρούσα έρευνα χρησιμοποιείται για την μελέτη τροχιών των πεζών.

Η χρήση της βιντεοσκόπησης στη λήψη κυκλοφοριακών δεδομένων είναι μία πολύ σημαντική διαδικασία, η οποία παρουσιάζει πολλά πλεονεκτήματα. Καταρχάς, το μεγαλύτερο πλεονέκτημα του είναι ότι παράχεται η δυνατότητα να καταγραφούν οι τροχιές και τα κυκλοφοριακά μεγέθη των εξεταζόμενων πεζών. Επιπλέον, οποιοδήποτε βίντεο μπορεί να επαναξεταστεί και να μελετηθεί ξανά, προκειμένου να διασφαλιστεί η ποιότητα των δεδομένων που εξάγονται. Είναι ένα λογισμικό, το οποίο μπορεί να αποδώσει αποτελεσματικά ακόμα και με την επίδραση πολλαπλών στοιχείων προς ανάλυση. Σημαντικό προτέρημα του είναι το γεγονός πως τα αποτελέσματα των τροχιών απεικονίζονται απευθείας σε μορφή διαγράμματος και με αυτόν τον τρόπο ο χρήστης αποκτά μία πρώτη γνώση για τα δεδομένα του πριν προχωρήσει στην ανάλυση τους. Επίσης, δίνονται στατιστικές πληροφορίες για τις μεταβλητές που εξάγονται από την ολοκλήρωση των τροχιών. Τέλος, είναι απλό στη χρήση και δεν χρειάζεται κάποια ιδιαίτερη εκμάθηση.

Παρόλα τα πλεονεκτήματα που προσφέρει το παραπάνω λογισμικό, υπάρχουν και ορισμένοι παράγοντες στους οποίους υστερεί. Πολύ σημαντικό είναι ότι η λήψη του βίντεο πρέπει να πραγματοποιηθεί από υπερυψωμένο σημείο, για να υπάρχει μία μορφή κάτοψης σε κάθε πλάνο, έτσι ώστε να είναι ευκολότερη και ακριβέστερη η διαμόρφωση και αντιστοιχία των διαστάσεων της περιοχής μελέτης στο βίντεο, με τις πραγματικές διαστάσεις. Επίσης, παρουσιάζει αρκετή καθυστέρηση στο να φορτώνει αρχεία μεγάλου μεγέθους, δηλαδή βίντεο μεγάλης διάρκειας και υψηλής ανάλυσης, με αποτέλεσμα ο χρήστης να αναγκαστεί να μειώσει το χρόνο του δείγματος, σε περίπτωση που είναι απαραίτητο. Η ανάλυση των βίντεο όμως, είναι κρίσιμης σημασίας καθώς αν αυτή είναι χαμηλή, επηρεάζει τα δεδομένα του πειράματος, δυσχεραίνοντας τη βαθμονόμηση και την εξαγωγή των τροχιών. Τέλος, το μεγαλύτερο μειονέκτημα του είναι ότι η διαδικασία με την οποία γίνεται η εξαγωγή των δεδομένων είναι ιδιαίτερα χρονοβόρα και μονότονη, γεγονός που την καθιστά μία επίπονη διαδικασία ανάλυσης και απαιτεί από τον ερευνητή αρκετό χρόνο συλλογής για τη δημιουργία της βάσης δεδομένων.

### 3.2.1 Διαδικασία εξαγωγής τροχιών

Η διαδικασία εξαγωγής των τροχιών ακολουθεί την εξής πορεία. Αρχικά πραγματοποιείται καταγραφή της κυκλοφοριακής ροής, από ένα επιλεγμένο σημείο κυκλοφορίας σε βίντεο. Έπειτα, ακολουθεί η μετατροπή των βιντεοσκοπημένων δειγμάτων σε ψηφιακή μορφή, κατάλληλη για επεξεργασία, όπως απαιτεί το κάθε λογισμικό. Τέλος η διαδικασία ολοκληρώνεται με την εξαγωγή των τροχιών και των κινηματικών χαρακτηριστικών των πεζών. Η σειρά με την οποία ολοκληρώνονται τα βήματα είναι η εξής:

Αρχικά, τα ληφθέντα πλάνα πρέπει να μετατραπούν σε αρχεία μορφής mov. Το tracker video analysis and modeling είναι σε θέση να τρέξει τα επεξεργασμένα βίντεο καρέ-καρέ (25 frames/sec), τα οποία αλλάζουν με το πάτημα ενός πλήκτρου, διευκολύνοντας έτσι το χρήστη να εξάγει τα αποτελέσματα με το δικό του τρόπο, χωρίς να χρειάζεται να ακολουθήσει μια αυτοματοποιημένη διαδικασία. Μόλις επιλεγεί η περιοχή μελέτης, τοποθετηθούν οι άξονες και η αρχή των αξόνων και γίνεται η σωστή αντιστοιχία των διαστάσεων με τις πραγματικές, τότε το λογισμικό είναι έτοιμο για να προκύψουν οι τροχιές και όλα τα κυκλοφοριακά μεγέθη. Αυτό σημαίνει ότι οι τροχιές και τα μεγέθη που προκύπτουν είναι συνάρτηση μόνο των συντεταγμένων (  $x, y$  ) και της μεταβλητής του χρόνου  $t$ , του εξεταζόμενου αντικειμένου σε κάθε καρέ.

Προκειμένου το tracker video analysis να τρέξει τα βιντεοσκοπημένα δείγματα, πρέπει να μετατραπούν σε μορφή Apple QuickTime Movie (mov) μέγιστης ανάλυσης. Η μετατροπή τους επιτυγχάνεται με τη βοήθεια κατάλληλου προγράμματος. Όταν τα δείγματα είναι τέτοιας ψηφιακής μορφής εισάγονται στο λογισμικό μέσω του μενού File -> Open File και έπειτα επιλογή του επιθυμητού ως προς ανάλυση δείγματος. Τα βίντεο που έχουν μαγνητοσκοπηθεί από την κάμερα είναι έτοιμα για την εισαγωγή τους στο λογισμικό, αυτά όμως του UAV χρειάζονται περαιτέρω επεξεργασία, η οποία αφορά στη σταθεροποίηση των πλάνων και αναλύεται παρακάτω.

#### Σταθεροποίηση του βιντεοσκοπημένου υλικού

Για την εξαγωγή κινηματικών χαρακτηριστικών από ένα βίντεο μαγνητοσκοπημένο μέσω του UAV, πρέπει να γίνει μια συγκεκριμένη διαδικασία έτσι ώστε να επιτευχθεί η μεγαλύτερη δυνατή ακρίβεια και να αποφευχθεί η διαστρέβλωση των δεδομένων. Τα δείγματα από το UAV δεν μπορούν να δώσουν ακριβή αποτελέσματα εξαιτίας της αστάθειας, καθώς μία μικρή κίνηση της κάμερας από έναν χαμηλής ταχύτητας άνεμο, μπορεί να οδηγήσει σε μεγάλο σφάλμα στην περιοχή μελέτης, με αποτέλεσμα να είναι απαραίτητη η σταθεροποίηση των πλάνων, η οποία επιτυγχάνεται σε δύο βήματα.

Καταρχάς, τα περισσότερα UAV έχουν έναν γυροσκοπικό μηχανισμό στον οποίο εφαρμόζεται η κάμερα και αυτός της επιτρέπει να κάνει ελεγχόμενες κινήσεις και περιστροφές γύρω από έναν άξονα. Αυτός ο μηχανισμός μειώνει τις απότομες κινήσεις της, οι οποίες μπορεί να προκληθούν από τη δύναμη που ασκεί ο άνεμος, κατά τη διάρκεια της πτήσης του.

Στη συνέχεια, ο ερευνητής εισάγει το βίντεο που θέλει να σταθεροποιήσει σε κατάλληλο λογισμικό σταθεροποίησης βίντεο, το οποίο χρησιμοποιεί ένα φίλτρο που ελαχιστοποιεί την αστάθεια των πλάνων ομαλοποιώντας την μετατόπιση και την περιστροφή της κάμερας. Λειτουργεί σε δύο στάδια, πρώτα επιλέγει ένα σταθερό σημείο ενός τυχαίου καρέ, το οποίο στην ουσία είναι ένα τετράγωνο που αποτελείται από pixel και το συγκρίνει με το ίδιο σημείο στο ακριβώς προηγούμενο καρέ. Με τον τρόπο αυτό προκύπτουν τα διανύσματα κίνησης των pixel, τα οποία χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό της μετατόπισης, της περιστροφής και της μεγέθυνσης, έτσι ώστε να κάνει κάθε καρέ να ταιριάζει με το ακριβώς προηγούμενο του. Το φίλτρο αγνοεί σημεία που ανήκουν σε κινούμενα αντικείμενα (π.χ. πεζοί) και για να γίνουν διακριτά, τα απεικονίζει με κόκκινο χρώμα. Στο δεύτερο στάδιο, επεξεργάζονται οι τιμές των διανυσμάτων της κίνησης που

υπολογίστηκαν παραπάνω και ανάλογα με την ομαλότητα που επιθυμεί ο χρήστης στο βίντεο, εφαρμόζονται οι ανάλογες ρυθμίσεις. Για την διεκπεραίωση του συγκεκριμένου πειράματος, η σταθεροποίηση πρέπει να είναι όσο το δυνατό υψηλότερη, έτσι ώστε να εξαχθούν αποτελέσματα όπως θα προέκυπταν βιντεοσκοπώντας από μια σταθερή κάμερα, με σκοπό να μην υπάρξει διαστρέβλωση των δεδομένων.

Εφόσον έχει γίνει η ολοκλήρωση και αυτού του βήματος, πλέον το βίντεο είναι έτοιμο να τρέξει και να επεξεργαστεί περαιτέρω μέσα από το λογισμικό. Η επεξεργασία αυτή, είναι αναγκαία προκειμένου να προχωρήσει ο ερευνητής στην εξαγωγή των τροχιών των κυκλοφοριακών δεδομένων και περιλαμβάνει την αντικατάσταση των διαστάσεων του βίντεο με τις πραγματικές μετρήσεις (calibration) και την εξαγωγή των συντεταγμένων των παρατηρούμενων οχημάτων ή πεζών. Τα δύο αυτά βήματα αναλύονται παρακάτω.

### Βαθμονόμηση των βιντεοσκοπημένων δειγμάτων

Το συγκεκριμένο βήμα περιλαμβάνει όλα τα απαραίτητα στοιχεία για την προετοιμασία των δεδομένων με σκοπό την εξαγωγή των συντεταγμένων και τελικά των τροχιών των πεζών. Αρχικά, φακοί οι οποίοι δίνουν την δυνατότητα μεγάλης γωνίας λήψης, χαρακτηρίζονται για την διαστρέβλωση που προκαλούν, κυρίως στις άκρες του βίντεο, δίνοντας μια πανοραμική ή ημισφαιρική προοπτική της εικόνας. Αυτό το φαινόμενο ονομάζεται fisheye και κρίνεται απαραίτητη η διόρθωση του, μετατρέποντας την εικόνα σε ευθύγραμμη, με σκοπό την ακρίβεια της βαθμονόμησης αλλά και την εξαγωγή δεδομένων από όλη τη μαγνητοσκοπημένη περιοχή.

Επιπλέον, αυτό το φαινόμενο μπορεί να εξαληφθεί χρησιμοποιώντας το φίλτρο διόρθωσης της προοπτικής (perspective filter), το οποίο διορθώνει την παραμόρφωση που προκύπτει όταν ένα αντικείμενο έχει φωτογραφηθεί ή βιντεοσκοπηθεί υπό γωνία και όχι με κάθετη μαγνητοσκόπηση. Η χρήση του είναι μεγάλης σημασίας για τα δείγματα της κάμερας, η οποία συνήθως τοποθετείται υπό γωνία, αφού είναι δύσκολο να βρεθεί θέση έτσι ώστε να είναι δυνατή η κάθετη βιντεοσκόπηση. Παρά την ικανότητα του UAV να πετάει ακριβώς πάνω από την περιοχή μελέτης (κατακόρυφη προβολή), το perspective filter πρέπει να εφαρμοστεί και στα δικά του βίντεο, καθώς έτσι θα διορθωθούν τυχόν λάθη και στο κέντρο της εικόνας, αλλά και στα γωνιακά pixel.

Μετά από την παραπάνω διαδικασία το βίντεο είναι έτοιμο για την απαραίτητη βαθμονόμηση του, κατά την οποία, οι διαστάσεις που έχουν μετρηθεί από το έδαφος στην περιοχή μελέτης, προσαρμόζονται στο βίντεο. Σημαντικό είναι να αναφερθεί το γεγονός πως η βαθμονόμηση πρέπει να έχει όσο το δυνατό μεγάλη ακρίβεια και οι διαστάσεις του βίντεο να συγκλίνουν με τις πραγματικές, διαφορετικά θα προκύψει μεγάλο σφάλμα στα δεδομένα και δεν θα είναι συμβατά με την πραγματικότητα. Επίσης, ανάλογα με την ανάλυση του βίντεο καθώς και το υψόμετρο από το οποίο είναι τραβηγμένο, κάθε pixel αντιστοιχεί σε ένα συγκεκριμένο μήκος. Έπειτα, θεωρείται ένα καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων, όπου οι συντεταγμένες σε οποιοδήποτε σημείο εκφράζονται ως την απόσταση αυτού του σημείου από την αρχή των αξόνων(0,0).

### Εξαγωγή συντεταγμένων

Το τελικό βήμα για την ολοκλήρωση των δεδομένων είναι η εξαγωγή των συντεταγμένων για το αντικείμενο μελέτης (οχήματα-πεζοί), το οποίο στην ουσία αποτελεί την διαμόρφωση των τροχιών τους. Για να σχηματιστεί η τροχιά, πρέπει ο χρήστης να επιλέξει ένα σημείο, για παράδειγμα την οροφή ενός οχήματος ή το κεφάλι ενός πεζού και είτε να ακολουθεί χειροκίνητα το σημείο αυτό (tracking) μέχρι να διασχίσει την περιοχή μελέτης ή να το κάνει αυτόματα, επιταχύνοντας έτσι την διαδικασία και βγάζοντας περισσότερα συνεχή δεδομένα, τα οποία χειροκίνητα μπορεί να έχανε. Στην αυτόματη διαδικασία ο χρήστης επιλέγει ένα πρότυπο σημείο, το οποίο περιβάλλεται από μία περιοχή εξέτασης, μέσα στην οποία θα γίνει η αναζήτηση σε κάθε καρέ, για το σημείο το οποίο ταυτίζεται καλύτερα με το πρότυπο που έχει επιλεγεί. Ως βέλτιστη ταύτιση ορίζεται αυτή με το μεγαλύτερο αριθμό (match score). Ο αριθμός αυτός είναι αντιστρόφως ανάλογος του αθροίσματος των τετραγώνων της διαφοράς RGB, μεταξύ των pixel του προτύπου σημείου και του ταυτιζόμενου.

$$\text{RGB difference} = \sum_i [(\Delta R_i)^2 + (\Delta G_i)^2 + (\Delta B_i)^2], \quad (3.1)$$

όπου το  $i$  αναφέρεται σε όλα τα pixels του προτύπου σημείου (template) και αυτού που ερευνάται (test image),

$$\Delta R_i = \text{Red}_{i(\text{test image})} - \text{Red}_{i(\text{template})}, \quad (3.2)$$

$$\Delta G_i = \text{Green}_{i(\text{test image})} - \text{Green}_{i(\text{template})}, \quad (3.3)$$

$$\Delta B_i = \text{Blue}_{i(\text{test image})} - \text{Blue}_{i(\text{template})}, \quad (3.4)$$

Η καλύτερη ταύτιση προκύπτει όταν η διαφορά RGB είναι η ελάχιστη.

$$\text{Match score} = (\text{mean RGB difference of all test images} / \text{best match RGB difference}) - 1, \quad (3.5)$$

Συγκεκριμένα,

Βέλτιστη ταύτιση: best match RGB diff = 0, match score = infinity

Καλή ταύτιση: best match RGB diff < mean/5, match score > 4

Κακή ταύτιση: best match RGB diff = mean, match score = 0

Εφόσον έχει βρεθεί η κατάλληλη ταύτιση, καταγράφεται η τροχιά με βήμα 0,04 second (25 frames/second). Από τη στιγμή που έχουν εξαχθεί οι συντεταγμένες της τροχιάς για κάθε καρέ, μπορεί να γίνει η γραφική αναπαράσταση τους και να υπολογιστεί η ταχύτητα ( $u$ ) και η επιτάχυνση ( $a$ ) σε σχέση με το χρόνο ( $t$ ).

Τέλος, πρέπει να επισημανθεί πως η επεξεργασία των δειγμάτων από την κάμερα, ακολουθεί την ίδια ακριβώς διαδικασία, με μόνη διαφοροποίηση την παράλειψη του βήματος της σταθεροποίησης, εφόσον είναι διαθέσιμο το τρίποδο, με το οποίο επιτυγχάνεται η σταθερότητα του πλάνου λήψης.

### 3.3 Επεξεργασία βάσης δεδομένων

Για την επεξεργασία της βάσης δεδομένων αναπτύσσονται άπειρες στατιστικές τεχνικές. Στη συγκεκριμένη έρευνα γίνεται χρήση της περιγραφικής και επαγωγικής στατιστικής προκειμένου να αναλυθούν τα δεδομένα των δειγμάτων, να πραγματοποιηθεί η προσομοίωση τους με τα αντίστοιχα μαθηματικά μοντέλα καθώς και η μεταξύ τους συσχέτιση, με σκοπό την εξαγωγή ορθών αποτελεσμάτων και ολοκληρωμένων συμπερασμάτων.

#### 3.3.1 Επιλογή Στατιστικής κατανομής

Ένας βασικός κλάδος της στατιστικής είναι η κατανόηση των στατιστικών κατανομών. Οι κατανομές αποτελούν ένα μαθηματικό υπόδειγμα μοντελοποίησης των στατιστικών δεδομένων. Σκοπός των κατανομών είναι να προσομοιωθεί μία σειρά δεδομένων με βάση ένα μαθηματικό μοντέλο το οποίο έχει συγκεκριμένες ιδιότητες. Η κατανόηση και η μοντελοποίηση του συνόλου υπό μία στατιστική κατανομή έχει πολλαπλά οφέλη, όπως: είναι δυνατή η πρόβλεψη των μελλοντικών τιμών της σειράς των δεδομένων, κατανοούνται τα περιγραφικά μεγέθη (μέση τιμή, διακύμανση, διάμεσος), το οποίο συνεπάγεται ότι υπάρχει η δυνατότητα κατανόησης εκ των προτέρων της εξέλιξης της σειράς, δίνεται η δυνατότητα μοντελοποίησης πολλαπλών σειρών σε πιο σύνθετα υποδείγματα με γνωστές ιδιότητες και τέλος, έχοντας γνώση των αδυναμιών του εκάστοτε μοντέλου/κατανομής, υπάρχει η δυνατότητα διόρθωσης αυτών των σφαλμάτων και αποτελεσμάτων. Οι κατανομές κατηγοριοποιούνται σε δύο βασικές ομάδες, τις Διακριτές και τις Συνεχείς. Στη διακριτή κατανομή η μεταβλητή λαμβάνει μεμονωμένες τιμές σε ένα διάστημα  $[α,β]$ . Οι Συνεχείς κατανομές χωρίζονται στις εξής υποομάδες: α) Φραγμένες, β) Μη Φραγμένες, γ) Μη Αρνητικές, συγκεκριμένα:

- **Συνεχής κατανομή( Μη Φραγμένη):** λαμβάνει όλες τις πιθανές τιμές στο διάστημα  $(-\infty, +\infty)$
- **Συνεχής κατανομή(Φραγμένη):** λαμβάνει όλες τις πιθανές τιμές στο διάστημα  $[α,β]$
- **Συνεχής κατανομή(Μη Αρνητική):** ορίζεται για  $x>y$  έτσι ώστε  $x-y>0$ , όπου  $y$  είναι συνεχής παράμετρος.

Για την παρουσίαση των στατιστικών κατανομών που ακολουθούν τα δεδομένα στην παρούσα διπλωματική, χρησιμοποιήθηκε κατάλληλο λογισμικό, το οποίο αποτελεί μια εφαρμογή ανάλυσης και προσομοίωσης δεδομένων που δίνει τη δυνατότητα αντιστοίχισης των δειγμάτων σε κατανομές πιθανοτήτων, επιλέγοντας το καλύτερο μοντέλο και εφαρμόζοντας τα αποτελέσματα της ανάλυσης για τη λήψη καλύτερων αποφάσεων. Η εφαρμογή περιλαμβάνει περίπου 60 κατανομές, οπότε δίνεται η δυνατότητα μεγάλου εύρους επιλογής με σκοπό την εξαγωγή του βέλτιστου αποτελέσματος, το οποίο προκύπτει έπειτα από κατάταξη με την εφαρμογή του Ελέγχου Καλής Προσαρμογής και του κριτηρίου Kolmogorov-Smirnov.

### Κριτήριο Kolmogorov-Smirnov

Το τεστ Kolmogorov-Smirnov αποτελεί ένα μη παραμετρικό τεστ που χρησιμοποιείται για να συγκρίνει ένα δείγμα με μια δεδομένη κατανομή πιθανότητας. Βασίζεται στην Εμπειρική Αθροιστική Συνάρτηση Κατανομής, η οποία εκφράζεται με τον τύπο:

$$F_n(x) = \frac{1}{n} \times (\text{αριθμός παρατηρήσεων} \leq x), \quad (3.6),$$

όπου:

$\chi$ : οι τιμές του δείγματος ( $\chi_1, \dots, \chi_n$ )

$n$ : ο αριθμός του δείγματος

$F(x)$ : η αθροιστική συνάρτηση κατανομής, η οποία εκφράζει την πιθανότητα μιά τυχαία μεταβλητή  $X$  να είναι μικρότερη ή ίση με την τιμή  $x$  και εκφράζεται με τον τύπο:

$$F(x) = P(X \leq x), \quad (3.7)$$

Ο στατιστικός δείκτης ελέγχου του συγκεκριμένου τεστ, οποίος απεικονίζεται με το γράμμα  $D$ , βασίζεται στην κατακόρυφη διαφορά που υπάρχει ανάμεσα στην αθροιστική συνάρτηση κατανομής των δεδομένων και στη αθροιστική συνάρτηση της αναφερόμενης κατανομής και υπολογίζεται από τον τύπο:

$$D = \max_{1 \leq i \leq n} [ F(x_i) - \frac{i-1}{n}, \frac{i}{n} - F(x_i) ], \quad (3.8)$$

### Έλεγχος Καλής Προσαρμογής

Ο έλεγχος καλής προσαρμογής είναι η διαδικασία εκείνη με την οποία μπορεί να ελεγχθεί αν τα δεδομένα ακολουθούν μια συγκεκριμένη κατανομή. Πρακτικά, η εφαρμογή του έχει σκοπό να μετρήσει την απόσταση μεταξύ των δεδομένων και της κατανομής που ελέγχεται κάθε φορά και να συγκρίνει αυτή τη διαφορά με μία οριακή τιμή, η οποία προκύπτει από τα δεδομένα ανάλογα με το επίπεδο σημαντικότητας ( $\alpha$ ) που έχει οριστεί, το οποίο συνήθως λαμβάνει την τιμή 0,05(5%). Εφόσον, η απόσταση αυτή, την οποία αποτελεί ο στατιστικός δείκτης ελέγχου του μη παραμετρικού τεστ( $D$ ), είναι μικρότερη από την εκάστοτε οριακή τιμή, τότε συνεπάγεται πως η κατανομή περιγράφει επαρκώς τα δεδομένα. Ως βέλτιστη κατανομή που παρουσιάζεται στην αρχή της κατάταξης, είναι αυτή που έχει το μικρότερο στατιστικό δείκτη, δηλαδή την ελάχιστη δυνατή απόσταση μεταξύ των δεδομένων και της κατανομής που τα περιγράφει.

Επιπρόσθετα, μία άλλη παράμετρος που χρησιμοποιείται για τη διεξαγωγή του συγκεκριμένου ελέγχου είναι η  $p$ -τιμή. Αρχικά, για κάθε μία κατανομή για την οποία εφαρμόζεται το Kolmogorov-Smirnov τεστ, εισάγονται δύο υποθέσεις, η αρχική ( $H_0$ ) και η εναλλακτική υπόθεση ( $H_1$ ). Ως αρχική ορίζεται η υπόθεση πως η επιλεγμένη κατανομή περιγράφει το δείγμα επαρκώς και ως εναλλακτική πως η κατανομή είναι ακατάλληλη. Η  $p$ -τιμή είναι η τιμή της πιθανότητας για την οποία ισχύει η αρχική υπόθεση και εκφράζει την ελάχιστη τιμή του επιπέδου σημαντικότητας για την οποία προκύπτει η απόρριψη της αρχικής υπόθεσης. Επομένως, στην περίπτωση που η  $p$ -τιμή είναι μικρότερη από το

επίπεδο σημαντικότητας τότε δε γίνεται δεκτή η αρχική υπόθεση και επιλέγεται η εναλλακτική, αντιθέτως αν προκύψει μεγαλύτερη η  $H_0$  δεν μπορεί να απορριφθεί.

### 3.4 Εφαρμογή Στατιστικών Ελέγχων

Ο έλεγχος που χρησιμοποιείται στην παρούσα έρευνα για τη στατιστική συσχέτιση των δεδομένων είναι η μη παραμετρική μέθοδος Mann-Whitney-Wilcoxon (Wilcoxon Rank Sum test), η οποία είναι κατάλληλη για να εξετάσει τη διαφορά στη διάμεσο για δύο ανεξάρτητα δείγματα, τα οποία δεν ακολουθούν την κανονική κατανομή. Γενικά, οι μη παραμετρικές τεχνικές εφαρμόζονται για την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικών με τη θέση ενός πληθυσμού ή με τη σύγκριση των θέσεων δύο πληθυσμών, όταν ως μέτρο θέσης θεωρείται κυρίως η διάμεσος. Η συμπερασματολογία σχετικά με τη διάμεσο των δειγμάτων είναι σημαντική καθώς αναφέρεται στην περίπτωση όπου τα δείγματα παρουσιάζουν ασυμμετρία. Η διάμεσος στις περιπτώσεις αυτές βρίσκεται πλησιέστερα στο κέντρο της κατανομής από ό,τι η μέση τιμή και επομένως έχει περισσότερη έννοια ως μέτρο θέσης. Επιπλέον, το μη παραμετρικό τεστ δεν απαιτεί κανονικότητα στις κατανομές των μεταβλητών και δεν απαιτούνται εκτιμήσεις των παραμέτρων των κατανομών αλλά ούτε και υποθέσεις σχετικά με το σχήμα και τη μορφή της κατανομής. Επίσης, μπορεί να εφαρμοστεί όταν δεν είναι γνωστή η κατανομή των μετρήσεων και γι' αυτό χαρακτηρίζεται και ως έλεγχος ανεξαρτήτου κατανομής. Ένα επιπλέον πλεονέκτημα τους είναι πως δεν επηρεάζονται σημαντικά από ακραίες τιμές που ενδεχομένως να περιλαμβάνονται στο δείγμα καθώς συγκρίνει τις τιμές των δειγμάτων ανάλογα με τη θέση που κατέχουν στην κατάταξη και όχι τις πραγματικές τιμές μεταξύ τους όπως γίνεται στα παραμετρικά τεστ και εξαιτίας αυτού έχει περισσότερη στατιστική δύναμη από τα παραμετρικά, όταν η κατανομή παρουσιάζει συγκέντρωση περισσότερων δεδομένων από τη μια μεριά (heavy-tailed) ή είναι αρκετά ασύμμετρη. Συγκεκριμένα, οι υποθέσεις που πρέπει να πληρούνται για την εφαρμογή του τεστ υποθέσεων Wilcoxon-Mann-Whitney (Wilcoxon Rank Sum test) είναι:

- Σύγκριση διαμέσων σε δύο ανεξάρτητα μεταξύ τους δείγματα
- Συνεχής μεταβλητές
- Πανομοιότυπες, μη κανονικές κατανομές, μεταξύ των δεδομένων

Η συσχέτιση των δεδομένων επιτυγχάνεται χρησιμοποιώντας κατάλληλους στατιστικούς δείκτες, οι οποίοι καθορίζουν τη σημαντικότητα των διαφοροποιήσεων που παρουσιάζονται στα συσχετιζόμενα δείγματα και αναφέρονται παρακάτω.

#### 3.4.1 Μηδενική-Αρχική υπόθεση και Εναλλακτική υπόθεση

Ο έλεγχος υποθέσεων είναι μια διαδικασία κατά την οποία ελέγχουμε ισχυρισμούς που αφορούν στον πληθυσμό και συγκεκριμένα τις παραμέτρους του πληθυσμού, με την επιλογή δειγμάτων μέσα από τον πληθυσμό. Με άλλα λόγια, χρησιμοποιούμε τα δεδομένα ενός δείγματος που προκύπτει από τον πληθυσμό, προκειμένου να αποφασίσουμε αν θα απορριφθεί ή όχι μία υπόθεση που αφορά στις παραμέτρους του πληθυσμού από τον οποίο προέρχεται το δείγμα που μελετάμε. Μια στατιστική υπόθεση είναι μια παραδοχή για μια ή περισσότερες πληθυσμιακές παραμέτρους. Η παραδοχή αυτή μπορεί να είναι



σωστή ή όχι. Υπάρχουν δύο είδη στατιστικών υποθέσεων. Η μηδενική (συμβολίζεται  $H_0$ ) και η εναλλακτική (συμβολίζεται  $H_1$ ).

Μηδενική υπόθεση ( $H_0$ ), ονομάζεται η υπόθεση που δηλώνει ότι δεν υπάρχει διαφορά ανάμεσα σε μια πληθυσμιακή παράμετρο και σε μία τιμή, ή ανάμεσα σε δύο παραμέτρους.

Εναλλακτική ( $H_1$ ), ονομάζεται η υπόθεση που δηλώνει ότι υπάρχει διαφορά ανάμεσα σε μια πληθυσμιακή παράμετρο και σε μία τιμή, ή ανάμεσα σε δύο παραμέτρους.

Στην παρούσα έρευνα, ως Μηδενική υπόθεση ( $H_0$ ) ορίστηκε η υπόθεση ότι τα δύο οποιαδήποτε ανεξάρτητα δείγματα δεν παρουσιάζουν διαφορά στο κεντρικό μέτρο θέσης τους, δηλαδή στη διάμεσο και συγκεκριμένα πως η διαφορά των διαμέσων είναι μηδενική. Επίσης ως Εναλλακτική υπόθεση ( $H_1$ ) ορίστηκε η υπόθεση πως οι διάμεσοι δεν είναι ίσοι και η διαφορά τους είναι διάφορη του μηδενός.

Αναφέρονται δύο ειδών σφάλματα όσον αφορά την αποδοχή ή απόρριψη της μηδενικής υπόθεσης τα οποία αναλύονται παρακάτω:

**Σφάλμα τύπου I:** εκφράζει την πιθανότητα να απορριφθεί η  $H_0$ , ενώ είναι σωστή και θα έπρεπε να γίνει αποδεκτή. Η πιθανότητα αυτή εκφράζεται ως  $\alpha$  και αποτελεί το επίπεδο σημαντικότητας. Η σωστή απόφαση είναι να γίνει αποδεκτή η  $H_0$  όταν αυτή είναι σωστή και η πιθανότητα αυτής της απόφασης εκφράζεται ως  $1-\alpha$  και αποτελεί το διάστημα εμπιστοσύνης πως η απόφαση που έχει ληφθεί είναι η σωστή.

**Σφάλμα τύπου II:** εκφράζει την πιθανότητα να γίνει αποδεκτή η  $H_0$ , ενώ είναι λανθασμένη και η υπόθεση αυτού του σφάλματος εκφράζεται ως  $\beta$ . Η σωστή απόφαση είναι να απορριφθεί η  $H_0$  όταν αυτή είναι λανθασμένη και η πιθανότητα αυτής της απόφασης εκφράζεται ως  $1-\beta$ .

### 3.4.2 Ορισμός επιπέδου σημαντικότητας

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, το επίπεδο σημαντικότητας  $\alpha$  εκφράζει την πιθανότητα του λάθους κατά το οποίο η μηδενική υπόθεση θα απορριφθεί ενώ είναι σωστή. Η συνήθης τιμή του είναι 0,05 (5%) και δηλώνει το γεγονός πως υπάρχει η αξιοπιστία ότι θα επιλεγεί η  $H_0$  όταν είναι σωστή σε ποσοστό 95%. Επιλέον, καθορίζει την περιοχή απόρριψης της  $H_0$ , η οποία συμβολίζεται με  $R$ . Συγκεκριμένα, καθώς μικραίνει το  $\alpha$  μικραίνει η περιοχή απόρριψης και μεγαλώνει η περιοχή αποδοχής. Θέτοντας μικρότερο επίπεδο σημαντικότητας γίνεται η απαίτηση πιο σημαντικών αποδείξεων για την απόρριψη της  $H_0$ . Όσο πιο μικρό είναι το επίπεδο σημαντικότητας στο οποίο μπορεί να απορριφθεί η  $H_0$ , τόσο πιο σημαντική είναι η τιμή της στατιστικής συνάρτησης ελέγχου που παρατηρείται στο δείγμα και τόσο πιο στατιστικά σημαντικό είναι το αποτέλεσμα του ελέγχου.

### Πιθανότητα $p$

Η τιμή  $p$  αντιπροσωπεύει την πιθανότητα του λάθους που περιλαμβάνεται στην αποδοχή του παρατηρηθέντος αποτελέσματος γι' αυτό το λόγο ορίζεται και ως η μικρότερη τιμή του επιπέδου σημαντικότητας που δίνει απόρριψη της μηδενικής υπόθεσης. Επιπλέον η συμπληρωματική πιθανότητα της  $p$  δηλώνει το ποσοστό εμπιστοσύνης της απόρριψης της

αρχικής-μηδενικής υπόθεσης. Οι τιμές που λαμβάνει σε σχέση με το επίπεδο σημαντικότητας καθορίζουν την αποδοχή ή απόρριψη της  $H_0$ . Συγκεκριμένα:

- Αν  $p \geq 0,05$ , η αρχική υπόθεση δεν μπορεί να απορριφθεί
- Αν  $p < 0,05$ , η αρχική υπόθεση απορρίπτεται και επιλέγεται η εναλλακτική

### 3.4.3 Αξιολόγηση Παραμετρικού Ελέγχου

Ο έλεγχος που εφαρμόζεται στα εξαγόμενα δεδομένα είναι το Welch t-test, το οποίο αποτελεί ένα παραμετρικό τεστ υποθέσεων το οποίο χρησιμοποιείται σε διάφορους τύπους στατιστικών τεστ με σκοπό να ελέγχει τη διαφορά στο μέσο όρο ανάμεσα σε δύο δείγματα της ίδιας μεταβλητής και αν η μέση τιμή ενός δείγματος διαφέρει από μια δεδομένη τιμή, λαμβάνοντας υπόψιν διαφορετικές διακυμάνσεις μεταξύ των δειγμάτων.

Παρόλη τη χρήση και εφαρμογή του μη παραμετρικού τεστ, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, επιλέχθηκε και ο έλεγχος υποθέσεων με το παραμετρικό τεστ καθώς έχουν περισσότερη στατιστική δύναμη από τα μη παραμετρικά, γεγονός το οποίο δηλώνει πως έχουν μεγαλύτερη πιθανότητα να εντοπίσουν ένα στατιστικά σημαντικό αποτέλεσμα, όταν αυτό υπάρχει. Αυτό το μειονέκτημα των μη παραμετρικών τεστ υποθέσεων οφείλεται στο γεγονός ότι δεν συγκρίνουν αυτές καθ'αυτές τις τιμές των δεδομένων μεταξύ τους αλλά τη θέση της κατάταξης που κατέχουν. Παρόλο που το t –test χρησιμοποιείται για δεδομένα που ακολουθούν ή προσεγγίζουν την κανονική κατανομή, αποδίδουν εξίσου καλά σε συνεχή δεδομένα που δεν εμφανίζουν την απαραίτητη κανονικότητα, εφόσον ισχύουν οι προδιαγραφές που αναφέρονται στον Πίνακα 2 (Frost, 2015). Στην παρούσα διπλωματική αναλύονται τρία δείγματα με 178 παρατηρήσεις το καθένα, για το οποία εφαρμόζεται ο παραμετρικός έλεγχος Welch 2 sample t test.

**Πίνακας 2: Προϋποθέσεις χρήσης Παραμετρικού ελέγχου για την ανάλυση μη κανονικών δεδομένων (πηγή: Frost, 2015)**

Παραμετρική Ανάλυση	Οδηγίες για ανάλυση μη κανονικά κατανεμημένων δειγμάτων
1-sample t test	> 20
2-sample t test	Κάθε ομάδα > 15
one-way ANOVA	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Για 2-9 ομάδες, κάθε ομάδα &gt;15</li> <li>• Για 10-12 ομάδες, κάθε ομάδα &gt;20</li> </ul>

# Κεφάλαιο 4

---

## *Ανάλυση και Αποτελέσματα*

### 4.1 Εισαγωγή

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο πραγματοποιείται η εκτενέστερη περιγραφή του πειράματος καθώς και η συλλογή και επεξεργασία των δεδομένων, προκειμένου να εξαχθούν τα κατάλληλα αποτελέσματα. Υπάρχουν πολλά μικροσκοπικά και μακροσκοπικά μεγέθη που μπορούν να αναλυθούν όσον αφορά την κίνηση των οχημάτων και των πεζών. Στη συγκεκριμένη έρευνα, το μέγεθος που επιλέγεται για επεξεργασία είναι η μέση ταχύτητα διαδρομής των πεζών.

Συγκεκριμένα, τα δεδομένα που συλλέχθηκαν από λογισμικό κατάλληλο για την καταγραφή των πεζών, είναι οι ταχύτητες των πεζών σε όλες τις διαδοχικές θέσεις από τις οποίες διήλθαν για κάθε 1/25 του δευτερολέπτου, δηλαδή για κάθε 0,04 δευτρόλεπτα, των οποίων οι τροχιές βρίσκονταν στην περιοχή μελέτης. Χρησιμοποιώντας αυτή τη βάση δεδομένων, υπολογίστηκε για κάθε πεζό η μέση ταχύτητα κίνησης όπως καταγράφηκε από το UAV και τη σταθερή κάμερα, λαμβάνοντας υπόψιν και τυχόν καθυστερήσεις των πεζών στο χρόνο διαδρομής. Προκειμένου να υπολογιστεί η αξιοπιστία των δύο πηγών καταγραφής δεδομένων, πρέπει να συγκριθούν οι μέσες ταχύτητες διαδρομής που προέκυψαν με την πραγματική ταχύτητα διαδρομής του κάθε πεζού. Ως πραγματική ταχύτητα διαδρομής ορίζεται η μέση ταχύτητα με την οποία κινήθηκε ένας πεζός από το σημείο προέλευσης στο σημείο προορισμού, υπολογιζόμενων και των καθυστερήσεων λόγω στάσεων και για τον υπολογισμό της διαιρείται η συνολική διανυθείσα απόσταση μεταξύ των δύο άκρων της διαδρομής με το συνολικό χρόνο που απαιτήθηκε για τη διαδρομή. Συνεπώς, ο υπολογισμός αυτής της ταχύτητας επιτυγχάνεται παρατηρώντας μέσα από τα βίντεο το χρόνο που χρειάζεται για να διανύσει κάθε πεζός την απόσταση των 16,70 μέτρων και έπειτα, η ταχύτητα διαδρομής προκύπτει από τον τύπο:  $u=\chi/t$ . Η διαδικασία αυτή πραγματοποιήθηκε και για τους 178 πεζούς που παρατηρήθηκαν από το UAV και από την κάμερα, παρ'όλα αυτά αποτελεί μία προσεγγιστική μέθοδο υπολογισμού της πραγματικής ταχύτητας των πεζών καθώς έγινε έπειτα από προσωπική παρατήρηση της κίνησης τους μέσα από τα βίντεο που μαγνητοσκοπήθηκαν και χωρίς τη χρήση κάποιου ειδικού οργάνου μέτρησης των ταχυτήτων. Ενόψει των παραπάνω δεδομένων, είναι πλέον δυνατή η ανάλυση τους και η εξαγωγή πληροφοριών με τις μεθόδους που αναφέρονται στα παρακάτω κεφάλαια.

### 4.2 Περιοχή Μελέτης

Ως περιοχή μελέτης επιλέχθηκε η περιοχή έξω από τα Νέα Κτίρια Πολιτικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου και συγκεκριμένα ένα τμήμα της έξω από το κτίριο που στεγάζει τις αίθουσες διδασκαλίας, με εμβαδό  $(12,50+4,20) \times 6,30 \text{ m}^2$  (Εικόνα 9).



Εικόνα 9: Περιοχή μελέτης-Εικόνα από UAV

Έγινε η συγκεκριμένη επιλογή καθώς σκοπός της παρούσας διπλωματικής είναι η σύγκριση των μικροσκοπικών χαρακτηριστικών των πεζών που έχουν καταγραφεί από το UAV και την κάμερα, κατά την είσοδο και έξοδο τους από το κτίριο. Παρά το γεγονός ότι το UAV παρέχει μεγάλο εύρος εικόνας, δεν επιλέχθηκε μεγαλύτερη περιοχή μελέτης, καθώς η κάμερα περιορίζει το οπτικό πεδίο εξαιτίας της μικρής γωνίας λήψης που διαθέτει.

### 4.3 Προκαταρκτική Επεξεργασία Βίντεο

Έπειτα από την ολοκλήρωση της λήψης των βίντεο, ακολούθησε η κατάλληλη διαμόρφωση και επεξεργασία τους, για την εισαγωγή τους στο λογισμικό tracker video analysis, τα βήματα της οποίας αναλύθηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο.

Σε αυτό το σημείο πρέπει να αναφερθεί πως για τη σταθεροποίηση των βίντεο που εξάχθηκαν από το UAV, πραγματοποιήθηκε μια περαιτέρω διαδικασία, εκτός από εκείνη που έγινε με το κατάλληλο πρόγραμμα, καθώς κανένα λογισμικό δεν έχει την ικανότητα να προσφέρει πλήρη σταθερότητα στα τελικά βίντεο. Η επεξεργασία που ακολούθησε είναι η εξής:

Με την επιλογή του κατάλληλου εικονιδίου, που βρίσκεται κάτω από το μενού του λογισμικού, έγινε η εμφάνιση των αξόνων και η τοποθέτηση της αρχής τους (0,0) σε ένα σταθερό σημείο, συγκεκριμένα, στην άκρη του κτιρίου απ'όπου ξεκινάει η περιοχή μελέτης. Έπειτα, ανάλογα με την μετακίνηση του πλάνου, άρα και με την μετατόπιση του σταθερού σημείου που ορίστηκε, έγινε η παράλληλη μετάθεση των αξόνων, ώστε σε κάθε αλλαγή του πλάνου το σημείο (0,0) να βρίσκεται στην άκρη του κτιρίου, με τον άξονα  $x$  να είναι εφάπτεται στο κτίριο και τον  $y$  να είναι κάθετος σε αυτό. Με αυτόν τον τρόπο, οι συντεταγμένες των τροχιών όλων των πεζών που μελετώνται έχουν ακριβώς το ίδιο σύστημα αναφοράς και το σφάλμα στα δεδομένα εξαιτίας της μετακίνησης της κάμερας γίνεται πλέον ασήμαντο. Βέβαια, αυτός ο τρόπος σταθεροποίησης του βίντεο απαιτεί ο ερευνητής να έχει ορίσει ως αρχή των αξόνων ένα σταθερό σημείο και όχι ένα σημείο πάνω στο όχημα ή στον πεζό που μελετάται. Επιπλέον, υπήρξαν αρκετές περιπτώσεις όπου κατά

τη διάρκεια μελέτης ενός πεζού παρατηρήθηκε κίνηση της κάμερας μέχρι να διασχίσει την καθορισμένη περιοχή. Σε αυτές τις περιπτώσεις, ο πεζός αρχικά τοποθετήθηκε στη μέση της περιοχής μελέτης και η μετάθεση της αρχής των αξόνων και των ταινιών μέτρησης για τη βαθμονόμηση έγινε σε εκείνο ακριβώς το σημείο, προκειμένου να μοιραστεί το σφάλμα στην αρχή και στο τέλος της διαδρομής του και να μην υπάρξουν άνισα, πολύ ανακριβή και ακραία αποτελέσματα κατά την κίνηση του. Έπειτα από αυτή τη διαδικασία, έγινε η επανατοποθέτηση των πεζών στην αρχική τους θέση με σκοπό τη διεξαγωγή των τροχιών τους. Εξαιτίας αυτού του προβλήματος, παρατηρείται σε αρκετά δεδομένα η εκκίνηση των πεζών να μην ξεκινάει από το σημείο 0, αλλά νωρίτερα ή αργότερα από αυτό. Επίσης, σε περιπτώσεις μεγάλης κίνησης της κάμερας κατά την καταγραφή τους, υπήρξε σχετική απόκλιση μεταξύ του σημείου έναρξης της τροχιάς και της αρχής των αξόνων, της τάξης των 0,40- 0,70 μέτρων.



Εικόνα 10: Αρχή των αξόνων στην περιοχή μελέτης

Επίσης, προτείνεται άλλη μία εναλλακτική μέθοδος σταθεροποίησης προκειμένου να επιτευχθεί όσο το δυνατόν περισσότερη ακρίβεια. Συγκεκριμένα, επιλέγεται ένα σταθερό σημείο και σε κάθε κάδρο η διαφορά των συντεταγμένων του  $\Delta x(t)$ ,  $\Delta y(t)$  που προκύπτουν από τη μετατόπιση του προστίθενται στις συντεταγμένες των αντικειμένων που καταγράφονται, με αποτέλεσμα να μειώνεται σημαντικά η απόκλιση της εκάστοτε θέσης τους που προκύπτει από την κίνηση της κάμερας του UAV (Barmounakis et al., 2015).

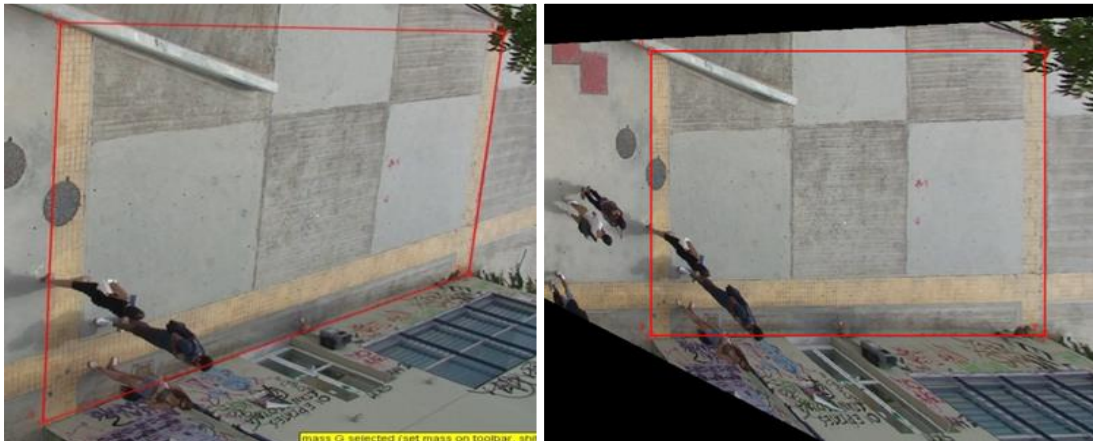
#### 4.3.1 Εφαρμογή φίλτρου διόρθωσης της προοπτικής

Το perspective filter δίνει τη δυνατότητα στον χρήστη να διορθώσει την καμπυλότητα της εικόνας, κυρίως στα pixels που βρίσκονται στις τέσσερις πλευρές του βίντεο, σε περίπτωση που χρησιμοποιείται τέτοιου είδους φακός κάμερας (fisheye effect), καθώς και την παραμόρφωση που δημιουργείται αν η γωνία λήψης είναι σχετικά μικρή.

Το συγκεκριμένο φίλτρο εφαρμόστηκε στην επεξεργασία των βίντεο της παρούσας διπλωματικής, από τη στιγμή που έγινε χρήση UAV, το οποίο διαθέτει κάμερα μεγάλης γωνίας λήψης και χρήση σταθερής κάμερας, που εξαιτίας του σημείου τοποθέτησης της, παρέχει μικρότερη γωνία λήψης. Πρακτικά, αφού έχει εισαχθεί το βίντεο στο λογισμικό, γίνεται η επιλογή του perspective από το μενού: Video -> Filters -> Perspective. Αμέσως

μετά την επιλογή, εμφανίζεται στην οθόνη επεξεργασίας ένα σχήμα με τέσσερα σημεία και ένα παράθυρο που απεικονίζει τις συντεταγμένες των pixels των τεσσάρων σημείων για την εισαγόμενη (input) και εξαγόμενη (output) περιοχή. Η περιοχή που στην συγκεκριμένη περίπτωση θέλουμε να διορθωθεί είναι η περιοχή κίνησης των πεζών, επομένως, γίνεται επιλογή της καρτέλας input και τοποθετούνται τα τέσσερα σημεία στις αντίστοιχες γωνίες, με αυτόν τον τρόπο σχηματίζεται ένα τραπέζιο παραλληλεπίπεδο, το οποίο αποτελεί τον εξεταζόμενο χώρο και έχει αυτή τη μορφή λόγω της γωνίας λήψης της κάμερας. Έπειτα, επιλέγεται η καρτέλα output, όπου εμφανίζεται, διορθωμένη πλέον, η περιοχή και απεικονίζεται με ένα ορθογώνιο παραλληλόγραμμο στο οποίο πρέπει να ελεγχθεί αν οι απέναντι πλευρές είναι μεταξύ τους ίσες. Σε περίπτωση ανισότητας, ο χρήστης θα πρέπει να προσαρμόσει τις διαστάσεις. Βασική προϋπόθεση για τη σωστή εφαρμογή του φίλτρου, είναι πως τα τέσσερα σημεία που αναφέρθηκαν παραπάνω πρέπει να βρίσκονται όλα στο ίδιο επίπεδο και ανά τρία δεν πρέπει να βρίσκονται στην ίδια ευθεία.

Στην Εικόνα 11 απεικονίζονται οι διορθώσεις που επιφέρει το φίλτρο διόρθωσης της προοπτικής στα βιντεοσκοπημένα δείγματα της κάμερας.



Εικόνα 11: Η περιοχή μελέτης πριν (αριστερά) και μετά (δεξιά) την εφαρμογή του φίλτρου διόρθωσης προοπτικής

Παρατηρείται λοιπόν πως επιφέρει μεγάλη αλλαγή στην εξαγόμενη εικόνα και εξαιτίας της εξάλειψης των παραμορφώσεων και μετατρέποντας την επιλεγμένη περιοχή από τραπέζια σε ορθογωνική, αποδίδει πολύ καλύτερα η αντιστοίχιση των πραγματικών διαστάσεων σε αυτές του βίντεο, με αποτέλεσμα την ακριβέστερη εξαγωγή των δεδομένων και τη μείωση των σφαλμάτων στα μικροσκοπικά χαρακτηριστικά των πεζών.

Επίσης, σημαντικό είναι να αναφερθεί πως τόσο το συγκεκριμένο φίλτρο όσο και η σταθεροποίηση μέσω του κατάλληλου λογισμικού, προκειμένου να κάνουν το βίντεο επεξεργάσιμο, περιορίζουν την εικόνα που διατίθεται για την εξαγωγή των δεδομένων. Συγκεκριμένα, στο perspective filter όταν η μαγνητοσκόπηση γίνεται υπό γωνία και όχι κατακόρυφα, η εικόνα περιορίζεται σημαντικά στις άκρες του βίντεο, με αποτέλεσμα να διακόπτονται οι τροχιές των πεζών που βρίσκονται σε εκείνη την περιοχή, πριν να διασχίσουν την απόσταση των 16,70 μέτρων. Το συγκεκριμένο πρόβλημα επηρεάζει κυρίως τα δεδομένα της κάμερας, αφού είναι τοποθετημένη υπό γωνία. Επίσης, το ίδιο φαινόμενο εμφανίζεται και για να επιτευχθεί η σταθεροποίηση στα βίντεο του UAV, όπου προκύπτει

μεγάλη μείωση της διαθέσιμης εικόνας όσο πιο ασταθής είναι η κάμερα. Αυτό έχει μεγάλη επιρροή στην αποτύπωση των τροχιών, καθώς περιορίζει σημαντικά την εικόνα με αποτέλεσμα, σε αρκετές περιπτώσεις να ξεκινάει η καταγραφή του πεζού μετά από την διέλευση του από την αρχή της περιοχής μελέτης (σημείο (0,0)) και έτσι να μην παρουσιάζεται ολόκληρη η διαδρομή του.

#### 4.3.2 Βαθμονόμηση

Η βαθμονόμηση του βίντεο αποτελεί τον σημαντικότερο παράγοντα για τα τελικά αποτελέσματα των τροχιών των πεζών, καθώς μία μεγάλη απόκλιση στις διαστάσεις μπορεί να επιφέρει σημαντικά σφάλματα στις συντεταγμένες των πεζών, άρα και στα μικροσκοπικά χαρακτηριστικά τους. Στο παρόν πείραμα, χρησιμοποιήθηκε ταινία μέτρησης, για την αποτύπωση των απαραίτητων διαστάσεων.

Μετά την εφαρμογή του perspective filter, το βίντεο είναι έτοιμο για βαθμονόμηση, η οποία επιτυγχάνεται επιλέγοντας από το μενού την καρτέλα calibration tools -> calibration tape και έτσι εισάγονται στο βίντεο δύο ταινίες μέτρησης, μία για την οριζόντια και μία για την κάθετη διάσταση και γίνεται η προσαρμογή τους με τις πραγματικές. Την οριζόντια απόσταση την ορίζει ο χρήστης, εδώ ορίστηκε στα 12,50m, ενώ την κάθετη την προσαρμόζει το λογισμικό.



Εικόνα 12: Βαθμονόμηση της περιοχής μελέτης

Έπειτα από τη βαθμονόμηση όλων των δειγμάτων που βιντεοσκοπήθηκαν κατά την περίοδο εξεταστικής του Σεπτεμβρίου, προκύπτει το συμπέρασμα πως τα βίντεο που εξάγονται από το UAV μπορούν να αντιστοιχίσουν πολύ καλύτερα τις διαστάσεις του βίντεο με τις πραγματικές, σε σχέση με τα βίντεο της κάμερας. Συγκεκριμένα στα βίντεο του UAV, οι διαστάσεις παρουσιάζουν πολύ μικρή απόκλιση από τις πραγματικές, με την μεγαλύτερη να απέχει 30 mm στην κάθετη διάσταση, άρα και στη διαγώνιο, αφού η οριζόντια είναι δεδομένη και δεν επηρεάζεται. Αντιθέτως, η μέγιστη απόκλιση που παρουσιάζεται στα βίντεο της κάμερας αγγίζει τα 90 cm και με αποκλίσεις γενικά να κυμαίνονται από 70 cm έως 90cm. Συνεπώς, προσεγγιστικά το σφάλμα που μεταδίδεται στην ταχύτητα λόγω της βαθμονόμησης, από το UAV είναι σχεδόν μηδενικό, ενώ από τη σταθερή κάμερα είναι περίπου 0,8m/s. Αυτή η διαφορά οφείλεται πρώτον, στην υψηλότερη ανάλυση της κάμερας που διαθέτει το UAV, άρα μπορεί να αποδώσει καλύτερα την πραγματική εικόνα, δεύτερον στο μεγαλύτερο υψόμετρο λήψης των δειγμάτων με την δυνατότητα κάθετης

μαγνητοσκόπησης και τέλος, στη μεγάλη γωνία λήψης. Το γεγονός ότι έχει εφαρμοστεί το perspective filter σε όλα τα βίντεο της κάμερας, μειώνει τις παραμορφώσεις που προέρχονται από τη γωνία λήψης, προκειμένου όμως να τις διορθώσει προκαλεί άλλες. Συγκεκριμένα, με σκοπό να μετατρέψει την τραπέζια περιοχή σε ορθογώνια επιμηκύνει τις δύο κάθετες πλευρές και μικραίνει τις δύο οριζόντιες, με αποτέλεσμα να μην ανταποκρίνονται ακριβώς στις πραγματικές. Έτσι, προκύπτει και το μεγάλο σφάλμα στην κάθετη πλευρά της περιοχής μελέτης, το οποίο βέβαια θα περιοριζόταν σημαντικά στην περίπτωση που η μαγνητοσκόπηση γινόταν κατακόρυφα.

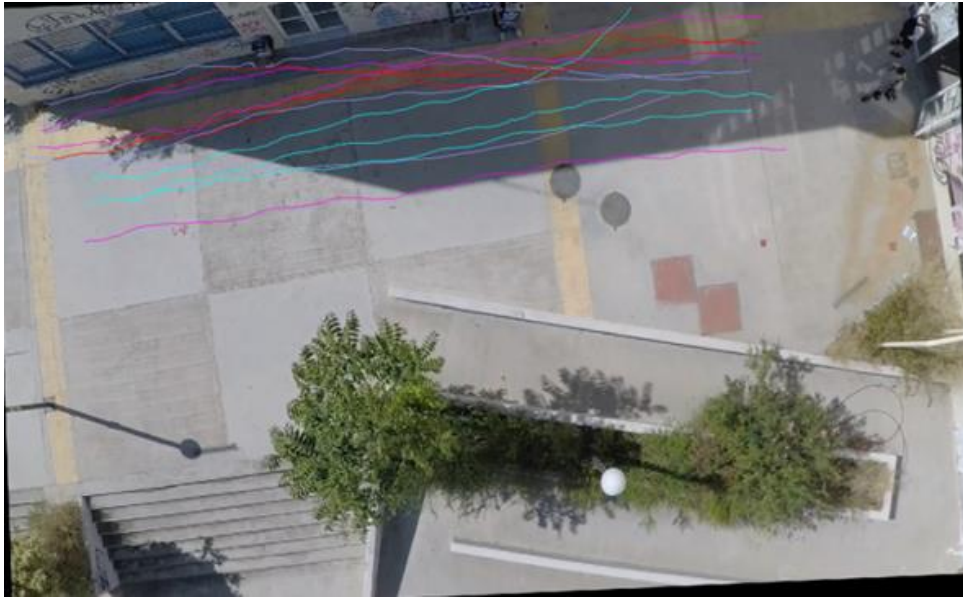
### 4.3.3 Εξαγωγή τροχιών των πεζών και τελικά δεδομένα

Μετά την ολοκλήρωση των παραπάνω διαδικασιών τα βίντεο είναι έτοιμα για να διεξάγουν τις τροχιές και τα μικροσκοπικά χαρακτηριστικά. Η διαδικασία που ακολουθείται, αναφέρεται παρακάτω.

Καταρχάς, γίνεται επιλογή του σημείου του οποίου η κίνηση θα αποτελέσει την καταγραφή της τροχιάς, εδώ επιλέχθηκε το κεφάλι των πεζών, τόσο στα βίντεο του UAV όσο και στην κάμερα. Αφού ορίστηκε το σημείο, ακολουθεί η καταγραφή του σε όλα τα καρέ μέχρι να διασχίσει την περιοχή μελέτης. Αυτή η διαδικασία γίνεται αυτοματοποιημένα με την επιλογή autotracker που βρίσκεται στο μενού του παραθύρου εργασίας του λογισμικού. Για την καταγραφή των ροών από τα βίντεο του UAV χρησιμοποιήθηκε η αυτόματη διαδικασία, ενώ σε κάποιες περιπτώσεις στην κάμερα η καταγραφή έγινε χειροκίνητα, καθώς λόγω της σκίασης την ώρα της λήψης, ήταν δύσκολο να βρεθεί η κατάλληλη ταύτιση με το πρότυπο σημείο. Η χειροκίνητη διαδικασία είναι αρκετά χρονοβόρα και μπορεί να προκαλέσει σφάλματα στα δεδομένα, καθώς είναι δύσκολος ο εντοπισμός του ίδιου ακριβώς σημείου μέχρι την ολοκλήρωση της καταγραφής. Πραγματοποιήθηκε η εξαγωγή 178 τροχιών από το UAV και 178 από την σταθερή κάμερα, οι οποίες αναφέρονται στους ίδιους πεζούς με σκοπό τη σύγκριση των κινηματικών χαρακτηριστικών τους από τα δύο μέσα.

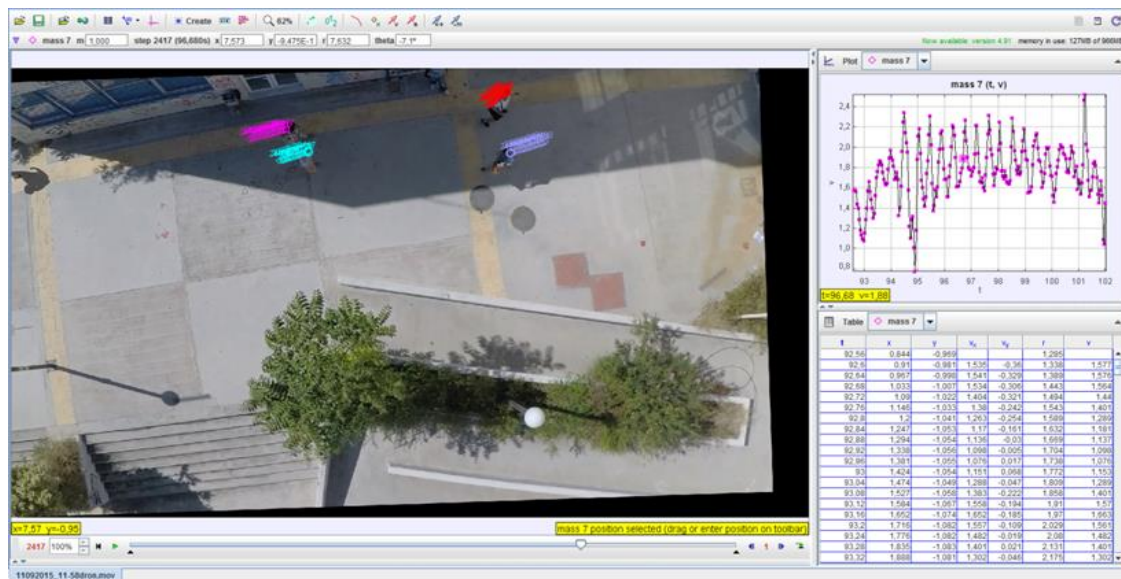
Οι τροχιές σημειώνονται αυτόματα σε πίνακα που υπάρχει στην επιφάνεια εργασίας για κάθε 0,04 sec, αφού η ολοκληρωμένες εικόνες που εμφανίζονται για κάθε δευτερόλεπτο είναι 25 frames/second. Επίσης, εκτός από τις συντεταγμένες, αναγράφονται στον πίνακα και οι ταχύτητες των πεζών, επιπλέον οι ταχύτητες στον κάθε άξονα ( $v_x$ ,  $v_y$ ) και η απόσταση τους από την αρχή των αξόνων.





Εικόνα 13: Καταγραφή τροχιών πεζών

Επιπρόσθετα, το λογισμικό tracker έχει τη δυνατότητα να αποτυπώνει κάθε τιμή της τροχιάς ανά 0,04sec, σε μορφή διαγράμματος, οι άξονες του οποίου απεικονίζουν οποιαδήποτε κινηματικό μέγεθος επιλέξει ο χρήστης. Στη συγκεκριμένη έρευνα τα διαγράμματα που επιλέχθηκαν είναι η μεταβολή της οριζόντιας και κάθετης κίνησης των πεζών σε σχέση με το χρόνο ( $X(t)$ ,  $Y(t)$ ) καθώς και η μεταβολή της ταχύτητάς τους σε σχέση με το χρόνο ( $u(t)$ ), όπως φαίνεται στην Εικόνα 14.



Εικόνα 14: Καταγραφή της τροχιάς σε πίνακα και διάγραμμα

Μετά την εξαγωγή των τροχιών, ακολουθεί η ανάλυση των διαγραμμάτων με τη βοήθεια του λογισμικού, επιλέγοντας την καρτέλα Analyze πάνω στο επιθυμητό διάγραμμα. Έπειτα εμφανίζεται ένα καινούριο παράθυρο εργασίας στο οποίο γίνεται η προσαρμογή του σε έξι διαφορετικά μοντέλα εξισώσεων και ο χρήστης επιλέγει αυτό που ταυτίζεται ακριβέστερα με το εξεταζόμενο. Παρατηρήθηκε πως η μετακίνηση των πεζών κατά τον άξονα  $x$ , μπορεί να περιγραφεί με μία γραμμική εξίσωση σε σχέση με το χρόνο:

$$x = A \cdot t + B, \quad (4.1),$$

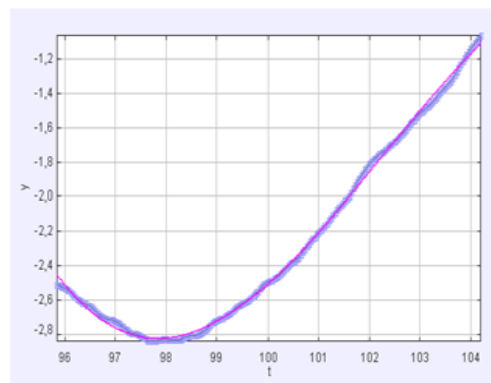
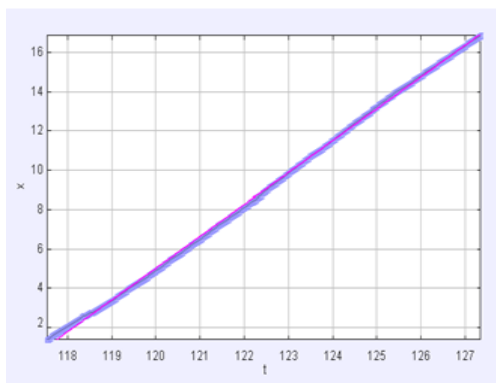
όταν οι πεζοί είχαν ομαλή και μη διακοπτόμενη κίνηση, ενώ στην περίπτωση που επιβραδύνουν ή μένουν ακίνητοι για ένα χρονικό διάστημα, η καλύτερα προσαρμοζόμενη εξίσωση είναι η κυβική:

$$x = A \cdot t^3 + B \cdot t^2 + C \cdot t + D, \quad (4.2)$$

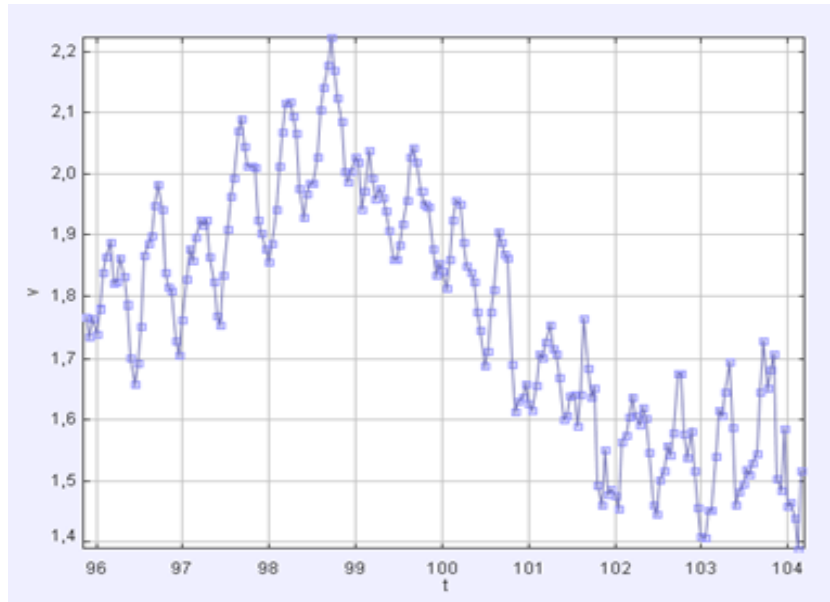
και η παραβολική:

$$x = A \cdot t^2 + B \cdot t + C, \quad (4.3),$$

όπου  $A, B, C, D$  είναι οι παράμετροι των μοντέλων εξισώσεων. Η κατακόρυφη συνιστώσα της κίνησης των πεζών περιγράφεται δυσκολότερα από μοντέλα, καθώς δεν είναι σταθερή κατά τη διάρκεια μελέτης, αλλά παρουσιάζει αυξομειώσεις στις τιμές της. Η περίπτωση στην οποία μπορεί να προσομοιωθεί και να ταυτιστεί, είναι όταν παρουσιάζεται μία ομαλότητα στο διάγραμμα της σε σχέση με το χρόνο, όπου η εξίσωση που περιγράφει ακριβέστερα την μεταβολή της είναι η κυβική:  $y = A \cdot t^3 + B \cdot t^2 + C \cdot t + D$ . Τέλος, το διάγραμμα της ταχύτητας με το χρόνο δεν ταυτίζεται με καμία από τις διαθέσιμες εξισώσεις, αφού η μορφή του δεν περιγράφεται από κάποιο μοντέλο. Αυτό συμβαίνει εξαιτίας της μη ομαλής κίνησης των πεζών καθώς κατά την εναλλαγή των βημάτων κινείται και το υπόλοιπο σώμα, με αποτέλεσμα η κίνηση αυτή να προκαλεί τις αυξομειώσεις στα διαγράμματα και έτσι να προκύπτει αυτή η μορφή. Παρακάτω παραθέτονται τα διαγράμματα της κίνησης και της ταχύτητας των πεζών σε σχέση με το χρόνο και η προσαρμογή τους με τις αντίστοιχες εξισώσεις.



Διάγραμμα 3:  $X(t)$ -Ταύτιση με γραμμική εξίσωση    Διάγραμμα 4:  $Y(t)$ -Ταύτιση με κυβική εξίσωση



Διάγραμμα 5: Διάγραμμα v(t)

Τέλος, με την επιλογή Analyze -> Statistics, εμφανίζεται ένας πίνακας στο παράθυρο εργασίας, στον οποίο αναγράφεται ο μέσος όρος, η τυπική απόκλιση, το τυπικό σφάλμα του μέσου όρου, ο αριθμός των παρατηρήσεων, καθώς και το μέγιστο και το ελάχιστο των συνεχών μεταβλητών που παρατηρούνται στο πείραμα.

#### 4.4 Περιγραφική ανάλυση δεδομένων

Τα αποτελέσματα ενός πειράματος συνήθως δημιουργούν ένα μεγάλο αριθμό δεδομένων. Κρίνεται λοιπόν αναγκαία η εύρεση διαδικασιών, με τις οποίες τα αποτελέσματα αυτά μπορούν να οργανωθούν και να παρουσιαστούν με οργανωμένο και εύληπτο τρόπο. Αυτός ακριβώς είναι ο στόχος των περιγραφικών στατιστικών δεικτών καθώς η συλλογή και η ανάλυση των δεδομένων, καθώς και η επεξεργασία των στατιστικών στοιχείων διευκολύνουν τη λήψη ορθών αποφάσεων και είναι απαραίτητες για την εξαγωγή αξιόπιστων αποτελεσμάτων. Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται ορισμένοι από τους περιγραφικούς στατιστικούς δείκτες που βοηθούν στη στατιστική ανάλυση των βιντεοσκοπημένων δειγμάτων.

Αφού προηγήθηκε η κατάλληλη επεξεργασία των δεδομένων προς ανάλυση, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, έγινε η εισαγωγή τους σε κατάλληλο λογισμικό, σε διαφορετικό πίνακα δεδομένων το καθένα για μεγαλύτερη ευκρίνεια και χρηστικότητα. Συγκεκριμένα οι μεταβλητές που εισήχθησαν είναι η ταχύτητα διαδρομής κάθε πεζού (Ταχύτητα Διαδρομής), η μέση ταχύτητα όπως προέκυψε έπειτα από την ανάλυση των βίντεο του UAV (Μέση Ταχύτητα Διαδρομής Drone) και η μέση ταχύτητα από την επεξεργασία των βίντεο της σταθερής κάμερας (Μέση Ταχύτητα Διαδρομής Κάμερας), με 178 παρατηρήσεις σε κάθε πίνακα εργασίας.

Με αυτόν τον τρόπο γίνεται δυνατή η εύρεση των περιγραφικών μεγεθών των δειγμάτων, δηλαδή η περιγραφική στατιστική, στην οποία περιγράφονται τα διάφορα στατιστικά

στοιχεία μετά από συλλογή των στατιστικών δεδομένων τα οποία ακολούθως παρουσιάζονται υπό μορφή ανάλυσης σε πίνακες, διαγράμματα με χαρακτηριστικές τιμές ή ιδιότητες. Συγκεκριμένα, η αναφορά των στατιστικών αυτών μεγεθών γίνεται με την επιλογή Ανάλυση -> Στατιστικά Περιγραφικά Μεγέθη, και εφαρμόζεται για κάθε έναν από τους πίνακες δεδομένων.

Στον Πίνακα 3 αναφέρονται τα στατιστικά χαρακτηριστικά των δειγμάτων της μέσης ταχύτητας διαδρομής, όπως προέκυψαν από την χειροκίνητη μέτρηση και από την καταγραφή μέσω UAV και σταθερής κάμερας. Αυτά τα περιγραφικά χαρακτηριστικά απεικονίζουν τα μέτρα θέσης και διασποράς των μεγεθών καθώς επίσης και μέτρα που εκφράζουν το βαθμό ασυμμετρίας και κυρτότητας των δεδομένων.

**Πίνακας 3: Περιγραφικά Μεγέθη Μέσης Ταχύτητας Διαδρομής Πεζών από χειροκίνητη μέτρηση, UAV και σταθερή κάμερα**

Περιγραφικά Μεγέθη	Χειροκίνητη Μέτρηση	UAV	Σταθερή Κάμερα
Αριθμός Παρατηρήσεων	178	178	178
Εύρος	3	3,07	3,15
Μέση Τιμή	1,36	1,4	1,54
Διακύμανση	0,11	0,12	0,14
Τυπική Απόκλιση	0,34	0,35	0,37
Συντελεστής Μεταβολής	0,25	0,24	0,23
Τυπικό Σφάλμα	0,025	0,026	0,028
Δείκτης Ασυμμετρίας	1,36	1,31	1,08
Δείκτης Κύρτωσης	10,19	10,41	7,29
Ελάχιστη Τιμή	0,6	0,63	0,68
5%	0,78	0,76	0,93
10%	0,95	1,05	1,05
25% (Q1)	1,2	1,23	1,35
50% (Διάμεσος)	1,39	1,4	1,55
75% (Q3)	1,6	1,6	1,8
90%	1,76	1,76	1,98
95%	1,8	1,84	2,05
Μέγιστη Τιμή	3,6	3,7	3,83

Όπως φαίνεται από τον Πίνακα Περιγραφικών Μεγεθών Μέσης Ταχύτητας Διαδρομής πεζών από χειροκίνητη μέτρηση, UAV και σταθερή κάμερα, παρατηρούνται διαφορές ανάμεσα στα στατιστικά χαρακτηριστικά των πραγματικών ταχυτήτων και αυτών όπως βιντεοσκοπήθηκαν από το UAV και τη σταθερή κάμερα. Τα μεγέθη που είναι χρήσιμα για την σύγκριση τους όμως, είναι ο μέσος όρος κάθε δείγματος, η διακύμανση ή η τυπική απόκλιση, ο συντελεστής μεταβολής και το τυπικό σφάλμα του μέσου. Συγκεκριμένα παρατηρείται πως ο μέσος όρος των τιμών του UAV ανταποκρίνεται καλύτερα σε αυτόν των πραγματικών τιμών ταχυτήτων, απ'ότι η κάμερα και το ίδιο ισχύει και για την διάμεσο.

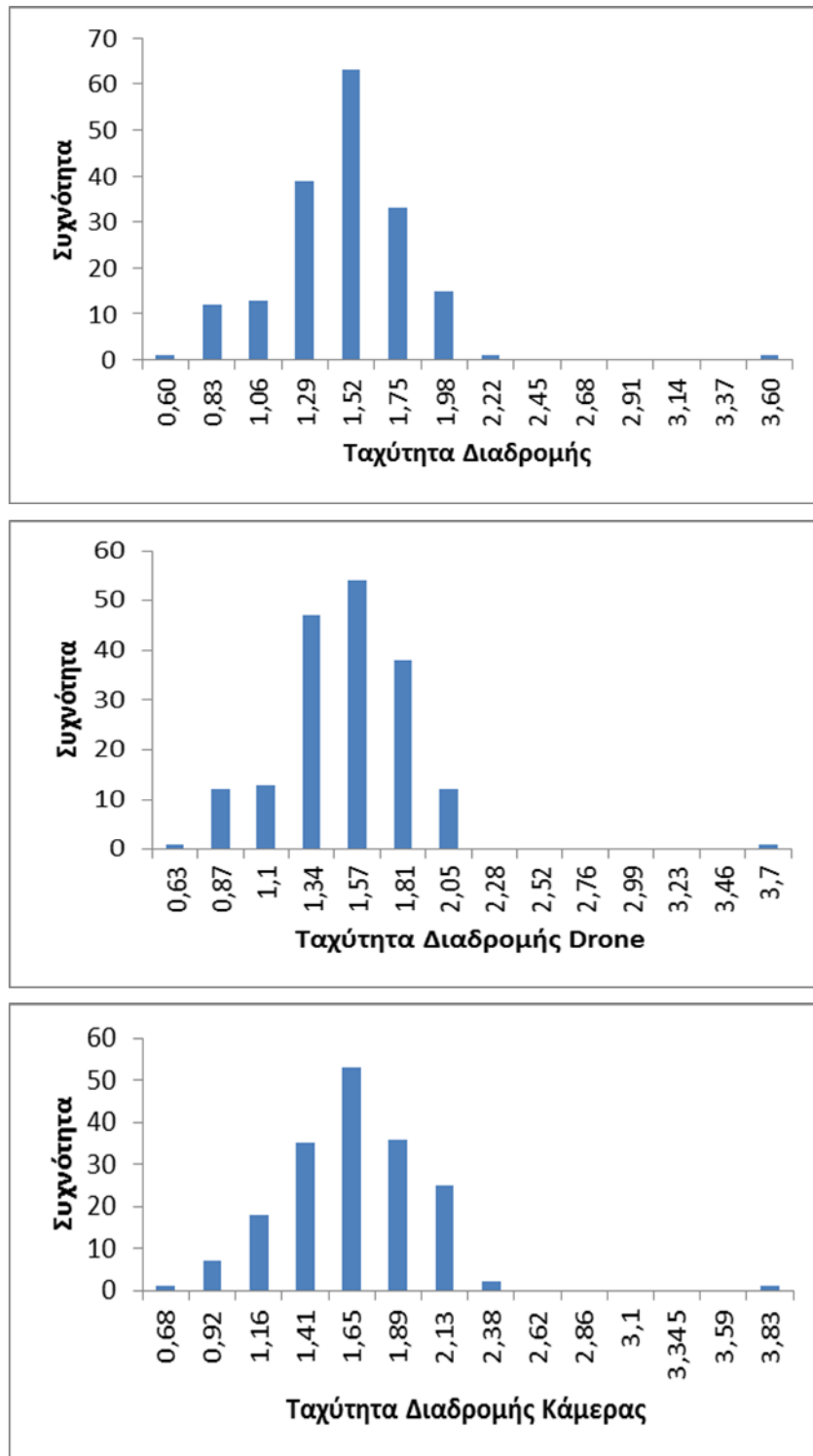
Επιπλέον, οι πραγματικές ταχύτητες διαδρομής παρουσιάζουν μικρότερη τυπική απόκλιση και τυπικό σφάλμα σε σχέση με τα υπόλοιπα δείγματα, καθώς το τυπικό σφάλμα καθορίζει την ακρίβεια του μέσου όρου ως προς την πραγματική τιμή του, λαμβάνοντας υπόψιν το μέγεθος του δείγματος και την τιμή της τυπικής απόκλισης. Ο συντελεστής μεταβλητότητας (CV) παριστάνει ένα μέτρο σχετικής διασποράς και εκφράζει τη μεταβλητότητα των δεδομένων λαμβάνοντας υπόψιν την τυπική απόκλιση και τη μέση τιμή, υπολογίζεται από τον τύπο:

$$CV = \frac{s}{\bar{x}} \times 100\% \quad (4.4)$$

και δείχνει την ομοιογένεια ενός δείγματος. Παρατηρείται πως τα δεδομένα της κάμερας παρουσιάζουν περισσότερη ομοιογένεια από τα υπόλοιπα, παρά την μεγαλύτερη διακύμανση τους, όμως κανένα δείγμα δεν μπορεί να χαρακτηριστεί ως ομοιογενές από τη στιγμή που για όλα ισχύει ότι :  $CV > 10\%$ . Ένας επιπλέον παράγοντας που χαρακτηρίζει τα δεδομένα είναι η ασυμμετρία που παρουσιάζουν και όπως φαίνεται τα δεδομένα της κάμερας παρουσιάζουν λιγότερη ασυμμετρία από τα υπόλοιπα. Επίσης, το μέτρο της κύρτωσης αφορά το βαθμό συγκέντρωσης των δεδομένων γύρω από το μέσο και τα άκρα της κατανομής, στα παρακάτω ιστογράμματα οι κατανομές των δεδομένων παρουσιάζουν σχετικά μεγάλη συχνότητα (κορυφή) και επομένως μεγάλη συγκέντρωση τιμών γύρω από το μέσο, άρα αναφερόμαστε σε μία λεπτόκυρτη κατανομή. Τέλος, το εύρος των μετρήσεων δεν αποτελεί αντιπροσωπευτική παράμετρο απόκλισης των δεδομένων στη συγκεκριμένη έρευνα, καθώς παρατηρούνται ακραίες τιμές, όπως φαίνεται στα ιστογράμματα που ακολουθούν.

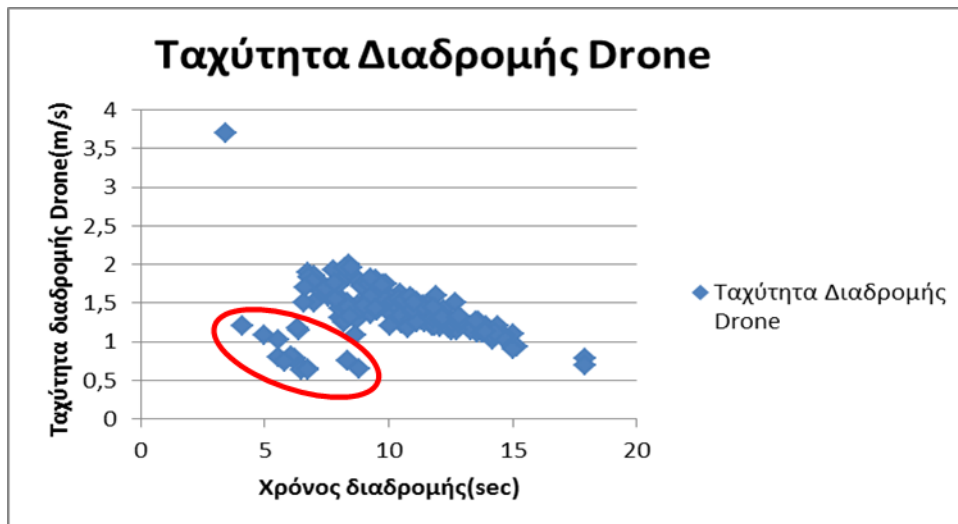
Στο Διάγραμμα 6 παρατίθενται τα ιστογράμματα των μέσων ταχυτήτων διαδρομής των πεζών, όπως εξάχθηκαν από χειροκίνητη μέτρηση και τη βιντεοσκόπηση μέσω του UAV και της σταθερής κάμερας, στα οποία αντίστοιχα απεικονίζεται η συχνότητα εμφάνισης των τιμών των ταχυτήτων διαδρομής.

Λαμβάνοντας υπόψιν τα ιστογράμματα των μεταβλητών, παρατηρούνται διαφορές μεταξύ των δεδομένων τόσο στις ακραίες τιμές τους όσο και στις ενδιάμεσες, όμως τα εξαγόμενα δεδομένα του UAV είναι αυτά που προσεγγίζουν ακριβέστερα τα περιγραφικά μεγέθη των τιμών της πραγματικής ταχύτητας διαδρομής.

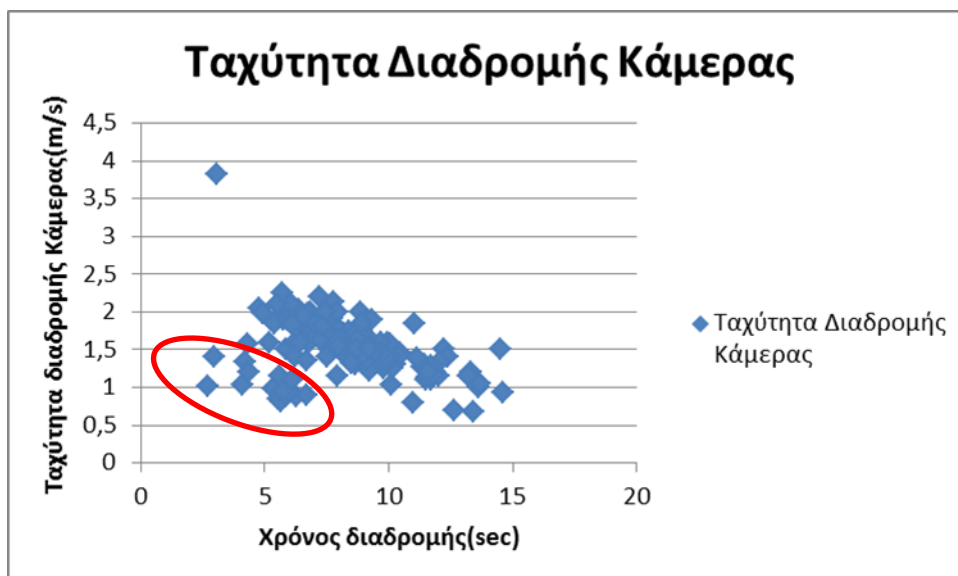


Διάγραμμα 6: Ιστόγραμμα Μέσης Ταχύτητας Διαδρομής Πεζών από χειροκίνητη μέτρηση, UAV και σταθερή κάμερα.

Στα Διαγράμματα 7 και 8 παρατηρείται η διασπορά των τιμών της ταχύτητας των δεδομένων όπως εξάχθηκαν από τα βίντεο του UAV και της σταθερής κάμερας, σε σχέση με το συνολικό χρόνο διαδρομής που έκανε κάθε πεζός προκειμένου να διασχίσει την περιοχή μελέτης.



Διάγραμμα 7: Διάγραμμα διασποράς Ταχύτητας Διαδρομής UAV-Χρόνος Διαδρομής



Διάγραμμα 8: Διάγραμμα Διασποράς Μέσης Ταχύτητας Διαδρομής Κάμερας-Χρόνος Διαδρομής

Από τα παραπάνω γραφήματα φαίνεται ότι οι εξαγόμενες ταχύτητες του UAV σε σχέση με το χρονικό διάστημα καταγραφής τους παρουσιάζουν μικρότερη διασπορά από αυτές της κάμερας. Συγκεκριμένα, στο διάγραμμα διασποράς του UAV το μεγαλύτερο ποσοστό των τιμών βρίσκεται μεταξύ του χρονικού διαστήματος 6 έως 15 δευτερόλεπτα με ταχύτητες που κυμαίνονται από 2m/s έως 0,9m/s, ενώ στις σταθερής κάμερας οι τιμές συγκεντρώνονται στο διάστημα 5 έως 13 δευτερόλεπτα με ταχύτητες από 2,25m/s έως 1,1m/s αντίστοιχα. Επίσης στο γράφημα διασποράς των ταχυτήτων διαδρομής του UAV σε σχέση με το χρόνο διαδρομής, παρατηρούνται δύο τιμές ταχύτητας 0,7m/s με συνολικό χρόνο διαδρομής περίπου 18 δευτερόλεπτα, ενώ οι ίδιες ταχύτητες στην κάμερα παρουσιάζουν χρόνο διαδρομής 15 δευτερόλεπτα. Αυτό συμβαίνει εξαιτίας της εφαρμογής του φίλτρου προοπτικής (perspective filter), το οποίο στην κάμερα περιορίζει αρκετά την εικόνα στις τέσσερις άκρες της, λόγω της μεγάλης παραμόρφωσης που οφείλεται στη

μαγνητοσκόπηση υπό μικρή γωνία, έχοντας σαν αποτέλεσμα τη μη ολοκληρωμένη καταγραφή της τροχιάς τους μέχρι να εξέλθουν από την περιοχή μελέτης και λαμβάνοντας υπόψιν ότι περπατούσαν πολύ κοντά στα όρια της περιοχής όπου η εικόνα ήταν περιορισμένη έγινε αναγκαστική διακοπή της καταγραφής τους και κατά συνέπεια του χρόνου διαδρομής τους. Επίσης, στο διάγραμμα διασποράς της κάμερας εμφανίζονται μεγαλύτερες ταχύτητες από αυτές του UAV, γεγονός το οποίο οφείλεται στην ανακριβή βαθμονόμηση των βιντεοσκοπημένων δειγμάτων της κάμερας εξαιτίας του χαμηλότερου υψομέτρου λήψης, της μαγνητοσκόπησης υπό γωνία και της μικρής γωνίας λήψης, παράγοντες οι οποίοι αναλύθηκαν σε προηγούμενο κεφάλαιο. Εντοπίζονται ακραίες τιμές και στα δύο γραφήματα με τιμές: 0,68m/s η μικρότερη, 3,7m/s η μέγιστη στο UAV και 3,83m/s η μέγιστη στην κάμερα.

Η υπάρχουσα μορφή των διαγραμμάτων είναι αναμενόμενη από τη στιγμή που όσο μικρότερος είναι ο χρόνος διαδρομής συνεπάγονται μεγαλύτερες ταχύτητες, ενώ όσο μεγαλώνει ο χρόνος καταγραφής του αντιστοιχούν μικρότερες τιμές ταχυτήτων. Παρ' όλα αυτά, παρατηρείται στο αριστερό τμήμα των γραφημάτων μία περιοχή στην οποία αντιστοιχούν χαμηλές ταχύτητες σε μικρό χρόνο, το οποίο, όσον αφορά το UAV, εξηγείται λόγω της σταθεροποίησης των βίντεο με κατάλληλο πρόγραμμα κατά το οποίο εμφανίζονται μαύρες περιοχές προκειμένου να σταθεροποιηθεί το πλάνο, με αποτέλεσμα την περιορισμένη καταγραφή των τροχιών. Οφείλεται επίσης και στην εξαγωγή τροχιών από πεζούς που βρίσκονταν ήδη στην περιοχή μελέτης και η καταγραφή τους ξεκίνησε περίπου από τη μέση της διαδρομής με κατεύθυνση την είσοδο τους στο κτίριο αιθουσών. Οι περιοχές αυτές απεικονίζονται μέσα σε κόκκινο κύκλο στα παραπάνω διαγράμματα διασποράς.

## 4.5 Προσαρμογή Στατιστικών κατανομών

Έπειτα από την ολοκλήρωση της ανάλυσης των στατιστικών χαρακτηριστικών και περιγραφικών μεγεθών των δεδομένων του συγκεκριμένου πειράματος, ακολουθεί η περιγραφή και μοντελοποίηση τους με τη χρήση των στατιστικών κατανομών πιθανοτήτων.

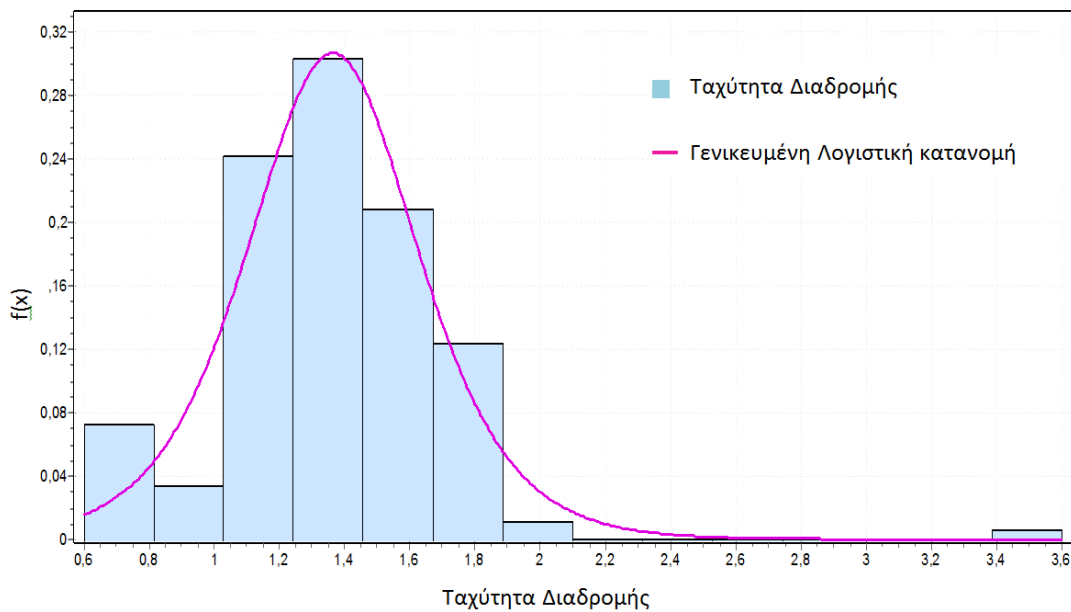
Συγκεκριμένα, δίνεται δυνατότητα επιλογής 60 διαφορετικών κατανομών, οι οποίες εμφανίζονται στο παράθυρο εργασίας με σειρά κατάταξης από αυτήν που περιγράφει καλύτερα τα δεδομένα έως την πλέον ακατάλληλη. Η κατάταξη αυτή προκύπτει από τον Έλεγχο Καλής Προσαρμογής, στον οποίο χρησιμοποιείται το κριτήριο Kolmogorov-Smirnov προκειμένου να καταλήξει στη βέλτιστη επιλογή.

Με βάση τα προαναφερθέντα κριτήρια, προκύπτουν τα αντίστοιχα αποτελέσματα για τα δεδομένα της παρούσας έρευνας, τα οποία αποτελούν η πραγματική παρατηρούμενη ταχύτητα διαδρομής των πεζών, η μέση ταχύτητα που προέκυψε από την ανάλυση των βίντεο του UAV και η μέση ταχύτητα όπως καταγράφηκε από τα βίντεο της σταθερής κάμερας. Με την εφαρμογή του ελέγχου Kolmogorov-Smirnov προέκυψε πως τα τρία δείγματα περιγράφονται καλύτερα από διαφορετικές κατανομές το καθένα, συγκεκριμένα η πραγματική ταχύτητα διαδρομής προσαρμόζεται ακριβέστερα στην κατανομή Burr, οι ταχύτητες από το UAV στην κατανομή Dagum και οι ταχύτητες της σταθερής κάμερας στη

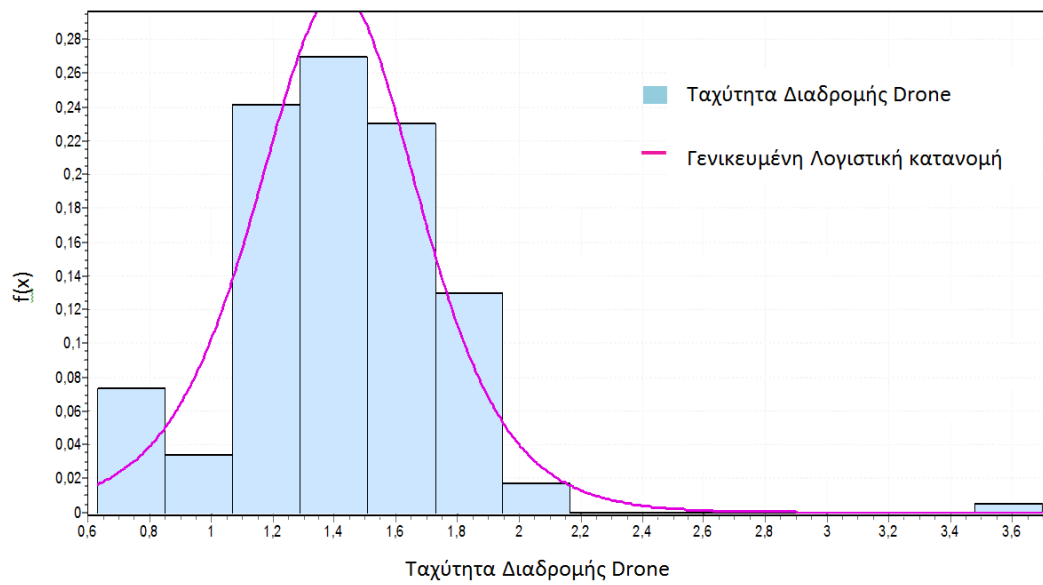


Λογαριθμική Λογιστική κατανομή (Log-Logistic-3P), η οποία χαρακτηρίζεται από τρεις παραμέτρους. Προκειμένου να είναι δυνατή η σύγκριση των μεταβλητών μεταξύ τους πρέπει να προσαρμοστούν σε μια κοινή κατανομή, η οποία στην παρούσα διπλωματική επιλέχθηκε να είναι η Γενικευμένη Λογιστική κατανομή (Generalized Logistic), καθώς παρουσιάζει υψηλή θέση κατάταξης και στα τρία δείγματα και συγκεκριμένα καταλαμβάνει τη δεύτερη θέση στα δεδομένα του UAV, την πέμπτη στις μέσες ταχύτητες της σταθερής κάμερας και την έκτη στις πραγματικές ταχύτητες διαδρομής.

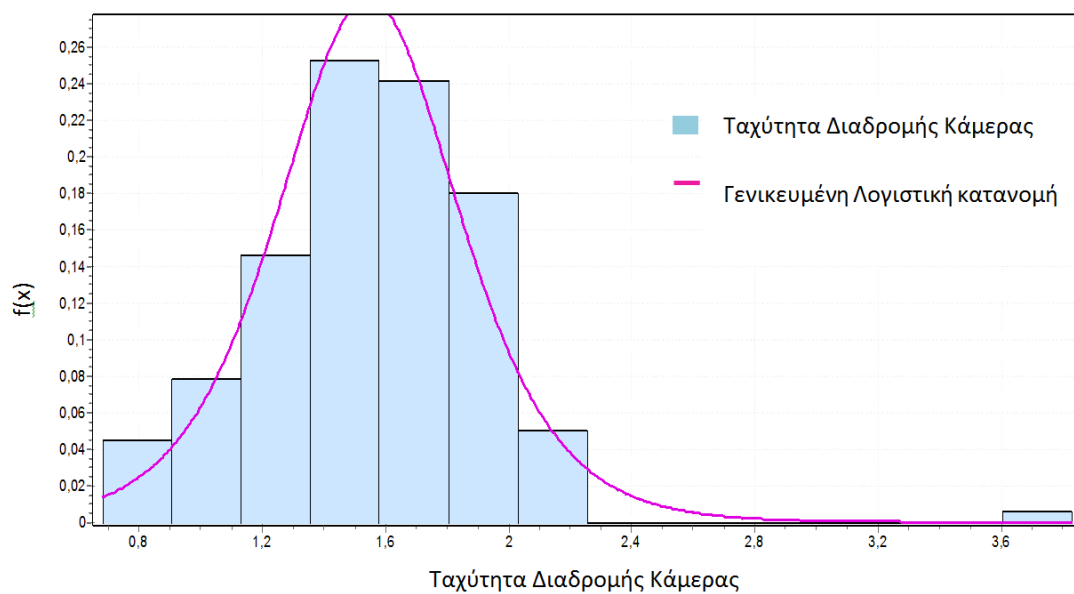
Στα Διαγράμματα 9 έως 14 απεικονίζονται τα διαγράμματα Συνάρτησης Πυκνότητας Πιθανότητας, τα οποία κατά κύριο λόγο δείχνουν τη μορφή της συγκεκριμένης κατανομής περικλείοντας τα δεδομένα καθώς και τα διαγράμματα Αθροιστικής Συνάρτησης Κατανομής στα οποία παρουσιάζεται με γραφικό τρόπο το πόσο επαρκώς ταιριάζει η κατανομή στα εκάστοτε δεδομένα.



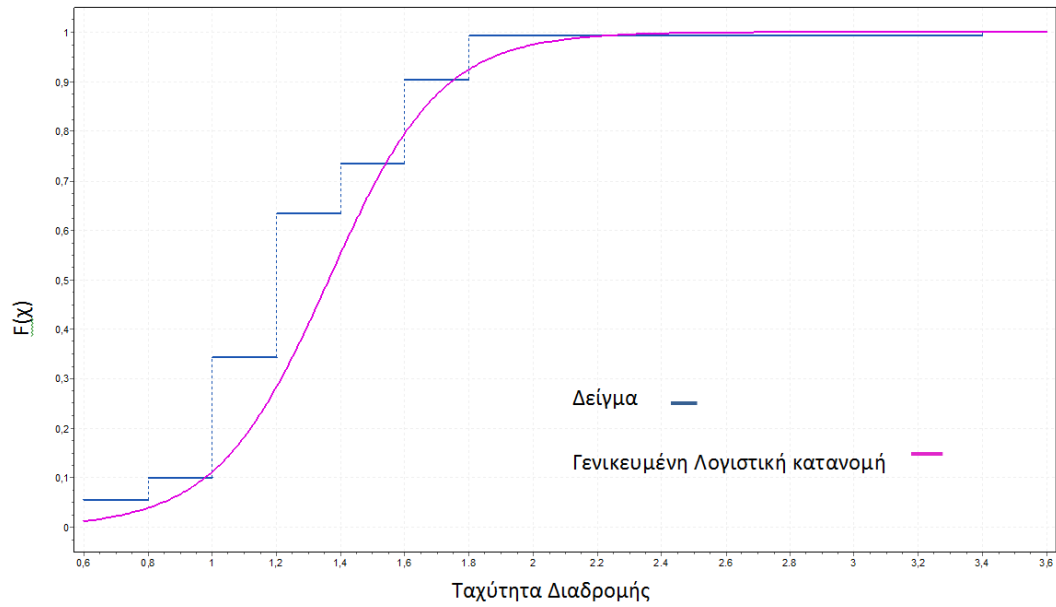
**Διάγραμμα 9:** Συνάρτηση Πυκνότητας Πιθανότητας της Γενικευμένης Λογιστικής κατανομής για την Ταχύτητα Διαδρομής



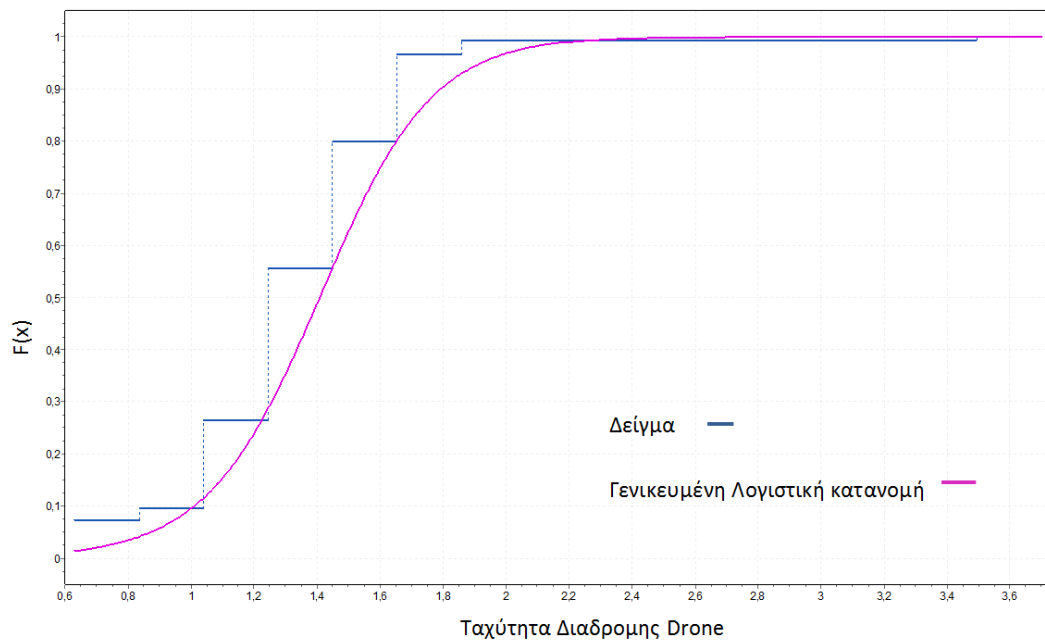
Διάγραμμα 10: Συνάρτηση Πυκνότητας Πιθανότητας της Γενικευμένης Λογιστικής κατανομής για τη Μέση Ταχύτητα διαδρομής Drone



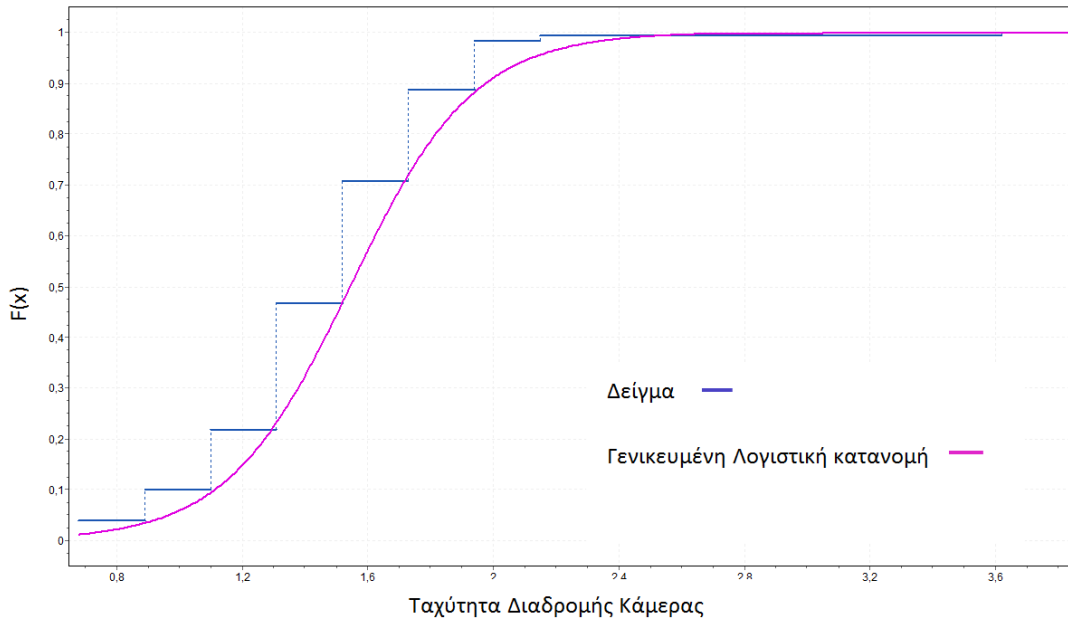
Διάγραμμα 11: Συνάρτηση Πυκνότητας Πιθανότητας Γενικευμένης Λογιστικής κατανομής για τη Μέση Ταχύτητα Διαδρομής κάμερας



Διάγραμμα 12: Αθροιστική Συνάρτηση Κατανομής Γενικευμένης Λογιστικής κατανομής για την Ταχύτητα Διαδρομής



Διάγραμμα 13: Αθροιστική Συνάρτηση Κατανομής Γενικευμένης Λογιστικής κατανομής για τη Μέση Ταχύτητα Διαδρομής UAV



**Διάγραμμα 14: Αθροιστική Συνάρτηση Κατανομής Γενικευμένης Λογιστικής κατανομής της Μέσης Ταχύτητας Διαδρομής κάμερας**

Το διάγραμμα Συνάρτησης Πυκνότητας Πιθανότητας εκφράζει την πιθανότητα να εμφανιστεί η τυχαία μεταβλητή  $X$  ανάμεσα σε ένα διάστημα  $[\alpha, \beta]$  και η πιθανότητα αυτή υπολογίζεται από το ολοκλήρωμα:  $\int_{\alpha}^{\beta} f(x)dx$ , το οποίο ορίζεται από την καμπύλη της συνάρτησης πυκνότητας πιθανότητας και τον οριζόντιο άξονα  $x$ . Επίσης η πιθανότητα η τυχαία μεταβλητή να εμφανιστεί σε ολόκληρο το εύρος τιμών που παρουσιάζονται στο διάγραμμα, είναι ίση με τη μονάδα και εκφράζεται με το ολοκλήρωμα:  $\int_0^{\infty} f(x)dx = 1$ . Επιπλέον πρέπει το άθροισμα των πιθανοτήτων για τις οποίες παρουσιάζονται τα ιστογράμματα να ισούται με τη μονάδα καθώς ο κατακόρυφος άξονας του διαγράμματος παρουσιάζει την πυκνότητα της πιθανότητας των ιστογραμμάτων.

Το διάγραμμα Αθροιστικής Συνάρτησης Κατανομής περιγράφει την πιθανότητα εμφάνισης των τιμών του δείγματος γι' αυτό το λόγο οι τιμές της  $F(x)$  κυμαίνονται από το 0 έως το 1. Τα άλματα που παρατηρούνται στα διάγραμμα δείχνουν την πιθανότητα η τυχαία μεταβλητή να πάρει την ακριβή τιμή  $x_i$  που εμφανίζεται στον οριζόντιο άξονα των ταχυτήτων. Επιπρόσθετα, στο διάγραμμα Αθροιστικής Συνάρτησης Κατανομής παρουσιάζεται η απόκλιση των εισαγόμενων δεδομένων από την κατανομή που έχει επιλεγεί και όσο μικρότερη είναι η απόσταση μεταξύ τους τόσο καλύτερη είναι η περιγραφή του δείγματος από την Γενικευμένη Λογιστική κατανομή. Συγκεκριμένα, στο δείγμα που εξάχθηκε από το Μη Επανδρωμένο Αεροσκάφος η συγκεκριμένη κατανομή είναι δεύτερη στη κατάταξη του Ελέγχου Καλής Προσαρμογής, ενώ έρχεται πέμπτη στο δείγμα της σταθερής κάμερας και έκτη στο δείγμα των πραγματικών ταχυτήτων διαδρομής.

Στους Πίνακες 4 έως 6 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα, για κάθε ένα από τα δείγματα των ταχυτήτων, όπως προέκυψαν από τον Έλεγχο Καλής Προσαρμογής με βάση το μη παραμετρικό τεστ Kolmogorov-Smirnov, χρησιμοποιώντας επαγωγικά μεγέθη των

δειγμάτων και αναφέροντας τη θέση κατάταξης που κατέχει η κατανομή για κάθε ένα δείγμα.

Πίνακας 4: Τεστ υπόθεσης για την κατανομή στο δείγμα Μέσης Ταχύτητας Διαδρομής από χειροκίνητη μέτρηση

Γενικευμένη Λογιστική κατανομή					
Kolmogorov-Smirnov					
Μέγεθος δείγματος	178				
Στατιστικός Δείκτης Ελέγχου	0,082				
P-Τιμή	0,178				
Θέση κατάταξης	6				
$\alpha$	0,2	0,1	0,05	0,02	0,01
Οριακή Τιμή	0,08	0,092	0,102	0,114	0,122
Απόρριψη	Ναι	Όχι	Όχι	Όχι	Όχι

Πίνακας 5: Τεστ υπόθεσης για την κατανομή στο δείγμα Μέσης Ταχύτητας Διαδρομής UAV

Γενικευμένη Λογιστική κατανομή					
Kolmogorov-Smirnov					
Μέγεθος Δείγματος	178				
Στατιστικός Δείκτης Ελέγχου	0,04				
P-Τιμή	0,927				
Θέση κατάταξης	2				
$\alpha$	0,2	0,1	0,05	0,02	0,01
Οριακή Τιμή	0,08	0,092	0,102	0,114	0,122
Απόρριψη	Όχι	Όχι	Όχι	Όχι	Όχι

Πίνακας 6: Τεστ υπόθεσης για την κατανομή στο δείγμα Μέσης Ταχύτητας Διαδρομής σταθερής κάμερας

Γενικευμένη Λογιστική κατανομή					
Kolmogorov-Smirnov					
Μέγεθος Δείγματος	178				
Στατιστικός Δείκτης Ελέγχου	0,053				
P-Τιμή	0,673				
Θέση κατάταξης	5				
$\alpha$	0,2	0,1	0,05	0,02	0,01
Οριακή Τιμή	0,08	0,092	0,102	0,114	0,122
Απόρριψη	Όχι	Όχι	Όχι	Όχι	Όχι

Όσον αφορά τα τεστ υποθέσεων που επισημαίνονται παραπάνω, επιλέχθηκε επίπεδο σημαντικότητας  $\alpha=0,05(5\%)$ . Παρατηρείται πως για το συγκεκριμένο επίπεδο σημαντικότητας και για τα τρία δείγματα η αρχική υπόθεση  $H_0$  ότι η Γενικευμένη Λογιστική κατανομή περιγράφει ικανοποιητικά τα δείγματα δεν μπορεί να απορριφθεί, γεγονός που σημαίνει πως γίνεται αποδεκτή και στις τρεις περιπτώσεις. Η αρχική υπόθεση επιβεβαιώνεται από τη στιγμή που ο στατιστικός δείκτης ελέγχου του τεστ Kolmogorov-Smirnov είναι μικρότερος από τις οριακές τιμές που αναγράφονται για επίπεδο σημαντικότητας  $\alpha = 0,05$ , όπως επίσης και από το γεγονός ότι η τιμή  $p$  λαμβάνει μεγαλύτερη τιμή από το  $0,05$ , κριτήρια τα οποία επιβεβαιώνουν την αποδοχή της συγκεκριμένης κατανομής ως κατάλληλη για την περιγραφή των δεδομένων.

Έπειτα από την επιλογή της κατάλληλης στατιστικής κατανομής που προσαρμόζεται ακριβέστερα στα εξαγόμενα δεδομένα ακολουθεί η περιγραφή, ο προσδιορισμός και η ανάλυση των χαρακτηριστικών που προσδίδονται στα μεγέθη με βάση την κατανομή, τα οποία αναφέρονται παρακάτω σε μορφή πινάκων και γίνεται εκτενέστερη ανάλυση τους αμέσως μετά.

Στους Πίνακες 7 έως 9 φαίνονται οι παράμετροι της Γενικευμένης Λογιστικής κατανομής για τις πραγματικές ταχύτητες διαδρομής των πεζών, καθώς και τις εξαγόμενες ταχύτητες από το UAV και την σταθερή κάμερα αντίστοιχα.

Πίνακας 7: Παράμετροι κατανομής για τις Μέσες Ταχύτητες Διαδρομής από χειροκίνητη μέτρηση

$k_1$	-0,004
$\sigma_1$	0,175
$\mu_1$	1,362

Πίνακας 8: Παράμετροι κατανομής για τις Μέσες Ταχύτητες Διαδρομής UAV

$k_2$	-0,015
$\sigma_2$	0,178
$\mu_2$	1,407

Πίνακας 9: Παράμετροι κατανομής για τις Μέσες Ταχύτητες Διαδρομής σταθερής κάμερας

$k_3$	$2,31 \cdot 10^{-4}$
$\sigma_3$	0,196
$\mu_3$	1,544

Από τον υπολογισμό των παραμέτρων κλίμακας ( $\sigma$ ) και θέσης ( $\mu$ ) της κατανομής, για κάθε ένα από τα εξαγόμενα δείγματα, προκύπτει πως οι τιμές των πραγματικών ταχυτήτων παρουσιάζουν μικρότερη απόκλιση, ενώ οι ταχύτητες της σταθερής κάμερας έχουν τη μεγαλύτερη απόκλιση και συγκεκριμένα:  $\sigma_1 < \sigma_2 < \sigma_3$ . Επίσης, συγκρίνοντας την παράμετρο της διαμέσου των τριών δειγμάτων παρατηρείται πως οι ταχύτητες του UAV προσεγγίζουν πολύ καλύτερα τις πραγματικές τιμές απ' ό τι η σταθερή κάμερα. Τα αποτελέσματα των

παραμέτρων συμβαδίζουν με τους περιγραφικούς στατιστικούς δείκτες που προέκυψαν κατά την ανάλυση των περιγραφικών μεγεθών των δεδομένων. Επίσης παρατηρείται μια ακραία τιμή και στα τρία διαγράμματα, η οποία επηρεάζει τόσο τη διαμόρφωση της μέσης τιμής όσο και την προσαρμογή της Γενικευμένης Λογιστικής κατανομής. Όσον αφορά τη μορφή του διαγράμματος παρατηρείται πως στην περίπτωση του δείγματος των πραγματικών ταχυτήτων των πεζών, η κατανομή παρουσιάζει μια ελάχιστη αρνητική ασυμμετρία, όπου  $k = -0,004$ , καθώς η συμμετρία της επηρεάζεται από την ακραία τιμή ταχύτητας για 3,4m/s έως 3,6m/s. Το ίδιο ισχύει και για τα δεδομένα του UAV, όπου  $k = -0,015$  και οι ακραίες τιμές κυμαίνονται μεταξύ 3,5m/s έως 3,7m/s. Στα δεδομένα της κάμερας η παράμετρος είναι θετική με  $k = 2,31 \cdot 10^{-4}$ , τιμή που απέχει ελάχιστα από το 0, αφού παρατηρείται πως τα δεδομένα έχουν μεγαλύτερη τάση συγκέντρωσης στην αριστερή μεριά του διαγράμματος, με αποτέλεσμα να ισορροπείται η ακραία τιμή που κυμαίνεται μεταξύ 3,62m/s έως 3,83m/s και έτσι να παρουσιάζεται θετική ασυμμετρία, η οποία θα μπορούσε να είναι αμελητέα καθώς προσεγγίζει τη μηδενική τιμή. Σημαντικότερο μέγεθος για όλες τις προαναφερθέντες μεταβλητές είναι η διάμεσος εξαιτίας της εμφάνισης των ακραίων τιμών ταχυτήτων, καθώς η διάμεσος δεν επηρεάζεται από ακραίες τιμές σε αντίθεση με τη μέση τιμή, η οποία μπορεί να μην αποτελέσει την πιο αντιπροσωπευτική εικόνα από τη στιγμή που επηρεάζεται σημαντικά από μία πολύ μεγάλη ή πολύ μικρή παρατήρηση. Σε αυτές τις περιπτώσεις χρησιμοποιείται σαν μέτρο κεντρικής τάσης η διάμεσος, που αντιστοιχεί σε εκείνη την τιμή για την οποία το 50% των παρατηρήσεων έχουν τιμή ίση ή μικρότερη.

Τέλος, όπως φαίνεται από τα ιστογράμματα τη μεγαλύτερη πιθανότητα εμφάνισης και συχνότητας την έχουν οι τιμές από 1,25m/s έως 1,45m/s για τα δεδομένα των πραγματικών ταχυτήτων, 1,3m/s έως 1,5m/s για τις ταχύτητες του UAV, ενώ οι αντίστοιχες εμφανιζόμενες τιμές της σταθερής κάμερας είναι από 1,35m/s έως 1,6m/s και η απόκλιση οφείλεται στους λόγους που αναφέρθηκαν αναλυτικά στο προηγούμενο κεφάλαιο. Την αμέσως μεγαλύτερη πιθανότητα εμφάνισης παρουσιάζουν οι ταχύτητες 1-1,25m/s, 1,05-1,3m/s για τις πραγματικές ταχύτητες και το UAV αντίστοιχα και έπειτα ακολουθούν οι τιμές 1,45-1,65m/s και 1,5-1,7m/s. Ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός πως τα δεδομένα της κάμερας δεν ακολουθούν αυτή τη σειρά εμφάνισης των ταχυτήτων, με εξαίρεση τις τιμές που εμφανίζονται συχνότερα, όπως αναφέρθηκε παραπάνω. Συγκεκριμένα δεύτερες στη σειρά συχνότητας είναι οι ταχύτητες που κυμαίνονται μεταξύ 1,6-1,8m/s, τρίτες είναι οι τιμές 1,8-2,05m/s και τέταρτες οι τιμές ταχυτήτων 1,07-1,35m/s. Αυτό, όπως έχει εξηγηθεί στο προηγούμενο κεφάλαιο, οφείλεται στην ανακριβή βαθμονόμηση των βίντεο της κάμερας, όπου εξαιτίας της λήψης υπό μικρή γωνία η παραμόρφωση στην κάθετη διάσταση της περιοχής μελέτης γίνεται εντονότερη με αποτέλεσμα να προκύπτει μεγαλύτερη η κατακόρυφη διάσταση από την πραγματική και συνεπώς μεγαλύτερη συνισταμένη ταχύτητα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, τα δεδομένα να έχουν την τάση να μετατοπίζονται δεξιά κατά τον οριζόντιο άξονα των ταχυτήτων, γι' αυτό το λόγο παρατηρούνται και διαφορετικές πιθανότητες εμφάνισης των ταχυτήτων μεταξύ του δείγματος της σταθερής κάμερας και των υπόλοιπων δύο.

Λαμβάνοντας υπόψιν και τα τρία ιστογράμματα, προκύπτει για τη συγκεκριμένη έρευνα, πως οι πεζοί κατά πλειοψηφία έχουν την τάση να κινούνται με ταχύτητα από 1,05m/s έως

1,9 m/s, κατά την είσοδο και έξοδο τους από το κτίριο. Τιμές μικρότερες από τη μονάδα αναφέρονται σε πεζούς που είτε περπατούσαν πολύ αργά ή είχαν μεγάλο χρόνο αναμονής κατά την καταγραφή τους στην περιοχή μελέτης. Η ακραία τιμή της ταχύτητας που εμφανίζεται και στα τρία γραφήματα αναφέρεται σε μόνο έναν πεζό, ο οποίος διέσχισε την περιοχή μελέτης τρέχοντας.

## 4.6 Συγκριτική αξιολόγηση UAV και σταθερής κάμερας

Στο παρόν υποκεφάλαιο γίνεται χρήση της επαγωγικής στατιστικής με σκοπό τη συσχέτιση και γενίκευση των αποτελεσμάτων. Διαφοροποιείται από την περιγραφική στατιστική, η οποία αποσκοπεί στη συνθετική παρουσίαση ποσοτικών πληροφοριών. Συνήθως σε μία έρευνα χρησιμοποιείται αρχικά περιγραφική στατιστική για την έκθεση των αποτελεσμάτων που συλλέχθηκαν από τη δειγματοληπτική έρευνα και στη συνέχεια χρησιμοποιείται η επαγωγική στατιστική για να γενικευτούν τα αποτελέσματα της έρευνας και να αναχθούν σε ευρύτερες ομάδες.

Προκειμένου να διεξαχθούν τα επιθυμητά αποτελέσματα, γίνεται αρχικά χρήση του μη παραμετρικού ελέγχου Mann-Whitney-Wilcoxon, και έπειτα, λαμβάνοντας υπόψιν ορισμένα κριτήρια, γίνεται εφαρμογή και του παραμετρικού τεστ.

Οι παρατηρήσεις ικανοποιούν τις προϋποθέσεις προκειμένου να εφαρμοστεί το συγκεκριμένο μη παραμετρικό τεστ, καθώς τα δείγματα που ελέγχθηκαν στο προηγούμενο υποκεφάλαιο περιγράφονται επαρκώς από την Γενικευμένη Λογιστική κατανομή. Επίσης, έγινε έλεγχος υποθέσεων για τις διακυμάνσεις των δεδομένων, με σκοπό να εξεταστεί αν η διαφορά τους είναι στατιστικά σημαντική και προέκυψε πως δεν διαφέρουν στατιστικά σημαντικά παρόλο που παρουσιάζονται διαφορές στις τιμές τους καθώς και παραμετρικός έλεγχος, οι οποίοι περιγράφονται αναλυτικά στα επόμενα υποκεφάλαια.

Η χρήση του ελέγχου υποθέσεων για τη σύγκριση των ταχυτήτων των δειγμάτων, σε σχέση με το μέσο μαγνητοσκόπησης, έχει σκοπό την παρουσίαση αποτελεσμάτων τα οποία μπορούν να δώσουν έγκυρα και ακριβή συμπεράσματα. Προκειμένου να επιτευχθεί αυτό, πρέπει οι διαφορές των διαμέσων μεταξύ των ταχυτήτων να χαρακτηριστούν ως στατιστικά σημαντικές ή όχι.

Για να είναι δυνατή η σύγκριση, στον Πίνακα 10 παρατίθενται τα αποτελέσματα της εφαρμογής του μη παραμετρικού ελέγχου για κάθε ένα ζευγάρι από τα δείγματα ταχυτήτων, χρησιμοποιώντας τους απαραίτητους δείκτες της επαγωγικής στατιστικής για την εξαγωγή συμπερασμάτων. Από τον παραπάνω πίνακα φαίνεται πως η πιθανότητα  $p$  προέκυψε μεγαλύτερη από το επίπεδο σημαντικότητας  $\alpha=5\%$  και αυτό σημαίνει πως η μηδενική υπόθεση  $H_0$  ότι η διαφορά των διαμέσων είναι μηδενική δεν μπορεί να απορριφθεί για το δεδομένο επίπεδο σημαντικότητας. Η διαφορά τους κυμαίνεται περίπου στο  $-0,05$ , τιμή η οποία εμπεριέχεται στο διάστημα εμπιστοσύνης που αναφέρεται. Συμπερασματικά, η σύγκριση τους καταλήγει στο γεγονός ότι δεν διακρίνεται ουσιαστική διαφορά στη διάμεσο ανάμεσα στα δύο δείγματα ή ακριβέστερα η διαφορά που παρατηρείται δεν είναι στατιστικά σημαντική.



Πίνακας 10: Αποτελέσματα Μη Παραμετρικού Ελέγχου

<b>Ταχύτητα Διαδρομής-Μέση Ταχύτητα Διαδρομής Drone</b>	
<b>Στατιστικός Δείκτης Ελέγχου(W)</b>	14306
<b>P Τιμή</b>	0,113
<b>Διάστημα Εμπιστοσύνης(95%)</b>	( -0,11 , 0,01)
<b>Διαφορά μέτρου θέσης</b>	-0,049

Με σκοπό τον ολοκληρωμένο έλεγχο συσχέτισης των μέσων καταγραφής, πρέπει να πραγματοποιηθεί η ίδια διαδικασία, προβάλλοντας αποτελέσματα για τις πραγματικές ταχύτητες διαδρομής και τις μέσες ταχύτητες όπως προέκυψαν από τη βιντεοσκόπηση μέσω της σταθερής κάμερας. Στον Πίνακα 11 συνοψίζονται τα αποτελέσματα του ελέγχου.

Πίνακας 11: Αποτελέσματα Μη Παραμετρικού Ελέγχου

<b>Ταχύτητα Διαδρομής-Μέση Ταχύτητα Διαδρομής Κάμερας</b>	
<b>Στατιστικός Δείκτης Ελέγχου(W)</b>	10704
<b>P Τιμή</b>	$1,17 \cdot 10^{-7}$
<b>Διάστημα Εμπιστοσύνης(95%)</b>	( -0,25 , -0,11)
<b>Διαφορά μέτρου θέσης</b>	-0,199

Στην περίπτωση της σταθερής κάμερας, τα αποτελέσματα διαφέρουν από την προηγούμενη περίπτωση. Συγκεκριμένα η τιμή της πιθανότητας  $p$  είναι κατά πολύ μικρότερη από την τιμή 0,05 του επιπέδου σημαντικότητας με αποτέλεσμα να μην είναι δυνατή η αποδοχή της  $H_0$  και να επιλέγεται η εναλλακτική υπόθεση  $H_1$  κατά την οποία οι διάμεσοι μεταξύ των πραγματικών ταχυτήτων και των ταχυτήτων όπως εξάχθηκαν από τη σταθερή κάμερα, να διαφέρουν και μάλιστα η διαφορά τους να είναι στατιστικά σημαντική. Γενικά όσο πιο κοντά στο 0 είναι η τιμή της  $p$  τόσο πιο σίγουρη είναι η απόρριψη της αρχικής υπόθεσης. Επιπλέον, παρατηρείται όπως και πριν πως η διαφορά των διαμέσων περιλαμβάνεται στο διάστημα εμπιστοσύνης που έχει οριστεί σε ποσοστό 95%. Επίσης το στατιστικό ελέγχου  $W$  του συγκεκριμένου τεστ υπολογίζεται από το άθροισμα των κατατάξεων των δεδομένων και επιλέγεται η μικρότερη τιμή από αυτές του κάθε δείγματος.

Συνεπώς, γίνεται αντιληπτό ότι τη μεγαλύτερη διαφορά στα δεδομένα σε σχέση με τις προσεγγιστικά υπολογίσιμες πραγματικές ταχύτητες την έχει η σταθερή κάμερα, αφού τα δεδομένα της παρουσιάζουν σημαντική απόκλιση, ενώ αντιθέτως του UAV έχουν πολύ μικρή διαφορά η οποία κρίνεται μη στατιστικά σημαντική, άρα αμελητέα. Για να γίνει δυνατή η εξαγωγή ολοκληρωμένων συμπερασμάτων πρέπει ακόμα να συγκριθούν τα δύο μέσα μεταξύ τους, προκειμένου να επιβεβαιωθεί η απόκλιση των δεδομένων τους και να χαρακτηριστεί ως σημαντική ή όχι. Τα αποτελέσματα του ελέγχου φαίνονται στον Πίνακα 12.

Πίνακας 12: Αποτελέσματα Μη Παραμετρικού Ελέγχου

Μέση Ταχύτητα Διαδρομής Drone-Μέση Ταχύτητα Διαδρομής Κάμερας	
Στατιστικός Δείκτης Ελέγχου(W)	12040
P Τιμή	$8,99 \cdot 10^{-5}$
Διάστημα Εμπιστοσύνης(95%)	(-0,20 , -0,069)
Διαφορά μέτρου θέσης	-0,13

Η πιθανότητα  $p$  παρουσιάζεται κατά πολύ μικρότερη από το 0,05, γεγονός που σημαίνει ότι η διαφορά των δύο μέσων μεταξύ τους είναι στατιστικά σημαντική. Εφόσον παρατηρήθηκε πως δεν περιγράφουν το ίδιο τις ταχύτητες διαδρομής και συγκεκριμένα πως το UAV τις προσεγγίζει πολύ καλύτερα από τη σταθερή κάμερα, καθώς και από τη μεταξύ τους σύγκριση προκύπτει πως οι τιμές των δύο μέσων αποκλίνουν και μάλιστα σημαντικά, με αποτέλεσμα να επακολουθήσει το συμπέρασμα πως τα βίντεο και η ανάλυση τους μέσω του UAV ανταποκρίνονται ακριβέστερα στις πραγματικές ταχύτητες από ότι η σταθερή κάμερα.

## 4.7 Εφαρμογή Παραμετρικού ελέγχου

Όπως αναφέρθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, κρίνεται απαραίτητη η εφαρμογή του παραμετρικού ελέγχου Welch t-test για ανεξάρτητα δείγματα, εφόσον τα δεδομένα του πειράματος πληρούν τις προϋποθέσεις χρήσης Παραμετρικού ελέγχου για την ανάλυση μη κανονικών δεδομένων.

Στους Πίνακες 13 έως 15 παρατίθενται τα αποτελέσματα του Ελέγχου Καλής Προσαρμογής, με σκοπό να υπολογιστεί κατά πόσο τα δεδομένα προσεγγίζουν την κανονική κατανομή και έπειτα να αποδειχθεί η προσεγγιστική κανονικότητα των δεδομένων του πειράματος, για κάθε ένα δείγμα ξεχωριστά.

Πίνακας 13: Έλεγχος Καλής Προσαρμογής για τις Μέσες Ταχύτητες Διαδρομής από χειροκίνητη μέτρηση

Κανονική κατανομή					
Kolmogorov-Smirnov					
Μέγεθος Δείγματος	178				
Στατιστικός Δείκτης Ελέγχου	0,091				
P-Τιμή	0,102				
Θέση κατάταξης	14				
$\alpha$	0,2	0,1	0,05	0,02	0,01
Οριακή Τιμή	0,08	0,092	0,102	0,114	0,122
Απόρριψη	Ναι	Όχι	Όχι	Όχι	Όχι

Πίνακας 14: Έλεγχος Καλής Προσαρμογής για τις Μέσες Ταχύτητες Διαδρομής UAV

Κανονική κατανομή					
Kolmogorov-Smirnov					
Μέγεθος Δείγματος	178				
Στατιστικός Δείκτης Ελέγχου	0,064				
P-Τιμή	0,444				
Θέση κατάταξης	13				
$\alpha$	0,2	0,1	0,05	0,02	0,01
Οριακή Τιμή	0,08	0,092	0,102	0,114	0,122
Απόρριψη	Όχι	Όχι	Όχι	Όχι	Όχι

Πίνακας 15: Έλεγχος Καλής Προσαρμογής για τις Μέσες Ταχύτητες Διαδρομής σταθερής κάμερας

Κανονική κατανομή					
Kolmogorov-Smirnov					
Μέγεθος Δείγματος	178				
Στατιστικός Δείκτης Ελέγχου	0,068				
P-Τιμή	0,365				
Θέση κατάταξης	15				
$\alpha$	0,2	0,1	0,05	0,02	0,01
Οριακή Τιμή	0,08	0,092	0,102	0,114	0,122
Απόρριψη	Όχι	Όχι	Όχι	Όχι	Όχι

Παρατηρείται πως και στους τρεις ελέγχους δεν μπορεί να απορριφθεί η μηδενική υπόθεση ότι η κανονική κατανομή εκφράζει επαρκώς τα δείγματα για επίπεδο σημαντικότητας  $\alpha=0,05$ , καθώς και η τιμή του στατιστικού δείκτη ελέγχου είναι μικρότερη από την οριακή τιμή για το δεδομένο επίπεδο σημαντικότητας καθώς και η πιθανότητα p value ξεπερνάει το 0,05, επομένως είναι δυνατή η χρήση του παραμετρικού ελέγχου t test. Επομένως, γίνεται δυνατή η συσχέτιση των δεδομένων μεταξύ τους με σκοπό την εύρεση πιθανών διαφορών στις τιμές που εμπεριέχουν τα δείγματα, με τη χρήση των ελέγχων υποθέσεων του παραμετρικού Welch t test, του οποίου τα αποτελέσματα απεικονίζονται στους Πίνακες 16 έως 18.

Πίνακας 16: Αποτελέσματα Παραμετρικού ελέγχου Welch two sample t test

Ταχύτητα Διαδρομής- Μέση Ταχύτητα Διαδρομής Drone	
Στατιστικός Δείκτης Ελέγχου(t)	-1,334
P Τιμή	0,183
Διάστημα Εμπιστοσύνης(95%)	(-0,119 , 0,023)
Μέσος όρος ταχυτήτων διαδρομής	1,36
Μέσος όρος ταχυτήτων διαδρομής Drone	1,41

Πίνακας 17: Αποτελέσματα Παραμετρικού ελέγχου Welch two sample t test

<b>Ταχύτητα Διαδρομής- Μέση Ταχύτητα Διαδρομής κάμερας</b>	
<b>Στατιστικός Δείκτης Ελέγχου(t)</b>	-4,893
<b>P Τιμή</b>	$1,52 \cdot 10^{-6}$
<b>Διάστημα Εμπιστοσύνης(95%)</b>	(-0,256 , -0,109)
<b>Μέσος όρος ταχυτήτων διαδρομής</b>	1,36
<b>Μέσος όρος ταχυτήτων διαδρομής Drone</b>	1,544

Πίνακας 18: Αποτελέσματα Παραμετρικού ελέγχου Welch two sample t test

<b>Μέση Ταχύτητα Διαδρομής Drone- Μέση Ταχύτητα Διαδρομής κάμερας</b>	
<b>Στατιστικός Δείκτης Ελέγχου(t)</b>	-3,55
<b>P Τιμή</b>	$4,36 \cdot 10^{-4}$
<b>Διάστημα Εμπιστοσύνης(95%)</b>	(-0,209 , -0,060)
<b>Μέσος όρος ταχυτήτων διαδρομής</b>	1,41
<b>Μέσος όρος ταχυτήτων διαδρομής Drone</b>	1,544

Παρατηρείται λοιπόν πως τα αποτελέσματα που προκύπτουν από τον παραμετρικό έλεγχο υπόθεσης δεν διαφέρουν κατά πολύ από τα αποτελέσματα του μη παραμετρικού τεστ. Συγκρίνοντας τις δοσμένες τιμές πιθανότητας  $p$  με το αντίστοιχο επίπεδο σημαντικότητας φαίνεται πως καταλήγουν στα ίδια συμπεράσματα, δηλαδή ότι οι ταχύτητες του UAV έχουν μικρή απόκλιση ως προς τις πραγματικές και ότι η ταχύτητες της κάμερας διαφέρουν σημαντικά τόσο από τις πραγματικές όσο και από αυτές του UAV. Γενικά σε μεγάλα δείγματα, το να χρησιμοποιηθεί ένα μη παραμετρικό τεστ ενώ τα δεδομένα παρουσιάζουν μια προσεγγιστική κανονικότητα ή να χρησιμοποιηθεί παραμετρικό τεστ ενώ τα δεδομένα δεν ακολουθούν εξ' ολοκλήρου την κανονική κατανομή, δεν παρουσιάζει μεγάλη διαφορά στα αποτελέσματα. Το γεγονός ότι παρατηρούνται μικρότερες τιμές στην  $p$  στο μη παραμετρικό τεστ, αποδίδεται στο ότι το  $t$  test είναι πιο αυστηρό στην απόρριψη της μηδενικής υπόθεσης και άρα δίνει μεγαλύτερες τιμές της πιθανότητας, γι αυτό θεωρείται πως παρουσιάζει μεγαλύτερη στατιστική δύναμη και αξιοπιστία. Ο στατιστικός δείκτης ελέγχου ( $t$ ) είναι ο συντελεστής του παραμετρικού τεστ, ο οποίος δείχνει το μέγεθος της διαφοράς των μέσων τιμών των δειγμάτων. Συγκεκριμένα, όσο μεγαλύτερος είναι τόσο περισσότερο διαφέρουν τα δείγματα, ενώ μικρές τιμές υποδεικνύουν την ομοιότητα των δειγμάτων μεταξύ τους. Για δύο ανεξάρτητα δείγματα εκφράζεται με τον τύπο:

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}}} \quad (4.5),$$

όπου:

$\bar{x}_1, \bar{x}_2$  : οι μέσες τιμές των δειγμάτων

$s_1, s_2$  : οι τυπικές αποκλίσεις

$n_1, n_2$  : ο αριθμός των παρατηρήσεων σε κάθε δείγμα

## 4.8 Έλεγχος υποθέσεων για τη διακυμάνση της ταχύτητας

Προκειμένου να ελεγχθεί η πιθανή απόκλιση των διακυμάνσεων μεταξύ των τριών δειγμάτων έτσι ώστε να προκύψουν περισσότερο ακριβή και πολύπλευρα συμπεράσματα, γίνεται η χρήση του ελέγχου διασποράς ή διαφορετικά F-test, τα αποτελέσματα του οποίου απεικονίζονται στους Πίνακες 19 έως 21 και είναι παρόμοιας μορφής με του μη παραμετρικού και παραμετρικού ελέγχου.

Πίνακας 19: Αποτελέσματα Ελέγχου Διακυμάνσεων

<b>Ταχύτητα Διαδρομής- Μέση Ταχύτητα Διαδρομής Drone</b>	
<b>Στατιστικός Δείκτης Ελέγχου(F)</b>	0,94
<b>P Τιμή</b>	0,677
<b>Διάστημα Εμπιστοσύνης(95%)</b>	(0,699 , 1,262)
<b>Αναλογία Διακυμάνσεων</b>	0,94

Πίνακας 20: Αποτελέσματα Ελέγχου Διακυμάνσεων

<b>Ταχύτητα Διαδρομής- Μέση Ταχύτητα Διαδρομής Κάμερας</b>	
<b>Στατιστικός Δείκτης Ελέγχου(F)</b>	0,83
<b>P Τιμή</b>	0,21
<b>Διάστημα Εμπιστοσύνης(95%)</b>	(0,616 , 1,113)
<b>Αναλογία Διακυμάνσεων</b>	0,83

Πίνακας 21: Αποτελέσματα Ελέγχου Διακυμάνσεων

<b>Μέση Ταχύτητα Διαδρομής Drone- Μέση Ταχύτητα Διαδρομής Κάμερας</b>	
<b>Στατιστικός Δείκτης Ελέγχου(F)</b>	0,88
<b>P Τιμή</b>	0,403
<b>Διάστημα Εμπιστοσύνης(95%)</b>	(0,656 , 1,185)
<b>Αναλογία Διακυμάνσεων</b>	0,88

Για τον έλεγχο της σημαντικότητας της απόκλισης μεταξύ των διακυμάνσεων λαμβάνονται υπόψη δύο υποθέσεις, η πρώτη είναι η μηδενική υπόθεση  $H_0$  ότι η αναλογία των διακυμάνσεων των δύο δειγμάτων ισούται με μονάδα και η εναλλακτική υπόθεση  $H_1$  αποδέχεται την διαφορά στις τιμές των διακυμάνσεων με αναλογία διάφορη της μονάδας. Η αναλογία αυτή εκφράζει και τον στατιστικό δείκτη ελέγχου F, ο οποίος όσο μικρότερος είναι τόσο χαμηλότερη είναι και η τιμή της πιθανότητας p. Επιπλέον, εφόσον η τιμή της αναλογίας των διακυμάνσεων που έχει οριστεί για τη μηδενική απόφαση(αναλογία διακυμάνσεων=1) εμπεριέχεται στο διάστημα εμπιστοσύνης που έχει προκύψει, τότε η μηδενική απόφαση δεν μπορεί να απορριφθεί.

Από τα παραπάνω αποτελέσματα παρατηρείται πως η πιθανότητα p και στις τρεις συγκρίσεις είναι μεγαλύτερη από το επίπεδο σημαντικότητας  $\alpha=0,05$  καθώς επίσης η τιμή της αναλογίας που ορίστηκε από την αρχική υπόθεση να ισούται με τη μονάδα

περιλαμβάνεται σε κάθε ένα από τα διαστήματα εμπιστοσύνης σε ποσοστό 95%. Με αυτόν τον τρόπο αποδεικνύεται πως παρά τις διαφορές στις τιμές των διακυμάνσεων μεταξύ των μεγεθών όπως προέκυψαν από την περιγραφική στατιστική ανάλυση, οι διαφορές αυτές δεν είναι τόσο έντονες ώστε να χαρακτηριστούν ως στατιστικά σημαντικές.

## 4.9 Σύνοψη αποτελεσμάτων

Στα προηγούμενα κεφάλαια πραγματοποιήθηκαν στατιστικές αναλύσεις προκειμένου να συγκριθούν τα δεδομένα μεταξύ τους έτσι ώστε να ελεγχθεί κατά πόσο παρουσιάζουν στατιστικά σημαντικές διαφορές, με βάση τις οποίες θα προκύψουν συμπεράσματα για την αποδοτικότητα των διαφορετικών μέσων μαγνητοσκόπησης, όσον αφορά την καταγραφή των κινηματικών χαρακτηριστικών των πεζών. Από τα παραπάνω αποτελέσματα προκύπτει πως το UAV αποδίδει ακριβέστερα τις πραγματικές τιμές των ταχυτήτων σε αντίθεση με την κάμερα της οποίας οι διαφορές τόσο μεταξύ του UAV αλλά και μεταξύ των προσεγγιστικών πραγματικών τιμών ταχυτήτων, είναι στατιστικά σημαντικές, γεγονός το οποίο αποδεικνύει ότι δεν αντικατοπτρίζουν επαρκώς την πραγματικότητα. Προκειμένου τα αποτελέσματα και συμπεράσματα να είναι όσο το δυνατό πιο ακριβή και αντικειμενικά, πραγματοποιήθηκε σύγκριση για κάθε ένα πεζό μεταξύ της προσεγγιστικά υπολογιζόμενης ταχύτητας διαδρομής του, της μέσης ταχύτητας που εξάχθηκε από την ανάλυση των βίντεο του UAV και της μέσης ταχύτητας που καταγράφηκε από τη σταθερά κάμερα. Επιπλέον, καταγράφονται και οι τυπικές αποκλίσεις που προέκυψαν από το UAV και τη σταθερή κάμερα για κάθε μία μέση τιμή.

Με βάση τα παραπάνω στον Πίνακα 22 παρουσιάζεται ένα δείγμα της σύγκρισης για τους πρώτους είκοσι πεζούς, καταλήγοντας σε συμπεράσματα για το ποιο μέσο καταγραφής οδηγεί στην ακριβέστερη διεξαγωγή αποτελεσμάτων, συγκρίνοντας την απόκλιση της ταχύτητας κάθε πεζού όπως εξάχθηκε από το UAV και τη σταθερή κάμερα, σε σχέση με την πραγματική, η οποία υπολογίστηκε παρατηρώντας την διανυόμενη απόσταση και το χρόνο που απαιτήθηκε προκειμένου να ολοκληρωθεί αυτή. Επιπλέον, για σαφέστερα και πιο συμπερασματικά αποτελέσματα συγκρίνονται οι τυπικές αποκλίσεις των ταχυτήτων που προκύπτουν από κάθε μέσο. Παρατηρείται πως επιβεβαιώνονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τα τεστ υποθέσεων, καθώς οι μέσες τιμές του UAV προσεγγίζουν πολύ καλύτερα τις πραγματικές από ότι η σταθερή κάμερα, της οποίας οι ταχύτητες αποκλίνουν αρκετά τόσο από τις πραγματικές όσο και από αυτές που καταγράφηκαν από την βιντεοσκόπηση με τη χρήση του UAV. Η απόκλιση αυτή αποδίδεται στην προσαρμογή των πραγματικών διαστάσεων σε αυτές του βίντεο (βαθμονόμηση), όπου εξαιτίας της λήψης των βίντεο υπό γωνία λόγω αδυναμίας τοποθέτησης της σταθερής κάμερας σε θέση κατακόρυφης μαγνητοσκόπησης, είχε σαν αποτέλεσμα οι διαστάσεις του βιντεοσκοπημένου υλικού να μην ανταποκρίνονται ακριβώς σε αυτές που μετρήθηκαν στην περιοχή μελέτης, παρουσιάζοντας κατά μέσο όρο απόκλιση στη διαγώνια διάσταση της τάξης των 85 εκατοστών, μεγαλύτερη από ότι η πραγματική.

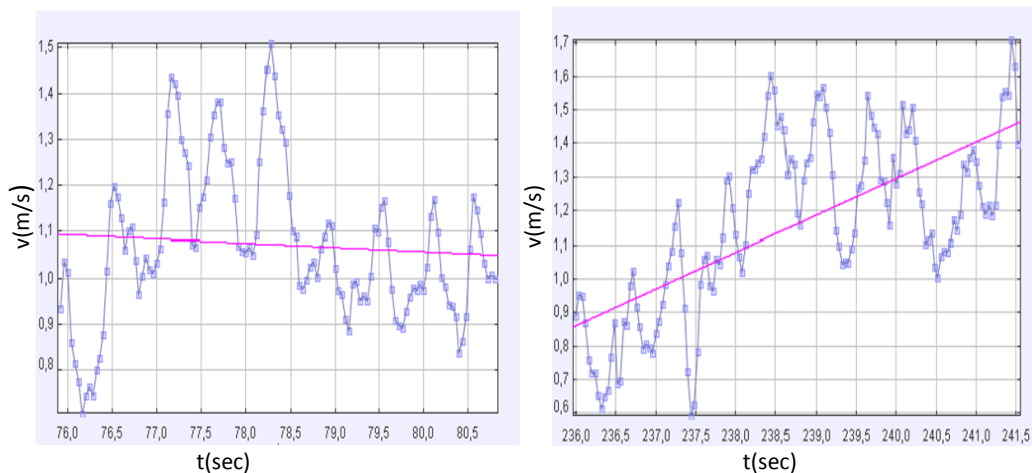
Πίνακας 22: Στατιστικά χαρακτηριστικά των ταχυτήτων ανάλογα με το μέσο καταγραφής

Πεζός	Μέση ταχύτητα(m/s)	Μέση τιμή ταχύτητας-drone(m/s)	Τυπική απόκλιση -drone	Μέση τιμή ταχύτητας-κάμερα(m/s)	Τυπική απόκλιση-κάμερα
1	1,35	1,4	0,165	1,53	0,412
2	1,35	1,37	0,126	1,46	0,299
3	1,4	1,4	0,165	1,68	0,49
4	1,6	1,63	0,179	1,83	0,471
5	1,6	1,65	0,237	2,05	0,375
6	1,6	1,72	0,197	2	0,451
7	0,8	0,8	0,11	0,95	0,185
8	1,2	1,28	0,225	1,45	0,345
9	1,1	1,11	0,137	1,27	0,247
10	1,1	1,1	0,169	1,3	0,248
11	1	1,21	0,21	1,34	0,279
12	1,1	1,08	0,166	1,16	0,26
13	0,8	0,79	0,103	0,89	0,149
14	0,8	0,82	0,14	0,98	0,258
15	1,52	1,54	0,194	1,7	0,409
16	1,2	1,28	0,118	1,42	0,261
17	1,23	1,25	0,137	1,4	0,252
18	0,77	0,78	0,108	0,93	0,167
19	1,15	1,23	0,162	1,49	0,332
20	1,3	1,34	0,167	1,61	0,264

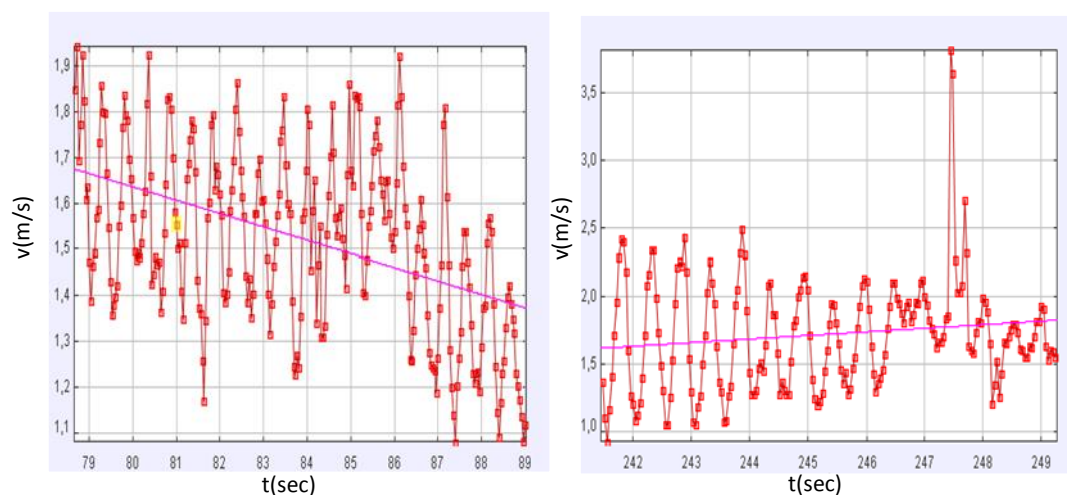
Σύμφωνα με αυτό το σφάλμα των διαστάσεων, επηρεάστηκαν και οι ταχύτητες διαδρομής των πεζών που βιντεοσκοπήθηκαν από την κάμερα, απέχοντας κατά μέσο όρο 0,25 m/s περισσότερο, από τις πραγματικές, σε αντίθεση με τις τιμές UAV, οι οποίες απέχουν κατά μέσο όρο μόλις 0,05m/s. Επιπλέον, οι μέσες ταχύτητες διαδρομής των πεζών που εξάχθηκαν από τη σταθερή κάμερα παρουσιάζουν μεγαλύτερη τυπική απόκλιση από αυτές του UAV, γεγονός το οποίο αποδεικνύει πως οι πρώτες είναι σε μικρότερο ποσοστό συγκεντρωμένες γύρω από τον αριθμητικό μέσο σε σχέση με τις δεύτερες. Αυτό ενδεχομένως να οφείλεται στο ότι ορισμένες καταγραφές τροχιών των πεζών, που μαγνητοσκοπήθηκαν από την κάμερα, έγιναν χειροκίνητα και όχι με αυτόματο τρόπο, εξαιτίας της χαμηλότερης ανάλυσης του βίντεο καθώς και λόγω της εφαρμογής του φίλτρου προοπτικής, το οποίο είχε σαν αποτέλεσμα την παραμόρφωση της εικόνας στην περιοχή που είχε επιλεγεί για διόρθωση. Σαν αποτέλεσμα, η χειροκίνητη καταγραφή των πεζών για κάθε 25 frames/sec πιθανώς να οδήγησε σε επιλογή ελάχιστα αποκλίνοντος σημείου από αυτό που είχε οριστεί στο προηγούμενο καρέ. Επίσης, η μικρή γωνία λήψης της σταθερής κάμερας σε συνδυασμό με το φίλτρο προοπτικής, είχαν ως αποτέλεσμα την διαφορετική προοπτική των κινούμενων πεζών καθώς πλησίαζαν προς το σημείο τοποθέτησης της κάμερας. Συγκεκριμένα, όσο πιο μακριά βρίσκονταν από το σημείο αυτό

τόσο πιο υπό γωνία φαίνονταν, ενώ καθώς πλησίαζαν η καταγραφή τους γινόταν όλο και περισσότερο κατακόρυφη, γεγονός το οποίο επηρέασε τις τιμές ταχυτήτων τους σε κάθε καρέ ξεχωριστά αλλά και στο σύνολο, έχοντας αντίκτυπο και στις αντίστοιχες τυπικές αποκλίσεις των δειγμάτων. Τέλος, ένας ακόμη λόγος που επηρέασε τις τυπικές αποκλίσεις των δειγμάτων τις κάμερας, είναι η ανακριβής βαθμονόμηση. Οι παραπάνω λόγοι ευθύνονται για την μικρότερη συγκέντρωση των ταχυτήτων γύρω από τον αριθμητικό μέσο και συνεπώς για την εμφάνιση μεγαλύτερων τιμών της τυπικής απόκλισης από ότι παρατηρούνται στο UAV.

Επιπρόσθετα, στον Πίνακα 22, οι τιμές που απεικονίζονται με κόκκινο χρώμα, εκτός από την αριθμητική απόκλιση μεταξύ των τιμών του UAV και της κάμερας, παρουσιάζουν και διαφορά στο πρόσημο της ταχύτητας, γεγονός το οποίο φαίνεται πιο κατανοητά στα Διαγράμματα 15 και 16, όπου απεικονίζεται η ταχύτητα των πεζών 12 και 15 σε σχέση με τα χρόνο, ο οποίος αντιστοιχεί στα δευτερόλεπτα που εμφανίστηκαν και καταγράφηκαν οι πεζοί κατά τη διάρκεια του βίντεο, από το UAV και την κάμερα αντίστοιχα. Η γραμμή που εμφανίζεται στα διαγράμματα δείχνει την τάση της ταχύτητας για αύξηση ή μείωση.



Διάγραμμα 15: Διάγραμμα Ταχύτητας-Χρόνου UAV (αριστερά) και σταθερής κάμερας (δεξιά) για τον πεζό 12



Διάγραμμα 16: Διάγραμμα Ταχύτητας-Χρόνου UAV (αριστερά) και σταθερής κάμερας (δεξιά) για τον πεζό 15



Το φαινόμενο αυτό, παρουσιάζεται αρκετές φορές κατά τη μελέτη των 178 πεζών και επομένως παρατηρείται πως τα αποτελέσματα των αναλύσεων των βίντεο της κάμερας, παρουσιάζουν και ένα χονδροειδές σφάλμα, καθώς εκτός από την ανακρίβεια των τιμών, προκύπτουν και σφάλματα στο πρόσημο. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα ενώ ο πεζός επιβραδύνει στην πραγματικότητα, στο διάγραμμα ταχύτητας της κάμερας να φαίνεται να επιταχύνει ή το αντίστροφο. Αυτό το σφάλμα αποδίδεται στη βαθμονόμηση των βίντεο που μαγνητοσκοπήθηκαν από τη σταθερή κάμερα, καθώς έχει γίνει προσαρμογή των πραγματικών διαστάσεων σε μια συγκεκριμένη περιοχή μελέτης, επομένως όσο απομακρύνεται ο πεζός από αυτή την περιοχή και πλησιάζει προς το σημείο τοποθέτησης της κάμερας, το σφάλμα μεγαλώνει και σε συνδυασμό με την ήδη ανακριβή προσαρμογή της διαγώνιας διάστασης στην περιοχή μελέτης, η ταχύτητα διαστρεβλώνεται. Επιπλέον, η εμφάνιση του φαινομένου οφείλεται σε περιπτώσεις όπου ο πεζός κινείται στην πλευρά της περιοχής μελέτης, η οποία δεν έχει υποστεί βαθμονόμηση, με συνέπεια την ένταση του φαινομένου, όπως παρατηρείται από το διάγραμμα της ταχύτητας του πεζού 12, όπου η ταχύτητα του όπως καταγράφηκε από την κάμερα γίνεται πολύ υψηλή. Επιπλέον, όπως φαίνεται στην περίπτωση του πεζού 15, η ταχύτητα στο διάγραμμα της κάμερας παρουσιάζει ένα σημείο, το οποίο βρίσκεται πολύ ψηλότερα σε σχέση με τα υπόλοιπα, και αυτό συμβαίνει επειδή πιθανότατα λόγω της χαμηλής ανάλυσης του βίντεο, ήταν δύσκολη η εύρεση του πρότυπου σημείου που είχε οριστεί, με αποτέλεσμα να γίνει σφάλμα κατά την αυτόματη καταγραφή και να επιλέχθηκε ένα διαφορετικό σημείο, εξαιτίας του οποίου εμφανίζεται η υψηλή αυτή ταχύτητα. Τέλος, ευθύνη για την μορφή τέτοιων διαγραμμάτων έχει και η μικρή γωνία λήψης της κάμερας και σε συνδυασμό με την εφαρμογή του φίλτρου προοπτικής, έχουν σαν αποτέλεσμα να κόβονται οι γωνίες του πλάνου και να μη γίνεται ολοκληρωμένη καταγραφή των τροχιών των πεζών που κινούνται στην άκρη της περιοχής μελέτης, η οποία συνορεύει με το κτίριο της Γραμματείας της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών. Επομένως, σε τέτοιου είδους περιπτώσεις, μπορεί ο πεζός στην πορεία της κίνησης του να επιβραδύνει ή να επιταχύνει, αλλά δεν ήταν δυνατή η καταγραφή του με αποτέλεσμα να μην παρουσιάζεται στα διαγράμματα ταχύτητας-χρόνου της κάμερας αυτή η αλλαγή και συνεπώς να εμφανίζεται η διαφορά μεταξύ των διαγραμμάτων του UAV και της σταθερής κάμερας.

# Κεφάλαιο 5

---

## *Συμπεράσματα*

### 5.1 Εισαγωγή

Ο σκοπός της παρούσας έρευνας είναι η διερεύνηση της δυνατότητας χρήσης μη επανδρωμένων συστημάτων συλλογής των κινηματικών χαρακτηριστικών των πεζών και η αξιολόγηση της μεθοδολογίας αυτής σε σχέση με τη χρήση σταθερής κάμερας. Η βασική παράμετρος με βάση την οποία γίνεται η σύγκριση και η συσχέτιση του UAV και της σταθερής κάμερας, είναι η ταχύτητα των πεζών καθώς είναι το βασικότερο μέγεθος του οποίου η ανάλυση εξάγει ολοκληρωμένα συμπεράσματα για την περιγραφή της κίνησης των πεζών τόσο σαν μεμονωμένο χαρακτηριστικό όσο και σε επίπεδο έρευνας και μελέτης για τη σύγκριση των δύο μέσων. Η μεθοδολογία που αναπτύσσεται εφαρμόζεται σε ροές πεζών κατά την είσοδο και έξοδο τους από το κτίριο που στεγάζει τις αίθουσες της σχολής Πολιτικών Μηχανικών.

Η διερεύνηση της κίνησης των πεζών αποτελεί ένα δύσκολο προς ανάλυση φαινόμενο, καθώς δεν υπάγεται σε κώδικες, αλλά είναι συνάρτηση του ανθρώπινου παράγοντα, ο οποίος επηρεάζεται από τη συμπεριφορά του πλήθους και από προσωπικούς παράγοντες, γεγονός τα οποία δυσχεραίνουν την έρευνα και την επεξεργασία των χαρακτηριστικών τους, καθώς επίσης και την εξαγωγή χρήσιμων και ουσιαστικών συμπερασμάτων. Εξαιτίας αυτού, προκύπτουν προβλήματα μεταξύ της αλληλεπίδρασης των κινούμενων πεζών, τα οποία σε περιπτώσεις υψηλής συμφόρησης μπορεί να οδηγήσουν σε ατυχήματα και σοβαρούς τραυματισμούς. Προκειμένου να αποφευχθούν τέτοιου είδους καταστάσεις, πρέπει να γίνεται σωστή και ακριβής καταγραφή των κυκλοφοριακών μεγεθών των πεζών και κατά συνέπεια ολοκληρωμένη μελέτη, παρέχοντας με αυτόν τον τρόπο όσο το δυνατόν ακριβέστερες πληροφορίες για την κίνηση των πεζών μέσα σε μία οριοθετημένη περιοχή. Για να επιτευχθεί αυτό, τα μέσα με τα οποία βιντεοσκοποούνται οι πεζοί πρέπει να εξάγουν έμπιστα αποτελέσματα, τα οποία να απεικονίζουν όσο το δυνατόν καλύτερα τα πραγματικά χαρακτηριστικά τους. Για αυτόν τον λόγο, επιλέχθηκε στη συγκεκριμένη Διπλωματική να γίνει η σύγκριση των δύο μεθόδων μαγνητοσκόπησης που έχει στη διάθεση του το Εργαστήριο Συγκοινωνιακής Υποδομής του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, με αποτέλεσμα τη λήψη, επεξεργασία και ανάλυση των δεδομένων που εξάχθηκαν από τα δύο μέσα καθώς και τα τελικά αποτελέσματα με βάση τα οποία ολοκληρώνεται η μελέτη, αναδεικνύοντας το βέλτιστο εξοπλισμό, προκειμένου να μελετηθούν ακριβέστερα τα κινηματικά χαρακτηριστικά των πεζών και κατά συνέπεια να γίνει ορθή περιγραφή του τρόπου κίνησης τους.

## 5.2 Μεθοδολογία

Για να επιτευχθεί η σύγκριση μεταξύ του UAV και της σταθερής κάμερας, επιλέχθηκε η μαγνητοσκόπηση μιας κοινής περιοχής, προκειμένου να βιντεοσκοπηθούν οι ίδιοι πεζοί και από τα δύο μέσα, με σκοπό να εντοπιστούν οι διαφορές των κινηματικών μεγεθών που προβάλλονται. Για να πραγματοποιηθεί η συσχέτιση, το μέγεθος που συγκρίνεται είτε αριθμητικά ή σχηματικά μέσω διαγραμμάτων, είναι η ταχύτητα των πεζών και συγκεκριμένα, η ταχύτητα διαδρομής, για τον υπολογισμό της οποίας έχουν ληφθεί υπόψιν και τυχόν καθυστερήσεις των πεζών, μέχρι να ολοκληρώσουν τη διαδρομή τους.

Προκειμένου, το βιντεοσκοπημένο υλικό να είναι σε θέση να παράγει αξιόπιστες πληροφορίες και σωστά αποτελέσματα, πρέπει να προηγηθεί η κατάλληλη επεξεργασία τους. Η διαδικασία που ακολουθεί είναι παρόμοια για τα βίντεο του UAV και της σταθερής κάμερας, αλλά διαφέρει σε σημεία, λόγω της διαφορετικής λειτουργίας των μέσων. Συγκεκριμένα, για τα βίντεο που εξάχθηκαν από το UAV πρέπει αρχικά να γίνει η σταθεροποίηση του πλάνου με κατάλληλο πρόγραμμα, εξαιτίας της κίνησης της κάμερας που είναι συνδεδεμένη με το UAV. Ακολουθεί η εφαρμογή του φίλτρου προοπτικής, με σκοπό να διορθώσει φαινόμενα που δημιουργούνται εξαιτίας της γωνίας λήψης, όπως το φαινόμενο fisheye και τη μη κατακόρυφη μαγνητοσκόπηση. Επόμενο βήμα είναι η προσαρμογή των πραγματικών διαστάσεων σε αυτές του βίντεο, η οποία πρέπει να είναι όσο πιο ακριβής γίνεται, διαφορετικά μπορεί να οδηγήσει σε αρκετά σφάλματα και αποτελέσματα που αποκλίνουν σημαντικά από την πραγματικότητα. Τέλος, ένα εξίσου σημαντικό βήμα είναι η τοποθέτηση των αξόνων και της αρχής τους σε σταθερό σημείο, έτσι ώστε όλοι οι πεζοί να έχουν κοινό σύστημα αναφοράς. Παρόλα αυτά, κανένα λογισμικό δεν μπορεί να αποδώσει ολοκληρωμένη σταθερότητα και γι' αυτό το λόγο, με κάθε μετακίνηση του πλάνου γίνεται και παράλληλη μετάθεση των αξόνων, τοποθετώντας την αρχή τους στο ίδιο πάντα σημείο. Για τη σταθερή κάμερα, η διαδικασία είναι λιγότερο χρονοβόρα, καθώς χρησιμοποιήθηκε τρίποδο, το οποίο της παρέχει σταθερότητα ακόμα και σε πολύ υψηλούς ανέμους. Στο βιντεοσκοπημένο υλικό της κάμερας, έγινε εφαρμογή του φίλτρου προοπτικής, το οποίο παραμορφώνει σημαντικά την εικόνα, εξαιτίας της μικρής γωνίας λήψης. Τέλος, η τοποθέτηση των αξόνων και της αρχής τους για την εξαγωγή των συντεταγμένων των πεζών, γίνεται, όπως στο UAV, σε ένα σταθερό σημείο, με τη διαφορά ότι σε αυτήν την περίπτωση δε χρειάζεται καμία μετάθεση, καθώς εξασφαλίζεται η σταθερότητα της κάμερας μέσω του τριπόδου.

Εκτός από τις ταχύτητες διαδρομής που προκύπτουν από την επεξεργασία των βίντεο του UAV και της σταθερής κάμερας, υπολογίζεται προσεγγιστικά και η πραγματική ταχύτητα διαδρομής, έτσι ώστε να προκύψουν γενικότερα αποτελέσματα από τη δεδομένη σύγκριση. Με τη χρήση της Περιγραφικής Στατιστικής γίνεται ανάλυση και σύγκριση των μεγεθών μεταξύ των δειγμάτων, οδηγώντας σε ορισμένα αρχικά συμπεράσματα, τα οποία έρχονται να επαληθευτούν από την ανάλυση της Επαγωγικής Στατιστικής, η οποία με τη χρήση παραμετρικών και μη παραμετρικών ελέγχων υποθέσεων, κρίνει κατά πόσο η συσχέτιση των μεγεθών είναι στατιστικά σημαντική ή όχι. Με αυτόν τον τρόπο, η συγκεκριμένη Διπλωματική καταλήγει σε συνολικά και ολοκληρωμένα συμπεράσματα για τη συσχέτιση των εξαγόμενων αποτελεσμάτων του UAV και της σταθερής κάμερας, κατά πόσο αυτά

ανταποκρίνονται στην πραγματικότητα και τελικά τη βέλτιστη επιλογή για χρήση σε έρευνες και μελέτες σχετικά με την καταγραφή κυκλοφοριακών μεγεθών.

### 5.3 Βασικά Συμπεράσματα

Με βάση τη μεθοδολογία για την επεξεργασία των δεδομένων και την ανάλυση των αποτελεσμάτων, προκύπτουν βασικές διαφορές στον τρόπο λειτουργίας και στην εξαγωγή των αποτελεσμάτων ανάμεσα στις δύο μεθόδους βιντεοσκόπησης και καταγραφής των κινηματικών χαρακτηριστικών των πεζών.

Αναλύοντας τα αποτελέσματα, προκύπτει το συμπέρασμα πως το UAV εξάγει ορθότερα και ακριβέστερα αποτελέσματα σε σχέση με αυτά της σταθερής κάμερας, γεγονός το οποίο οφείλεται σε πολλαπλούς παράγοντες.

Αρχικά, σημαντικό ρόλο για τη διάρθρωση των αποτελεσμάτων έχει η υψομετρική διαφορά των δύο μέσων αλλά και η ανάλυση της εικόνας, καθώς το UAV καταγράφει σε απόσταση 20 μέτρων από την περιοχή μελέτης, ενώ η κάμερα σε απόσταση 8 μέτρων και όσο μεγαλύτερο είναι το υψόμετρο του μέσου καταγραφής τόσο μεγαλύτερη είναι η διαθέσιμη περιοχή βιντεοσκόπησης, ενώ η υψηλή ανάλυση παρέχει μεγάλη ευκρίνεια του πλάνου, επομένως γίνεται ευκολότερη και η διαδικασία της επεξεργασίας του βιντεοσκοπημένου υλικού.

Βασικός παράγοντας είναι επίσης η γωνία λήψης των βιντεοσκοπημένων δειγμάτων, καθώς, στο παρόν πείραμα, δεν υπήρχε η δυνατότητα τοποθέτησης της σταθερής κάμερας σε θέση όπου να είναι δυνατή η κατακόρυφη μαγνητοσκόπηση, με αποτέλεσμα να προκύπτει μικρή γωνία λήψης σε σχέση με το UAV όπου η γωνία λήψης είναι σχεδόν 180° και η βιντεοσκόπηση κατακόρυφη. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα το UAV να δίνει τη δυνατότητα καλύτερης απεικόνισης της περιοχή μελέτης και να μην υπάρχουν προβλήματα προοπτικής κατά τη διάρκεια επεξεργασίας της βάσης δεδομένων.

Τα παραπάνω έχουν σημαντική επιρροή στην αποτελεσματικότερη προσαρμογή των πραγματικών διαστάσεων σε αυτές του βίντεο, παράγοντας ιδιαίτερα σημαντικός για την εξαγωγή ορθών δεδομένων καθώς στα βιντεοσκοπημένα δείγματα του UAV οι διαστάσεις βρίσκονται πολύ πιο κοντά στις πραγματικές από ότι αυτές της κάμερας. Η σωστή απόδοση των διαστάσεων αποτελεί κυρίαρχο παράγοντα για τη διαμόρφωση σωστών αποτελεσμάτων καθώς η ταχύτητα υπολογίζεται συναρτήσει της διανυόμενης απόστασης και του χρόνου διαδρομής και σε περίπτωση που η απόσταση είναι εσφαλμένη, το σφάλμα αυτό μεταδίδεται και στην ταχύτητα. Αυτό συμβαίνει και στα βίντεο της σταθερής κάμερας όπου εξαιτίας της μεγάλης απόκλισης της διαγωνίου από την πραγματική τιμή της, έχει ως αποτέλεσμα η κατακόρυφη διάσταση κίνησης των πεζών να εμφανίζεται διπλάσια από ότι θα έπρεπε και γι' αυτό το λόγο οι μέσες ταχύτητες διαδρομής έχουν αρκετή απόκλιση τόσο από τις πραγματικές όσο και από αυτές του UAV. Εξαιτίας αυτής της απόκλισης, η διαφορά των μέσων ταχυτήτων διαδρομής της κάμερας με τις πραγματικές ταχύτητες και με αυτές του UAV παρουσιάζονται ως στατιστικά σημαντικές. Επιπλέον, η κάθετη μαγνητοσκόπηση, η υψηλή ανάλυση και η μεγάλη γωνία λήψης επηρεάζουν το κατά πόσο η διαδικασία καταγραφής των τροχιών θα γίνει ευκολότερη για το μελετητή και ακριβέστερη.

Συγκεκριμένα, στα δείγματα του UAV η διαδικασία αυτή πραγματοποιήθηκε αυτόματα, γίνοντας καταγραφή του ίδιου ακριβώς σημείου σε κάθε καρέ, αντίθετα με τα δείγματα της κάμερας, όπου στην αυτόματη διαδικασία καταγραφόταν αρκετές φορές εσφαλμένο σημείο με αποτέλεσμα την αναγκαστική καταγραφή χειροκίνητα, στην οποία εγκυμονείται κίνδυνος επιλογής αποκλίνοντος σημείου από το προβλεπόμενο, οδηγώντας σε διαστρεβλωμένα αποτελέσματα.

Παρά τις διαφορές στις τιμές των ταχυτήτων των δειγμάτων του Μη Επανδρωμένου Αεροσκάφους και της σταθερής κάμερας, δεν ισχύει το ίδιο και για τις τυπικές αποκλίσεις. Παρόλο που μεμονωμένα εμφανίζουν διαφορά στις τιμές τους, εφαρμόζοντας τον έλεγχο υποθέσεων για τις διακυμάνσεις των δειγμάτων προκύπτει πως, τόσο στη σύγκριση της διακύμανσης των ταχυτήτων της κάμερας σε σχέση με αυτή του UAV, όσο και σε σχέση με τη διακύμανση που εμφανίζουν οι πραγματικές ταχύτητες διαδρομής, η διαφορά τους δεν είναι στατιστικά σημαντική. Επίσης το γεγονός πως η διακύμανση στο δείγμα του UAV είναι σχεδόν ίση με αυτή των πραγματικών ταχυτήτων είναι αναμενόμενο από τη στιγμή που και οι τιμές τους είναι παρόμοιες και δεν παρουσιάζουν στατιστικά σημαντικές διαφορές.

Με βάση όσα αναφέρθηκαν, προκύπτει πως το UAV αποτελεί καταλληλότερο μέσο καταγραφής κυκλοφοριακών μεγεθών από ότι η σταθερή κάμερα, τα πλεονεκτήματα του οποίου σε σχέση με άλλα διαθέσιμα συστήματα είναι, κυρίως, η μαγνητοσκόπηση μεγαλύτερης περιοχής και η αντιμετώπιση περιορισμών, όπως η μετακίνηση του σε οποιαδήποτε περιοχή για την επιλογή της βέλτιστης θέσης και η δυνατότητα αποφυγής σημείων που εμποδίζουν την ολοκληρωμένη καταγραφή του εκάστοτε αντικειμένου. Παρόλα αυτά, παρουσιάζουν ελαττώματα ως προς την αντοχή της μπαταρίας που διαθέτουν και κατά συνέπεια έχουν περιορισμένο χρόνο πτήσης περίπου στα 15 λεπτά καθώς επίσης η πτήση τους εξαρτάται από τις εκάστοτε καιρικές συνθήκες, από τη στιγμή που δεν είναι δυνατή η πτήση τους σε περίπτωση βροχής και δυνατού ανέμου, τομείς στους οποίους η σταθερή κάμερα υπερτερεί.

Με την καλύτερη ανάπτυξη προκειμένου να ξεπεραστούν τα παραπάνω εμπόδια, το Μη Επανδρωμένο Αεροσκάφος μπορεί να προσφέρει πολλά στον τομέα Μεταφορών και Συγκοινωνιακής Υποδομής, δίνοντας τη δυνατότητα για εξελιγμένες έρευνες και μελέτες κυκλοφοριακών μεγεθών και διαχείρισης της κυκλοφορίας, με σκοπό την ασφάλεια και την αποτελεσματικότητα.

## 5.4 Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα

Η κίνηση των πεζών είναι αναμφίβολα ένα φαινόμενο δύσκολο ως προς την καταγραφή και διερεύνηση του και αυτό διότι η ταχύτητα, η κατεύθυνση και ο προορισμός τους δεν μπορούν να καθοριστούν από τον κώδικα οδικής κυκλοφορίας και από τη γεωμετρία της οδού, όπως συμβαίνει με τα οχήματα. Ο μεγάλος βαθμός ελευθερίας όπως επίσης και ο ανθρώπινος παράγοντας που χαρακτηρίζουν τη κίνηση τους συντελούν στο να δυσχεραίνεται η μελέτη των παραπάνω κυκλοφοριακών μεγεθών. Στο πλαίσιο της παρούσας έρευνας πραγματοποιήθηκε η καταγραφή των κινηματικών χαρακτηριστικών τους και ειδικά έγινε η ανάλυση της ταχύτητας με σκοπό να επιτευχθεί η ανάδειξη του

βέλτιστου μέσου μαγνητοσκόπησης της κίνησης τους, το οποίο έπειτα από κατάλληλη μελέτη επιλέχθηκε πως είναι το UAV. Υπάρχουν όμως παράγοντες που πρέπει να εξεταστούν περαιτέρω προκειμένου να βελτιωθούν τα ήδη υπάρχοντα δεδομένα καθώς και να διαμορφωθούν κατάλληλα με σκοπό να προκύψουν γενικά συμπεράσματα τόσο σε μικροσκοπικό όσο και σε μακροσκοπικό επίπεδο.

Συγκεκριμένα, το παρόν πείραμα αφορά σε παρατηρήσεις που σημειώθηκαν κατά την κίνηση πεζών έξω από τα Νέα Κτίρια Πολιτικών Μηχανικών και συγκεκριμένα κατά την είσοδο και έξοδο τους από το κτίριο που στεγάζει τις αίθουσες διδασκαλίας. Τα αποτελέσματα που θα εξαχθούν από μετρήσεις του UAV και της κάμερας σε περιοχές με μεγαλύτερες πυκνότητες πεζών καθώς και από την καταγραφή της κάμερας σε εσωτερικούς χώρους, όπου η συμφόρηση των πεζών θα είναι μεγαλύτερη, θα είναι χρήσιμα στο να παρατηρηθεί το κατά πόσο εύκολα τα δύο αυτά μέσα μαγνητοσκόπησης μπορούν να καταγράψουν και να περιγράψουν τις πιθανές εμπλοκές μεταξύ των πεζών καθώς επίσης και να λειτουργήσουν σε τόσο έντονο φόρτο προκειμένου τα δεδομένα να είναι ακριβή και εύκολα επεξεργάσιμα. Η έρευνα αυτή μπορεί να εξάγει χρήσιμα συμπεράσματα για τη μελέτη της συμπεριφοράς και κίνησης των πεζών σε υψηλές πυκνότητες με σκοπό να μελετηθούν φαινόμενα αποσυμφόρησης και εκκένωσης, όπως επίσης θα προσφέρουν αποτελέσματα για την ασφαλή κατασκευή των χώρων.

Επίσης, με την κατάλληλη επεξεργασία των δεδομένων μπορούν να προκύψουν περαιτέρω μικροσκοπικά μεγέθη, όπως ο χωρικός και χρονικός διαχωρισμός μεταξύ των πεζών ή και μακροσκοπικά, όπως ο χρόνος διαδρομής και να ακολουθήσει η σύγκριση αυτών των μεγεθών προκειμένου να εντοπιστεί το κατά πόσο διαφορετικά ερμηνεύονται μέσα από την μαγνητοσκόπηση με τη χρήση του UAV και της σταθερής κάμερας. Πέρα από τη σύγκριση αυτή καθ' αυτή, τα παραπάνω αποτελούν μεγέθη τα οποία είναι ούτως ή άλλως απαραίτητα για την ολοκληρωμένη μελέτη των κυκλοφοριακών μεγεθών.

Τέλος, ένας ακόμη παράγοντας που δεν έχει ληφθεί υπόψιν στο παρόν πείραμα είναι ότι σε μικροσκοπικό επίπεδο η συμπεριφορά των πεζών ποικίλει από λεπτό σε λεπτό μέσα στη διάρκεια της ημέρας. Η καταγραφή των τροχιών πραγματοποιήθηκε τη χρονική διάρκεια που παρατηρείται η αιχμή του φόρτου των πεζών και συγκεκριμένα τις ώρες της προσέλευσης και αναχώρησης τους για την εξεταστική διαδικασία. Παρόλα αυτά η συμπεριφορά τους μπορεί να επηρεαστεί και από γεγονότα που συμβαίνουν και σε ώρες μη αιχμής. Συνεπώς, μετρήσεις καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας θα εξάγουν πιο αντιπροσωπευτικά αποτελέσματα τόσο για την περιγραφή της κίνησης των πεζών όσο και για τη σύγκριση των δύο μέσων βιντεοσκόπησης.

# Βιβλιογραφία

---

Barmounakis, E., Vlahogianni, E., & Golias, J. (2015). Extracting Kinematic Characteristics from Unmanned Aerial Vehicles. *TRB 2016 Annual Meeting*.

Cai, G., Dias, J., & Seneviratne, L. (2014). A Survey of Small-Scale Unmanned Aerial Vehicles: Recent Advances and Future Development Trends. *Unmanned Systems*, 2(2), 1-25.

Calabrese, F., Diao, M., Di Lorenzo, G., Ferreira, J., & Ratti, C. (2013). Understanding individual mobility patterns from urban sensing data: A mobile phone trace example. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 26, 301-313.

Coifman, B., McCord, M., Mishalani, R., & Redmill, K. (2004). Surface Transportation Surveillance from Unmanned Aerial Vehicles. *Proceedings of the 83rd Annual Meeting of the Transportation Research Board*.

Desmet, N., & Vriendt, B. (2014). The implementation of surveying data obtained by Remotely Piloted Aircraft Systems in traffic engineering. *Department Of Industrial Technology And Construction, Faculty Of Engineering And Architecture, Ghent University*.

Fetiarison, M., Flötteröd, G., & Bierlaire, M. (2010). Evaluation of pedestrian data collection methods within a simulation framework. *STRC*.

Gao, H., Kong, S., Zhou, S., LV, F., & Chen, Q. (2014). Automatic extraction of multi-vehicle trajectory based on traffic videotaping from quadcopter model. *Applied Mechanics And Materials*, 552, 232-239.

Gerónimo, D., López, A., & Sappa, A. (2007). *Computer Vision Approaches to Pedestrian Detection: Visible Spectrum Survey*. Barcelona, Spain.

Granlund, G., Nordberg, K., Wiklund, J., Doherty, P., Skarman, E., & Sandewall, E. (2000). Witas: An Intelligent Autonomous Aircraft Using Active Vision. *Proceedings of the UAV 2000 International Technical Conference and Exhibition (UAV)*.

Hoogendoorn, S., Daamen, W., & Bovy, P. (2003). Extracting Microscopic Pedestrian Characteristics from Video Data. *TRB 2003 Annual Meeting CD-ROM*.

Iqbal, M., Choudhury, C., Wang, P., & González, M. (2014). Development of origin–destination matrices using mobile phone call data. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 40, 63-74.

Jaume, B., Kuwahara, M., Barceló, J., & Miska, M. (2010). Traffic Data Collection and its Standardization. *Traffic Data Collection And Its Standardization*, 144, 1-10.

Li, S., Sayed, T., Zaki, M., Mori, G., Stefanus, F., Khanlooa, B., & Saunier, N. (2012). Automating Collection of Pedestrian Data using Computer Vision Techniques. *TRB 2012 Annual Meeting*.

Mallikarjuna, C., Phanindra, A., & Rao, K. (2009). Traffic Data Collection under Mixed Traffic Conditions Using Video Image Processing. *Journal of Transportation*, 4, 174-182.

McCord, M., Yang, Y., Jiang, Z., Coifman, B., & Goe, P. (2003). Estimating AADT from Satellite Imagery and Air Photos: Empirical Results. *TRB 2003 Annual Meeting CD-ROM*.

Moussaïd, M., Perozo, N., Garnier, S., Helbing, D., & Theraulaz, G. *The walking behaviour of pedestrian social groups and its impact on crowd dynamics*.

Punzo, V., Borzacchiello, M., & Ciuffo, B. (2011). On the assessment of vehicle trajectory data accuracy and application to the Next Generation SIMulation (NGSIM) program data. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 19(6), 1243-1262.

Puri, A. (2005). A Survey of Unmanned Aerial Vehicles (UAV) for Traffic Surveillance. *Department Of Computer Science And Engineering, University Of South Florida*.



- Puri, A., Valavanis, K., & Kontitsis, M. (2007). Statistical Profile Generation for Traffic Monitoring Using Real-time UAV based Video Data. *Proceedings of the 15th Mediterranean Conference on Control & Automation*. Athens-Greece.
- Reinartz, P., Lachaise, M., Schmeer, E., Krauss, T., & Runge, H. (2006). Traffic monitoring with serial images from airborne cameras. *ISPRS Journal Of Photogrammetry And Remote Sensing*, 61(3-4), 149-158.
- Salvo, G., Caruso, L., & Scordo, A. (2014). Urban Traffic Analysis through an UAV. *Procedia - Social And Behavioral Sciences*, 111, 1083-1091.
- Shastry, A., & Schowengerdt, R. (2002). Airborne video registration for visualization and parameter estimation of traffic flows. *Proceedings of Pecora*.
- Smedt, F., Hulens, D., & Goedeme, T. (2015). On-board real-time tracking of pedestrians on a UAV. *CVPR*.
- Teknomo, K., Takeyama, Y., & Inamura, H. (2001). TRACKING SYSTEM TO AUTOMATE DATA COLLECTION OF MICROSCOPIC PEDESTRIAN TRAFFIC FLOW. *Proceeding Of The 4Th Eastern Asia Society For Transportation Studies, Hanoi, Vietnam*, 3(1), 11-25.
- Wageningen-Kessels, F., Winnie, W., & Hoogendoorn, S. (2014). Accuracy of pedestrian and traffic flow models: Meaningful quantifications. *Celebrating 50 Years of Traffic Flow Theory*. The Netherlands.
- Zangenehpour, S., Miranda-Moreno, L., & Saunier, N. (2015). Automated classification based on video data at intersections with heavy pedestrian and bicycle traffic: Methodology and application. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 56, 161-176.
- Zelteman, D. (1987). Parameter estimation in the generalized logistic distribution. *Computational Statistics & Data Analysis*, 5(3), 177-184.

Φραντζεσκάκης, Ι., Γκόλιας, Ι., & Πιτσιάβα-Λατινοπούλου, Μ. (2009). *Κυκλοφοριακή Τεχνική*. Αθήνα: Παπασωτηρίου.

Brown, D. *Tracker Video Analysis and Modeling Tool* (Version 4.87). Retrieved 23 January 2016, from <http://www.cabrillo.edu/~dbrown/tracker/>

Frost, J. (2015). Choosing Between a Nonparametric Test and a Parametric Test. *The Minitab Blog*. Retrieved 10 January 2016, from <http://blog.minitab.com/blog/adventures-in-statistics/choosing-between-a-nonparametric-test-and-a-parametric-test>

Spreading Wings S900 User Manual (Version 1). (2014). Retrieved 12 January 2016, from [https://www.wellbots.com/content/DJI\\_SpreadingWings\\_S900\\_User\\_Manual\\_v1.0\\_en.pdf](https://www.wellbots.com/content/DJI_SpreadingWings_S900_User_Manual_v1.0_en.pdf)

Thalin, G. *Deshaker* (Version 3.1). Retrieved 27 January 2016, from <http://www.guthspot.se/video/deshaker.htm>

# Παράρτημα Ι

---

## Γενικευμένη Λογιστική κατανομή

Στην παρούσα έρευνα η κατανομή που παρουσιάζεται πρώτη στην κατάταξη έπειτα από την εφαρμογή των στατιστικών ελέγχων και συνεπώς προσομοιάζει ακριβέστερα τα δεδομένα είναι η Γενικευμένη Λογιστική κατανομή.

Η Γενικευμένη Λογιστική κατανομή είναι συνεχής και σε ορισμένες περιπτώσεις απεριόριστη καθώς εκτείνεται στο διάστημα  $(-\infty, +\infty)$ . Το πεδίο ορισμού της εξαρτάται από την παράμετρο  $k$ , η οποία παρουσιάζει την ασυμμετρία της κατανομής. Η Γενικευμένη Λογιστική κατανομή αποτελεί μια προχωρημένη κατανομή και χαρακτηρίζεται έτσι καθώς είναι πιο ευέλικτη σε σχέση με τις υπόλοιπες κλασσικές στατιστικές κατανομές και μπορεί να εφαρμοστεί πιο εύκολα στα δεδομένα. Όταν η παράμετρος  $k$  είναι μηδενική, τότε η κατανομή απλοποιείται στην Λογιστική κατανομή (Logistic), η οποία περιλαμβάνει μόνο τις δύο από τις τρεις παραμέτρους και της οποίας η μορφή είναι παρόμοια με της κανονικής, με εξαίρεση ότι η Λογιστική κατανομή είναι πιο λεπτόκυρτη και τα δεδομένα της είναι περισσότερο συγκεντρωμένα στην αριστερή μεριά του διαγράμματος. Το πεδίο ορισμού της υπολογίζεται από τους παρακάτω τύπους, ανάλογα με την τιμή που λαμβάνει η παράμετρος  $k$ :

- $1 + k \frac{(\chi - \mu)}{\sigma} > 0$ , για  $k > 0$ ,

όπου λύνοντας ως προς  $\chi$  προκύπτει το όριο της κατανομής,

- $-\infty < \chi < +\infty$ , για  $k = 0$ ,

δηλαδή για πλήρη συμμετρία

Η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας καθώς και η αθροιστική συνάρτηση κατανομής της εκφράζονται με τους παρακάτω τύπους:

### Συνάρτηση Πυκνότητας Πιθανότητας

$$f(x) = \frac{(1+k*z)^{-1-1/k}}{\sigma*(1+(1+k*z)^{-1/k})^2},$$

για  $k \neq 0$  και

$$f(x) = \frac{e^{(-z)}}{\sigma(1+e^{(-z)})^2},$$

για  $k=0$

### Αθροιστική Συνάρτηση Κατανομής

$$F(x) = \frac{1}{1+(1+kz)^{-1/k}},$$

για  $k \neq 0$  και

$$F(x) = \frac{1}{1+e^{-z}},$$

για  $k=0$

όπου:

$$z = \frac{x-\mu}{\sigma}$$

$k$ : είναι παράμετρος που καθορίζει το σχήμα της κατανομής και συγκεκριμένα την ασυμμετρία της. Για αρνητικές τιμές του  $k$  παρουσιάζεται μετατόπιση του διαγράμματος προς τα δεξιά, δηλαδή εμφανίζεται αρνητική ασυμμετρία, ενώ για θετικές τιμές το διάγραμμα μετατοπίζεται αριστερά με θετική ασυμμετρία.

$\sigma$ : αποτελεί την παράμετρο κλίμακας της κατανομής και όσο αυξάνεται μεγαλώνει και η διασπορά με αποτέλεσμα το διάγραμμα να αποκτά διασκορπισμένη μορφή, από τη στιγμή που οι τιμές δεν είναι συγκεντρωμένες γύρω από το μέσο και τα άκρα.

$\mu$ : είναι η παράμετρος θέσης της κατανομής και αναλογεί στη διάμεσο του διαγράμματος. Στην περίπτωση όπου  $k=0$  η τιμή της παραμέτρου  $\mu$  αντιστοιχεί με τη μέση τιμή της Γενικευμένης Λογιστικής κατανομής.