

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ**

**ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ**

**ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

**ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΟΝΤΕΛΩΝ**

**ΔΙΑΚΡΙΤΩΝ ΕΠΙΛΟΓΩΝ ΓΙΑ ΤΟΝ**

**ΚΑΤΑΜΕΡΙΣΜΟ ΤΩΝ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ**

**ΚΑΤΑ ΜΕΣΟ ΣΤΗΝ ΠΟΛΗ ΤΟΥ ΒΟΛΟΥ**

**ΖΑΦΕΙΡΙΔΗΣ ΘΕΟΔΩΡΟΣ**

**ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΟ ΕΤΟΣ: 2016-2017**

## Περιεχόμενα

Κεφάλαιο 1 Σύντομη επισκόπηση του προβλήματος .....	4
1.1 Μοντέλα διακριτών επιλογών στον τομέα των μεταφορών.....	4
1.2 Διάρθρωση διπλωματικής εργασίας.....	5
Κεφάλαιο 2 Βιβλιογραφική ανασκόπηση.....	6
2.1 Ανασκόπηση στη μοντελοποίηση των επιλογών των μετακινούμενων.....	6
2.2 Θεωρητικό υπόβαθρο μοντέλων διακριτών επιλογών.....	8
2.3 Αξιολόγηση εξατομικευμένων και αθροιστικών μοντέλων .....	8
Κεφάλαιο 3 Θεωρία μεγιστοποίησης ωφέλειας .....	10
3.1 Εκτίμηση συντελεστών συναρτήσεων ωφέλειας - MaximumLikelihood.....	10
3.2 Οι συνιστώσες του προβλήματος επιλογής.....	11
3.2.1 Αθροιστικά μοντέλα .....	15
3.2.2 Εξατομικευμένα μοντέλα .....	16
3.4 Ντετερμινιστικά μοντέλα ωφέλειας.....	18
3.5 Στοχαστικά μοντέλα ωφέλειας .....	20
Κεφάλαιο 4 Διερεύνηση συμπεριφοράς μετακινούμενων.....	26
4.1 Έρευνα για συλλογή πληροφορίας.....	26
4.2 Έρευνα εκδηλωμένων προτιμήσεων.....	27
4.3 Έρευνα δεδηλωμένων προτιμήσεων.....	28
4.4 Σχεδιασμός πειράματος δεδηλωμένων προτιμήσεων .....	29
Κεφάλαιο 5 Εφαρμογή στον Βόλο .....	32
5.1 Περιγραφική στατιστική .....	32
5.2 Μοντέλα επιλογών μετακινούμενων στο Βόλο.....	36
5.2.1 Μοντέλο για την επιλογή μηχανοκίνητου ή φιλικού προς το περιβάλλον μέσου μεταφοράς..	37
5.2.2 Μοντέλο για την επιλογή ΙΧ ή ΜΜΜ .....	41
5.2.3 Μοντέλο για την επιλογή ποδηλάτου ή μετακίνησης με τα πόδια .....	43
Συμπεράσματα.....	46
Βιβλιογραφία .....	47

## Κατάλογος Πινάκων

## **Κατάλογος Σχημάτων**

Σχήμα 3-1: Απεικόνιση ντετερμινιστικής επιλογής [Koppelman, F. S. and C. Bhat (2006)].....	19
Σχήμα 3-2: Μοντέλο NL με δύο επίπεδα [Ortuzar, J.de D Willumsen (2011) ] .....	24
Σχήμα 4-1: Βήματα σχεδιασμού πειράματος δεδηλωμένων προτιμήσεων (πηγή: Ίδια επεξεργασία) .....	31

## **Κεφάλαιο 1 Σύντομη επισκόπηση του προβλήματος**

### **1.1 Μοντέλα διακριτών επιλογών στον τομέα των μεταφορών**

Η ανάλυση διακριτών επιλογών είναι ένα βασικό εργαλείο της μελέτης της συμπεριφοράς επιλογής ενός ατόμου και χρησιμοποιείται σε πολλά διαφορετικά πεδία για να διαμορφώσει την καταναλωτική ζήτηση για εμπορεύματα και υπηρεσίες [Bhat, C.R. , N. Eluru and R. B. Corperman (2000)]. Τα μοντέλα διακριτών επιλογών χρησιμοποιούνται ευρέως στα πλαίσια του συγκοινωνιακού σχεδιασμού για την ερμηνεία της συμπεριφοράς των μετακινούμενων. Καθώς ένα άτομο μετακινείται, καλείται να λάβει μια σειρά αποφάσεων επιλογής, όπως ποια διαδρομή θα επιλέξει, ποιο μέσο μεταφοράς θα χρησιμοποιήσει.

Η ανάγκη για μοντέλα ζήτησης μεταφορών έγινε αντιληπτή από τους αστικούς και συγκοινωνιακούς σχεδιαστές και ερευνητές ήδη από τα μέσα του δέκατου ένατου αιώνα με την μακροοικονομική μοντελοποίηση των χωρικών ροών των ανθρώπων και των εμπορευμάτων [Sivakumar, A., (2007)]. Πολλά, καλά σχεδιασμένα συστήματα μεταφοράς, που ανταποκρίνονται στις ανάγκες των μετακινούμενων για προσβασιμότητα και κινητικότητα, βασίζονται στην καλή κατανόηση της ανθρώπινης συμπεριφοράς [ Goulias, K.G., (2003)].

Οι πρώτες εφαρμογές των διακριτών μοντέλων επιλογής στις μεταφορές έγιναν για δυαδική επιλογή του τρόπου ταξιδιού, ενώ η έρευνα κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 1970 ήταν προσανατολισμένη προς τα μοντέλα με περισσότερες από δύο εναλλακτικές λύσεις και εφαρμογές σχετικές με ταξίδια, όπως προορισμό του ταξιδιού και συχνότητα ταξιδιού [Ben-Akiva, M., and S.R Lerman (1985)].

Συνοψίζοντας, τα μοντέλα διακριτών επιλογών έχουν διαδραματίσει σημαντικό ρόλο στην μοντελοποίηση των μεταφορών τα τελευταία 25 χρόνια, καθώς χρησιμοποιούνται για να παρέχουν μια λεπτομερή αναπαράσταση των πολύπλοκων πτυχών της ζήτησης μεταφορών, βασιζόμενα σε ισχυρή θεωρητική αιτιολόγηση [Nurdden, A., R.A. O.K. Rahmat and A. Ismail (2007)]. Επιπλέον, υπάρχουν πολλά πακέτα και εργαλεία διαθέσιμα στους αναλυτές για την χρησιμοποίηση αυτών των μοντέλων σε πραγματικές εφαρμογές, καθιστώντας τα μοντέλα διακριτών επιλογών όλο και πιο δημοφιλή.

Στην παρούσα εργασία μελετάται το βιβλιογραφικό υπόβαθρο στο οποίο στηρίζεται η ανάλυση διακριτών επιλογών και πραγματοποιείται εφαρμογή των μοντέλων διακριτών επιλογών στην πόλη του Βόλου και την ευρύτερή του περιοχή. Συγκεκριμένα λόγω του ότι βρίσκεται στο Βόλο η Πολυτεχνική σχολή του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας.

## **1.2 Διάρθρωση διπλωματικής εργασίας**

Στην παρούσα εργασία μελετήθηκε τόσο η βιβλιογραφία σχετικά με τη ανάλυση διακριτών επιλογών, όσο και η εφαρμογή σε ζητήματα μεταφορών. Η οργάνωση της εργασίας και το περιεχόμενο κάθε κεφαλαίου δίνονται συνοπτικά παρακάτω.

Στο δεύτερο κεφάλαιο τα μοντέλα διακριτών επιλογών, ανάλογα με τον τρόπο αντιμετώπισης του προβλήματος επιλογής, κατηγοριοποιούνται σε αθροιστικά και εξατομικευμένα μοντέλα. Μελετάται ο διαφορετικός τρόπος προσέγγισης του προβλήματος ζήτησης μεταφορών για το κάθε μοντέλο και συγκρίνονται ως προς την αποδοτικότητα, την ακρίβεια πρόβλεψης, την λεπτομέρεια ανάλυσης, το κόστος συλλογής στοιχείων και άλλες παραμέτρους. Επίσης, αναλύονται οι συνιστώσες του προβλήματος επιλογής στα εξατομικευμένα μοντέλα.

Στο τρίτο κεφάλαιο μελετώνται τα ντετερμινιστικά και πιθανοκρατικά μοντέλα ωφέλειας, τα οποία είναι απόρροια του κανόνα επιλογής απόφασης που εφαρμόζεται στα εξατομικευμένα μοντέλα διακριτών επιλογών. Παρουσιάζονται δύο βασικά πιθανοκρατικά μοντέλα Logit, το πολυωνυμικό πρότυπο διακριτών επιλογών και το ιεραρχικό πρότυπο διακριτών επιλογών, καθώς επίσης και η μέθοδος εκτίμησης των παραμέτρων των μοντέλων.

Στο τρίτο κεφάλαιο μελετάται η συμπεριφορά των μετακινούμενων μέσω των στοιχείων εκδηλωμένων προτιμήσεων δεδηλωμένων προτιμήσεων. Αναλύονται τα χαρακτηριστικά της μεθόδου δεδηλωμένων προτιμήσεων και παρουσιάζονται τα βασικά βήματα για τον σχεδιασμό ενός πειράματος.

Στο τέταρτο κεφάλαιο γίνεται η διερεύνηση της συμπεριφοράς των μετακινούμενων, έρευνα εκδηλωμένων προτιμήσεων, έρευνα δεδηλωμένων προτιμήσεων και σχεδιασμός πειράματος δεδηλωμένων προτιμήσεων.

Στο πέμπτο κεφάλαιο εφαρμόζουμε τη θεωρία της Ανάλυσης Διακριτών επιλογών.

## **Κεφάλαιο 2 Βιβλιογραφική ανασκόπηση**

### **2.1 Ανασκόπηση στη μοντελοποίηση των επιλογών των μετακινούμενων**

Έχουν πραγματοποιηθεί πολλές μελέτες σχετικά με την εφαρμογή μοντέλων διακριτών επιλογών σε διάφορα συγκοινωνιακά ζητήματα [Yang, L., (2010)] χρησιμοποιώντας στοιχεία από Έρευνα Δεδηλωμένων Προτιμήσεων και εφαρμόζοντας ιεραρχικά λογαριθμικά μοντέλα (*hierarchical ή nested logit models*) και μικτά λογαριθμικά μοντέλα (*mixed logit models*), διερεύνησε τις προτιμήσεις και την αποδοχή καινοτόμων τρόπων και υπηρεσιών στις μεταφορές. Κατέληξε στο συμπέρασμα ότι τα μικτά μοντέλα μπορούν να αντιμετωπίσουν πολύπλοκες συσχετίσεις και προβλήματα ετερογένειας στα δεδομένα δεδηλωμένων προτιμήσεων καλύτερα από τα ιεραρχικά μοντέλα.

Επίσης, ο Bovy και άλλοι [Bovy, P.H.L., R. Uges and S. Hoogendoorn-Lanser (2003)] στηρίχθηκαν και αυτοί σε στοιχεία δεδηλωμένων προτιμήσεων, εφαρμόζοντας το ιεραρχικό λογαριθμικό μοντέλο, καθώς και ένα πιο εξελιγμένο μοντέλο που ονομάζεται *Multi-Nested GEV model*. Μελέτησαν την πολυτροπική (συνδυασμός διαφόρων οχημάτων) συμπεριφορά επιλογής των μετακινούμενων με τρένο. Επιπλέον, ο Srinivasan και άλλοι [Srinivasan, K. K., G. Ramadurai, V. Muthuram and S. Srinivasan (2007)], μελέτησαν αλλαγές (παρελθόν, παρόν) στην επιλογή μέσου στα πλαίσια μίας αναπτυσσόμενης χώρας εφαρμόζοντας εξατομικευμένα μοντέλα καταλήγοντας στο συμπέρασμα ότι τα προτεινόμενα μοντέλα παρείχαν μια αρκετά καλή περιγραφή των παρατηρούμενων αλλαγών στη μορφή του ταξιδιού.

Επιπλέον, μια πρωτοπόρα δουλειά είναι η μελέτη των Circella και άλλων [Circella, G., M. Dell'Orco and D. Sassanelli (2005)] στην οποία προτείνεται μια υβριδική προσέγγιση για την πρόβλεψη της επιλογής των ταξιδιωτών. Ο στόχος του μοντέλου αυτού, είναι να αποτυπώσει και

τις δύο κύριες πηγές αβεβαιότητας που επηρεάζουν την επιλογή μετακίνησης, την τυχαιότητα και την ασάφεια.

Άλλοι ερευνητές έχουν διερευνήσει την επίπτωση των προηγμένων πληροφοριακών συστημάτων στην επιλογή της διαδρομής από τους μετακινούμενους σε αστικό δίκτυο χρησιμοποιώντας εναλλακτικά στα μοντέλα χαρακτηριστικά των μετακινούμενων, της διαδρομής, της μετακίνησης και της πληροφόρησης [Petamides Ch., Nathanail E., Tsami M., (2012) – Nathanail et al., 2010]. Η σύγκριση των μοντέλων διακριτών επιλογών και των νευρωνικών δικτύων έδειξε ότι η ακρίβεια της επιλεγμένης διαδρομής είναι παρόμοια με τα νευρωνικά δίκτυα να προσδίδουν μεγαλύτερη ευελιξία στις προβλέψεις [Petamides et al., 2012].

Οι Zhang και άλλοι [Zhang, Z., H. Guan, H. Qin and Y. Xue (2013)] για να μελετήσουν την επίδραση της πολιτικής για τις δημόσιες μεταφορές, κατασκεύασαν πολυωνμικά λογαριθμικά μοντέλα (*multinomial logit models*), χρησιμοποιώντας τόσο δεδομένα δεδηλωμένων προτιμήσεων όσο και συνδυάζοντας στοιχεία δεδηλωμένων και εκδηλωμένων προτιμήσεων. Το μοντέλο που συνδυάζε δεδομένα είχε καλύτερη ακρίβεια από το μοντέλο με το ένα είδος δεδομένων. Ακόμα μία μελέτη που συνδυάζει δεδομένα δεδηλωμένων και εκδηλωμένων προτιμήσεων πρότειναν οι Jiao και άλλοι [Jiao, P., H. Lu and L. Yang (2006)] για πρόγνωση του όγκου επιβατών των σιδηροδρομικών γραμμών προς το Διεθνές Αεροδρόμιο του Πεκίνου, η οποία οδήγησε σε αυξημένη ακρίβεια πρόβλεψης.

Τέλος, τα αποτελέσματα των επιλογών των μετακινούμενων, προσομοιώθηκαν σε συγκοινωνιακό δίκτυο προκειμένου να εκτιμηθεί η επίπτωση στην κυκλοφορία και στο περιβάλλον [Nathanail et al., 2011]

## **2.2 Θεωρητικό υπόβαθρο μοντέλων διακριτών επιλογών**

Ένα μοντέλο διακριτών επιλογών προβλέπει μια απόφαση που λαμβάνεται από ένα άτομο (επιλογή του τρόπου ταξιδιού, επιλογή της διαδρομής) ως συνάρτηση ενός οποιουδήποτε αριθμού μεταβλητών. Οι μεταβλητές αυτές, που επηρεάζουν την απόφαση που λαμβάνει ο μετακινούμενος, καθορίζονται από τα προσωπικά του χαρακτηριστικά, τις ανάγκες του και τη φύση των εναλλακτικών επιλογών που του προσφέρονται. Σημαντικό ρόλο στη διαμόρφωση των επιλογών του μετακινούμενου διαδραματίζει η ποικιλία των διαθέσιμων εναλλακτικών επιλογών. Οι εναλλακτικές επιλογές θα πρέπει να πληρούν τρεις βασικές προϋποθέσεις [Train, K.E (2003)]:

- Το σύνολο των εναλλακτικών επιλογών θα πρέπει να περιλαμβάνει όλες τις πιθανές εναλλακτικές, να είναι δηλαδή πλήρες. Κατά συνέπεια, ο μετακινούμενος αναγκαστικά θα επιλέξει κάποια εναλλακτική από το σύνολο.
- Το σύνολο πρέπει να περιέχει έναν πεπερασμένο αριθμό εναλλακτικών λύσεων. Αυτή η απαίτηση διακρίνει την διακριτή ανάλυση από την ανάλυση παλινδρόμησης, στην οποία η εξαρτημένη μεταβλητή μπορεί (θεωρητικά) να λαμβάνει έναν άπειρο αριθμό τιμών.
- Οι εναλλακτικές επιλογές πρέπει να είναι αμοιβαία αποκλειόμενες, γεγονός που σημαίνει ότι επιλέγοντας μία εναλλακτική θα πρέπει να αποκλείεται η επιλογή οποιασδήποτε άλλης. Η απαίτηση αυτή συνεπάγεται ότι το άτομο επιλέγει μόνο μία εναλλακτική λύση από το σύνολο.

Τα μοντέλα διακριτών επιλογών εφαρμόζονται στον τομέα του συγκοινωνιακού σχεδιασμού για την μοντελοποίηση της συμπεριφοράς των μετακινούμενων και διακρίνονται σε δύο κατηγορίες, τα αθροιστικά και τα εξατομικευμένα μοντέλα διακριτών επιλογών. Τα αθροιστικά μοντέλα αντιπροσωπεύουν τη συμπεριφορά περισσότερων του ενός ατόμων, ενώ τα εξατομικευμένα αντιπροσωπεύουν τη συμπεριφορά μεμονωμένων ατόμων [Ortuzar, J.de D., L.G. Willumsen (2011)] και αναλύονται περαιτέρω στα παρακάτω υποκεφάλαια.

## **2.3 Αξιολόγηση εξατομικευμένων και αθροιστικών μοντέλων**

Τα εξατομικευμένα μοντέλα παρουσιάζουν περισσότερα πλεονεκτήματα έναντι των αθροιστικών. Πρώτον, η εξατομικευμένη προσέγγιση προσφέρει λεπτομερέστερη ανάλυση σε



σχέση με την αθροιστική προσέγγιση, καθώς εξηγεί γιατί ένα άτομο κάνει μια συγκεκριμένη επιλογή με δεδομένες κάποιες συνθήκες, και ως εκ τούτου, αντανακλά αλλαγές στην συμπεριφορά της επιλογής, που οφείλονται σε αλλαγές σε επιμέρους χαρακτηριστικά και ιδιότητες των εναλλακτικών λύσεων. Η αθροιστική προσέγγιση, από την άλλη πλευρά, στηρίζεται κυρίως σε στατιστικές συσχετίσεις. Ως εκ τούτου, δεν είναι σε θέση να παρέχει ακριβείς και αξιόπιστες εκτιμήσεις της μεταβολής στην συμπεριφορά της επιλογής λόγω αλλαγών στην εξυπηρέτηση ή στον πληθυσμό.

Συνέπεια αυτών που αναφέρθηκαν παραπάνω είναι τα εξατομικευμένα μοντέλα να οδηγούν σε προβλέψεις μεγαλύτερης ακρίβειας, καθώς λαμβάνουν υπόψη τα χαρακτηριστικά του κάθε μεμονωμένου ατόμου και αναλύουν τις επιλογές του, σε αντίθεση με τα αθροιστικά μοντέλα, τα οποία χρησιμοποιούν μέσους όρους και αναλύεται η μέση συμπεριφορά με αποτέλεσμα μικρότερη ακρίβεια πρόβλεψης.

Επιπλέον, η εξατομικευμένη προσέγγιση είναι καταλληλότερη για εφαρμογή πολιτικής προληπτικής ανάλυσης, δεδομένου ότι είναι αιτιώδης, λιγότερο συνδεδεμένη με τα στοιχεία εκτίμησης και πιο πιθανό να περιλαμβάνει μια σειρά μεταβλητών σχετικές με την πολιτική που ενδιαφέρει [Koppelman, F. S. and C. Bhat (2006)]. Επίσης, η εξατομικευμένη προσέγγιση, λόγω της αιτιώδους φύσης της, είναι πιθανό να είναι περισσότερο επεκτάσιμη σε ένα διαφορετικό σημείο στον χρόνο και σε διαφορετικό γεωγραφικό πλαίσιο, γεγονός που αποτελεί μια κρίσιμη απαίτηση για πρόβλεψη.

Ωστόσο, τα εξατομικευμένα μοντέλα απαιτούν από τον αναλυτή αρκετά υψηλό επίπεδο στατιστικών και οικονομετρικών δεξιοτήτων για τη χρήση τους, και κυρίως για την ερμηνεία των αποτελεσμάτων [Ortuzar, J.de D., L.G. Willumsen (2011)]. Επιπρόσθετα, η εξατομικευμένη προσέγγιση χρειάζεται υψηλής ακρίβειας στοιχεία, γεγονός που αυξάνει το κόστος συλλογής στοιχείων και παραγωγής μοντέλου σε σχέση με τα αθροιστικά μοντέλα, για τα οποία τα απαιτούμενα στοιχεία είναι πιο εύκολα διαθέσιμα και με χαμηλότερο κόστος συλλογής.

Συνοψίζοντας, οι προσπάθειες στην βιβλιογραφία να αποσαφηνιστεί το ζήτημα του κατά πόσον τα εξατομικευμένα ή αθροιστικά μοντέλα πρέπει να προτιμώνται, και υπό ποιες συνθήκες, έχουν ουσιαστικά καταλήξει στο συμπέρασμα ότι δεν υπάρχει μία οριστική

προσέγγιση κατάλληλη για όλες τις περιπτώσεις [Daly, A.J. and Ortuzar, J. de D. (1990)]. Σε κάθε μελέτη θα πρέπει να συνυπολογίζονται διάφοροι παράγοντες για την επιλογή μοντέλου.

## Κεφάλαιο 3 Θεωρία μεγιστοποίησης ωφέλειας

### 3.1 Εκτίμηση συντελεστών συναρτήσεων ωφέλειας - Maximum Likelihood

Τα μοντέλα στοχαστικής ωφέλειας μπορούν να θεωρηθούν ως μαθηματικές σχέσεις που εκφράζουν την πιθανότητα  $p^i[j](X, \beta, \theta)$  ότι το άτομο  $i$  επιλέγει την εναλλακτική  $j$ , σαν μία συνάρτηση του διανύσματος  $X$  των χαρακτηριστικών όλων των διαθέσιμων εναλλακτικών επιλογών και των διανυσμάτων των παραμέτρων σχετικά με την συστηματική χρησιμότητα,  $\beta$ , και την κοινή συνάρτηση πιθανότητας των τυχαίων υπολειμμάτων (*residuals*)  $\theta$  [12]. Οι πιθανότητες επιλογής εξαρτώνται από το  $X$  και το  $\beta$  μέσω των συναρτήσεων συστηματικής χρησιμότητας, οι οποίες συνήθως ορίζονται ως γραμμικοί συνδυασμοί των χαρακτηριστικών  $X$  με συντελεστές που δίνονται από τις παραμέτρους  $\beta$ .

Η μέθοδος μέγιστης πιθανότητας (Maximum Likelihood - ML) είναι η μέθοδος που χρησιμοποιείται ευρέως για την εκτίμηση των παραμέτρων του μοντέλου [12]. Η διαδικασία για την εκτίμηση μέγιστης πιθανότητας περιλαμβάνει δύο σημαντικά βήματα:

- ◆ την ανάπτυξη μίας από κοινού συνάρτησης πιθανότητας του παρατηρούμενου δείγματος, η οποία ονομάζεται συνάρτηση πιθανότητας
- ◆ την εκτίμηση των τιμών των παραμέτρων που μεγιστοποιούν τη συνάρτηση πιθανότητας.

Η συνάρτηση πιθανότητας είναι εξής [16]:

$$L(\beta) = \prod_{n=1}^N \prod_{i \in C_n} P(i | x_{ni}, \beta)^{d_{ni}} \quad (3.5)$$

Όπου  $N$  ο αριθμός των ατόμων στο τυχαίο δείγμα

$i \in C_n$  είναι οι εναλλακτικές στο σύνολο επιλογής  $C$  για το άτομο  $n$

$x_{ni}$  είναι το διάνυσμα χαρακτηριστικών που σχετίζεται με την εναλλακτική  $i$  και το άτομο  $n$

$d_{ni}$  είναι μια μεταβλητή δείκτης που ισούται με 1 αν το άτομο  $n$  επιλέγει την εναλλακτική  $i$  και 0 σε διαφορετική περίπτωση

$P(i|x_{ni}, \beta)$  είναι η πιθανότητα να επιλεγεί η εναλλακτική  $i$ , δεδομένου ενός δείγματος χαρακτηριστικών  $x_{ni}$  και εκτιμήσεων  $\beta$

Καθώς ο λογάριθμος μίας συνάρτησης αποδίδει το ίδιο μέγιστο με την συνάρτηση και υπολογιστικά είναι ευκολότερο να μεγιστοποιηθεί ο λογάριθμος, τελικά μεγιστοποιείται η συνάρτηση λογαριθμικής πιθανοφάνειας αντί η ίδια η συνάρτηση. Έτσι, προκύπτει:

$$LL = \sum_{n=1}^N \sum_{i \in C_n} d_{ni} \ln P_{ni} \quad (3.6)$$

Οι πρακτικές εφαρμογές των μοντέλων logit περιλαμβάνουν πολλές παραμέτρους και πολλές παρατηρήσεις, ωστόσο υπάρχει πληθώρα στατιστικών προγραμμάτων τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εκτίμηση περίπλοκων μοντέλων logit. Τα απαιτούμενα δεδομένα εισόδου για αυτά τα προγράμματα περιλαμβάνουν τυπικά μεταβλητές που περιγράφουν το άτομο και κάθε διαθέσιμη εναλλακτική επιλογή, και μια εξαρτημένη μεταβλητή που εντοπίζει ποια εναλλακτική έχει επιλεγεί στην πραγματικότητα.

### 3.2 Οι συνιστώσες του προβλήματος επιλογής

Η συμπεριφορική φύση των εξατομικευμένων μοντέλων έχει οδηγήσει στην ευρεία χρήση των εξατομικευμένων διακριτών μεθόδων επιλογής στην μοντελοποίηση της ζήτησης μεταφορών. Ο σκοπός αυτού του κεφαλαίου είναι να περιγράψει κάποιους βασικούς κανόνες για την διαδικασία της επιλογής στα εξατομικευμένα μοντέλα, καθώς είναι χρήσιμοι στον σχηματισμό εμπειρικών μοντέλων διακριτών επιλογών.

Τα άτομα (ή υπεύθυνοι λήψης αποφάσεων ή μετακινούμενοι), επιλέγουν από μία ευρεία ποικιλία εναλλακτικών λύσεων [Koppelman, F. S. and C. Bhat (2006)]. Τα κριτήρια και ο μηχανισμός μέσω των οποίων ένα άτομο οδηγείται σε μία συγκεκριμένη επιλογή, αποτελούν τον πυρήνα των μοντέλων διακριτών επιλογών. Το βασικότερο στάδιο στη μοντελοποίηση της συμπεριφοράς του ατόμου, είναι η περιγραφή της διαδικασίας επιλογής.

Μια επιλογή μπορεί να θεωρηθεί ως αποτέλεσμα μιας διαδοχικής διαδικασίας λήψης αποφάσεων που περιλαμβάνει τα ακόλουθα στάδια [Ben-Akiva, M., and S.R Lerman (1985)]:

- Ορισμός του προβλήματος επιλογής
- Προσδιορισμός των εναλλακτικών επιλογών
- Αξιολόγηση των χαρακτηριστικών των εναλλακτικών επιλογών
- Λήψη απόφασης
- Εφαρμογή

Αξίζει να σημειωθεί ότι δεν είναι όλες οι παρατηρούμενες συμπεριφορές επιλογής αποτέλεσμα μιας τέτοιας διαδικασίας λήψης αποφάσεων. Ένα άτομο μπορεί, για παράδειγμα, να λαμβάνει μια απόφαση ακολουθώντας μία συνήθεια, μία διαίσθηση, ή μιμούμενος κάποιον άλλο τον οποίο θεωρεί ότι είναι εμπειρογνώμονας.

Στη συνέχεια, παρατίθενται τέσσερα βασικά στοιχεία σχετικά με τη διαδικασία επιλογής, τα οποία θα αναλυθούν παρακάτω [Koppelman, F. S. and C. Bhat (2006)]:

- Το άτομο που λαμβάνει την απόφαση
- Οι εναλλακτικές επιλογές
- Τα χαρακτηριστικά των εναλλακτικών επιλογών
- Ο κανόνας επιλογής/ λήψης απόφασης

### **Το άτομο που λαμβάνει την απόφαση**

Αυτός που λαμβάνει την απόφαση μπορεί να είναι ένα μεμονωμένο άτομο, μία ομάδα ατόμων, όπως μία οικογένεια ή ένα νοικοκυριό. Ένα κοινό χαρακτηριστικό στη μελέτη της επιλογής είναι ότι οι διαφορετικοί ιθύνοντες που λαμβάνουν αποφάσεις, αντιμετωπίζουν διαφορετικές καταστάσεις επιλογής και μπορεί να έχουν διαφορετικές προτιμήσεις. Περαιτέρω διαφορές μπορεί να προκύψουν κατά τη διαδικασία λήψης απόφασης από μία ομάδα λόγω της αλληλεπίδρασης που υπάρχει και επηρεάζει το αποτέλεσμα [Ben-Akiva, M., and S.R Lerman (1985)].

### **Οι εναλλακτικές επιλογές**

Τα άτομα κάνουν μία επιλογή από ένα σύνολο εναλλακτικών επιλογών που βρίσκονται στη διάθεσή τους. Το σύνολο των διαθέσιμων εναλλακτικών λύσεων μπορεί να περιορίζεται από το περιβάλλον. Το σύνολο αυτό αναφέρεται ως **καθολικό** (*universalset*). Ωστόσο, ακόμη και αν μία εναλλακτική είναι παρούσα στο καθολικό σύνολο, μπορεί να μην είναι εφικτή για ένα συγκεκριμένο άτομο. Το κατά πόσο είναι εφικτή μία εναλλακτική επιλογή για ένα άτομο στο πλαίσιο της επιλογής τρόπου ταξιδιού μπορεί να καθοριστεί από νομικούς κανονισμούς ή χαρακτηριστικά του ατόμου.

Το υποσύνολο της καθολικής επιλογής που είναι εφικτό για ένα άτομο ορίζεται ως το **εφικτό σύνολο επιλογής** (*feasiblechoiceset*) για το συγκεκριμένο άτομο. Τέλος, δεν είναι απαραίτητο ότι θα ληφθούν υπόψη από ένα άτομο όλες οι εναλλακτικές στο εφικτό σύνολο επιλογής κατά τη διαδικασία επιλογής. Για παράδειγμα, μπορεί κάποιος να μην γνωρίζει ένα συγκεκριμένο δρομολόγιο του μετρό κατά την μετάβαση από την οικία στην εργασία. Το υποσύνολο του εφικτού συνόλου επιλογής που ένα άτομο όντως εξετάζει, αναφέρεται ως **σύνολο εξέτασης** (*consideration choice set*). Αυτό είναι το σύνολο επιλογής που θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη όταν μοντελοποιούνται οι αποφάσεις επιλογής.

### **Τα χαρακτηριστικά των εναλλακτικών επιλογών**

Κάθε εναλλακτική λύση στο σύνολο επιλογής περιγράφεται από ένα σύνολο χαρακτηριστικών. Σύμφωνα με τον Lancaster [Lancaster, K. (1971)], μπορεί κανείς να υποθέσει ότι η ελκυστικότητα μιας εναλλακτικής καθορίζεται από την τιμή των ιδιοτήτων του. Τα χαρακτηριστικά των εναλλακτικών λύσεων μπορεί να είναι γενικά (*generic*), δηλαδή να ισχύουν εξίσου για όλες τις εναλλακτικές λύσεις ή ειδικά (*alternative-specific*), δηλαδή να εφαρμόζονται σε μία λύση ή ένα υποσύνολο εναλλακτικών λύσεων. Ένα χαρακτηριστικό δεν είναι απαραίτητα άμεσα μετρήσιμη ποσότητα. Μπορεί να είναι οποιοδήποτε συνάρτηση των διαθέσιμων δεδομένων [Ben-Akiva, M., and M. Bierlaire (1999)]. Για παράδειγμα, αντί να λαμβάνεται υπόψη ο χρόνος ταξιδιού ως ένα χαρακτηριστικό του τρόπου μεταφοράς, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ο λογάριθμος του χρόνου ταξιδιού.

### **Ο κανόνας επιλογής/ λήψης απόφασης**

Μια επιλογή από ένα σύνολο επιλογής που περιέχει δύο ή περισσότερες εναλλακτικές λύσεις απαιτεί έναν κανόνα λήψης απόφασης. Αυτός περιγράφει τους εσωτερικούς μηχανισμούς που χρησιμοποιούνται από τον μετακινούμενο για την επεξεργασία των διαθέσιμων πληροφοριών και την κατάληξη σε μία μοναδική επιλογή [Ben-Akiva, M., and S.R Lerman (1985)]. Οι Ben-Akiva και Lerman [Ben-Akiva, M., and S.R Lerman (1985)] ταξινόμησαν τους κανόνες λήψης απόφασης στις ακόλουθες τέσσερις κατηγορίες:

- **Επικράτησηση (Dominance):** Μια εναλλακτική λύση είναι επικρατέστερη σε σχέση με μία άλλη, αν είναι καλύτερη σε ένα τουλάχιστον χαρακτηριστικό και τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά της δεν είναι χειρότερα των αντίστοιχων χαρακτηριστικών των υπόλοιπων επιλογών. Ωστόσο, στις περισσότερες περιπτώσεις δεν οδηγεί σε μια μοναδική επιλογή. Στην καλύτερη περίπτωση ο κανόνας αυτός μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εξάλειψη των κατώτερων εναλλακτικών λύσεων από ένα σύνολο επιλογής.
- **Ικανοποίηση (Satisfaction):** Για κάθε χαρακτηριστικό τίθεται ένα επίπεδο που χρησιμεύει ως κριτήριο ικανοποίησης και βασίζεται στις προσδοκίες του μετακινούμενου, που προέρχονται από τις πληροφορίες που διαθέτει ή τις προηγούμενες εμπειρίες του. Έτσι, μια εναλλακτική λύση μπορεί να εξαλειφθεί αν δεν πληροί αυτό το κριτήριο. Ο κανόνας αυτός από μόνος του δεν θα οδηγήσει απαραίτητα σε μία επιλογή. Σε συνδυασμό με άλλους κανόνες, όπως η επικράτηση, μπορεί να είναι πιο καθοριστικός.
- **Λεξικογραφικός κανόνας (Lexicographic rules):** Σύμφωνα με τον κανόνα αυτό, τα χαρακτηριστικά αρχικά κατατάσσονται με βάση την «σημασία» τους και επιλέγεται η εναλλακτική λύση με την υψηλότερη τιμή για το πιο σημαντικό χαρακτηριστικό. Εάν η επιλογή δεν είναι μοναδική, η διαδικασία επαναλαμβάνεται για το δεύτερο πιο σημαντικό χαρακτηριστικό. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρις ότου να παραμείνει μόνο μία εναλλακτική λύση. Το κύριο πρόβλημα με αυτόν τον κανόνα, είναι ότι η κατάταξη της σημασίας των χαρακτηριστικών μπορεί να είναι υποκειμενική.
- **Ωφέλεια (utility):** Η ελκυστικότητα μιας επιλογής εκφράζεται ως συνάρτηση των χαρακτηριστικών της που σταθμίζονται κατάλληλα. Η συνάρτηση αυτή εκφράζει την

ωφέλεια και είναι ένα μέτρο το οποίο ο μετακινούμενος προσπαθεί να μεγιστοποιήσει μέσω της επιλογής του. Ο κανόνας μεγιστοποίησης της ωφέλειας βασίζεται σε δύο θεμελιώδεις έννοιες. Η πρώτη είναι ότι το διάνυσμα των ιδιοτήτων που χαρακτηρίζει κάθε εναλλακτική λύση μπορεί να μειωθεί σε μία βαθμωτή τιμή ωφέλειας για την εν λόγω εναλλακτική λύση. Η έννοια αυτή συνεπάγεται μια αντισταθμιστική διαδικασία λήψης αποφάσεων, δηλαδή, ο μετακινούμενος κάνει «συμβιβασμούς» μεταξύ των ιδιοτήτων που χαρακτηρίζουν τις εναλλακτικές λύσεις για τον προσδιορισμό της επιλογής τους. Για παράδειγμα, ένα άτομο μπορεί να επιλέξει έναν ακριβό τρόπο ταξιδιού, αν ο μειωμένος χρόνος που απαιτείται για αυτό το ταξίδι αντισταθμίζει το αυξημένο κόστος. Η δεύτερη έννοια είναι ότι ο μετακινούμενος επιλέγει την εναλλακτική λύση με την υψηλότερη ωφέλεια.

Τα περισσότερα μοντέλα που χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές συμπεριφοράς μετακινούμενου βασίζονται στον κανόνα μεγιστοποίησης της ωφέλειας [Ben-Akiva, M., and M. Bierlaire (1999)]. Στα επόμενα κεφάλαια θα αναφερθούν τόσο τα ντετερμινιστικά μοντέλα μεγιστοποίησης της ωφέλειας, όσο και τα μοντέλα στοχαστικής ωφέλειας.

### **3.2.1 Αθροιστικά μοντέλα**

Τα αθροιστικά μοντέλα προσεγγίζουν το πρόβλημα επιλογής μακροσκοπικά, καθώς αντιπροσωπεύουν τη μέση συμπεριφορά μιας ομάδας μετακινούμενων αντί για ένα μόνο άτομο. Τα αθροιστικά μοντέλα χρησιμοποιήθηκαν σχεδόν χωρίς εξαίρεση σε μελέτες μεταφορών μέχρι τα τέλη της δεκαετίας του 1970. Απαιτούσαν σχετικά λίγες δεξιότητες εκ μέρους του αναλυτή και είχαν την ιδιότητα να προσφέρουν μια «συνταγή» για την πλήρη διαδικασία μοντελοποίησης, γεγονός που τα έκαναν αρκετά διαδεδομένα [Ortuzar, J.de D., L.G. Willumsen (2011)]. Ωστόσο, παρουσιάζουν κάποια σημαντικά μειονεκτήματα, όπως έλλειψη ευελιξίας και ανακρίβεια [Minal, Ch. R. Sekhar (2014)].

Τα αθροιστικά μοντέλα υπολογίζουν ποσοστά ή απόλυτα μεγέθη ζήτησης, βάσει μέσων χαρακτηριστικών του πληθυσμού. Προσδιορίζουν δηλαδή, τη σχέση ανάμεσα στα ποσοστά που προσελκύει η κάθε επιλογή και στις μέσες τιμές των χαρακτηριστικών των επιλογών και των μετακινούμενων. Ωστόσο, με την χρήση μέσων όρων, χάνεται ουσιαστική πληροφορία σχετικά

με την επιρροή των διάφορων κοινωνικοοικονομικών χαρακτηριστικών στον αριθμό των μετακινήσεων που πραγματοποιούνται από κάθε νοικοκυριό.

### **3.2.2 Εξατομικευμένα μοντέλα**

Τα εξατομικευμένα μοντέλα προσεγγίζουν το πρόβλημα της επιλογής μικροσκοπικά, καθώς αναλύουν τα χαρακτηριστικά και τις εναλλακτικές του κάθε μετακινούμενου και υπολογίζουν την πιθανότητα να πραγματοποιήσει μια συγκεκριμένη επιλογή. Η επιλογή κάθε ατόμου είναι συνάρτηση των χαρακτηριστικών των διαθέσιμων εναλλακτικών λύσεων και κοινωνικοδημογραφικών χαρακτηριστικών του κάθε ατόμου [Minal, Ch. R. Sekhar (2014)]. Γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι για την εφαρμογή αυτών των μοντέλων χρησιμοποιούνται στοιχεία από έρευνες χαρακτηριστικών μετακινήσεων σε ατομικό επίπεδο.

Τα μοντέλα αυτά στηρίζονται στην έννοια της ωφέλειας, η οποία εκφράζει την ικανοποίηση που λαμβάνει ο μετακινούμενος από την χρήση ενός αγαθού ή μίας υπηρεσίας και κατ' επέκταση την ελκυστικότητα κάθε διαθέσιμης εναλλακτικής επιλογής. Η ωφέλεια αποτελείται από δύο συνιστώσες, την αντιληπτή και την αντικειμενική, ωστόσο τα περισσότερα εξατομικευμένα μοντέλα, και ειδικότερα αυτά που εφαρμόζονται στις μεταφορές, χρησιμοποιούν την αντιληπτή ωφέλεια. Η αντιληπτή ωφέλεια ορίζεται ως η ωφέλεια που αντιλαμβάνεται ο μετακινούμενος και προκύπτει ως ένα σταθμισμένο άθροισμα κάποιων χαρακτηριστικών, τα οποία μπορεί να είναι μεταβλητές του μεταφορικού συστήματος (χρόνος, κόστος μετακίνησης), καθώς επίσης κοινωνικοοικονομικά χαρακτηριστικά του μετακινούμενου (ηλικία, εισόδημα, φύλο).

Τα μοντέλα αυτά έχουν ορισμένες ιδιότητες που άμεσα επηρεάζουν τη χρήση τους στο σχεδιασμό των μεταφορών και θα αναφερθούν συγκεντρωτικά παρακάτω [Spear, B. D. (1977)]:

- Διαμορφώνονται με τη χρήση παρατηρήσεων της ατομικής συμπεριφοράς ως δεδομένα εισόδου.
- Είναι πιθανοκρατικά, δηλαδή, εκτιμούν τις πιθανότητες επιλογής κάθε εναλλακτικής λύσης αντί να δηλώνουν ρητά ποια εναλλακτική θα επιλεγεί.
- Περιλαμβάνουν επεξηγηματικές μεταβλητές μέσω της γραμμικής συνάρτησης ωφέλειας. Αυτή η δομή επιτρέπει σχεδόν οποιοδήποτε αριθμό μεταβλητών να συνδυαστεί σε μία



μοναδική σύνθετη τιμή που αντιπροσωπεύει τη σχετική ελκυστικότητα μιας εναλλακτικής.

- Βασίζονται σε θεωρίες ατομικής συμπεριφοράς επιλογής.

### 3.3 Διαμόρφωση συνάρτησης ωφέλειας

Η ωφέλεια είναι ένας δείκτης αξίας για ένα άτομο. Σε γενικές γραμμές, η ωφέλεια προέρχεται από τα χαρακτηριστικά (ιδιότητες) των εναλλακτικών επιλογών. Ο κανόνας της μεγιστοποίησης της ωφέλειας αναφέρει ότι ένα άτομο θα επιλέξει την εναλλακτική από το σύνολο των διαθέσιμων εναλλακτικών, που μεγιστοποιεί την ωφέλεια του. Περαιτέρω, ο κανόνας υπονοεί ότι υπάρχει μια συνάρτηση που περιέχει χαρακτηριστικά τόσο των εναλλακτικών επιλογών όσο και των ατόμων και η οποία περιγράφει την αποτίμηση ωφέλειας ενός ατόμου για κάθε εναλλακτική.

Η συνάρτηση ωφέλειας,  $U$ , έχει την ιδιότητα μια εναλλακτική λύση να επιλέγεται, αν η χρησιμότητά της είναι μεγαλύτερη από την χρησιμότητα όλων των άλλων εναλλακτικών στο σύνολο επιλογής του ατόμου. Εναλλακτικά, αυτό μπορεί να διατυπωθεί ως εξής [Koppelman, F. S. and C. Bhat (2006)]:

*Η εναλλακτική λύση, “i”, επιλέγεται μεταξύ ενός συνόλου εναλλακτικών, αν και μόνο αν η ωφέλεια της εναλλακτικής, “i”, είναι μεγαλύτερη ή ίση με την ωφέλεια όλων των εναλλακτικών, “j”, στο σύνολο επιλογών, C. Αυτό μπορεί να εκφραστεί μαθηματικά ως εξής:*

$$\text{An } U(X_i, S_t) \geq U(X_j, S_t) \forall j \rightarrow i > j \forall j \in C \quad (3.1)$$

Όπου  $U()$  είναι η συνάρτηση ωφέλειας

$X_i, X_j$  είναι διανύσματα χαρακτηριστικών που περιγράφουν τις εναλλακτικές  $i$  και  $j$  αντίστοιχα (όπως χρόνος ταξιδιού, κόστος ταξιδιού, και άλλα σχετικά χαρακτηριστικά των διαθέσιμων τρόπων μετακίνησης)

$S_t$  είναι διάνυσμα χαρακτηριστικών που περιγράφει το άτομο  $t$ , το οποίο επηρεάζει τις προτιμήσεις του ανάμεσα στις επιλογές (οικογενειακό εισόδημα, αριθμός διαθέσιμων αυτοκινήτων)

$i > j$  σημαίνει ότι η εναλλακτική στα αριστερά προτιμάται σε σχέση με την εναλλακτική στα δεξιά

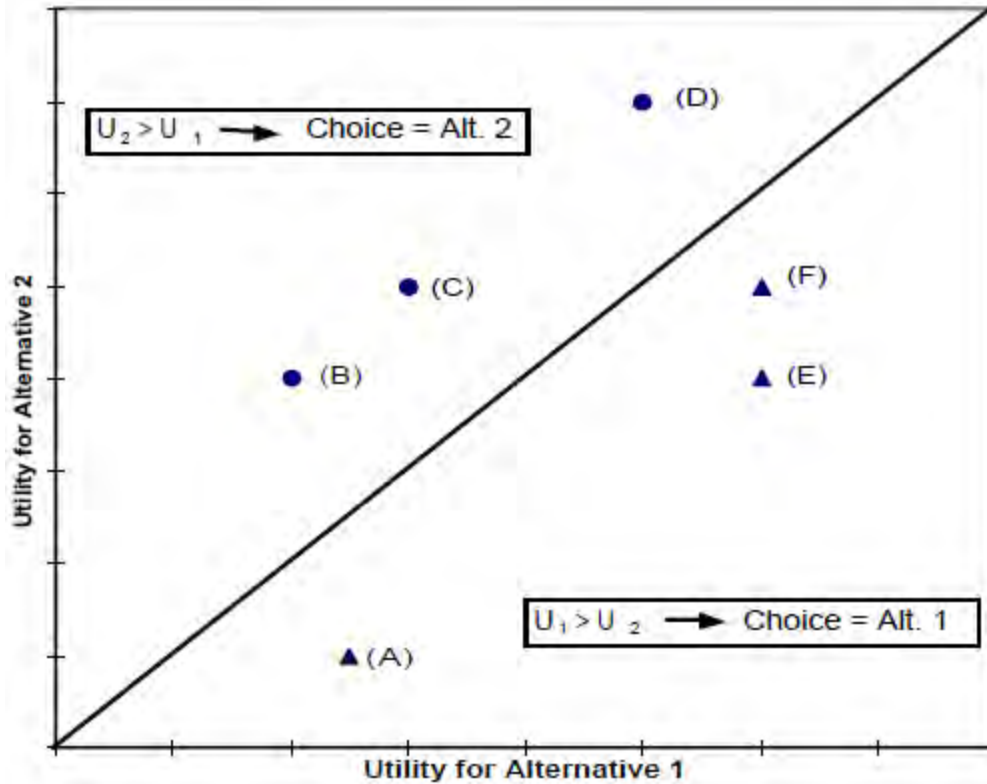
$\forall j$  σημαίνει για κάθε μία από τις περιπτώσεις  $j$ .

### 3.4 Ντετερμινιστικά μοντέλα ωφέλειας

Ο κανόνας μεγιστοποίησης ωφέλειας, ο οποίος ορίζει ότι ένα άτομο επιλέγει την εναλλακτική λύση με την υψηλότερη ωφέλεια, συνεπάγεται απόλυτη βεβαιότητα κατά την διαδικασία λήψης απόφασης. Αυτό σημαίνει ότι το άτομο είναι βέβαιο ότι θα επιλέξει την εναλλακτική λύση με την μεγαλύτερη ωφέλεια, υπό τις παρατηρούμενες συνθήκες επιλογής. Τα μοντέλα ωφέλειας που αποφέρουν συγκεκριμένες προβλέψεις επιλογής ονομάζονται ντετερμινιστικά μοντέλα ωφέλειας. Βασίζονται στην παραδοχή, ότι η ωφέλεια είναι ντετερμινιστική και επομένως ο κανόνας επιλογής μεταξύ των εναλλακτικών επιλογών είναι ντετερμινιστικός. Αυτό σημαίνει ότι αν για παράδειγμα είναι  $U_1$  και  $U_2$  οι δύο ωφέλειες και  $P_1$  και  $P_2$  οι αντίστοιχες πιθανότητες, τότε (σχήμα 3-1):

$\text{Αν } U_1 > U_2 \rightarrow P_1 = 1 \text{ ΚΑΙ } P_2 = 0 \rightarrow$  Δηλαδή επιλέγεται η η εναλλακτική 1

$\text{Αν } U_2 > U_1 \rightarrow P_1 = 0 \text{ ΚΑΙ } P_2 = 1 \rightarrow$  Δηλαδή επιλέγεται η η εναλλακτική 2



Σχήμα 3-1: Απεικόνιση ντετερμινιστικής επιλογής [21]

Αν τα μοντέλα αυτά περιέγραφαν σωστά την συμπεριφορά, θα ήταν αναμενόμενο ένα άτομο να κάνει την ίδια επιλογή με την πάροδο του χρόνου και ότι παρόμοια άτομα, δηλαδή άτομα που έχουν τα ίδια χαρακτηριστικά, θα κατέληγαν στις ίδιες αποφάσεις όταν θα αντιμετώπιζαν το ίδιο σύνολο εναλλακτικών επιλογών. Στην πράξη, όμως, παρατηρούνται διακυμάνσεις στην επιλογή ενός ατόμου και διαφορετικές επιλογές μεταξύ φαινομενικά παρόμοιων ατόμων όταν έρχονται αντιμέτωποι με παρόμοιες ή ακόμη και ταυτόσημες εναλλακτικές λύσεις. Η πρόκληση είναι να αναπτυχθεί μια δομή μοντέλου που να παρέχει μια λογική αναπαράσταση αυτών των ανεξήγητων διακυμάνσεων στην ταξιδιωτική συμπεριφορά.

Υπάρχουν τρεις κύριες πηγές σφαλμάτων στη χρήση των ντετερμινιστικών μοντέλων ωφέλειας [Koppelman, F. S. and C. Bhat (2006)]:

- ο Το άτομο μπορεί να έχει ελλειπείς ή εσφαλμένες πληροφορίες ή λανθασμένες αντιλήψεις σχετικά με τα χαρακτηριστικά μερικών ή όλων των εναλλακτικών λύσεων. Ως αποτέλεσμα, διαφορετικά άτομα, το καθένα με διαφορετικές πληροφορίες για τις ίδιες εναλλακτικές λύσεις, είναι πιθανό να κάνουν διαφορετικές επιλογές.

- Ο αναλυτής έχει διαφορετικές ή ελλιπείς πληροφορίες σχετικά με τα ίδια χαρακτηριστικά σε σχέση με τα άτομα και ανεπαρκή κατανόηση της συνάρτησης την οποία χρησιμοποιεί το άτομο για να αξιολογήσει την ωφέλεια της κάθε εναλλακτικής λύσης.
- Ο αναλυτής είναι απίθανο να γνωρίζει, ή να υπολογίζει ειδικές περιστάσεις σχετικά με την απόφαση ενός μετακινούμενου.

Τα ντετερμινιστικά μοντέλα θα μπορούσαν να παράγουν αξιόπιστες προβλέψεις, αν ο αναλυτής είχε πλήρη στοιχεία σχετικά με τα σφάλματα που αναφέρθηκαν παραπάνω. Ωστόσο, δεν είναι διαθέσιμος ο απαιτούμενος όγκος στοιχείων και τα μοντέλα που λαμβάνουν υπόψη αυτή την έλλειψη πληροφοριών από την πλευρά του αναλυτή ονομάζονται στοχαστικά μοντέλα ωφέλειας και θα αναλυθούν στο επόμενο υποκεφάλαιο.

### **3.5 Στοχαστικά μοντέλα ωφέλειας**

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, αν οι αναλυτές κατανοούσαν πλήρως όλες τις πτυχές της εσωτερικής διαδικασίας λήψης αποφάσεων των ατόμων καθώς επίσης και την αντίληψή τους για τις εναλλακτικές λύσεις, τότε θα ήταν σε θέση να περιγράψουν αυτή τη διαδικασία και να προβλέψουν την επιλογή του τρόπου μεταφοράς χρησιμοποιώντας ντετερμινιστικά μοντέλα ωφέλειας. Ωστόσο, η εμπειρία έχει δείξει ότι οι αναλυτές δεν έχουν τέτοια γνώση, δεν κατανοούν πλήρως τη διαδικασία λήψης αποφάσεων του κάθε μεμονωμένου ατόμου ή τις αντιλήψεις τους για εναλλακτικές λύσεις και δεν έχουν καμία ρεαλιστική δυνατότητα απόκτησης αυτής της πληροφορίας. Ως εκ τούτου, τα δεδομένα και τα μοντέλα που χρησιμοποιήθηκαν από τους αναλυτές περιγράφουν τις προτιμήσεις και την επιλογή με την έννοια της πιθανότητας επιλογής κάθε εναλλακτικής λύσης παρά την πρόβλεψη ότι ένα άτομο θα επιλέξει έναν συγκεκριμένο τρόπο με βεβαιότητα.

[1] Για την περιγραφή της συμπεριφοράς των μετακινούμενων χρησιμοποιώντας στοχαστικά μοντέλα ωφέλειας χρειάζονται κάποιες παραδοχές [Discrete Dependent Variable Models, Chapter 5- Section A: Logit, Nested logit, & Probit - <http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/nchrp/cd-22/manual/v2chapter5.pdf>]:

- Ένα άτομο βρίσκεται αντιμέτωπο με ένα πεπερασμένο σύνολο επιλογών από τις οποίες μπορεί να επιλέξει μόνο μία.

- Τα άτομα ανήκουν σε ομοιογενή πληθυσμό, δρουν ορθολογικά, έχουν τέλεια πληροφόρηση και πάντα κάνουν την επιλογή που μεγιστοποιεί την ωφέλεια.
- Αν  $C$  ορίζεται ως το καθολικό σύνολο διακριτών εναλλακτικών επιλογών, και  $J$  ο αριθμός των στοιχείων στο  $C$ , τότε κάθε μέλος του πληθυσμού έχει κάποιο υποσύνολο του  $C$  ως σύνολο επιλογής του. Οι περισσότεροι μετακινούμενοι, ωστόσο, έχουν κάποιο υποσύνολο  $C_n$ , που είναι σημαντικά μικρότερο από ό,τι το  $C$ . Θα πρέπει να αναγνωριστεί ότι ο καθορισμός ενός υποσυνόλου  $C_n$ , που είναι το εφικτό σύνολο επιλογής για ένα άτομο δεν είναι ένα ασήμαντο έργο, ωστόσο αυτό μπορεί να προσδιοριστεί.
- Υπάρχει ένα σύνολο με τα χαρακτηριστικά των μετακινούμενων και των επιλογών τους, τα οποία είναι μετρημένα από τον αναλυτή και σχετικά με τη διαδικασία λήψης αποφάσεων.

Όπως και με την ντετερμινιστική θεωρία ωφέλειας, το άτομο θεωρείται ότι θα επιλέξει μια εναλλακτική λύση, αν η ωφέλειά της είναι μεγαλύτερη από οποιασδήποτε άλλης εναλλακτικής λύσης. Η πρόβλεψη πιθανότητας του αναλυτή προκύπτει από διαφορές μεταξύ των εκτιμώμενων τιμών ωφέλειας και τις τιμές ωφέλειας που χρησιμοποιεί ο μετακινούμενος. Η διαφορά αυτή αναπαριστάται με την ανάλυση της ωφέλειας σε δύο συνιστώσες [Jiao, P., H. Lu and L. Yang (2006)].

- Η μία συνιστώσα της συνάρτησης ωφέλειας αναπαριστά την ωφέλεια που μετρήθηκε από τον αναλυτή και ονομάζεται αντιπροσωπευτική, συστηματική, ή μετρούμενη ωφέλεια.
- Η δεύτερη συνιστώσα είναι η διαφορά μεταξύ της άγνωστης ωφέλειας που χρησιμοποιείται από τον μετακινούμενο και την ωφέλεια που εκτιμά ο αναλυτής. Καθώς, η ωφέλεια που χρησιμοποιείται από τον μετακινούμενο είναι άγνωστη, η διαφορά αναπαρίσταται ως ένα τυχαίο σφάλμα.

Έτσι, έχουμε την συνάρτηση ωφέλειας:

$$U_{it} = V_{it} + \varepsilon_{it} \quad (3.2)$$

όπου  $U_{it}$  είναι η αντιληπτή ωφέλεια της εναλλακτικής λύσης  $i$  για τον μετακινούμενο  $t$ ,  $V_{it}$  είναι η μετρούμενη ωφέλεια που εκτιμάται από τον αναλυτή και  $\varepsilon_{it}$  είναι το σφάλμα της ποσότητας της ωφέλειας που είναι άγνωστη στον αναλυτή.

Ο όρος σφάλμα συμπεριλαμβάνεται στην συνάρτηση ωφέλειας για να συνεκτιμηθεί το γεγονός ότι ο αναλυτής δεν είναι σε θέση να μετράει ή να καθορίζει πλήρως και σωστά όλα τα χαρακτηριστικά που καθορίζουν την αξιολόγηση χρησιμότητας των τρόπων μετακίνησης των ατόμων. Εξ ορισμού, οι όροι σφάλματος είναι απαραίτητοι και μη μετρήσιμοι. Ένα ευρύ φάσμα κατανομών θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για να αντιπροσωπεύσει την κατανομή των σφαλμάτων. Αν τα σφάλματα ακολουθούν κανονική κατανομή, τότε διαμορφώνεται το μοντέλο Probit, ενώ αν τα σφάλματα ακολουθούν Gumbel κατανομή, τότε προκύπτει μοντέλο Logit. Ωστόσο, η μαθηματική πολυπλοκότητα του μοντέλου probit, καθιστά δύσκολη την εκτίμηση, ερμηνεία και πρόβλεψη, με αποτέλεσμα να είναι περιορισμένη η πρακτική χρήση του.

Παρακάτω θα μελετηθούν δύο βασικά μοντέλα logit, το πολυωνυμικό το οποίο είναι από τα πιο διαδεδομένα και εύχρηστα μοντέλα διακριτών επιλογών που χρησιμοποιούνται στην προτυποποίηση της ανθρώπινης συμπεριφοράς [Δερεμπούκα Ε. (2012)], καθώς και το ιεραρχικό μοντέλο, που προκύπτει ως προέκταση του πολυωνυμικού, και στο οποίο θεωρείται η ύπαρξη ενός επιπλέον σφάλματος, το οποίο αντιπροσωπεύει τη συσχέτιση σε μια ομάδα εναλλακτικών λύσεων [Munizaga, M. A. and J de D. Ortuzar (1999)]. Στη σύνθεση, αυτά τα μοντέλα έχουν πολύ απλές δομές συνδιακύμανσης (του όρου σφάλματος), η οποία είναι μια απλουστευτική παραδοχή που δεν είναι πάντα βιώσιμη, ωστόσο επιτρέπει την κατασκευή μοντέλων που είναι εύκολο να κατανοηθούν και να χρησιμοποιηθούν.

### 3.5.1 Πολυωνυμικό μοντέλο Logit

Το πολυωνυμικό μοντέλο Logit (Multinomial Logit Model - MNL) είναι το πιο απλό και πολυχρησιμοποιημένο μοντέλο ανάλυσης διακριτών επιλογών στην βιβλιογραφία [Hensher, D. A. and Greene W. H. (2002)]. Αποτελεί μία γενίκευση του δυαδικού μοντέλου logit και χρησιμοποιείται για να περιγράψει πώς ένα άτομο επιλέγει μεταξύ τριών ή περισσότερων διακριτών εναλλακτικών λύσεων [Danielis, R., and L. Rotaris (1999)].

Η γενική έκφραση για την πιθανότητα να επιλεγεί από έναν μετακινούμενο ή μία εναλλακτική “i” (i = 1,2, ..., J) από ένα σύνολο εναλλακτικών λύσεων J είναι [Luce, R.D. and P. Suppes (1965)]:

$$P_{ni} = \frac{\exp(V_{ni})}{\sum_{i=1}^J \exp(V_{ni})} \quad (3.3)$$

Όπου  $P_{ni}$  είναι η πιθανότητα ο μετακινούμενος να επιλέξει την εναλλακτική  $i$  και  $V_{nj}$  είναι η συστηματική συνιστώσα της ωφέλειας της επιλογής  $j$ . Οι προβλεπόμενες πιθανότητες παίρνουν τιμές από μηδέν έως ένα.

Υπάρχουν τρεις βασικές παραδοχές στις οποίες βασίζεται το μοντέλο MNL [McFadden, D. (1978)]:

- Οι τυχαίες συνιστώσες των ωφελειών ( $\varepsilon_{nj}$ ) των διαφορετικών εναλλακτικών επιλογών είναι ανεξάρτητες και πανομοιότυπα κατανεμημένες (Independent and Identically Distributed - IID) με κατανομή Gumbel ακραίων τιμών τύπου I.
- Το μοντέλο MNL διατηρεί την ομοιογένεια σε σχέση με τα χαρακτηριστικά των εναλλακτικών επιλογών σε όλα τα άτομα.
- Η δομή της διακύμανσης-συνδιακύμανσης σφάλματος των εναλλακτικών λύσεων είναι πανομοιότυπη σε όλα τα άτομα.

Επίσης, το μοντέλο ικανοποιεί το αξίωμα της ανεξαρτησίας των μη σχετικών εναλλακτικών (independence of irrelevant alternatives - IIA), το οποίο μπορεί να διατυπωθεί ως εξής [Lancaster, K. (1971)]:

*Όταν οποιεσδήποτε δύο εναλλακτικές έχουν μία μη μηδενική πιθανότητα να επιλεγούν, η αναλογία της μίας πιθανότητας σε σχέση με την άλλη, δεν επηρεάζεται από την παρουσία ή την απουσία οποιασδήποτε πρόσθετης εναλλακτικής στο σύνολο επιλογής.*

Το MNL έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως σε εφαρμογές επιλογής τρόπου μετακίνησης εξαιτίας της απλής μαθηματικής μορφής του, της ευκολίας στην εκτίμηση και την ερμηνεία, και της δυνατότητας να προσθέτει ή να αφαιρεί εναλλακτικές επιλογές [Jiao, P., H. Lu and L. Yang (2006)]. Ωστόσο, η ιδιότητα IIA θεωρείται ως εν δυνάμει σοβαρό μειονέκτημα που καθιστά το μοντέλο ακατάλληλο σε περίπτωση που υπάρχουν συσχετισμένες εναλλακτικές επιλογές [Ortuzar, J. de D. (2000)]. Το ιεραρχικό μοντέλο (Nested Logit) του McFadden [McFadden, D. (1974)] παρέχει μια γενίκευση που μπορεί να διαχειριστεί το πρόβλημα αυτό, που απαντάνται συχνά σε εφαρμογές μεταφορών.

Το μοντέλο NL αποτελεί το πιο δημοφιλές μέλος της ευρύτερης κατηγορίας των γενικευμένων μοντέλων ακραίων τιμών (generalized extreme value models) και θα μελετηθεί στο παρακάτω υποκεφάλαιο.

### 3.5.2 Ιεραρχικό μοντέλο Logit

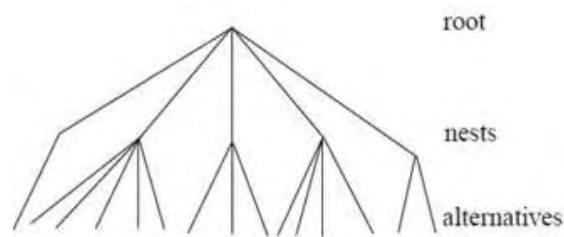
Το μοντέλο (nested logit – NL) είναι κατάλληλο όταν το σύνολο των εναλλακτικών επιλογών μπορεί να χωριστεί σε υποσύνολα, που ονομάζονται φωλιές (nests), κατά τέτοιο τρόπο ώστε να ισχύουν οι ακόλουθες ιδιότητες [Srinivasan, K. K., G. Ramadurai, V. Muthuram and S. Srinivasan (2007)]:

- Για οποιεσδήποτε δύο εναλλακτικές που είναι στην ίδια φωλιά, η αναλογία των πιθανοτήτων είναι ανεξάρτητη από τα χαρακτηριστικά ή την ύπαρξη όλων των άλλων εναλλακτικών. Δηλαδή, η ΠΑ ισχύει μέσα σε κάθε φωλιά.
- Για οποιεσδήποτε δύο εναλλακτικές σε διαφορετικά φωλιές, ο λόγος των πιθανοτήτων μπορεί να εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά των άλλων εναλλακτικών λύσεων στις δύο φωλιές. Η ΠΑ δεν ισχύει για εναλλακτικές σε διαφορετικές φωλιές.

Μία εναλλακτική ανήκει σε μία και μόνο μία φωλιά [Danielis, R., and L. Rotaris (1999)] και θεωρώντας δύο ιεραρχικά επίπεδα (σχήμα 3-2), όπου  $i$  αναπαριστά μία φωλιά και  $j$  μία εναλλακτική επιλογή στην φωλιά  $i$ , η συνάρτηση ωφέλειας μπορεί να εκφραστεί ως [Mitchell, R.C. and R.T. Carson (1989)]:

$$U_{(i,j)} = V_{(i,j)} + \varepsilon_{(i,j)} \quad (3.4)$$

Ο όρος σφάλματος  $\varepsilon_{(i,j)}$  μπορεί να γραφτεί ως εξής:  $\varepsilon_{(i,j)} = \varepsilon_j + \varepsilon_{j/i}$  όπου η μία συνιστώσα είναι κοινή για όλες τις εναλλακτικές στην φωλιά και η άλλη συνιστώσα είναι συγκεκριμένη για κάθε εναλλακτική μέσα στην φωλιά.



Σχήμα3-2:Μοντέλο NL με δύο επίπεδα[33]

Το μοντέλο NL διατηρεί το μεγαλύτερο μέρος των υπολογιστικών πλεονεκτημάτων του μοντέλου MNL [9], καθώς είναι σχετικά εύκολο να εκτιμηθεί, και, έχει λύση κλειστού τύπου [18]. Ωστόσο, παρουσιάζει και κάποια μειονεκτήματα όπως:



Η αναζήτηση για την καλύτερη δομή NL μπορεί να συνεπάγεται την εξέταση πολλών προτύπων φωλιάς, καθώς ο αριθμός των πιθανών δομών αυξάνει γεωμετρικά με τον αριθμό των επιλογών [Sivakumar, A., (2007)].

- Μπορεί να χειριστεί μόνο τόσες αλληλεξαρτήσεις μεταξύ των επιλογών όσες φωλιές έχουν καθοριστεί στη δομή. Επιπλέον, οι εναλλακτικές λύσεις σε μια φωλιά δεν μπορούν να συσχετιστούν με εναλλακτικές λύσεις σε άλλη φωλιά.
- Όπως και το MNL, δεν είναι ένα μοντέλο τυχαίων συντελεστών, οπότε δεν μπορεί να αντιμετωπίσει παραλλαγές στις προτιμήσεις των ατόμων, χωρίς την κατηγοριοποίηση της αγοράς.

Ωστόσο, το NL μοντέλο παραμένει η προτιμώμενη επέκταση του απλού πολυωνυμικού μοντέλου διακριτών επιλογών εξαιτίας της ικανότητάς του να περιλαμβάνει διαφορικούς βαθμούς αλληλεξάρτησης (δηλαδή ομοιότητα) μεταξύ των υποσυνόλων των εναλλακτικών σε ένα σύνολο επιλογής [Goulias, K.G., (2003)].

## Κεφάλαιο 4. Διερεύνηση συμπεριφοράς μετακινούμενων

### 4.1 Έρευνα για συλλογή της πληροφορίας

Η ανάπτυξη ενός ισχυρού μοντέλου είναι αρκετά δύσκολη, εάν ο αναλυτής δεν μπορεί να πραγματοποιήσει πειράματα για να παρατηρήσει τη συμπεριφορά του συστήματος κάτω από ένα ευρύ φάσμα συνθηκών [Ortuzar, J. de D. (2000)]. Ο πειραματισμός αυτού του είδους δεν είναι ούτε πρακτικός, ούτε βιώσιμος στις μεταφορές και ο αναλυτής περιορίζεται να κάνει παρατηρήσεις σχετικά με γεγονότα και επιλογές που δεν ελέγχει. Μέχρι τα μέσα της δεκαετίας του 1980 ήταν σχεδόν αυτονόητο ότι η μοντελοποίηση της ζήτησης μεταφορών βασίζονταν σε πληροφορίες σχετικές με την πραγματική συμπεριφορά των μετακινούμενων σε πραγματικό πλαίσιο, δηλαδή σε *δεδομένα εκδηλωμένων προτιμήσεων*.

Στα τέλη της δεκαετίας του 1970, προβλήματα που προέκυπταν από την χρήση των παραπάνω δεδομένων, αντιμετωπίστηκαν με τα *δεδομένα δεδηλωμένων προτιμήσεων*, τα οποία αφορούν την συμπεριφορά των μετακινούμενων σε πλασματικά σενάρια. Αυτά, βέβαια, μπορούν να καλύψουν ένα ευρύτερο φάσμα χαρακτηριστικών και συνθηκών σε σχέση με το πραγματικό σύστημα.

Για τον προσδιορισμό της μορφής και των συντελεστών των συγκοινωνιακών μοντέλων χρειάζονται κάποιες πρωταρχικές πληροφορίες σχετικά με την συμπεριφορά των μετακινούμενων [Bradley, M.A. and Daly A.J. (1991)]. Οι έρευνες για την συλλογή αυτών των πληροφοριών κατατάσσονται σε δύο κατηγορίες:

- ◆ Έρευνες εκδηλωμένων προτιμήσεων (Revealed Preferences surveys - RP).
- ◆ Έρευνες δεδηλωμένων προτιμήσεων (Stated Preferences surveys– SP).

Η αξιοπιστία ενός συγκοινωνιακού μοντέλου και των προβλέψεων που κάνει εξαρτάται από την ποιότητα των στοιχείων που περιγράφουν την συμπεριφορά των μετακινούμενων κάτω από ευρύ φάσμα διαφορετικών συνθηκών [Παπαγιαννάκης, Α. , Γιαννόπουλος Γ., Αϊφαντοπούλου-Κλήμη Γ. (2004)].

Στα επόμενα κεφάλαια θα αναφερθούν τόσο τα πλεονεκτήματα, όσο και τα μειονεκτήματα και των δύο μεθόδων.

## 4.2 Έρευνα εκδηλωμένων προτιμήσεων

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, η έρευνα εκδηλωμένων προτιμήσεων αφορά πραγματικές ή παρατηρούμενες επιλογές των μετακινούμενων. Η συνήθης μορφή των δεδομένων αυτών είναι αυτή των επιλογών που αναφέρθηκαν σε έρευνες μετακινούμενων, οι οποίες στη συνέχεια συνδέονται με τα χαρακτηριστικά των εναλλακτικών επιλογών που είναι στη διάθεσή τους. Τα συλλεγόμενα στοιχεία μπορεί να αφορούν το δίκτυο εθνικής οδού και δημόσιων μεταφορών, δημογραφικά και κοινωνικοοικονομικά δεδομένα, καθώς και δεδομένα υποβάθρου που συλλέγονται στο πλαίσιο της έρευνας [Bony, P.H.L. , R. Uges and S. Hoogendoorn-Lanser (2003)].

Το μεγαλύτερο πλεονέκτημα τους είναι ότι αντανακλούν την πραγματική συμπεριφορά των μετακινούμενων. Ωστόσο, τα δεδομένα RP παρουσιάζουν κάποιους περιορισμούς :

- Οι παρατηρήσεις των πραγματικών επιλογών μπορεί να μην παρέχουν επαρκή μεταβλητότητα για την κατασκευή κατάλληλων μοντέλων για αξιολόγηση και πρόβλεψη [Ortuzar, J. de D. (2000)].

Συνήθως χρησιμοποιούνται μόνο πρωτογενείς επεξηγηματικές μεταβλητές επειδή μπορούν να εκφραστούν σε «μηχανικές» μονάδες, ενώ δευτερεύουσες μεταβλητές (όπως σε μελέτες μεταφοράς επιβατών, ο σχεδιασμός του καθίσματος ή οι εγκαταστάσεις του σταθμού) σπάνια χρησιμοποιούνται [Koppelman, F. S. and C. Bhat (2006)].

- Οι δυσκολίες στη συλλογή απαντήσεων για πολιτικές που είναι εντελώς καινούριες, για παράδειγμα, έναν εντελώς νέο τρόπο μετακίνησης [Ortuzar, J. de D. (2000)].

Τα δεδομένα μπορεί να είναι δαπανηρά ή δύσκολο να συλλεχθούν [Daly, A.J. and Ortuzar, J. de D. (1990)].

- Το σύνολο επιλογών ή τα σφάλματα μέτρησης ενδέχεται να είναι δύσκολο να εντοπιστούν.

Οι περιορισμοί αυτοί θα μπορούσαν να ξεπεραστούν, αν πραγματοποιούνταν αληθινά ελεγχόμενα πειράματα εντός των πόλεων ή των συστημάτων μεταφοράς, αλλά οι ευκαιρίες για να γίνει αυτό στην πράξη είναι πολύ περιορισμένες. Στον τομέα των μεταφορών, η ανάλυση συχνά βασίζονταν σε δεδομένα εκδηλωμένων προτιμήσεων. Αλλά τις τελευταίες δύο δεκαετίες, έρευνες δεδηλωμένων προτιμήσεων έχουν σταδιακά εισαχθεί στην ανάλυση της ζήτησης επιβατικών μεταφορών [Daly, A.J. and Ortuzar, J. de D. (1990)]. Οι έρευνες αυτές έχουν ως αντικείμενο τη συλλογή δεδομένων σχετικά με

τις προθέσεις του ερωτώμενου σε υποθετικές περιπτώσεις και θα μελετηθούν περαιτέρω στα επόμενα κεφάλαια.

### 4.3 Έρευνα δεδηλωμένων προτιμήσεων

Τα στοιχεία που συλλέγονται κατά την διάρκεια αυτών των ερευνών προκύπτουν όταν στους ερωτηθέντες παρουσιάζονται υποθετικές καταστάσεις επιλογής και αυτοί δηλώνουν ποιες είναι οι επιλογές τους σε αυτές τις καταστάσεις. Έχουν χρησιμοποιηθεί σε περιπτώσεις όπου η παρατηρούμενη συμπεριφορά επιλογής δεν είναι επαρκής για την μοντελοποίηση [Bovy, P.H.L. , R. Uges and S. Hoogendoorn-Lanser (2003)].

Οι τρεις πιο κοινές μέθοδοι δεδηλωμένων προτιμήσεων είναι:

- ◆ *Ενδεχόμενη αποτίμηση* (contingent valuation - CV). Ασχολείται αποκλειστικά με την εκμείευση πληροφοριών σχετικά με την προθυμία του ερωτώμενου να πληρώσει για διάφορες πολιτικές ή προϊόντα [Minal, Ch. R. Sekhar (2014)]. Στην περίπτωση αυτή, η πολιτική παρουσιάζεται στους ερωτηθέντες, οι οποίοι στη συνέχεια πρέπει να απαντήσουν κατά πόσο είναι πρόθυμοι να πληρώσουν για αυτήν.
- ◆ *Συνδυασμένη ανάλυση* (conjoint analysis- CA).Στους ερωτηθέντες παρουσιάζεται μια σειρά εναλλακτικών πολιτικών ή προϊόντων και καλούνται είτε να βαθμολογήσουν είτε να κατατάξουν τις επιλογές αυτές.
- ◆ *Δήλωση επιλογής* (stated choice- SC).Οι μελέτες αυτές είναι παρόμοιες με τις μεθόδους CA, εφόσον στους ερωτηθέντες παρουσιάζεται μια σειρά υποθετικών εναλλακτικών επιλογών. Ωστόσο, οι δύο μέθοδοι διαφέρουν ως προς την απόκριση. Οι ερωτηθέντες σε μια έρευνα SC, πρέπει να επιλέξουν την προτιμώμενη εναλλακτική από ένα υποσύνολο του συνολικού αριθμού υποθετικών εναλλακτικών που κατασκευάστηκε από τον αναλυτή.

Στον τομέα των μεταφορών, οι τεχνικές SC έχουν την τάση να κυριαρχούν [Nurdden, A., R.A. O.K. Rahmat and A. Ismail (2007)] και για το λόγο αυτό, θα μελετηθούν περαιτέρω. Τα κύρια χαρακτηριστικά μιας έρευνας SC μπορούν να συνοψιστούν ως εξής [Ortuzar, J. de D. (2000)]:

- ◆ Βασίζεται στην εκμείευση δηλώσεων από τους ερωτώμενους για το πώς θα ανταποκριθούν σε διαφορετικές υποθετικές εναλλακτικές.
- ◆ Κάθε επιλογή αναπαρίσταται ως ένα «πακέτο» διαφορετικών χαρακτηριστικών, όπως χρόνος μετακίνησης, κόστος, πρόοδος, αξιοπιστία και ούτω καθεξής.

- ◆ Ο αναλυτής κατασκευάζει υποθετικές εναλλακτικές επιλογές έτσι ώστε να μπορεί να εκτιμηθεί η μεμονωμένη επίδραση κάθε χαρακτηριστικού. Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση πειραματικών τεχνικών σχεδιασμού που εξασφαλίζουν ότι οι παράμετροι των επιλεγμένων χαρακτηριστικών εκτιμώνται με τα μικρότερα τυπικά σφάλματα.
- ◆ Ο ερευνητής πρέπει να βεβαιωθεί ότι θα δοθούν στους ερωτηθέντες υποθετικές εναλλακτικές επιλογές που μπορούν να κατανοήσουν, φαίνονται εύλογες και ρεαλιστικές, και σχετίζονται με τις μετακινήσεις που πραγματοποιούν τώρα.

Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα των ερευνών δεδηλωμένων προτιμήσεων είναι ότι δίνουν την δυνατότητα ανάλυσης αντιδράσεων για μελλοντικές, μη υπάρχουσες επιλογές, η συλλογή δεδομένων έχει χαμηλό κόστος, το σύνολο επιλογής είναι καθορισμένο με ακρίβεια και τέλος το ότι δίνονται πολλαπλές απαντήσεις από κάθε ερωτώμενο, με αποτέλεσμα την καλύτερη εκτίμηση των εξατομικευμένων μοντέλων [Bradley, M.A. and Daly A.J. (1991)].

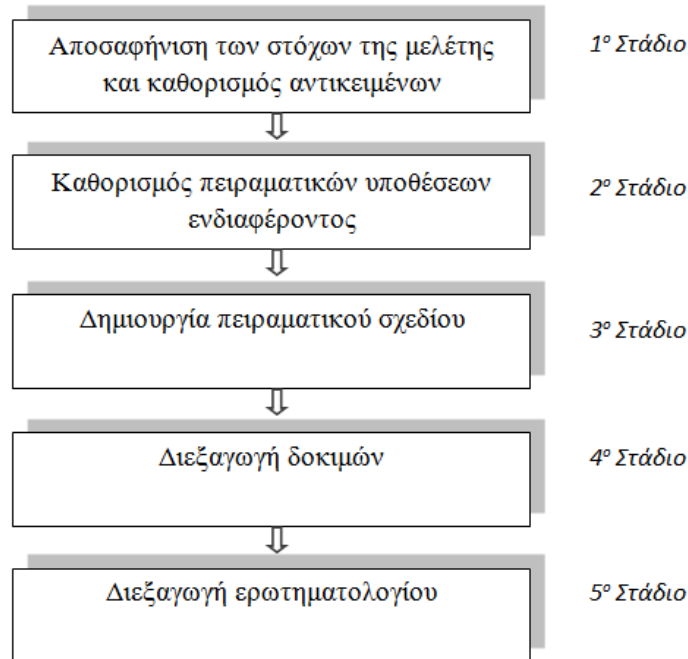
Ο περιορισμός αυτών των ερευνών είναι το γεγονός ότι οι άνθρωποι συχνά πράττουν τελικά διαφορετικά στην πραγματικότητα σε σχέση με τις απαντήσεις που δίνουν στα υποθετικά σενάρια των ερευνών. Οι ερωτώμενοι μπορεί να μην ξέρουν τι θα έκαναν εάν μια υποθετική κατάσταση ήταν πραγματική ή μπορεί να μην είναι πρόθυμοι να πουν τι θα κάνουν. Στην πραγματικότητα, η ιδέα των ερωτηθέντων για το τι θα έκαναν, μπορεί να επηρεαστεί από παράγοντες που δεν προκύπτουν στις πραγματικές καταστάσεις επιλογής, όπως η αντίληψή τους για ότι ο ερευνητής αναμένει ή θέλει ως απαντήσεις.

Μερικές γνωστές προκαταλήψεις που περιλαμβάνονται στα δεδομένα δεδηλωμένων προτιμήσεων είναι [Purvis, C. L. (1997)] ότι οι ερωτηθέντες προσπαθούν να δικαιολογήσουν την πραγματική συμπεριφορά τους ή ότι προσπαθούν να ελέγξουν πολιτικές. Για τον λόγο αυτό απαιτείται προσεκτική ερμηνεία των δεδομένων αυτών.

#### **4.4 Σχεδιασμός πειράματος δεδηλωμένων προτιμήσεων**

Η διαδικασία συγκρότησης αποτελεσματικών ερευνών SP είναι πολύπλοκη και χρονοβόρα και κατά τη διάρκεια της ο αναλυτής θα πρέπει να ακολουθήσει πέντε βασικά στάδια(σχήμα 2)[Ortuzar, J. de D. (2000)].

- ◆ 1<sup>ο</sup> στάδιο: «Αποσαφήνιση των στόχων της μελέτης και καθορισμός αντικειμένων ενδιαφέροντος». Το πρώτο στάδιο περιλαμβάνει τον προσδιορισμό του πληθυσμού ενδιαφέροντος, καθώς και την τελειοποίηση των πειραματικών στόχων, ή εναλλακτικών που θα μελετηθούν. Οι ορισμοί και περιγραφές των νέων εναλλακτικών θα πρέπει επίσης να καθορίζονται και να δοκιμάζονται.
- ◆ 2<sup>ο</sup> στάδιο: «Καθορισμός πειραματικών υποθέσεων». Το δεύτερο στάδιο απαιτεί την περιγραφή του συνόλου των υποθέσεων που αντανακλούν τη συνολική πεποίθησή του αναλυτή ως προς το τι ιδιότητες είναι σημαντικές να παρουσιαστούν για τον πειραματικό σχεδιασμό. Αυτές οι υποθέσεις θα υπαγορεύσουν τις στατιστικές ιδιότητες του σχεδίου που παράγεται στο Στάδιο 3 της διαδικασίας. Δυστυχώς, στη συντριπτική πλειοψηφία των μελετών SP, το δεύτερο στάδιο συνήθως αγνοείται, καθώς οι ερευνητές δημιουργούν σχέδια χωρίς πλήρη εκτίμηση του ποιες υποθέσεις οδήγησαν σε αυτά, ή αν τα παραγόμενες σχέδια είναι κατάλληλα για την κάλυψη των αναγκών της μελέτης.
- ◆ 3<sup>ο</sup> στάδιο: «Δημιουργία πειραματικού σχεδίου». Το στάδιο αυτό περιλαμβάνει τον καθορισμό του σχεδίου, όπως τον αριθμό των επιλογών, τυχόν περιορισμούς.
- ◆ 4<sup>ο</sup> στάδιο: «Διεξαγωγή δοκιμών». Το στάδιο αυτό αντιπροσωπεύει ένα ιδανικό και όχι αναγκαίο στάδιο στη διαδικασία. Δυστυχώς, όπως με το Στάδιο 2, συχνά αγνοείται στην πράξη. Σε αυτό το στάδιο, ο αναλυτής εκτελεί δοκιμές, συνήθως με τη μορφή προσομοιώσεων, προκειμένου να καθορίσει τον τρόπο με τον οποίο το σχέδιο είναι πιθανό να εκτελεστεί στην πράξη. Αυτό το είδος των δοκιμών μπορεί να επιτρέψει στον αναλυτή να διορθώσει τυχόν προβλήματα με το σχεδιασμό πριν πάει στο πεδίο.
- ◆ 5<sup>ο</sup> στάδιο: «Διεξαγωγή ερωτηματολογίου». Το τελικό στάδιο της διαδικασίας περιλαμβάνει την δημιουργία του ερωτηματολογίου που θα δοθεί στους ερωτηθέντες.



**Σχήμα 4-3: Βήματα σχεδιασμού πειράματος δεδηλωμένων προτιμήσεων**

Ο σωστός σχεδιασμό μίας έρευνας SP στηρίζεται σε μεγάλο βαθμό στην εμπειρία του αναλυτή, ωστόσο υπάρχουν κάποια κύρια χαρακτηριστικά, τα οποία προκύπτουν από πολλά χρόνια έρευνας και πειραματισμού και συνοψίζονται παρακάτω [Bradley, M.A. and Daly A.J. (1991)]:

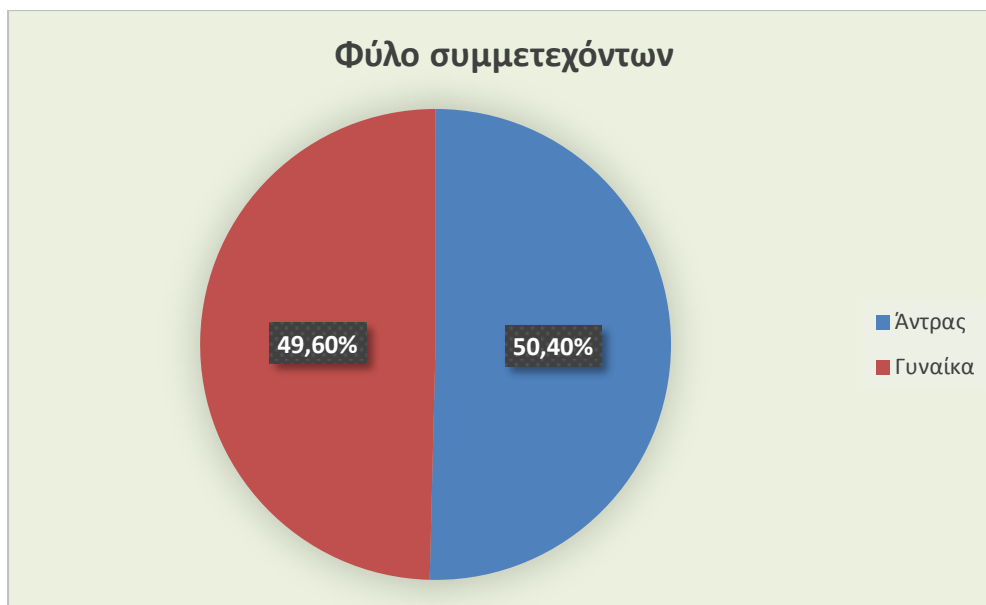
- ◆ Τα αποτελέσματα των ερευνών SP είναι σημαντικά καλύτερα αν τα σενάρια επιλογής είναι στην άμεση εμπειρία του ερωτηθέντος.
- ◆ Η πρόταση ενός περιορισμένου αριθμού εναλλακτικών επιλογών που ορίζεται από ένα μειωμένο αριθμό χαρακτηριστικών οδηγεί σε καλύτερα αποτελέσματα.
- ◆ Περιορισμός του αριθμού των σεναρίων που προτείνονται σε κάθε ερωτώμενο, προκειμένου να αποφεύγεται η αλλοίωση της ποιότητας των αποτελεσμάτων εξαιτίας κούρασης. Πολλά παραδείγματα δείχνουν ότι κάθε ερωτώμενος θα πρέπει να έρχεται αντιμέτωπος με όχι περισσότερα από εννέα ή δέκα σενάρια.

Η τελευταία πτυχή συνδέεται στενά με την πιο θεωρητική φάση της έρευνας σχεδιασμού, δηλαδή την επιλογή σεναρίου. Στις περισσότερες περιπτώσεις ο αριθμός των σεναρίων που είναι θεωρητικά δυνατός είναι πολύ μεγάλος.

## Κεφάλαιο 5 Εφαρμογή στον Βόλο

### 5.1 Περιγραφική στατιστική

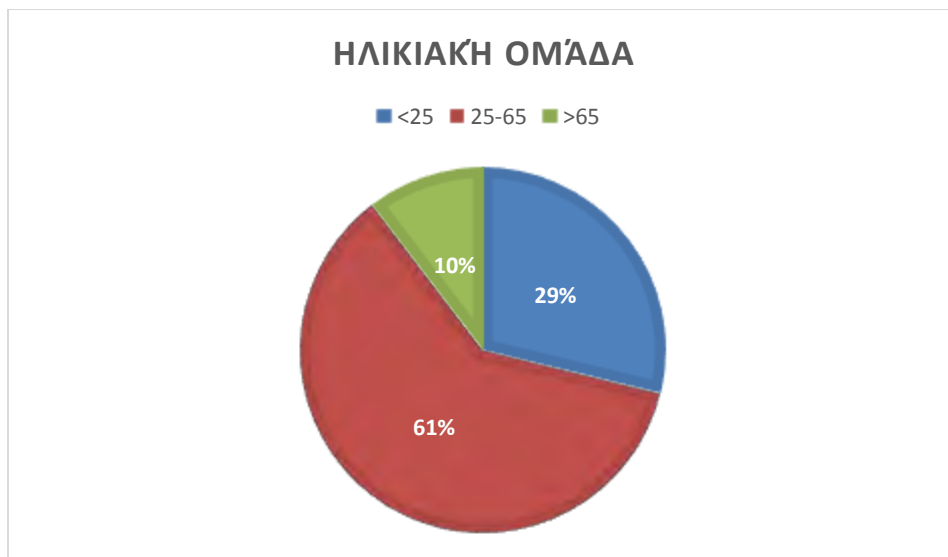
Στο Σχήμα 1 δίνεται η κατανομή των συμμετεχόντων ως προς το φύλο τους. Συνολικά στο αρχείο δεδομένων είχαμε την καταγραφή 7366 μετακινήσεων εκ των οποίων το 50.4% (N=3693) έγινε από άντρες και το 49.6% (N=3635) έγινε από γυναίκες.



Σχήμα 1 Κατανομή συμμετεχόντων ως προς το φύλο τους

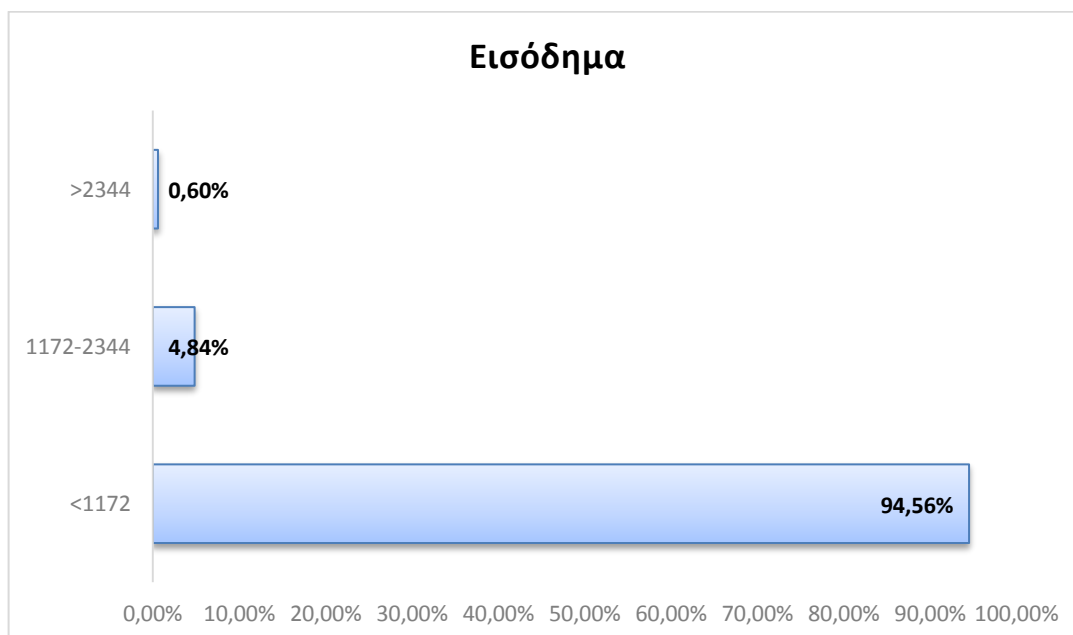
Όσον αφορά την ηλικία των ατόμων που συμμετείχαν στην έρευνα προέκυψε ότι η μέση ηλικία τους ήταν 34.02 έτη με εύρος ηλικιών από 8 έως 91 έτη. Η κατανομή της ηλικίας των συμμετεχόντων δίνεται στο Σχήμα 2. Από το Σχήμα 2 παρατηρούμε ότι το 61% (N=4478) των συμμετεχόντων ήταν μεταξύ των 25 και 65 ετών, το 29% (N=763) ήταν κάτω των 25 ετών και το 10% (N=763) ήταν άνω των 65 ετών.





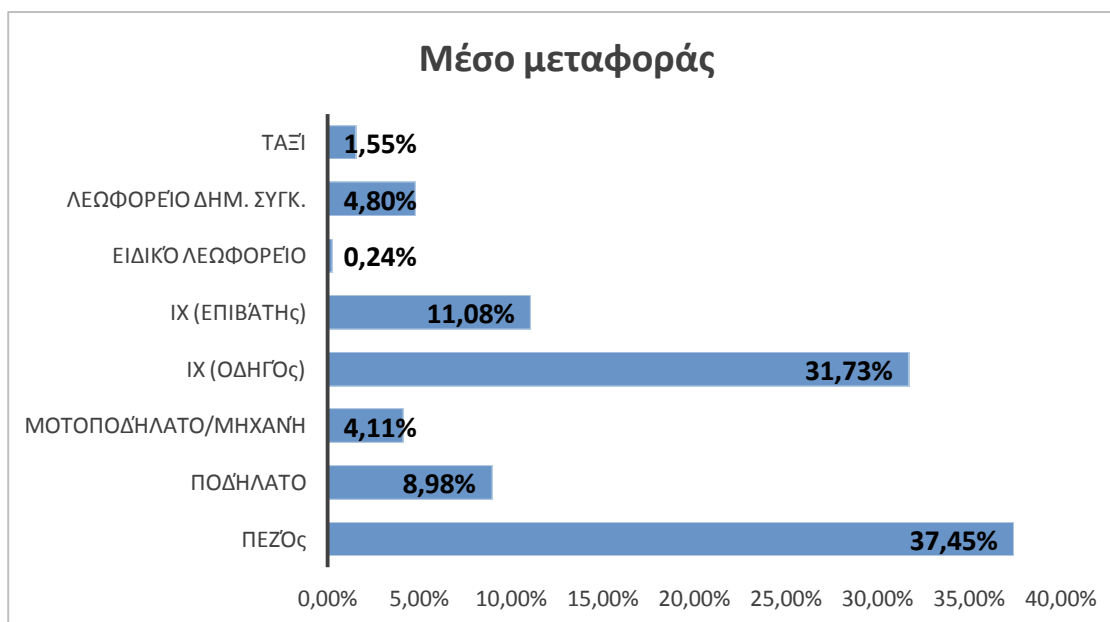
**Σχήμα 2 Κατανομή συμμετεχόντων ως προς το φύλο τους**

Στο Σχήμα 3 δίνεται η κατανομή των συμμετεχόντων ως προς το εισόδημα τους από όπου και παρατηρούμε ότι το 94.56% των συμμετεχόντων είχαν εισόδημα έως 1172 ευρώ μηνιαίως ενώ μόλις το 4.84% είχε εισόδημα 1172 έως 2344 ευρώ και το 0.6% είχε εισόδημα μεγαλύτερο από 2344 ευρώ.



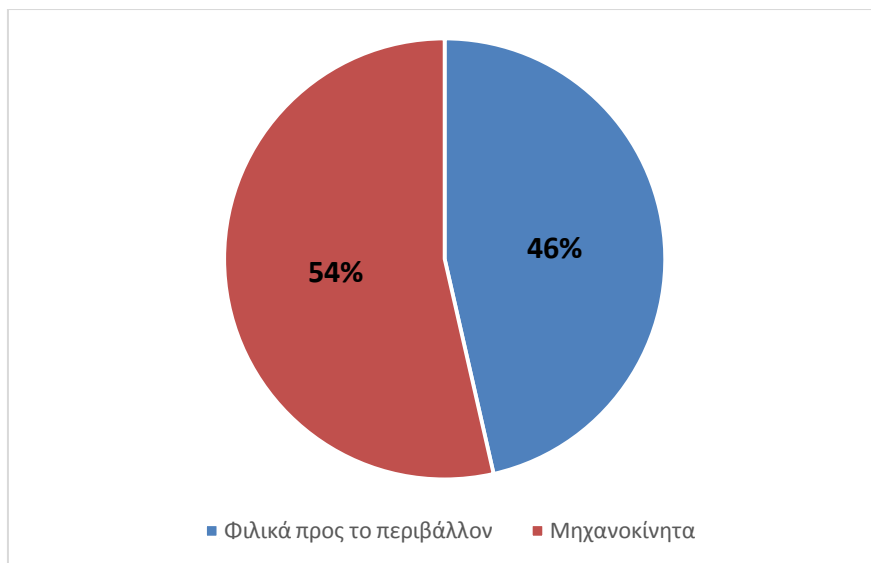
**Σχήμα 3 Κατανομή συμμετεχόντων ως προς το εισόδημα τους**

Στο Σχήμα 4 δίνεται η κατανομή του μέσου που επέλεξαν για τις μετακινήσεις τους οι συμμετέχοντες. Από το σύνολο των 7366 μετακινήσεων το 37.45% (N=2690) ήταν με τα πόδια (πεζή), το 31.73% (N=2279) αφορούσε μετακινήσεις με ΙΧ όπου ο συμμετέχοντας ήταν οδηγός ενώ το 11.08% (N=796) αφορούσε μετακινήσεις με ΙΧ όπου ο συμμετέχοντας ήταν επιβάτης. Επιπλέον, το 8.98% (N=645) των μετακινήσεων αφορούσε μετακινήσεις με ποδήλατο, το 4.8% (N=345) αφορούσε μετακινήσεις με λεωφορείο δημόσιων συγκοινωνιών και το 4.11 (N=295) αφορούσε μετακινήσεις με μοτοποδήλατο/μηχανή. Τέλος, μικρότερο ποσοστό μετακινήσεων έγινε με ταξί (N=111, 1.55%) και με ειδικό λεωφορείο (N=17, 0.24%).



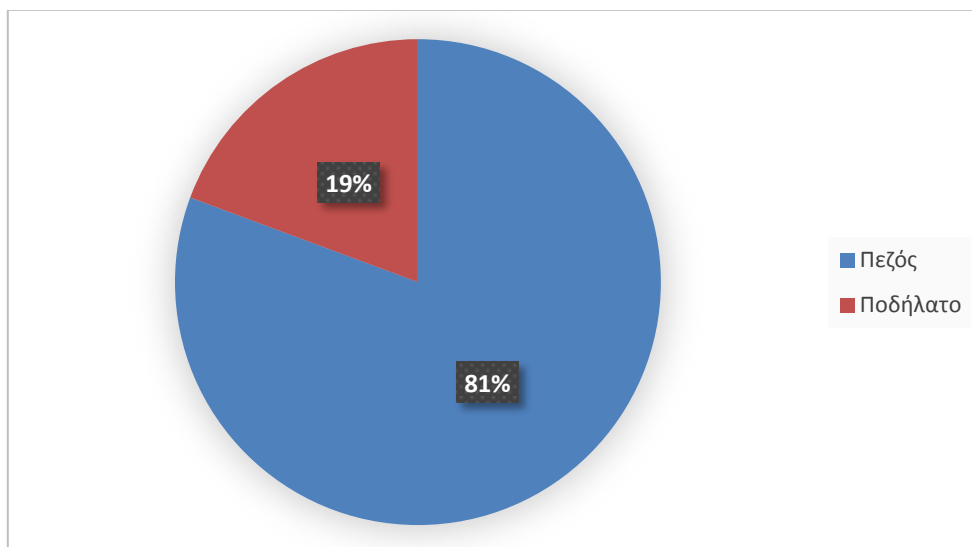
**Σχήμα 4 Κατανομή συμμετεχόντων ως προς το μέσο μεταφοράς.**

Στην συνέχεια τα αποτελέσματα διαχωρίστηκαν ανάλογα με το αν οι μετακινήσεις γίνονται με μηχανοκίνητο μέσο μεταφοράς ή με μέσο μεταφοράς φιλικό προς το περιβάλλον. Από το Σχήμα 5 παρατηρούμε ότι το 54% των μετακινήσεων έγινε με χρήση μηχανοκίνητου μέσου ενώ το 46% των μετακινήσεων έγινε με φιλικό ως προς το περιβάλλον τρόπο.



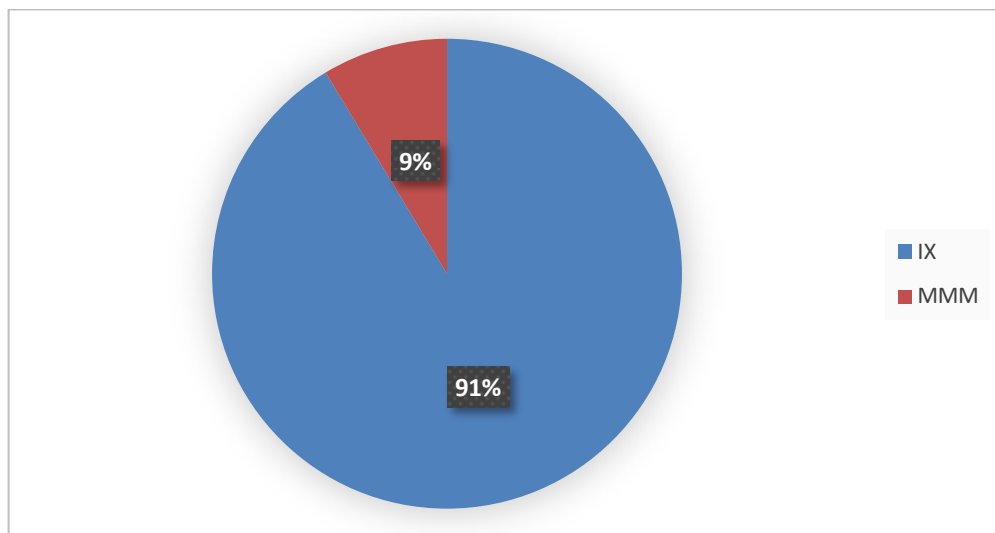
**Σχήμα 5 Κατανομή συμμετεχόντων ανάλογα με το αν επιλέγουν φιλικά προς το περιβάλλον μέσα μεταφοράς ή μηχανοκίνητα**

Επιπλέον, στο Σχήμα 6 δίνονται τα αποτελέσματα που αφορούν μόνο τις μετακινήσεις τις φιλικές προς το περιβάλλον. Από τα αποτελέσματα παρατηρούμε ότι από το σύνολο των 3514 μετακινήσεων φιλικών προς το περιβάλλον το 81% αφορούσε μετακινήσεις με τα πόδια και το 19% αφορούσε μετακινήσεις με ποδήλατο.



**Σχήμα 6 Κατανομή συμμετεχόντων που χρησιμοποιούν φιλικά προς το περιβάλλον μέσα μεταφοράς**

Τέλος, στο Σχήμα 7 δίνονται τα αποτελέσματα που αφορούν μόνο τις μετακινήσεις με μηχανοκίνητο μέσο. Από τα αποτελέσματα παρατηρούμε ότι από το σύνολο των 3849 μετακινήσεων με μηχανοκίνητο μέσο το 91% αφορούσε μετακινήσεις με ΙΧ και μόλις το 9% αφορούσε μετακινήσεις με μέσο μαζικής μεταφοράς.



Σχήμα 7 Κατανομή συμμετεχόντων που χρησιμοποιούν μηχανοκίνητα μέσα μεταφοράς

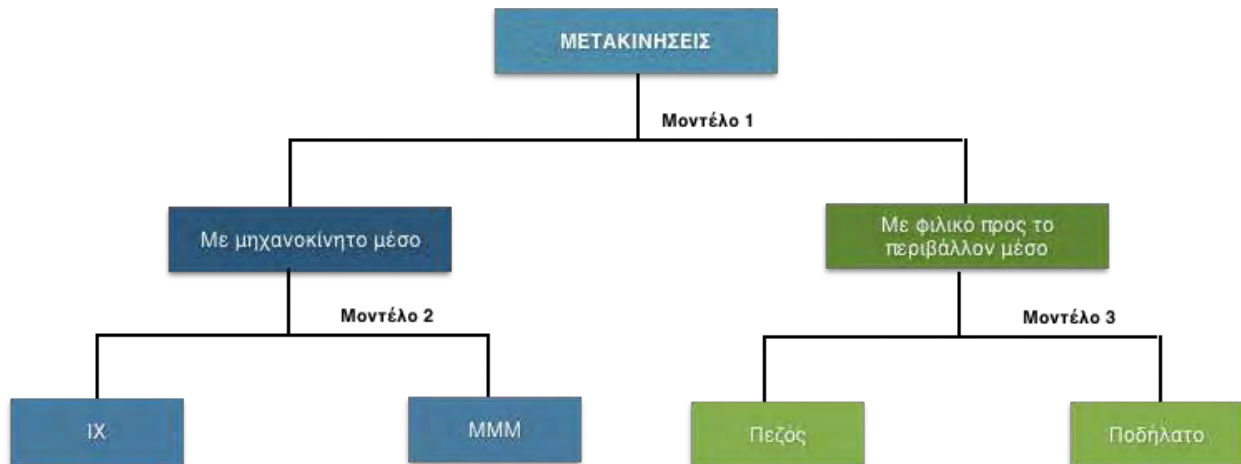
## 5.2 Μοντέλα επιλογών μετακινούμενων στο Βόλο

Σκοπός της εφαρμογής ήταν η διερεύνηση των προτιμήσεων των κατοίκων του Βόλου ως προς την επιλογή του μέσου μεταφοράς και του κατά πόσο αυτή η επιλογή επηρεάζεται από τα χαρακτηριστικά τους (φύλο, ηλικία, εισόδημα κτλ) καθώς και από το χρόνο μετακίνησης του κάθε μέσου. Για το σκοπό αυτό αναπτύχθηκαν logit μοντέλα. Αναλυτικότερα εφαρμόστηκαν 3 μοντέλα:

1. Μοντέλο 1: Για την διερεύνηση της πιθανότητας επιλογής μεταξύ μηχανοκίνητου μέσου μεταφοράς και φιλικού προς το περιβάλλον μέσου μεταφοράς
2. Μοντέλο 2: Για την διερεύνηση της πιθανότητας επιλογής μεταξύ των μηχανοκίνητων μέσων μεταφοράς (επιλογή μεταφοράς με ΙΧ ή επιλογή μεταφοράς με Μέσο Μαζικής Μεταφοράς)

3. Μοντέλο 3: Για την διερεύνηση της πιθανότητας επιλογής μεταξύ των φιλικών προς το περιβάλλον μέσων μεταφοράς (επιλογή μεταφοράς με ποδήλατο ή επιλογή μεταφοράς με τα πόδια)

Στην Εικόνα 1 δίνεται διαγραμματικά η απεικόνιση των τριών μοντέλων.



**Σχήμα 7 Μοντέλα logit που διερευνήθηκαν**

Από τα μοντέλα που θα αναπτυχθούν θα μπορέσουμε να έχουμε μια εκτίμηση της πιθανότητας επιλογής του μεταφορικού μέσου ανάλογα με τα χαρακτηριστικά των ατόμων. Για παράδειγμα θα μπορέσουμε να απαντήσουμε σε μια ερώτηση της μορφής: Αν έχουμε έναν άντρα ηλικίας 42 ετών με εισόδημα 900 ευρώ είναι πιθανότερο να επιλέξει να κινηθεί με μηχανοκίνητο μέσο μεταφοράς ή με φιλικό προς το περιβάλλον μέσο μεταφοράς ?

### **5.2.1 Μοντέλο για την επιλογή μηχανοκίνητου ή φιλικού προς το περιβάλλον μέσου μεταφοράς**

Στο πρώτο μοντέλο εξετάζεται κατά πόσο η επιλογή μηχανοκίνητου ή φιλικού προς το περιβάλλον μέσου μεταφοράς μπορεί να προβλεφθεί από τα χαρακτηριστικά των κατοίκων ή

από το χρόνο μετακίνησης. Η εξαρτημένη μεταβλητή είναι η επιλογή ή όχι μηχανοκίνητου μέσου μεταφοράς. Αναλυτικότερα η εξαρτημένη μεταβλητή είναι η:

$$Y = \begin{cases} 1, & \text{αν επιλέγει μηχανοκίνητο μέσο μεταφοράς} \\ 0, & \text{αν δεν επιλέγει μηχανοκίνητο μέσο μεταφοράς} \end{cases}$$

Πρακτικά η τιμή  $Y=0$  συνεπάγεται ότι ο κάτοικος επιλέγει φιλικό προς το περιβάλλον μέσο μεταφοράς.

Οι ανεξάρτητες μεταβλητές της έρευνας ορίστηκαν να είναι:

- Το φύλο ( $X_1$ )
- Η ηλικιακή ομάδα ( $X_2$ )
- Το εισόδημα ( $X_3$ )
- Αριθμός ΙΧ στην οικογένεια ( $X_4$ )
- Διάρκεια μετακίνησης ( $X_5$ )

Οι πρώτες 4 μεταβλητές αφορούν τα ατομικά χαρακτηριστικά των κατοίκων ενώ η 5η μεταβλητή αφορά ένα χαρακτηριστικό του μέσου μετακίνησης που επιλέγουν. Εφόσον οι μεταβλητές  $X_2$ ,  $X_3$  και  $X_4$  έχουν περισσότερες από 2 κατηγορίες πρέπει να δημιουργηθούν νέες μεταβλητές ορίζοντας κάθε φορά μια κατηγορία αναφοράς. Έτσι έχουμε:

1. Για την ηλικία ορίζουμε ως κατηγορίας αναφοράς την ηλικιακή ομάδα έως 25 ετών και έχουμε τις εξής μεταβλητές:

- $X_{21} = \begin{cases} 1, & \text{αν ο κάτοικος είναι ηλικίας } 25 - 44 \\ 0, & \text{αν ο κάτοικος δεν είναι ηλικίας } 25 - 44 \end{cases}$
- $X_{22} = \begin{cases} 1, & \text{αν ο κάτοικος είναι ηλικίας άνω των } 44 \\ 0, & \text{αν ο κάτοικος δεν είναι ηλικίας άνω των } 44 \end{cases}$

2. Για το εισόδημα ορίζουμε ως κατηγορίας αναφοράς τα άτομα που έχουν εισόδημα έως 1172 ευρώ και έχουμε τις εξής μεταβλητές:

- $X_{31} = \begin{cases} 1, & \text{αν ο κάτοικος έχει εισόδημα από } 1172 \text{ έως } 2344 \\ 0, & \text{αν ο κάτοικος δεν έχει εισόδημα από } 1172 \text{ έως } 2344 \end{cases}$
- $X_{32} = \begin{cases} 1, & \text{αν ο κάτοικος έχει εισόδημα άνω των } 2344 \\ 0, & \text{αν ο κάτοικος δεν έχει εισόδημα άνω των } 2344 \end{cases}$

3. Για τον αριθμό ΙΧ ορίζουμε ως κατηγορίας αναφοράς τα άτομα που δεν έχουν ΙΧ στην οικογένεια τους και έχουμε τις εξής μεταβλητές:

- $X_{41} = \begin{cases} 1, & \text{αν ο κάτοικος έχει 1 IX} \\ 0, & \text{αν ο κάτοικος δεν έχει 1 IX} \end{cases}$
- $X_{42} = \begin{cases} 1, & \text{αν ο κάτοικος έχει 2 IX} \\ 0, & \text{αν ο κάτοικος δεν έχει 2 IX} \end{cases}$

4. Σκοπός είναι να εκτιμήσουμε την πιθανότητα:

$$\hat{p}_i = \Pr(Y_i = 1 | X_{1i} = x_1, X_{21i} = x_{21}, \dots, X_{5i} = x_5) \\ = \frac{\exp(b_0 + b_1 X_{1i} + b_2 X_{21i} + \dots + b_5 X_{5i})}{1 + \exp(b_0 + b_1 X_{1i} + b_2 X_{21i} + \dots + b_5 X_{5i})}$$

που είναι η πιθανότητα ένα άτομο με χαρακτηριστικά  $X_1, X_2, X_3, X_4$  και  $X_5$  να επιλέξει μηχανοκίνητο μέσο μεταφοράς έναντι φιλικών προς το περιβάλλον μέσων μεταφοράς.

5. Αν μετασχηματίσουμε το μοντέλο παίρνουμε την εξής μορφή:

$$\log\left(\frac{\hat{p}_i}{1 - \hat{p}_i}\right) = b_0 + b_1 X_1 + b_{21} X_{21} + b_{22} X_{22} + b_{31} X_{31} + b_{32} X_{32} + b_{41} X_{41} + b_{42} X_{42} + b_5 X_5$$

6. Εκτιμώντας τους συντελεστές  $b_i$  μέσω κατάλληλου λογισμικού (SPSS, γλώσσα R κτλ) θα μπορούσαμε να εκτιμήσουμε την πιθανότητα  $\hat{p}_i$  μέσω της σχέσης

$$\hat{p}_i = \frac{\exp(b_0 + b_1 X_{1i} + b_2 X_{21i} + \dots + b_5 X_{5i})}{1 + \exp(b_0 + b_1 X_{1i} + b_2 X_{21i} + \dots + b_5 X_{5i})}$$

Για την εκτίμηση των συντελεστών  $b_i, i=1,2,3,4,5$  χρησιμοποιήθηκε το SPSS v21 το οποίο παρέχει αυτοματοποιημένη διαδικασία εκτίμησης των συντελεστών ενώ logit μοντέλου. Τα αποτελέσματα αυτής της διαδικασίας συνοψίζονται στον Πίνακα 1.

Πίνακας 1 Εκτίμηση των παραμέτρων  $b_i$  του μοντέλου logit

Μεταβλητή	b	Τυπικό σφάλμα	p
$X_1$	-0.015	0.056	0.789
$X_{21}$	0.303	0.105	0.004*
$X_{22}$	0.230	0.097	0.018*
$X_{31}$	0.157	0.326	0.630

Μεταβλητή	b	Τυπικό σφάλμα	p
X <sub>32</sub>	-0.308	0.349	0.378
X <sub>41</sub>	0.636	0.198	0.001*
X <sub>42</sub>	0.867	0.163	0.000*
X <sub>5</sub>	1.159	0.248	0.000*
Σταθερά	-1.218	0.378	0.001*

Από τον Πίνακα 1 προκύπτει ότι το μοντέλο έχει την μορφή:

$$\log\left(\frac{\hat{p}_i}{1 - \hat{p}_i}\right) = -1.218 - 0.015X_1 + 0.303X_{21} + 0.230X_{22} + 0.157X_{31} - 0.308X_{32} + 0.636X_{41} + 0.867X_{42} + 1.159X_5$$

Ενώ παρατηρούμε ότι στατιστικά σημαντικοί είναι οι συντελεστές της ηλικίας, του αριθμού ΙΧ και της διάρκειας μετακίνησης ( $p < 0.05$ )

Οπότε η πιθανότητα να επιλέξει κάποιος μηχανοκίνητο μέσο μεταφοράς είναι ίση με:

$$\hat{p}_i =$$

$$\frac{\exp(1.218 - 0.015X_1 + 0.303X_{21} + 0.230X_{22} + 0.157X_{31} - 0.308X_{32} + 0.636X_{41} + 0.867X_{42} + 1.159X_5)}{1 + \exp(1.218 - 0.015X_1 + 0.303X_{21} + 0.230X_{22} + 0.157X_{31} - 0.308X_{32} + 0.636X_{41} + 0.867X_{42} + 1.159X_5)}$$

Η παραπάνω πιθανότητα εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά του. Παράδειγμα υπολογισμού πιθανοτήτων δίνεται στον Πίνακα 2.

Παράδειγμα 1: Έστω ότι έχουμε μια γυναίκα ( $X_1=2$ ), ηλικίας 25 ετών ( $X_{21}=1$ ,  $X_{22}=0$ ) με εισόδημα κάτω των 1172 ευρώ ( $X_{31}=X_{32}=0$ ) με 1 ΙΧ στην οικογένεια ( $X_{41}=1$ ,  $X_{42}=0$ ) τότε η πιθανότητα να επιλέξει μηχανοκίνητο μέσο είναι ίση με 71.22% ενώ η πιθανότητα να επιλέξει φιλικό προς το περιβάλλον μέσο είναι 28.78%.

Παράδειγμα 2: Έστω ότι έχουμε έναν άντρα ( $X_1=1$ ), ηλικίας 20 ετών ( $X_{21}=0$ ,  $X_{22}=0$ ) με εισόδημα κάτω από 1172 έως 2344 ευρώ ( $X_{31}=1$ ,  $X_{32}=0$ ) χωρίς 1 ΙΧ στην οικογένεια ( $X_{41}=0$ ,  $X_{42}=0$ ) τότε η πιθανότητα να επιλέξει μηχανοκίνητο μέσο είναι ίση με 42.28% ενώ η πιθανότητα να επιλέξει φιλικό προς το περιβάλλον μέσο είναι 57.73%.



Πίνακας 2 Ενδεικτικός υπολογισμός πιθανοτήτων με βάση τα χαρακτηριστικά ατόμων

Άτομο	Χαρακτηριστικά	p <sub>1</sub>	p <sub>2</sub> =1-p <sub>1</sub>
1	Γυναίκα, 25 ετών, με 1 ΙΧ στην οικογένεια, με εισόδημα κάτω των 1172 ευρώ και κατά την προηγούμενη μετακίνησης της έκανε 45 λεπτά χρησιμοποιώντας φιλικό προς το περιβάλλον μέσο	71.22%	28.78%
2	Άντρας, 20 ετών, με κανένα ΙΧ, με εισόδημα από 1172 έως 2344 και κατά την προηγούμενη μετακίνηση του έκανε 15 λεπτά χρησιμοποιώντας μηχανοκίνητο μέσο	42.28%	57.72%

### 5.2.2 Μοντέλο για την επιλογή ΙΧ ή ΜΜΜ

Στο δεύτερο μοντέλο ασχοληθήκαμε μόνο με τους κατοίκους που κινήθηκαν με μηχανοκίνητο μέσο μεταφοράς. Ουσιαστικά εξετάζεται κατά πόσο η επιλογή να μετακινηθούν με ΙΧ ή ΜΜΜ μπορεί να προβλεφθεί από τα χαρακτηριστικά των κατοίκων ή από το χρόνο μετακίνησης. Η εξαρτημένη μεταβλητή είναι η επιλογή ή όχι ποδηλάτου. Αναλυτικότερα η εξαρτημένη μεταβλητή είναι η:

$$Y = \begin{cases} 1, & \text{αν επιλέγει ΙΧ} \\ 0, & \text{αν δεν ΜΜΜ} \end{cases}$$

Πρακτικά η τιμή Y=0 συνεπάγεται ότι ο κάτοικος επιλέγει να μετακινηθεί με ΙΧ.

Οι ανεξάρτητες μεταβλητές ορίστηκαν να είναι και πάλι:

- Το φύλο (X<sub>1</sub>)

- Η ηλικιακή ομάδα (X<sub>2</sub>)
- Το εισόδημα (X<sub>3</sub>)
- Αριθμός ΙΧ στην οικογένεια (X<sub>4</sub>)
- Διάρκεια μετακίνησης (X<sub>5</sub>)

και ακολουθώντας την ίδια διαδικασία με το προηγούμενο παράδειγμα και από το SPSS v21 πήραμε το logit μοντέλο που δίνεται στον Πίνακα 3.

**Πίνακας 3** Εκτίμηση των παραμέτρων β<sub>ι</sub> του μοντέλου logit

Μεταβλητή	B	Τυπικό σφάλμα	p
X <sub>1</sub>	0.141	0.113	0.211
X <sub>21</sub>	-0.319	0.229	0.164
X <sub>22</sub>	-0.251	0.218	0.250
X <sub>31</sub>	-0.326	0.431	0.449
X <sub>32</sub>	0.216	0.381	0.570
X <sub>41</sub>	-1.046	1.032	0.311
X <sub>42</sub>	-0.700	1.087	0.520
X <sub>5</sub>	-0.001	0.000	0.000*
Σταθερά	3.334	1.113	0.003*

Από τον Πίνακα 3 προκύπτει ότι το μοντέλο έχει την μορφή:

$$\log\left(\frac{\hat{p}_i}{1 - \hat{p}_i}\right) = 3.334 + 0.141X_1 - 0.319X_{21} - 0.251X_{22} - 0.326X_{31} + 0.216X_{32} - 1.046X_{41} - 0.700X_{42} - 0.001X_5$$

Ενώ παρατηρούμε ότι σχεδόν όλοι οι συντελεστές είναι στατιστικά μησημαντικοί (p>0.05)

Οπότε η πιθανότητα να επιλέξει κάποιος μηχανοκίνητο μέσο μεταφοράς είναι ίση με:

$$\hat{p}_i =$$

$$\frac{\exp(3.334 + 0.141X_1 - 0.319X_{21} - 0.251X_{22} - 0.326X_{31} + 0.216X_{32} - 1.046X_{41} - 0.700X_{42} - 0.001X_5)}{1 + \exp(3.334 + 0.141X_1 - 0.319X_{21} - 0.251X_{22} - 0.326X_{31} + 0.216X_{32} - 1.046X_{41} - 0.700X_{42} - 0.001X_5)}$$

Η παραπάνω πιθανότητα εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά του. Παράδειγμα υπολογισμού πιθανοτήτων δίνεται στον Πίνακα 4.

Παράδειγμα 1: Έστω ότι έχουμε μια γυναίκα ( $X_1=2$ ), ηλικίας 30 ετών ( $X_{21}=1, X_{22}=0$ ) με εισόδημα από 1172 έως 2344 ευρώ ( $X_{31}=1, X_{32}=0$ ) με 1 ΙΧ στην οικογένεια ( $X_{41}=1, X_{42}=0$ ) τότε η πιθανότητα να επιλέξει ΙΧ είναι ίση με 92.76% ενώ η πιθανότητα να επιλέξει ΜΜΜ είναι 7.24%.

Παράδειγμα 2: Έστω ότι έχουμε έναν άντρα ( $X_1=1$ ), ηλικίας 27 ετών ( $X_{21}=1, X_{22}=0$ ) με εισόδημα κάτω έως 1172 ευρώ ( $X_{31}=0, X_{32}=0$ ) με 1 ΙΧ στην οικογένεια ( $X_{41}=1, X_{42}=0$ ) τότε η πιθανότητα να επιλέξει ΙΧ είναι ίση με 23.97% ενώ η πιθανότητα να επιλέξει ΜΜΜ είναι 76.03%.

Πίνακας 4 Ενδεικτικός υπολογισμός πιθανοτήτων με βάση τα χαρακτηριστικά ατόμων

Άτομο	Χαρακτηριστικά	$p_1$	$p_2=1-p_1$
1	Γυναίκα, 30 ετών, με 1 ΙΧ στην οικογένεια, με εισόδημα από 1172 έως 2344	92.76%	7.24%
2	Άντρας, 27 ετών, με 1 ΙΧ στην οικογένεια, με εισόδημα κάτω από 1172	23.97%	76.03%

### 5.2.3 Μοντέλο για την επιλογή ποδηλάτου ή μετακίνησης με τα πόδια

Στο τρίτο μοντέλο ασχοληθήκαμε μόνο με τους κατοίκους που κινήθηκαν με φιλικό προς το περιβάλλον μέσο μεταφοράς. Ουσιαστικά εξετάζεται κατά πόσο η επιλογή να μετακινηθούν με τα πόδια ή με ποδήλατο μεταφοράς μπορεί να προβλεφθεί από τα χαρακτηριστικά των κατοίκων ή από το χρόνο μετακίνησης. Η εξαρτημένη μεταβλητή είναι η επιλογή ή όχι ποδηλάτου. Αναλυτικότερα η εξαρτημένη μεταβλητή είναι η:

$$Y = \begin{cases} 1, & \text{αν επιλέγει ποδήλατο} \\ 0, & \text{αν δεν επιλέγει ποδήλατο} \end{cases}$$

Πρακτικά η τιμή  $Y=0$  συνεπάγεται ότι ο κάτοικος επιλέγει να μετακινηθεί με τα πόδια.

Οι ανεξάρτητες μεταβλητές ορίσθηκαν να είναι και πάλι:

- Το φύλο ( $X_1$ )
- Η ηλικιακή ομάδα ( $X_2$ )
- Το εισόδημα ( $X_3$ )
- Αριθμός ΙΧ στην οικογένεια ( $X_4$ )
- Διάρκεια μετακίνησης ( $X_5$ )

και ακολουθώντας την ίδια διαδικασία με τα προηγούμενα παραδείγματα και από το SPSS v21 πήραμε το logit μοντέλο που δίνεται στον Πίνακα 5.

Πίνακας 5 Εκτίμηση των παραμέτρων  $b_i$  του μοντέλου logit

Μεταβλητή	b	Τυπικό σφάλμα	p
$X_1$	-0.027	0.088	0.762
$X_{21}$	-0.048	0.157	0.761
$X_{22}$	0.027	0.144	0.851
$X_{31}$	-0.002	0.284	0.993
$X_{32}$	-0.038	0.225	0.866
$X_{41}$	0.019	0.562	0.973
$X_{42}$	0.270	0.593	0.649
$X_5$	0.196	0.491	0.639
Σταθερά	1.431	0.616	0.020*

Από τον Πίνακα 5 προκύπτει ότι το μοντέλο έχει την μορφή:

$$\log\left(\frac{\hat{p}_i}{1 - \hat{p}_i}\right) = 1.431 - 0.027X_1 - 0.048X_{21} - 0.027X_{22} - 0.002X_{31} - 0.038X_{32} + 0.019X_{41} + 0.270X_{42} - 0.196X_5$$

Ενώ παρατηρούμε ότι όλοι οι συντελεστές είναι στατιστικά μη σημαντικοί ( $p > 0.05$ )

Οπότε η πιθανότητα να επιλέξει κάποιος μηχανοκίνητο μέσο μεταφοράς είναι ίση με:

$$\hat{p}_i =$$

$$\frac{\exp(1.431 - 0.027X_1 - 0.048X_{21} - 0.027X_{22} - 0.002X_{31} - 0.038X_{32} + 0.019X_{41} + 0.270X_{42} - 0.196X_5)}{1 + \exp(1.431 - 0.027X_1 - 0.048X_{21} - 0.027X_{22} - 0.002X_{31} - 0.038X_{32} + 0.019X_{41} + 0.270X_{42} - 0.196X_5)}$$

Η παραπάνω πιθανότητα εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά του. Παράδειγμα υπολογισμού πιθανοτήτων δίνεται στον Πίνακα 6.

Παράδειγμα 1: Έστω ότι έχουμε έναν άντρα ( $X_1=1$ ), ηλικίας 67 ετών ( $X_{21}=0$ ,  $X_{22}=1$ ) με εισόδημα κάτω από 1172 ευρώ ( $X_{31}=0$ ,  $X_{32}=0$ ) με 1 ΙΧ στην οικογένεια ( $X_{41}=1$ ,  $X_{42}=0$ ) τότε η πιθανότητα να επιλέξει να κινηθεί με τα πόδια είναι ίση με 80.05% ενώ η πιθανότητα να επιλέξει με ποδήλατο είναι 19.95%.

Παράδειγμα 2: Έστω ότι έχουμε μια γυναίκα ( $X_1=2$ ), ηλικίας 19 ετών ( $X_{21}=0$ ,  $X_{22}=0$ ) με εισόδημα κάτω έως 1172 ευρώ ( $X_{31}=0$ ,  $X_{32}=0$ ) χωρίς ΙΧ στην οικογένεια ( $X_{41}=0$ ,  $X_{42}=0$ ) τότε η πιθανότητα να επιλέξει να κινηθεί με τα πόδια είναι ίση με 80.22% ενώ η πιθανότητα να επιλέξει με ποδήλατο είναι 19.78%.

Πίνακας 6 Ενδεικτικός υπολογισμός πιθανοτήτων με βάση τα χαρακτηριστικά ατόμων

Άτομο	Χαρακτηριστικά	$p_1$	$p_2=1-p_1$
1	Άντρας, 67 ετών, με 1 ΙΧ στην οικογένεια, με εισόδημα κάτω από 1172	80.05%	19.95%
2	Γυναίκα, 19 ετών, χωρίς ΙΧ στην οικογένεια, με εισόδημα κάτω από 1172	80.22%	19.78%

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 Συμπεράσματα**

Στα προηγούμενα είδαμε τι είναι και τι σημαίνει η Ανάλυση Διακριτών Επιλογών και σχεδιάστηκε και υλοποιήθηκε ένα <<πείραμα>> δηλαδή εφαρμόσαμε την θεωρία σε πραγματικό επίπεδο ανάλυσης παίρνοντας την πόλη του Βόλου (τους κατοίκους της) ως αντικείμενο του πειράματος και μετά από επεξεργασία των δεδομένων των ερωτηματολογίων με χρήση των λογισμικών 1. Windows office Microsoft Excel και 2. IBM spss v.21. καταλήξαμε στα συμπεράσματα που ειπώθηκαν στο κεφάλαιο 5. και για καλύτερη κατανόηση ενός ερευνητή, δώσαμε στις εξισώσεις από ένα μικρό παράδειγμα (δηλαδή εισαγωγή τιμών στις μεταβλητές των εξισώσεων και παραγωγή αποτελεσμάτων) .

## **Βιβλιογραφία**

### **Ελληνική βιβλιογραφία**

Δερεμπούκα Ε. (2012) “Διερεύνηση της αντίληψης των Ελλήνων μετακινουμένων ως προς νέες μορφές μετακίνησης με χρήση οικονομετρικών προτύπων” Αθήνα: Διπλωματική Εργασία, ΕΜΠ

Παπαγιαννάκης, Α. , Γιαννόπουλος Γ., Αύφαντοπούλου-Κλήμη Γ. (2004) “Εξατομικευμένα Πρότυπα Επιλογής Μεταφορικού Μέσου στην Αστική Περιοχή Θεσσαλονίκης”, Τεχν. Χρον. Επιστ. Έκδ. ΤΕΕ, Ι, τεύχ. 1

Ναθαναήλ Ε. “Σχεδιασμός των Μεταφορών- Ενότητα 1.2: Εισαγωγή”, Εργαστήριο Συγκοινωνιακής Τεχνικής, Πολυτεχνική Σχολή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

### **Internet**

Spear, B. D. (1977) “Applications of New Travel Demand Forecasting Techniques to Transportation Planning: A Study of Individual Choice Models”  
<http://ntl.bts.gov/DOCS/SICM.html>

Discrete Dependent Variable Models, Chapter 5- Section A: Logit, Nested logit, &Probit -  
<http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/nchrp/cd-22/manual/v2chapter5.pdf>

### **Ξένη βιβλιογραφία**

Ben-Akiva, M., and M. Bierlaire (1999) “Discrete choice methods and their applications to short term travel decisions”, Handbook of Transportation Science, Volume 23 of the series International Series in Operations Research & Management Science pp 5-33

Ben-Akiva, M., and S.R Lerman (1985) “Discrete choice analysis: Theory and Application to Travel Demand”, MIT Press Cambridge, MA.

Bhat, C.R. , N. Eluru and R. B. Copperman (2000) “Flexible Model Structures for Discrete Choice Analysis”, Handbook of Transport I: Transport Modeling.

Börsch-Supan, A. (1987) “Econometric Analysis of Discrete Choice”, Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems, 296, Springer-Verlag, Berlin, Germany, 202-211.

Bovy, P.H.L. , R. Uges and S. Hoogendoorn-Lanser (2003) “Modeling Route Choice Behavior in Multimodal Transport Networks”, 10th International Conference on Travel Behaviour Research, Lucerne.

Bradley, M.A. and Daly A.J. (1991) “Estimation of logit choice models using mixed stated preference and revealed preference information”, 6th International Conference on Travel Behaviour, Quebec

Cascetta, E. (2001) “Transportation Systems Engineering: Theory and Methods”, Springer Science and Business Media Dordrecht

Circella, G., M. Dell’Orco and D. Sassanelli (2005) “Uncertainty in choice behaviour prediction: a hybrid approach to combine fuzziness and randomness”, Association for European Transport and contributors

Daly, A.J. and Ortuzar, J. de D. (1990) “Forecasting and data aggregation: theory and practice”, Traffic Engineering and Control, 31, 632–643.

Danielis, R., and L. Rotaris (1999) “Analysing freight transport demand using stated preference data: A survey and a research project for the Friuli-Venezia Giulia Region”, *Trasporti Europei*, 13, 30-38

Garrow, L. A. (2010) “Discrete choice modeling and air travel demand: Theory and applications”, Ashgate Publishing Limited



Goulias, K.G., (2003) "Transportation systems planning: Methods and Applications".

Hensher, D. A. and Greene W. H. (2002) "Specification and Estimation of the Nested Logit Model: Alternative Normalisations", Elsevier, Transportation Research Part B: Methodological, Volume 36, Issue 1, Pages 1–17

Hess, S. and Daly A. (2010) "Choice Modelling: The state-of - the-art and the state-of-practice", Proceedings from the Inaugural International Choice Modelling Conference, Emerald Group Publishing Limited

Jiao, P., H. Lu and L.Yang (2006) "Disaggregate Traffic Mode Choice Model Based on Combination of Revealed and Stated Preference Data", Tsinghua Science and Technology, Volume 11, Number 3, pp351-356

Koppelman, F. S. and C. Bhat (2006) "A Self Instructing Course in Mode Choice Modeling: Multinomial and Nested Logit Models", U.S. Department of Transportation Federal Transit Administration.

Kroes, E.P. and , R.J Sheldon (1988) "Stated preference methods: an introduction", Journal of Transport Economics and Policy, 22 (1) 11-25.

Lancaster, K. (1971) "Consumer Demand: A New Approach", New York, Columbia University Press.

Luce, R.D. and P. Suppes (1965) "Preference, utility and subjective probability", Handbook of Mathematical Psychology, John Wiley & Sons, Inc. New York.

Mc Fadden, D. (1974) "Conditional Logit Analysis of Qualitative choice Behaviour", University of California at Berkeley.

McFadden, D. (1978) “Modelling the Choice of Residential Location”, *Spatial Interaction Theory and Residential Location*. Amsterdam: North-Holland, 75-96.

Minal, Ch. R. Sekhar (2014) “Mode choice analysis: The data, the models and future ahead”, *International Journal for Traffic and Transport Engineering*, 2014, 4(3): 269 – 285

Mitchell, R.C. and R.T. Carson (1989) “Using Surveys to Value Public Goods: The Contingent Valuation Method”, *Resources for the Future*, Washington, DC.

Munizaga, M. A. and J de D. Ortuzar (1999) “Nested logit modelling: some hard facts”, *Transportation planning methods, Proceedings of seminar F, European Transport Conference*, 25-36

Munizaga, M.A. and R.A. Daziano (2001) “Mixed logit vs. nested logit and probit models”, *5th tri-annual Invitational Choice Symposium, Workshop: Hybrid Choice Models, Formulation and Practical Issues*

Nurdden, A., R.A. O.K. Rahmat and A. Ismail (2007) “Discrete Choice Model for Public Transport Development in Kuala Lumpur”.

Ortuzar, J. de D. (2000) “Stated Preference Modelling Techniques”. *Perspectives 4*, PTRC, London.

Ortuzar, J.de D Willumsen (2011)., L.G. “Modelling transport”, Fourth Edition, John Wiley & Sons, Ltd

Purvis, C. L. (1997) “California Use of Census Data in Transportation Planning: San Francisco Bay Area Case Study”, *Decennial Census Data for Transportation Planning: Case Studies and Strategies for 2000,Conference Proceedings 13, Volume 2*, National Academy Press, Washington, D.C., pp. 58-67.

Sanko, N. (2001) “Guidelines for Stated Preference Experiment Design”, Dissertation, School of International Management Ecole Nationale des Ponts et Chaussées

Sivakumar, A., (2007) “Modelling Transport: A Synthesis of Transport Modelling Methodologies”.

Sobel, K.L. (1980) “Travel demand forecasting by using the nested multinomial logit model”, Transportation Research Record, 775, 48–55.

Srinivasan, K. K., G. Ramadurai, V. Muthuram and S. Srinivasan (2007) “Determinants of Changes in Mobility and Travel Patterns in Developing Countries: A Case Study of Chennai”. Presented at 86th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, D.C., USA.

Train, K.E (2003) “Discrete choice methods with simulation”, Cambridge University Press, Second edition

Yang, L., (2010) “Modeling Preferences for Innovative Modes and Services: A Case Study in Lisbon”, Thesis, Massachusetts Institute of Technology

Zhang, Z., H. Guan, H. Qin and Y. Xue (2013) “A Traffic Mode Choice Model for the Bus User Groups Based on SP and RP Data”, Procedia Social and Behavioral Sciences, Elsevier, 96, 382 – 389

NATHANAIL, Eftihia, ADAMOS, Giannis, PETAMIDES, Charalambos, “A SIMULATION FRAMEWORK FOR THE ASSESSMENT OF THE IMPACT OF ADVANCED TRAVELER INFORMATION SYSTEMS ON USERS’ CHOICE AND BEHAVIOR”, WCTR 2010, Lisbon, July 2010.

Nathanail, Eftihia, Giannis Adamos, Panos D. Prevedouros, and Charalampos Petamides, An Integrated Framework for Assessing the Impact of Advanced Traveler Information Systems on Traffic Performance, Paper 11- 3713, 90th Annual Meeting of TRB, Washington, D.C., 2011

Petamides Ch., Nathanail E., Tsami M., (2012), INNOVATIVE MODELING FOR ASSESSING DRIVER BEHAVIOR TOWARDS INFORMATION PROVISION: A COMPARISON BEETWEEN NEURAL NETWORKS AND DISCRETE MODELING IN ROUTE CHOICE, Reliability and Statistics in Transportation and Communication International Conference, Riga, Latvia, October 17-20, 2012

