



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ
ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΦΥΣΙΚΟΙ ΚΙΝΔΥΝΟΙ ΚΑΙ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΩΝ»

«Εκτίμηση εμπειρικής σχέσης υπολογισμού ποσοτήτων κατεδαφισθέντων υλικών μέσω τρισδιάστασης απεικόνισης κτιρίων που επλήγησαν από το σεισμό της 12-06-2017 στη Βρυσά Λέσβου»

ANNA Δ. ΓΙΑΝΝΑΚΟΥ

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΣΥΜΒΟΥΛΕΥΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

1. Επιβλέπων καθηγητής: Νικόλαος Σουλακέλλης
2. Μέλος: Νικόλαος Ζούρος, Καθηγητής
3. Μέλος: Δημήτριος Καβρουδάκης, Επικ. Καθηγητής

ΜΥΤΙΛΗΝΗ, ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2020

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	2
ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	6
1. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΩΝ ΠΟΣΟΤΙΚΟΠΟΙΗΣΗΣ ΑΚΚ ΠΑΓΚΟΣΜΙΩΣ	7
1.1. ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΠΙΤΟΠΟΥ ΕΠΙΣΚΕΨΗΣ.....	8
1.1.1. ΑΜΕΣΗ ΜΕΘΟΔΟΣ ΣΥΛΛΟΓΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	9
1.1.2. ΕΜΜΕΣΗ ΜΕΘΟΔΟΣ ΣΥΛΛΟΓΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	9
1.2. ΜΕΘΟΔΟΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΡΥΘΜΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΑΚΚ	10
1.2.1. ΜΕΘΟΔΟΣ ΠΟΛΛΑΠΛΑΣΙΑΣΤΩΝ ΚΑΤΑ ΚΕΦΑΛΗΝ.....	10
1.2.2. ΜΕΘΟΔΟΣ ΒΑΣΙΣΜΕΝΗ ΣΕ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ	11
1.2.3. ΜΕΘΟΔΟΣ ΒΑΣΙΣΜΕΝΗ ΣΕ ΕΜΒΑΔΟΜΕΤΡΗΣΕΙΣ	11
1.3. ΜΕΘΟΔΟΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΧΡΟΝΟΥ ΖΩΗΣ	12
1.3.1. ΜΕΘΟΔΟΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΧΡΟΝΟΥ ΖΩΗΣ ΚΤΙΡΙΩΝ.....	12
1.3.2. ΜΕΘΟΔΟΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΧΡΟΝΟΥ ΖΩΗΣ ΥΛΙΚΩΝ	13
1.4. ΜΕΘΟΔΟΣ ΣΥΝΑΘΡΟΙΣΗΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗΣ.....	14
1.5. ΜΕΘΟΔΟΣ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ.....	15
1.6. ΑΛΛΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ	16
1.7. ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΥΠΑΡΧΟΥΣΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ	16
1.7.1. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΥΠΑΡΧΟΝΤΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ	16
1.7.1.1. ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΠΙΤΟΠΟΥ ΕΠΙΣΚΕΨΗΣ.....	17
1.7.1.2. ΜΕΘΟΔΟΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΡΥΘΜΟΥ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΑΚΚ	17
1.7.1.3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΧΡΟΝΟΥ ΖΩΗΣ	17
1.7.1.4. ΜΕΘΟΔΟΣ ΣΥΝΑΘΡΟΙΣΗΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΚΑΤΗ-ΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗΣ	18
1.7.1.5. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ	18
1.7.1.6. ΑΛΛΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ	19
1.7.2. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	19
1.8. ΥΠΑΡΧΟΝΤΕΣ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ.....	20
1.8.1. ΕΛΛΕΙΨΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΠΟΣΟΤΙΚΟΠΟΙΗΣΗΣ ΣΕ ΕΡΓΑ ΥΠΟΔΟΜΩΝ	20
1.8.2. ΕΛΛΕΙΨΗ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	21
1.8.3. ΕΛΛΕΙΨΗ ΕΠΑΛΛΗΘΕΥΣΕΩΝ	21
1.9. ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΕΙΣ ΕΡΕΥΝΑΣ	22
1.9.1. ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΕΡΓΩΝ ΥΠΟΔΟΜΗΣ	22

1.9.2.	ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ	22
1.9.3.	ΕΚΤΙΜΗΣΕΙΣ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ Η/Υ	23
1.9.4.	ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΚΤΙΜΗΣΕΙΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΑΚΚ.....	23
2.	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΩΝ ΠΟΣΟΤΙΚΟΠΟΙΗΣΗΣ ΑΚΚ ΣΤΟΝ ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΧΩΡΟ.....	24
2.1.	ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΠΟΣΟΤΗΤΩΝ ΑΚΚ ΣΤΟΝ ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΧΩΡΟ	24
2.2.	ΝΟΜΟΘΕΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΑΕΚΚ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ.....	26
3.	ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ	27
4.	ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ	31
5.	ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ	32
6.	ΠΟΛΛΑΠΛΗ ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΗΣΗ.....	50
6.1.	ΒΑΣΙΚΕΣ ΥΠΟΘΕΣΕΙΣ.....	53
6.2.	ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΙΑΣΠΟΡΑΣ	54
6.3.	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ	55
7.	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ.....	57
7.1.	ΡΥΘΜΟΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΟΙΚΟΔΟΜΙΚΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΕΣ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΚΤΙΡΙΩΝ	57
7.2.	ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΟΙΚΟΔΟΜΙΚΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ	65
7.3.	ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΒΑΣΕΙ ΔΙΑΚΡΙΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΟΡΟΦΩΝ ΚΑΙ ΕΜΒΑΔΩΝ ΚΑΤΟΨΗΣ ΚΤΙΡΙΩΝ.....	77
7.4.	ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΑΠΟ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΕΜΠΕΙΡΙΚΩΝ ΣΧΕΣΕΩΝ ΚΑΙ ΑΠΟ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ	80
7.5.	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΠΟ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΕΜΠΕΙΡΙΚΩΝ ΣΧΕΣΕΩΝ ΚΑΙ ΑΠΟ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΣΧΕΣΗΣ ΤΗΣ ΣΧΟΛΗΣ ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΤΟΥ ΕΜΠ.....	80
7.6.	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΠΟ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΕΜΠΕΙΡΙΚΩΝ ΣΧΕΣΕΩΝ ΚΑΙ ΑΠΟ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΕΣ ΕΠΙΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΟΓΚΟΥ ΚΑΙ ΒΑΡΟΥΣ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΕΠΕΙΤΑ ΑΠΟ ΚΑΤΕΔΑΦΙΣΕΙΣ ΚΤΙΡΙΩΝ ΣΤΟΝ ΟΙΚΙΣΜΟ.....	83
8.	ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....	83
9.	ΕΠΙΛΟΓΟΣ	86
10.	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	89

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ

ΕΙΚΟΝΕΣ

Εικόνα 1	:Σχεδιάγραμμα επιλογής μεθοδολογίας ποσοτικοποίησης ΑΚΚ.....	20
Εικόνα 2:	Τμήμα του τρισδιάστατου μοντέλου της 25 ^{ης} Ιουλίου 2017 που προέκυψε από υψηλής ανάλυσης εικόνες μη επανανδρωμένων αεροσκαφών, N. Soulakellis, S. Chatzistamatis, C. Vasilakos, G. Tataris, A. Papakonstantinou, D. Kavroudakis, K. Topouzelis, O. Roussou, Ch. Kalloniatis , E. E. Papadopoulou , K. Chaidas , P. Kalaitzis, (2018).	29

Εικόνα 3: Τμήμα ενός τρισδιάστατου μοντέλου που προέκυψε με εφαρμογή επίγειας φωτογραμμετρίας, Επίγεια φωτογραμμετρική αποτύπωση του κτηριακού αποθέματος με χρήση φωτογραφιών υψηλής ανάλυσης, Τρισδιάστατη χαρτογράφηση υψηλής ανάλυσης της πληγείσας περιοχής Βρυσάς, από το σεισμό της Λέσβου στις 12/06/2017, Πανεπιστήμιο Αιγαίου.....	30
Εικόνα 4: Τμήμα ενός τρισδιάστατου μοντέλου που προέκυψε με εφαρμογή επίγειων σαρωτών laser, N. Soulakellis, S. Chatzistamatis, C. Vasilakos, G. Tataris, A. Papakonstantinou, D. Kanroudakis, K. Topouzelis, O. Roussou, Ch. Kalloniatis , E. E. Papadopoulou , K. Chaidas , P. Kalaitzis, (2018).....	30
Εικόνα 5: Η σεισμική ακολουθία και τα ενεργά ρήγματα της νήσου Λέσβου, Ενημερωτικό τεύχος, Ο σεισμός της Λέσβου Mw 6.3, 12 Ιουνίου 2017, Εθνικό & Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Αθήνα, 23/6/2017.....	32
Εικόνα 6: Διαγράμματα ελέγχου υποθέσεων γραμμικού μοντέλου	67
Εικόνα 7: Διαγράμματα ελέγχου υποθέσεων γραμμικού μοντέλου	70
Εικόνα 8: Διαγράμματα ελέγχου υποθέσεων γραμμικού μοντέλου	73
Εικόνα 9: Διαγράμματα ελέγχου υποθέσεων γραμμικού μοντέλου	76

ΠΙΝΑΚΕΣ

Πίνακας 1: Συντελεστές εξισώσεων για εκτίμηση αποβλήτων από κατασκευές και κατεδαφίσεις	25
Πίνακας 2: Πίνακας κατανομής ορόφων κτιρίων περιοχής μελέτης (τομέας Β1)	38
Πίνακας 3: Κατανομή τύπου εξωτερικής τοιχοποιίας κτιρίων περιοχής μελέτης	38
Πίνακας 4: Ευρωπαϊκός Κατάλογος Αποβλήτων.....	41
Πίνακας 5: Ποσότητες αποβλήτων κατεδαφίσεων ανά κατηγορία ΕΚΑ σε Kg	41
Πίνακας 6: Ποσότητες αποβλήτων κατεδαφίσεων ανά κατηγορία ΕΚΑ σε m ³	41
Πίνακας 7: Στατιστικοί δείκτες ποσοτήτων αποβλήτων κατεδαφίσεων ανά κατηγορία ΕΚΑ (Kg/m ²).....	41
Πίνακας 8: Στατιστικοί δείκτες ποσοτήτων αποβλήτων κατεδαφίσεων ανά κατηγορία ΕΚΑ (m ³ /m ²)	41
Πίνακας 9: Πίνακας ανάλυσης διασποράς ANOVA	55
Πίνακας 10: Κατηγορίες κτιρίων με χρήση αποθήκης	57
Πίνακας 11: Κατηγορίες κτιρίων με χρήση κατοικίας	58
Πίνακας 12: Πίνακας τιμών βάρους οικοδομικών αποβλήτων ανά τετραγωνικό μέτρο για διάφορες κατηγορίες κτιρίων με χρήση αποθήκης	61
Πίνακας 13: Πίνακας τιμών όγκου οικοδομικών αποβλήτων ανά τετραγωνικό μέτρο για διάφορες κατηγορίες κτιρίων με χρήση αποθήκης.....	62
Πίνακας 14: Πίνακας τιμών βάρους οικοδομικών αποβλήτων ανά τετραγωνικό μέτρο για διάφορες κατηγορίες κτιρίων με χρήση κατοικίας	63
Πίνακας 15: Πίνακας τιμών όγκου οικοδομικών αποβλήτων ανά τετραγωνικό μέτρο για διάφορες κατηγορίες κτιρίων με χρήση κατοικίας	64
Πίνακας 16: Πίνακας ανάλυσης διασποράς	65
Πίνακας 17: Συγκεντρωτικός πίνακας διασποράς	65
Πίνακας 18: Εκτενέστερη κατάσταση των παραμέτρων της παλινδρόμησης.....	66
Πίνακας 19: Πίνακας ανάλυσης διασποράς	68
Πίνακας 20: Συγκεντρωτικός πίνακας διασποράς	68
Πίνακας 21: Εκτενέστερη κατάσταση των παραμέτρων της παλινδρόμησης.....	69
Πίνακας 22: Πίνακας ανάλυσης διασποράς.....	71
Πίνακας 23: Συγκεντρωτικός πίνακας διασποράς	71
Πίνακας 24: Εκτενέστερη κατάσταση των παραμέτρων της παλινδρόμησης.....	72

Πίνακας 25: Πίνακας ανάλυσης διασποράς	74
Πίνακας 26: Συγκεντρωτικός πίνακας διασποράς	74
Πίνακας 27: Εκτενέστερη κατάσταση των παραμέτρων της παλινδρόμησης.....	74
Πίνακας 28: Συγκεντρωτικός πίνακας των τεσσάρων εξισώσεων με τις μεταβλητές και τα βάρη τους	77
Πίνακας 29: Σύγκριση αποτελεσμάτων από γεωγραφικά δεδομένα	78
Πίνακας 30: Σύγκριση αποτελεσμάτων από εφαρμογή εμπειρικών σχέσεων	79
Πίνακας 31: Σύγκριση αποτελεσμάτων μεταξύ υπολογισμών στα γεωγραφικά δεδομένα και εμπειρικών σχέσεων	80
Πίνακας 32: Σύγκριση αποτελεσμάτων μεταξύ υπολογισμών από εφαρμογή του τύπου της σχολής Χημικών Μηχανικών ΕΜΠ και εμπειρικών σχέσεων.....	81

ΓΡΑΦΗΜΑΤΑ

Γράφημα 1: Ποσότητες κατηγοριών αποβλήτων σύμφωνα με ΕΚΑ σε Kg.....	43
Γράφημα 2: Ποσοστά κατηγοριών αποβλήτων επί του συνολικού βάρους	44
Γράφημα 3: Ποσότητες κατηγοριών αποβλήτων σύμφωνα με ΕΚΑ σε m ³	45
Γράφημα 4: Ποσοστά κατηγοριών αποβλήτων επί του συνολικού όγκου	46

ΧΑΡΤΕΣ

Χάρτης 1: Χάρτης περιοχής Β1 οικισμού Βρύσας	34
Χάρτης 2: Χάρτης κατανομής τύπων τοιχοποιίας κτιρίων περιοχής Β1	35
Χάρτης 3: Χάρτης κατανομής τύπων επικάλυψης κτιρίων περιοχής Β1	36
Χάρτης 4: Χάρτης κατανομής ορόφων κτιρίων περιοχής Β1	37
Χάρτης 5: Χάρτης κατανομής βάρους αποβλήτων κτιρίων περιοχής Β1	48
Χάρτης 6: Χάρτης κατανομής όγκου αποβλήτων κτιρίων περιοχής Β1.....	49

ΕΞΙΣΩΣΕΙΣ

Εξίσωση 1: Μαθηματικός τύπος υπολογισμού βάρους κατεδαφισθέντων υλικών σε kg.....	65
Εξίσωση 2: Μαθηματικός τύπος υπολογισμού όγκου κατεδαφισθέντων υλικών σε m ³	68
Εξίσωση 3: Μαθηματικός τύπος υπολογισμού βάρους κατεδαφισθέντων υλικών σε kg.....	71
Εξίσωση 4: Μαθηματικός τύπος υπολογισμού όγκου κατεδαφισθέντων υλικών σε m ³	74

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Οι φυσικές καταστροφές δύνανται να επιφέρουν σοβαρές επιπτώσεις σε κοινωνικό, οικονομικό και περιβαλλοντικό επίπεδο, συγκαταλεγόμενων των θανάτων, τραυματισμών, ασθενειών, μόλυνσης του περιβάλλοντος, αστοχιών σε κατασκευές και σχετιζόμενων με την οικονομία εμποδίων. Ειδικότερα οι σεισμοί, ως φυσικοί, γεωλογικοί κίνδυνοι απειλούν τις κοινωνίες σε πολλά μέρη του πλανήτη. Αναλόγως των χαρακτηριστικών τους, (π.χ. μέγεθος, επικεντρική απόσταση κλπ), οι σεισμοί μπορούν να θέσουν τον πληθυσμό σε διαφορετικά επίπεδα απειλών. Ειδικότερα, οι συνέπειες από τρωτές κτιριακές υποδομές περιλαμβάνουν μεταξύ άλλων, θανάτους ή τραυματισμούς, διακοπή των συγκοινωνιών ή των τηλεπικοινωνιών κ.α.

Επιπρόσθετα, ένα πολύ σημαντικό θέμα που προκύπτει μετά από ένα σεισμό είναι η διαχείριση μαζικών ποσοτήτων μπαζών και οικοδομικών αποβλήτων, γεγονός το οποίο μπορεί να προκαλέσει σοβαρά προβλήματα στην υγεία των πολιτών, στο περιβάλλον και στις μεταφορές, όπως για παράδειγμα μετάδοση ασθενειών, μόλυνση ή καθυστερήσεις στην παροχή βοήθειας της πληγείσας περιοχής καθώς και διακοπή άμεσης πρόσβασης στην περιοχή. Η έλλειψη ετοιμότητας εκ μέρους της πολιτείας καθώς και η έλλειψη πληροφορίας αναφορικά με τις διαθέσιμες εγκαταστάσεις διαχείρισης αποβλήτων μιας περιοχής και τη δυναμικότητα τους, το κτιριακό απόθεμα μιας περιοχής καθώς και τη σύνθεση των παραγόμενων αποβλήτων καθυστερούν σημαντικά τις προσπάθειες αποκατάστασης, εντείνουν τη δυσaréσκεια των πολιτών και προκαλούν ανεπανόρθωτες περιβαλλοντολογικές, οικονομικές και κοινωνικές ζημίες μακροπρόθεσμα.

Η εκτίμηση των ποσοτήτων και της σύνθεσης των οικοδομικών αποβλήτων που μπορούν να προκύψουν μετά από μια φυσική καταστροφή είναι μείζονος σημασίας στον σχεδιασμό εκ μέρους της πολιτείας κατάλληλων συστημάτων συλλογής, διαλογής και διαχείρισης τους. Αυτή η εκτίμηση μπορεί επίσης να συμβάλει καθοριστικά στην επιλογή του κατάλληλου χώρου απόθεσης των αποβλήτων σε περίπτωση καταστροφικού συμβάντος, ώστε να διευκολυνθεί ο καθαρισμός της περιοχής από τα συντρίμια τις πρώτες κρίσιμες ώρες μετά από την εκδήλωση της καταστροφής. Η εύρεση ενός χώρου προσωρινής αποθήκευσης των αποβλήτων κρίνεται αναγκαία, λόγω του ότι οι διαθέσιμες εγκαταστάσεις υποδοχής αποβλήτων μιας περιοχής δεν είναι σε θέση να χειριστούν τον τεράστιο όγκο των παραγόμενων αποβλήτων αλλά και λόγω της ανεπάρκειας συνήθως του διαθέσιμου μηχανικού εξοπλισμού για την απομάκρυνση και μεταφορά τους. Επίσης, μια εκτίμηση των ποσοτήτων αποβλήτων από καταρρεύσεις ή από

μετέπειτα κατεδαφίσεις λόγω σοβαρών βλαβών των κτιρίων, κρίνεται αναγκαία προκειμένου να υπάρξει πρόβλεψη του κόστους απομάκρυνσης τους ώστε να βρεθούν εκ των προτέρων από την πολιτεία πηγές χρηματοδότησης.

Ο υπολογισμός των ποσοτήτων αποβλήτων που μπορεί να προκύψει από φυσικές καταστροφές μπορεί να πραγματοποιηθεί γνωρίζοντας το διαθέσιμο κτιριακό απόθεμα μιας περιοχής. Υπολογίζοντας τις ποσότητες των οικοδομικών υλικών που έχουν χρησιμοποιηθεί κατά την κατασκευή των κτιρίων, υπολογίζονται ταυτόχρονα και οι ποσότητες των αποβλήτων που μπορεί να προκύψουν μετά ένα καταστροφικό συμβάν. Ωστόσο, υπάρχει έλλειψη πραγματικών δεδομένων στην καταγραφή των κτιριακών υποδομών τόσο σε παγκόσμια κλίμακα όσο και εθνική κλίμακα που να επιτρέπει μέχρι σήμερα την ανάπτυξη υπολογιστικών μοντέλων που να προβλέπουν με ασφάλεια τις παραγόμενες ποσότητες των αποβλήτων.

Επίσης, το μεγαλύτερο μέρος των οικοδομικών αποβλήτων μετά από καταστροφές αποτελείται κυρίως από αδρανή απόβλητα (70-90 %) όπως το σκυρόδεμα, τα τούβλα, τα πλακάκια, οι λιθοδομές, υλικά τα οποία μπορούν να ανακτηθούν και να ανακυκλωθούν. Είναι έτσι κατανοητό το οικονομικό όφελος που μπορεί να προκύψει από τη διαδικασία ανακύκλωσης τους αλλά και η μείωση των διατιθέμενων αποβλήτων σε χώρους υγειονομικής ταφής. Έτσι, οι εκτιμήσεις των ποσοτήτων και των διαφορετικών ρευμάτων αποβλήτων καταστροφών απασχολούν τα τελευταία χρόνια όλο και περισσότερο τους αρμόδιους φορείς, ώστε να μπορέσουν να αναπτύξουν σχέδια αποκατάστασης των πληγισίων περιοχών.

1. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΩΝ ΠΟΣΟΤΙΚΟΠΟΙΗΣΗΣ ΑΚΚ ΠΑΓΚΟΣΜΙΩΣ

Το ρεύμα των αποβλήτων κατασκευών και κατεδαφίσεων γενικά απορρέει από την κατασκευή, ανακαίνιση και κατεδάφιση κτιρίων, οδών, γεφυρών και άλλων κατασκευών. Ανάλογα με τη φάση παραγωγής του, διακριτοποιείται σε τρεις κατηγορίες ως εξής:

- απόβλητα κατασκευών,
- απόβλητα ανακαίνισης και
- απόβλητα κατεδαφίσεων.

Τυπικά στοιχεία των ΑΚΚ είναι αδρανή υλικά (πχ. σκυρόδεμα, τούβλα, κ.α.) τα οποία γενικά θεωρείται ότι δεν επιβαρύνουν σημαντικά το περιβάλλον. Έτσι, κρίνεται μείζονος

σημασίας τα ΑΚΚ να ανακυκλώνονται σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή πολιτική για τη διαχείριση των αποβλήτων. Ωστόσο, στο ρεύμα αυτό των αποβλήτων υπάρχουν και κάποια επικίνδυνα συστατικά (π.χ αμίαντος, ψευδάργυρος κλπ). Εάν αυτά τα συστατικά δεν διατεθούν σύμφωνα με την κείμενη νομοθεσία, θα υπάρξουν αρνητικές επιπτώσεις για το περιβάλλον.

Συμπερασματικά, η εδραίωση ενός αποτελεσματικού συστήματος διαχείρισης ΑΚΚ, που να είναι φιλικό προς το περιβάλλον και οικονομικά βιώσιμο, είναι ένα παγκόσμιο σημαντικό θέμα που απαιτεί έρευνα και συζήτηση. Μια κατάλληλη μεθοδολογία ποσοτικοποίησης των ΑΚΚ είναι επίσης ύψιστης σημασίας στη δημιουργία ενός αποτελεσματικού συστήματος διαχείρισης σε επίπεδο έργου ή σε επίπεδο περιοχής.

Βιβλιογραφικά υπάρχουν διάφορες μέθοδοι ποσοτικοποίησης ΑΚΚ που μπορούν να χωριστούν σε έξι βασικές κατηγορίες, μεταξύ των οποίων είναι οι: μέθοδοι επιτόπου επίσκεψης, οι μέθοδοι υπολογισμού ρυθμών παραγωγής ΑΚΚ, οι μέθοδοι ανάλυσης διάρκειας ζωής, οι μέθοδοι συνάθροισης συστημάτων κατηγοριοποίησης, οι μέθοδοι παραμετρικής μοντελοποίησης και άλλες πιο ιδιαίτερες μέθοδοι.

Πρέπει να τονιστεί ότι περισσότερες από μια υπολογιστικές μέθοδοι μπορούν να εφαρμοστούν για μια συγκεκριμένη περίπτωση. Για παράδειγμα, πριν τον υπολογισμό ενός ρυθμού παραγωγής ΑΚΚ, μπορεί να εφαρμοστεί η μέθοδος της επιτόπου επίσκεψης.

Στις παρακάτω ενότητες παρατίθενται αναλυτικά οι βασικές κατηγορίες μεθόδων.

1.1. ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΠΙΤΟΠΟΥ ΕΠΙΣΚΕΨΗΣ

Αυτή η μεθοδολογία απαιτεί από τους μελετητές να επισκεφτούν τα εργοτάξια κατεδάφισης ή κατασκευών προκειμένου να πραγματοποιήσουν την έρευνα τους. Άμεσες ή έμμεσες μέθοδοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη συλλογή των δεδομένων παραγωγής ΑΚΚ.

1.1.1. ΑΜΕΣΗ ΜΕΘΟΔΟΣ ΣΥΛΛΟΓΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Οι μέθοδοι αυτές απαιτούν το ζύγισμα των παραγόμενων ποσοτήτων ή τη μέτρηση του όγκου τους στο εργοτάξιο. Πριν την εφαρμογή της μεθόδου, γίνονται διάφορες υποθέσεις. Για παράδειγμα, στη μελέτη των Lau et al. (2008), τέσσερις υποθέσεις έγιναν ανάλογα με αν τα ΑΚΚ ήταν στοιβαγμένα, διασκορπισμένα, συγκεντρωμένα, ή σε στοίβες.

Για στοιβαγμένα απόβλητα, θεωρήθηκε μια πυραμίδα ορθογωνικής βάσης και έτσι ο όγκος προέκυψε από την ακόλουθη σχέση (1).

$$V_s = 1/3 * (L*B*H), \quad (1)$$

όπου V_s είναι ο όγκος των στοιβαγμένων ΑΚΚ,

L είναι το μήκος της ορθογώνιας βάσης της πυραμίδας,

B είναι πλάτος της και

H είναι το ύψος της.

Για συγκεντρωμένα απόβλητα, θεωρήθηκε κυβοειδές σχήμα και έτσι ο όγκος V_g προέκυψε από τη παρακάτω σχέση (2)

$$V_g = L * B * H \quad (2)$$

Μετά τον υπολογισμό των όγκων των στοιβαγμένων και συγκεντρωμένων ΑΚΚ, η μάζα τους υπολογίστηκε χρησιμοποιώντας τιμές πυκνότητας αποβλήτων.

Για διασκορπισμένα και στοιβαγμένα ΑΚΚ με παρόμοιο μέγεθος (πχ. τούβλα, κεραμίδια κλπ) επιλέχθηκαν τυχαία τρία δείγματα από το σύνολο. Ο μέσος όρος του βάρους των επιλεγμένων δειγμάτων υπολογίστηκε και θεωρήθηκε ενιαίος. Έτσι, το συνολικό βάρος μπορούσε να εκτιμηθεί χρησιμοποιώντας το μέσο βάρος πολλαπλασιασμένο επί τον αριθμό των δειγμάτων. Τα ΑΚΚ που ήταν πολύ διαφορετικά σε μέγεθος, ταξινομήθηκαν σε διάφορα γκρουπ πριν τον υπολογισμό. Το μέγεθος του κάθε δείγματος σε κάθε γκρουπ ήταν παραπλήσιο και έτσι έπειτα εφαρμόστηκε η παραπάνω περιγραφόμενη διαδικασία.

1.1.2. ΕΜΜΕΣΗ ΜΕΘΟΔΟΣ ΣΥΛΛΟΓΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Καθώς η απευθείας μέθοδος συλλογής δεδομένων απαιτεί σημαντικούς πόρους οι έμμεσες μετρήσεις χρησιμοποιούνται συχνότερα για πρακτικούς και χρονικούς λόγους. Για παράδειγμα, ο Poon et al.(2004b) χρησιμοποίησε καταγραφές χωρητικότητας φορτηγών προκειμένου να εκτιμήσει τον παραγόμενο όγκο αποβλήτων ΑΚΚ στο

εργοτάξιο. Οι μελετητές κατέγραψαν τον αριθμό των φορτηγών που περισυνέλλεξαν απόβλητα λαμβάνοντας επιπλέον υπόψη την χωρητικότητα σε όγκο των κάδων τους. Βασιζόμενοι σε αυτή την πληροφορία, ο συνολικός όγκος αποβλήτων προέκυπτε σε επίπεδο έργου. Για τους σκοπούς των έμμεσης ποσοτικοποίησης σε επίπεδο περιοχής, οι Kartam et al.(2004) χρησιμοποίησαν καταγραφές χωρητικότητας φορτηγών από Χώρους Υγειονομικής ταφής απορριμμάτων.

1.2. ΜΕΘΟΔΟΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΡΥΘΜΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΑΚΚ

Βιβλιογραφικά η μέθοδος αυτή είναι η πιο διαδεδομένη για τον υπολογισμό των ποσοτήτων ΑΚΚ. Μπορεί να εφαρμοστεί σε έργα κατασκευής, ανακαίνισης ή κατεδάφισης τόσο σε επίπεδο έργου όσο και σε επίπεδο περιοχής. Η βασική αρχή της μεθόδου είναι να εκτιμηθεί ένας ρυθμός παραγωγής ΑΚΚ για μια συγκεκριμένη μονάδα δραστηριότητας (π.χ. m^3/m^2 ή Kg/m^2). Στηριζόμενες σε αυτήν την αρχή, διαφορετικές μέθοδοι έχουν συσταθεί χρησιμοποιώντας διαφορετικές παραμέτρους, όπως: μέθοδοι κατά κεφαλήν πολλαπλασιαστών, μέθοδοι βασισμένες σε οικονομικά κριτήρια και μέθοδοι βασισμένες σε εμβαδομετρήσεις.

1.2.1.ΜΕΘΟΔΟΣ ΠΟΛΛΑΠΛΑΣΙΑΣΤΩΝ ΚΑΤΑ ΚΕΦΑΛΗΝ

Ο κατά κεφαλήν πολλαπλασιαστής είναι μια πρόσφατη σχετικά μεθοδολογία ποσοτικοποίησης, η οποία έχει αναπτυχθεί από μεθοδολογίες που ποσοτικοποιούν αστικά στερεά απόβλητα. Για την εκτίμηση των παραγόμενων ποσοτήτων ΑΚΚ στο Waterloo, οι Mc Bean and Fortin (1993) συνέλεξαν την ποσότητα των αποβλήτων ΑΚΚ της περιοχής από το έτος 1983 έως το 1990. Έτσι, ο μέσος ρυθμός παραγωγής ΑΚΚ ανά κάτοικο υπολογίστηκε σε 1,9 τόνους/ κάτοικο/ έτος. Σε αυτή τη βάση, εξήχθησαν μελλοντικές εκτιμήσεις παραγόμενων ποσοτήτων ΑΚΚ περιοχής χρησιμοποιώντας το βάρος των ΑΚΚ ανά κάτοικο, πολλαπλασιασμένο με τον συνολικό πληθυσμό.

Ο κατά κεφαλήν πολλαπλασιαστής είναι ένας σχετικά άμεσος τρόπος να ποσοτικοποιηθούν τα ΑΚΚ σε μια περιοχή. Παρόλα αυτά, οι Yost and Halstad.(1996) ισχυρίζονται ότι η μέθοδος υστερεί καθώς οι δραστηριότητες κατασκευής και κατεδάφισης μπορεί να διαφοροποιούνται σημαντικά λόγω των οικονομικών συνθηκών κάθε περιοχής, ενώ ο πληθυσμός παραμένει σχεδόν σταθερός.

1.2.2.ΜΕΘΟΔΟΣ ΒΑΣΙΣΜΕΝΗ ΣΕ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ

Προκειμένου να αποκτηθεί μια σαφής εικόνα της κατασκευαστικής δραστηριότητας, οι Yost and Halstead (1996) ανέπτυξαν μια μεθοδολογία βασισμένη στην οικονομική αξία των αδειών δόμησης που εκδόθηκαν από την Υπηρεσία “Census” της Αμερικής. Στη μελέτη τους, περιγράφεται ο υπολογισμός των ποσοτήτων αποβλήτων γύψου από κατασκευή γυψοσανίδων σε μια περιοχή. Περιγράφονται παρακάτω οι διαδικασίες εκτίμησης:

1. Ο ρυθμός παραγωγής αποβλήτων γύψου εκτιμήθηκε βάσει μετρήσεων πεδίου. Σε αυτή τη μελέτη, διάφορες περιπτώσεις νέων κατασκευών επιλέχθηκαν για εμπειρική διερεύνηση. Στη συνέχεια, ζυγίστηκαν τα απόβλητα γύψου στα εργοτάξια και συλλέχθηκαν δεδομένα των εμβαδών των κτιρίων, ώστε να προκύψει ο ρυθμός παραγωγής (kg/m^2) διαιρώντας των συνολική μάζα με το συνολικό εμβαδόν.
2. Μέσω διερεύνησης των δεδομένων 72 οικοδομικών αδειών δόμησης, εκτιμήθηκε η οικονομική αξία ανά τετραγωνικό μέτρο ($\$/\text{m}^2$). Βασισμένοι στα εμπειρικά δεδομένα, έτσι μπόρεσαν να βρουν τη σχέση μεταξύ παραγόμενης ποσότητας αποβλήτων γύψου και αξίας κατασκευής ($\text{Kg}/\$$).
3. Δεδομένου της συνολικής αξίας κατασκευής ($\$$) των νέων κτιρίων στην περιοχή μελέτης και του ρυθμού παραγωγής γύψου ($\text{Kg}/\$$), προέκυψε το συνολικό βάρος των αποβλήτων γύψου.

Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιεί οικονομικά δεδομένα αδειών κατασκευής και κατεδάφισης. Μέσω της μεθόδου, η διακύμανση των δραστηριοτήτων κατασκευής και κατεδάφισης μπορεί να απεικονιστεί χρησιμοποιώντας αντικειμενικές αξίες κτιρίων, κάνοντας έτσι τους υπολογισμούς των ποσοτήτων αποβλήτων πιο σχετικούς με την κατασκευή και πιο ακριβείς σε σχέση με τη μεθοδολογία των πολλαπλασιαστών κατά κεφαλήν.

1.2.3.ΜΕΘΟΔΟΣ ΒΑΣΙΣΜΕΝΗ ΣΕ ΕΜΒΑΔΟΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

Τα τελευταία χρόνια, πολλές μελέτες χρησιμοποιούν τη μέθοδο υπολογισμού ρυθμού παραγωγής ΑΚΚ, βασιζόμενες σε ένα ρυθμό παραγωγής ΑΚΚ ανά τετραγωνικό κατασκευής/ ανακαίνισης/κατεδάφισης. Αντίθετα, από τις προηγούμενες δύο μεθόδους, η συγκεκριμένη μπορεί να εφαρμοστεί τόσο σε επίπεδο έργου όσο και σε επίπεδο περιοχής. Οι τιμές ρυθμού παραγωγής μπορούν να προκύψουν με διάφορους τρόπους,

όπως από επιτόπου επισκέψεις σε εργοτάξια, από συμβούλους έργων, από τεχνικές οδηγίες καθώς και από βιβλιογραφική ανασκόπηση. Η συνολική επιφάνεια κατασκευών ή και κατεδαφίσεων μπορεί να βρεθεί από το μητρώο των έργων ή από εθνικές στατιστικές υπηρεσίες. Έτσι, η συνολική παραγωγή αποβλήτων ΑΚΚ μπορεί να εκτιμηθεί πολλαπλασιάζοντας τον ρυθμό παραγωγής (Kg/m^2) επί την συνολική επιφάνεια.

Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται ευρέως στη βιβλιογραφία. Συγκρινόμενη με τη μεθοδολογία της προηγούμενης παραγράφου, η τελευταία ξεπερνά την ενδιάμεση μεταβλητή που είναι η οικονομικά αξία. Πιθανά σφάλματα από τη χρήση της ενδιάμεσης μεταβλητής μπορούν έτσι να περιοριστούν με τη χρήση της μεθόδου που στηρίζεται σε εμβαδομετρήσεις.

1.3. ΜΕΘΟΔΟΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΧΡΟΝΟΥ ΖΩΗΣ

Η ανάλυση διάρκειας ζωής εφαρμόζεται κυρίως για την εκτίμηση των ποσοτήτων των αποβλήτων κατεδάφισης. Η βασική αρχή που διέπει αυτή τη μέθοδο είναι η διατήρηση της μάζας των χρησιμοποιούμενων υλικών. Η μέθοδος στηρίζεται στην υπόθεση ότι τα υπάρχοντα κτίρια, κάποια στιγμή θα κατεδαφιστούν και θα καταλήξουν σε απόβλητα κατεδάφισης. Συνεπώς, το βάρος των αποβλήτων κατεδάφισης πρέπει να ισούται με το βάρος της υπάρχουσας κατασκευής και μπορεί να εκτιμηθεί υποθέτοντας λογικούς χρόνους ζωής των κατασκευών και των υλικών. Δύο επιμέρους υπο-κλάδοι της μεθόδου είναι η ανάλυση χρόνου ζωής των κτιρίων και χρόνου ζωής των υλικών.

1.3.1. ΜΕΘΟΔΟΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΧΡΟΝΟΥ ΖΩΗΣ ΚΤΙΡΙΩΝ

Για πρώτη φορά, η μέθοδος χρησιμοποιήθηκε από τον Poon (1997). Ο σκοπός ήταν η παροχή επιπρόσθετων πληροφοριών για τη διεξαγωγή πιο αποτελεσματικής και αποδοτικής διαχείρισης αποβλήτων κατεδάφισης. Στην έρευνα του Poon, τα κτίρια κατηγοριοποιήθηκαν σε τέσσερες κατηγορίες σχετικές με την ηλικία τους, δηλαδή στα προπολεμικά του έτους 1945, 1946-1955, 1956-1960 και 1961-1965. Τα κτίρια που ολοκληρώθηκαν μετά το 1965 θεωρήθηκαν ότι δεν θα κατεδαφιστούν μέσα στην επόμενη δεκαετία. Δεκαεννέα σενάρια προτάθηκαν ορίζοντας ποσοστά πιθανούς κατεδάφισης της κάθε κατηγορίας.

Το πιο ρεαλιστικό σενάριο επιλέχθηκε βάσει μιας πρακτικής έρευνας και έτσι επιλέχθηκαν τα εμβαδά των υπό κατεδάφιση κτιρίων. Οι ποσότητες των κατεδαφισθέντων υλικών μπόρεσαν έτσι να προκύψουν με τη μέθοδο υπολογισμού ρυθμού παραγωγής, γνωρίζοντας τον παραγόμενο όγκο αποβλήτων ανά τετραγωνικό μέτρο επιφανείας και την πυκνότητα των χρησιμοποιούμενων υλικών.

1.3.2. ΜΕΘΟΔΟΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΧΡΟΝΟΥ ΖΩΗΣ ΥΛΙΚΩΝ

Προκειμένου να αποκτηθεί μια πιο σαφής εικόνα για κάθε είδος χρησιμοποιούμενου υλικού, κάποιοι επιστήμονες εισήγαγαν μια διαφορετική προσέγγιση που την αποκάλεσαν “ανάλυση ροής υλικών”, με σκοπό να εκτιμήσουν την παραγωγή και σύνθεση των ΑΚΚ στις ΗΠΑ.

Στην έρευνα τους, η κατανάλωση των δομικών υλικών σε όλη τη χώρα και τυπικοί συντελεστές αποβλήτων για τα πωλούμενα αυτά δομικά υλικά χρησιμοποιήθηκαν ώστε να υπολογιστεί η μάζα των στερεών αποβλήτων σαν αποτέλεσμα των κατασκευαστικών δραστηριοτήτων. Για εργασίες κατεδάφισης, ο όγκος των ΑΚΚ προβλέφθηκε από αρκετά δεδομένα κατανάλωσης παραδοσιακών υλικών δόμησης και εκτιμήσεις μέσω των όρων χρόνων ζωής των υλικών αυτών.

Από τη στιγμή που η συνολική ποσότητα των αγορασμένων υλικών δεν θα καταλήξει στην κατασκευή, τα ΑΚΚ που θα παραχθούν στις κατασκευαστικές δραστηριότητες μπορεί να υπολογιστούν από τη παρακάτω σχέση (3)

$$C_w = M \times W_c \quad (3)$$

Όπου:

C_w : είναι η ποσότητα των ΑΚΚ από την κατασκευαστική δραστηριότητα,

M : αναφέρεται στη συνολική ποσότητα των πωλούμενων υλικών σε όλη τη χώρα και

W_c : το μέσο ποσοστό που χάνεται κατά την κατασκευή και μπορεί να βρεθεί από κατασκευαστικές οδηγίες.

Η ποσότητα των υλικών που θα καταλήξουν σε απόβλητα κατεδάφισης D_w υποτέθηκε να είναι ίση με την ποσότητα των υλικών που βρίσκονται στην κατασκευή μετά την τοποθέτησή τους, μείον την ποσότητα που απορρίφθηκε κατά την τοποθέτησή τους, όπως φαίνεται και στην εξίσωση (4).

$$D_w = M - C_w \quad (4)$$

Για παράδειγμα, υποθέτοντας ότι η διάρκεια ζωής για ένα συγκεκριμένο υλικό είναι 50 χρόνια, και παράχθηκε το 1952, η κατεδαφισθείσα ποσότητα το 2002 μπορεί να υπολογιστεί από την εξίσωση (5).

$$Dw_{(2002)} = M_{(1952)} - Cw_{(1952)} \quad (5)$$

1.4. ΜΕΘΟΔΟΣ ΣΥΝΑΘΡΟΙΣΗΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗΣ

Τα τελευταία χρόνια, η μέθοδος αυτή έχει ευρεία εφαρμογή και αναπτύχθηκε έχοντας ως βάση τη μεθοδολογία υπολογισμού ρυθμού παραγωγής ΑΚΚ. Η σημαντικότερη βελτίωση είναι ότι η μέθοδος αυτή περιλαμβάνει ένα σύστημα κατηγοριοποίησης, το οποίο παρέχει τη δυνατότητα ποσοτικοποίησης διαφορετικών υλικών.

Το σύστημα ταξινόμησης μπορεί να επιλεγεί βάσει υπαρχόντων συστημάτων ταξινόμησης, όπως για παράδειγμα, βάσει καταλόγων προϋπολογισμών έργων που εφαρμόζονται σε κλίμακα περιοχής ή βάσει του Ευρωπαϊκού καταλόγου αποβλήτων.

Κάποιοι μελετητές δημιούργησαν ένα σύστημα ταξινόμησης, βασισμένο σε μια φόρμα προϋπολογισμού ενός έργου στη Σεβίλλη της Ισπανίας. Η κατάταξη οργανώθηκε ιεραρχικά σε κεφάλαια και υποκεφάλαια. Για παράδειγμα, ο κωδικός 02ΤΧ αναφέρεται στο κεφάλαιο 02 (που έχει επιλεγεί για τα έργα εκσκαφών) και στο υποκεφάλαιο ΤΧ (που αναπαριστά τη μεταφορά των εκσκαφών). Η ποσότητα των αποβλήτων της συγκεκριμένης κατηγορίας υπολογίστηκε εφαρμόζοντας τις μεθόδους της επιτόπου επίσκεψης και τη μέθοδο υπολογισμού ρυθμού παραγωγής ΑΚΚ. Αφού προσδιορίστηκαν όλες οι ποσότητες των υλικών, το συνολικό ποσό ΑΚΚ μπορούσε να βρεθεί με την άθροιση όλων αυτών. Άλλοι ερευνητές χρησιμοποίησαν παρόμοια συστήματα ταξινόμησης, χρησιμοποιώντας για παράδειγμα τον Ευρωπαϊκό κατάλογο αποβλήτων.

Είναι προφανές ότι τα αποτελέσματα αυτής της μεθόδου μπορούν να δώσουν πιο σαφή πληροφορία για την επιλογή στρατηγικών διαχείρισης ΑΚΚ, γιατί κάθε κατηγορία απόβλητου έχει διαφορετικές ιδιότητες και απαιτεί διαφορετική προσέγγιση.

Παρόμοια με τη μέθοδο υπολογισμού ρυθμού παραγωγής ΑΚΚ, η μέθοδος αυτή μπορεί να εφαρμοστεί για την ποσοτικοποίηση τόσο των αποβλήτων κατασκευής όσο και των αποβλήτων κατεδάφισης. Για την διευκόλυνση της εφαρμογής της μεθόδου, υπολογιστικά προγράμματα όπως το Microsoft Excel ή βάσεις δεδομένων προτάθηκαν για χρήση από διάφορους μελετητές.

1.5. ΜΕΘΟΔΟΣ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ

Η παραγωγή των ΑΚΚ εξαρτάται από διάφορες παραμέτρους, όπως οικονομικούς δείκτες, εμβαδά κατασκευής, συνθήκες εργασίας στα εργοτάξια, κλπ. Έτσι, υπάρχει η δυνατότητα προσομοίωσης της παραγωγής ΑΚΚ με χρήση μοντελοποίησης μεταβλητών. Η πρόβλεψη των ποσοτήτων ΑΚΚ με τη χρήση της μεθόδου βοηθά στην κατανόηση της αλληλοεπίδρασης μεταξύ των μεταβλητών και παρέχει πιο συστηματική πληροφορία για τη λήψη αποφάσεων.

Σε επίπεδο έργου, οι Wimalasena et al (2010) μελέτησαν ένα πλαίσιο ποσοτικοποίησης βασισμένο στην αρχή της παραγωγής ΑΚΚ βάσει δραστηριοτήτων, το οποίο υποθέτει ότι η συνολική ποσότητα των αποβλήτων κατασκευής που παράγονται σε μια χρονική στιγμή σε ένα εργοτάξιο είναι το σύνολο των ποσοτήτων αποβλήτων από κάθε κατασκευαστική δραστηριότητα. Πέντε κατηγορίες συντελεστών λήφθηκαν υπόψη για την εκτίμηση της παραγωγής ΑΚΚ σε μια κατασκευαστική δραστηριότητα.

- Συντελεστές σχετικούς με τη δραστηριότητα
- Συντελεστές σχετικούς με την εργασία και τον εξοπλισμό
- Συντελεστές σχετικούς με τα υλικά και την αποθήκευσή τους
- Συντελεστές σχετικούς και τις συνθήκες των εργοταξίων και τις καιρικές συνθήκες
- Συντελεστές σχετικούς τις πολιτικές των εταιρειών

Προκειμένου το υπολογιστικό μοντέλο να γίνει πιο εξεζητημένο, προτάθηκε να γίνονται αναλυτικές επιτόπου παρατηρήσεις, ώστε να ποσοτικοποιούνται οι μεταβλητές και να προκύπτουν οι αλληλοσυσχετίσεις.

Για υπολογισμούς σε επίπεδο περιοχής, οι Ye et al.(2010) πρότειναν ένα εννοιολογικό μοντέλο βασισμένο στη θεωρία της δυναμικής των συστημάτων. Το μοντέλο προέκυψε βάσει των επιφαινόμενων αλληλεπιδράσεων μεταξύ των μεταβλητών. Οι αλληλοσυσχετίσεις παρουσιάστηκαν κάνοντας χρήση τυχαίων βρόχων, που συνηθίζεται να εξαλείφουν την πολυπλοκότητα των συστημάτων και να αποδεικνύουν τις αλλαγές των μεταβλητών. Έτσι, η παραγωγή των ΑΚΚ θα μπορούσε να σχεδιαστεί δυναμικά.

1.6. ΑΛΛΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ

Εκτός των προαναφερόμενων μεθόδων, μερικές άλλες μέθοδοι έχουν επίσης χρησιμοποιηθεί. Για παράδειγμα, οι Hao et al.(2008) εκτίμησαν την παραγωγή των αποβλήτων κατασκευής ως ένα σταθερό ποσοστό των πωλούμενων υλικών. Στην έρευνα τους, η συνολική ποσότητα των αποβλήτων μπορούσε εύκολα να υπολογιστεί ως ένα ποσοστό 10% των πωλούμενων ποσοτήτων. Επιπλέον, οι ποσότητες φυρών κάποιων υλικών μπορούσε να βρεθεί βάσει των χημικών τους χαρακτηριστικών. Για παράδειγμα, οι Shi and Xu (2006) εκτίμησαν τα απόβλητα σκυροδέματος στην Κίνα από την ετήσια εγχώρια παραγωγή τσιμέντου. Το τσιμέντο χρησιμοποιείται επειδή είναι ένα απαραίτητο υλικό για την παραγωγή σκυροδέματος και η βιομηχανική του παραγωγή καταγράφεται από την εθνική στατιστική υπηρεσία. Είναι πιθανό, έτσι, να εκτιμηθεί η ποσότητα των αποβλήτων σκυροδέματος έχοντας δεδομένα από την αναλογία συμμετοχής του τσιμέντου στο σκυρόδεμα και από ποσοστά φύρας του σκυροδέματος.

1.7. ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΥΠΑΡΧΟΥΣΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ

Η επιλογή της κατάλληλης μεθοδολογίας προσδιορισμού των ποσοτήτων ΑΚΚ είναι αναγκαία για την εύρεση ενός αποτελεσματικού σχεδίου διαχείρισης των ΑΚΚ. Παρακάτω ακολουθεί σύγκριση και αξιολόγηση των διαφόρων μεθοδολογιών βάσει διαφορετικών κριτηρίων κατηγοριοποίησης, ισχυουσών περιορισμών εφαρμογής τους και αναφέρονται πιθανές κατευθύνσεις έρευνας για κάθε μια από αυτές. Τα κριτήρια κατηγοριοποίησης συνίστανται στο αίτιο που δημιουργεί τα ΑΚΚ και είναι είτε η κατασκευή νέων κτιρίων, είτε η κατεδάφιση παλιών κτιρίων είτε έργα υποδομών και το επίπεδο εκτίμησης των ποσοτήτων (επίπεδο έργου ή επίπεδο περιοχής).

1.7.1. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΥΠΑΡΧΟΝΤΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ

Τα τελευταία χρόνια καίριο ζήτημα του τομέα διαχείρισης των ΑΚΚ, είναι η εκτίμηση των ποσοτήτων τους. Διάφορες μέθοδοι υπολογισμού τους έχουν κατά διαστήματα προταθεί όπως αναλύθηκε διεξοδικά παραπάνω. Αναλόγως της σκοπιμότητας της εκάστοτε μελέτης ποσοτικοποίησης των ΑΚΚ, μπορεί να χρησιμοποιηθεί η πλέον κατάλληλη. Έτσι στη συνέχεια θα σχολιαστεί η εφαρμογή της κάθε μεθόδου.

1.7.1.1. ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΠΙΤΟΠΟΥ ΕΠΙΣΚΕΨΗΣ

Αυτή η μέθοδος δεν είναι κατάλληλη για την εκτίμηση της ποσότητας των παραγόμενων ΑΚΚ σε κλίμακα περιοχής επειδή απαιτεί σημαντικό χρόνο, εργασία και χρήματα. Παρόλα αυτά είναι επιτακτικής ανάγκης να εφαρμόζεται σε επίπεδο έργου για τη συλλογή αξιόπιστων δεδομένων που χρειάζονται οι διάφορες μεθοδολογίες. Επιπρόσθετα, αυτή η μέθοδος μπορεί να εκτιμήσει ποσότητες που παράγονται από όλες τις οικοδομικές δραστηριότητες. Οι ποσότητες μπορούν να προκύψουν ή ζυγίζοντας τα ΑΚΚ απευθείας στο εργοτάξιο ή εκτιμώντας το σχήμα του τρόπου συγκέντρωσης των υλικών. Συζητήσεις με επαγγελματίες των εργοταξίων προτείνονται επίσης, προκειμένου να βελτιώνεται ο εκάστοτε υπολογιζόμενος ρυθμός παραγωγής.

1.7.1.2. ΜΕΘΟΔΟΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΡΥΘΜΟΥ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΑΚΚ

Αυτή η μεθοδολογία έχει ευρεία εφαρμογή σε μελέτες επειδή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση των αποβλήτων από όλες τις δραστηριότητες τόσο σε επίπεδο περιοχής όσο και σε επίπεδο έργου. Η βασική αρχή της είναι η εύρεση ενός ρυθμού παραγωγής ανά μονάδα και του συνόλου των μονάδων.

Στις αρχικές περιπτώσεις εφαρμογής της, η παραγωγή των ΑΚΚ βασιζόταν σε πληθυσμιακά δεδομένα, που χρησιμοποιούνται ευρέως για την εκτίμηση της ποσότητας των αστικών αποβλήτων. Παρόλα αυτά στις πιο πρόσφατες μελέτες ποσοτικοποίησης ΑΚΚ, χρησιμοποιείται συνήθως η μεταβλητή του εμβαδού.

Για εκτίμηση σε επίπεδο έργου, η τιμή του εμβαδού (m^2) μπορεί να βρεθεί από τα σχέδια εφαρμογής του έργου. Για εκτίμηση σε επίπεδο περιοχής, η τιμή του εμβαδού μπορεί να προκύψει από σχετικές εθνικές στατιστικές αναφορές.

1.7.1.3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΧΡΟΝΟΥ ΖΩΗΣ

Η αναφερόμενη μεθοδολογία βασίζεται στην ποσοτικοποίηση των ΑΚΚ βάσει της μεθόδου υπολογισμού ρυθμού παραγωγής, στοχεύοντας να εκτιμήσει την παραγωγή αποβλήτων από εργασίες ανακαίνισης και κατεδάφισης υποθέτοντας τυπικές τιμές χρόνου ζωής. Αναλόγως του επιπέδου εκτίμησης, η μέθοδος μπορεί να χωριστεί σε δύο υποκατηγορίες, αφενός της ανάλυσης με βάση διάρκειες ζωής υλικών και αφετέρου με βάση διάρκειες ζωής κτιρίων. Η πρώτη υποκατηγορία χρησιμοποιείται για την εκτίμηση

σε επίπεδο έργου, ενώ η δεύτερη επικεντρώνεται στην ποσοτικοποίηση των ΑΚΚ σε επίπεδο περιοχής. Το πλεονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε περιοχές όπου δεν υπάρχουν δεδομένα επιφανειών κατεδάφισης.

1.7.1.4. ΜΕΘΟΔΟΣ ΣΥΝΑΘΡΟΙΣΗΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗΣ

Η μέθοδος αυτή αναπτύχθηκε βάσει της υπάρχουσας ταξινόμησης των ΑΚΚ. Δεδομένου ότι τα διαφορετικά υλικά κατασκευής έχουν διαφορετικά χημικά χαρακτηριστικά και απαιτήσεις αποθήκευσης, τα αντίστοιχα οφέλη ανακύκλωσης και οι επιλογές διάθεσης τους είναι διαφορετικές. Για παράδειγμα, η ανακύκλωση ράβδων οπλισμού μπορεί να αποφέρει περισσότερα οφέλη από την ανακύκλωση αποβλήτων σκυροδέματος ή πέτρας.

Έτσι, μια πιο βαθιά κατανόηση της παραγωγής των ΑΚΚ είναι απαραίτητη για μια πιο αποτελεσματική διαχείριση τους. Πρόκειται για μια μεθοδολογία που μπορεί να παρέχει τέτοιου είδους πληροφορία και μπορεί να εφαρμοστεί για την εκτίμηση ποσοτήτων ΑΚΚ από όλες τις οικοδομικές δραστηριότητες σε επίπεδο έργου. Γενικά το σύστημα ταξινόμησης μπορεί να στηριχθεί σε διαθέσιμους προϋπολογισμούς έργων ή λίστες αποβλήτων που έχουν θεσπίσει οι διάφορες κυβερνήσεις. (π.χ. Ευρωπαϊκή λίστα αποβλήτων).

1.7.1.5. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ

Αυτή η μέθοδος στηρίζεται στις αλληλοσυσχετίσεις μεταξύ των συστηματικών μεταβλητών που χρησιμοποιούνται για τη μοντελοποίηση της παραγωγής αποβλήτων. Κατά την εκτίμηση της παραγωγής ΑΚΚ, οι μεταβλητές εξετάζονται συλλογικά και ανιχνεύονται οι μεταξύ τους αλληλεπιδράσεις. Αυτή η μέθοδος αρχικά αναπτύχθηκε για να προβλέψει εκτενώς την παραγωγή των στερεών αστικών αποβλήτων. Ωστόσο, δεδομένου ότι τα δεδομένα για τα απόβλητα κατασκευών και κατεδαφίσεων είναι πολύ λιγότερα από τα δεδομένα που υπάρχουν για τα στερεά αστικά απόβλητα, η μέθοδος χρησιμοποιείται σε αρχικό επίπεδο και προς το παρόν δεν προβλέπει αξιόπιστα μελλοντικά σενάρια. Απαιτούνται πιο ενδελεχείς έρευνες για να αναπτυχθεί αυτό το είδος μεθοδολογίας και προκειμένου να αυξηθεί η σκοπιμότητά και η ακρίβεια της.

1.7.1.6. ΑΛΛΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ

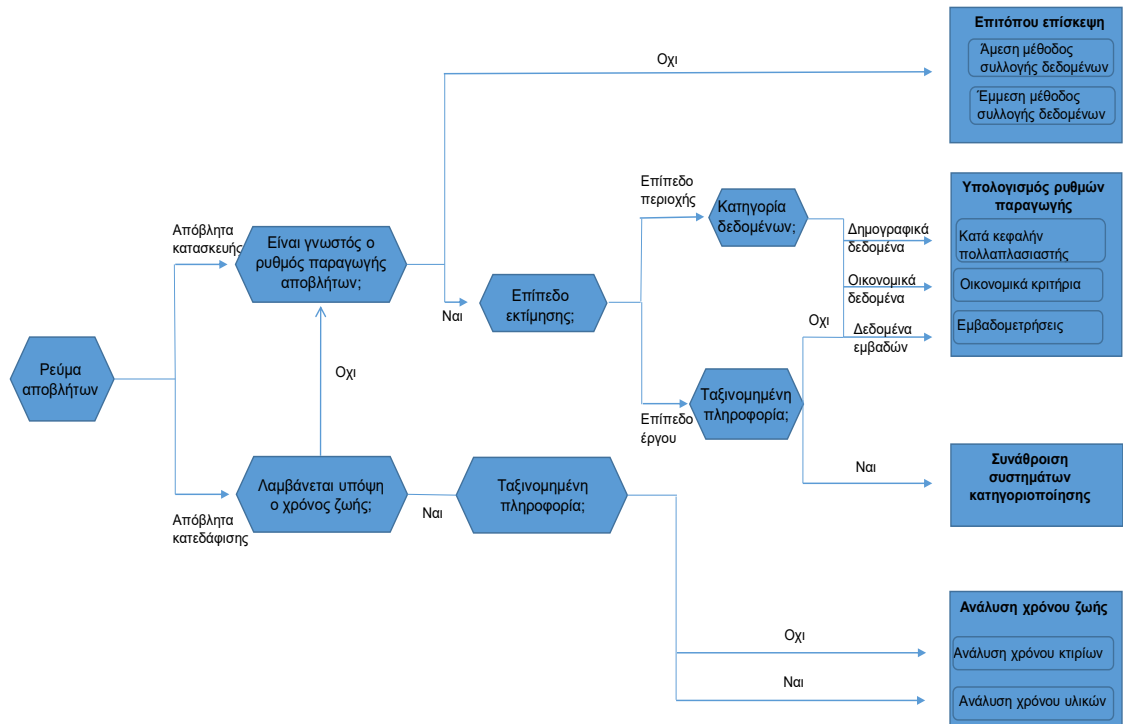
Στην πράξη, δεν είναι δυνατόν να γίνει ακριβής εκτίμηση των ΑΚΚ λόγω ορισμένων συγκεκριμένων περιορισμών, όπως για παράδειγμα λόγω του ότι περίοδος κατασκευής είναι πολύ σύντομη. Σε αυτήν την περίπτωση, το ποσοστό φύρας των πωλούμενων υλικών μπορεί να εκτιμηθεί βάσει της υπάρχουσας βιβλιογραφίας ή βάσει πρακτικής εμπειρίας για χονδροειδείς εκτιμήσεις. Παρόλα αυτά χρειάζονται ακριβείς εκτιμήσεις για μερικά πολύτιμα υλικά (π.χ. ράβδων οπλισμού) με σκοπό να μειωθεί το ποσοστό “φύρας” και έτσι να εξοικονομηθούν χρήματα.

1.7.2. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Βάσει των παραπάνω, μπορούμε να πούμε ότι καμία μεθοδολογία ποσοτικοποίησης δεν είναι καταλληλότερη από τις υπόλοιπες. Η κάθε μία επιλέγεται βάσει των εκάστοτε απαιτήσεων ποσοτικοποίησης ΑΚΚ και των υπάρχουσών συνθηκών.⁴

Επιπρόσθετα, παρατίθεται σε δενδροειδή μορφή ένα σχεδιάγραμμα που μπορεί να χρησιμεύσει ως οδηγός επιλογής της καταλληλότερης μεθοδολογίας ποσοτικοποίησης, όπως φαίνεται στην (Εικόνα 1).

Επειδή η μεθοδολογία μοντελοποίησης μεταβλητών παραμένει σε πρώιμο στάδιο και οι λοιπές μέθοδοι έχουν ειδικούς περιορισμούς εφαρμογής, δεν συμπεριλαμβάνονται στο υπόψη σχεδιάγραμμα. Μόνον οι ώριμες και ευρέως χρησιμοποιούμενες μέθοδοι λαμβάνονται υπόψη.



Εικόνα 1 :Σχεδιάγραμμα επιλογής μεθοδολογίας ποσοτικοποίησης ΑΚΚ

1.8. ΥΠΑΡΧΟΝΤΕΣ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ

1.8.1. ΕΛΛΕΙΨΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΠΟΣΟΤΙΚΟΠΟΙΗΣΗΣ ΣΕ ΕΡΓΑ ΥΠΟΔΟΜΩΝ

Από τη βιβλιογραφική ανασκόπηση, μπορεί να φανεί ότι οι διαδικασίες ποσοτικοποίησης επικεντρώνονται πολύ περισσότερο σε οικιστικά ή εμπορικά κτίρια παρά σε έργα υποδομών. Αυτό οφείλεται στο ότι τα οικιστικά και εμπορικά κτίρια είναι συχνά μικρότερου μεγέθους από τα δημόσια έργα υποδομής και επομένως είναι ευκολότερο και οικονομικότερο να μελετηθούν. Επίσης, η διάρκεια κατασκευής και η διάρκεια ζωής αυτών των κτιρίων είναι πολύ μικρότερες από αυτά των δημόσιων έργων υποδομής, γεγονός που επιτρέπει την εκτίμηση των ποσοτήτων αποβλήτων κατεδάφισης. Επιπρόσθετα, εφόσον τα κτίρια κατοικιών και επαγγελματικών χώρων είναι γενικά παρόμοια κατασκευής, τα δεδομένα παραγωγής αποβλήτων από διαφορετικά έργα είναι συγκρίσιμα και μπορεί να γενικευθούν.

1.8.2.ΕΛΛΕΙΨΗ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Η ύπαρξη πραγματικών δεδομένων είναι ιδιαίτερα σημαντική για ακριβείς υπολογισμούς. Παρόλα αυτά, σήμερα, δεν υπάρχουν αξιόπιστα δεδομένα για την εκτίμηση των ΑΚΚ, εκτός από λίγες εξαιρέσεις σε μερικές αναπτυγμένες χώρες. Για την επίτευξη μιας πιο ακριβούς εκτίμησης, οι ερευνητές πρέπει να στηριχθούν σε υποθέσεις. Για παράδειγμα, από τη στιγμή που η ετήσια συνολική επιφάνεια κατασκευών (m^2) στη Φλόριντα των Ηνωμένων Πολιτειών δεν είναι άμεσα διαθέσιμη, οι Cochran et al.(2007) την εκτίμησαν διαιρώντας το συνολικό κόστος της οικοδομικής δραστηριότητας (\$/έτος) με το μέσο κόστος ανά επιφάνεια οικοδομικής δραστηριότητας (\$/ m^2). Ο Poon (1997) υπέθεσε ένα σταθερό ρυθμό παραγωγής ΑΚΚ (m^3/m^2), ένα γενικό δείκτη πυκνότητας αποβλήτων (kg/m^3) και το πιο πιθανό σενάριο κατεδαφισθείσης επιφάνειας (m^2) προκειμένου να υπολογίσει τα απόβλητα κατεδάφισης. Αν και κάποιες υποθέσεις είναι λογικές, κρίνεται σκόπιμο να δοθεί ιδιαίτερη έμφαση στην καταγραφή πραγματικών δεδομένων, για μια πιο ρεαλιστική εκτίμηση.

1.8.3.ΕΛΛΕΙΨΗ ΕΠΑΛΗΘΕΥΣΕΩΝ

Αν και πολλές μεθοδολογίες ποσοτικοποίησης έχουν προταθεί και έχουν εφαρμοστεί σε διάφορες περιπτώσεις μελέτης στη διεθνή βιβλιογραφία, δεν έχει πραγματοποιηθεί σημαντική επαλήθευση ώστε να αποδειχθεί αν μια μέθοδος είναι κατάλληλη ή πόσο αποκλίνει η εκτίμηση της από την πραγματικότητα.

Η μόνη απόδειξη ότι οι ερευνητές επαληθεύουν τα αποτελέσματά τους, είναι όταν εφαρμόζουν τη μέθοδο ποσοτικοποίησης μέσω της επίσκεψης. Μετά τον υπολογισμό ενός ρυθμού παραγωγής ΑΚΚ, οι ερευνητές προσαρμόζουν της εκτίμηση τους μέσω συνεντεύξεων από επαγγελματίες του χώρου. Αυτή η επαλήθευση μπορεί να κάνει πιο πρακτική την εκτίμηση τους. Εντούτοις, σε επίπεδο περιοχής, υπάρχει μικρή πιθανότητα επαλήθευσης των δεδομένων για τους ερευνητές από τη στιγμή που οι τοπικές κυβερνήσεις δεν καταγράφουν την παραγωγή των ΑΚΚ.

1.9. ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΕΙΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

1.9.1.ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΕΡΓΩΝ ΥΠΟΔΟΜΗΣ

Οι προηγούμενες έρευνες έχουν επικεντρωθεί κυρίως σε κτίρια κατοικιών και εμπορίου, αλλά τα έργα υποδομής συμβάλλουν καθοριστικά στην παραγωγή των ΑΚΚ. Στις περισσότερες περιπτώσεις, ένα έργο υποδομής παράγει πολύ περισσότερα απόβλητα από ένα συνηθισμένο έργο κατοικίας ή εμπορίου. Σαν αποτέλεσμα, πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στην ποσοτικοποίηση των ΑΚΚ από έργα υποδομών. Κάποιοι μελετητές πρότειναν μια μέθοδο υπολογισμού παραγωγής αποβλήτων από έργα κατασκευής σιδηροδρόμων. Αναμένεται ότι οι μελλοντικές έρευνες θα στραφούν και σε άλλα έργα υποδομών όπως για παράδειγμα σε έργα κατασκευής αυτοκινητοδρόμων, κατασκευή γεφυρών κλπ.

1.9.2.ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

Η πληροφορία στην παραγωγή αποβλήτων ΑΚΚ μπορεί να βοηθήσει τους συντονιστές έργων ή την πολιτική ηγεσία ώστε να εφαρμόσουν ένα αποδοτικό σχέδιο διαχείρισης αποβλήτων. Σε επίπεδο έργου, είναι λογικό να λαμβάνονται υπόψη κάποιοι περιορισμοί (π.χ. έλλειψη χώρου στο εργοτάξιο, έλλειψη εργατικού δυναμικού κλπ.) κατά τη διάρκεια υλοποίησης του. Αυτοί οι περιορισμοί μπορούν να καταστήσουν αδύνατη την εφαρμογή σχεδίου ανακύκλωσης για όλα τα ρεύματα αποβλήτων.

Σε αυτήν την περίπτωση, είναι σημαντικό για τον συντονιστή του έργου να γνωρίζει την ταξινομημένη πληροφορία ώστε να σχεδιάσει το καλύτερο δυνατό πλάνο διαχείρισης αποβλήτων, που θα υποδεικνύει ποια απόβλητα μπορούν να ανακυκλωθούν στο εργοτάξιο και ποια μπορούν να διατεθούν σε χωματερές. Η ανακύκλωση των υλικών στο εργοτάξιο θα πρέπει να περιλαμβάνει τα οικονομικώς αποδοτικότερα υλικά που έχουν υψηλότερες τιμές ανακύκλωσης.

Σε κλίμακα περιοχής, οι εγκαταστάσεις διάθεσης αποβλήτων μπορούν να δεχτούν διαφορετικά ρεύματα αποβλήτων, αναλόγως των χημικών τους χαρακτηριστικών. Για παράδειγμα, στο Χονγκ Κονγκ, τα αδρανή απόβλητα μπορούν να διατεθούν σε δημόσιες εγκαταστάσεις επεξεργασίας αποβλήτων (με τέλος διάθεσης ΗΚ\$25), ενώ τα μη-αδρανή υλικά μπορούν να διατεθούν σε χωματερές (με τέλος διάθεσης ΗΚ\$100).

Έτσι είναι απαραίτητο για την πολιτική ηγεσία να γνωρίζει τις ποσότητες των αδρανών και μη-αδρανών υλικών προκειμένου επιτύχουν μια αποτελεσματικότερη διαχείριση των ΑΚΚ μέσω ειδικών εγκαταστάσεων και τη χρέωση ειδικών φόρων διάθεσης. Επιπρόσθετα, θα πρέπει να εφαρμόζονται πολιτικές κινήτρων για ανακύκλωση υλικών που θα βασίζεται στην υπάρχουσα ταξινομημένη πληροφόρηση.

1.9.3.ΕΚΤΙΜΗΣΕΙΣ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ Η/Υ

Σήμερα, οι Η/Υ χρησιμοποιούνται ευρέως και μπορούν να διευκολύνουν τους υπολογισμούς των ποσοτήτων ΑΚΚ. Οι δύο πρόσφατες μεθοδολογίες ποσοτικοποίησης βασίζονται σε τεχνικές χρήσης Η/Υ. Οι Wang et (2004) πρώτοι ανέπτυξαν τη μέθοδο συνάθροισης συστημάτων ταξινόμησης βασιζόμενοι σε υπολογιστικά φύλλα του Microsoft Office Excel, ώστε να ιχνηλατούν ρεύματα ΑΚΚ σε διάφορα στάδια διαχείρισης τους. Μια οικονομική ανάλυση επιπρόσθετα υλοποιήθηκε λαμβάνοντας υπόψη τα δεδομένα κόστους/εσόδων για διαφορετικά σενάρια διαχείρισης.

Εκτός από το Excel, άλλοι ερευνητές υπολόγισαν ποσότητες ΑΚΚ βασισμένοι σε online υπολογιστικά εργαλεία, ώστε να εκτιμήσουν ποσότητες από 21 διαφορετικά ρεύματα αποβλήτων για διάφορες κατηγορίες κτιρίων. Αυτή την ιδέα ενστερνίστηκαν και άλλοι, ισχυριζόμενοι ότι εκτός του ότι μπορεί να παραχθεί ακριβής πληροφορία στην παραγωγή των ΑΚΚ, δύναται επιπλέον να διευκολυνθεί η προσβασιμότητα, η διασύνδεση και ο διαμοιρασμός της πληροφορίας όταν απαιτείται μια ευρεία γκάμα σχεδίων διαχείρισης ΑΚΚ.

Κάποιοι άλλοι εισήγαγαν την BIM τεχνολογία, που μπορεί να προσομοιώσει τον σχεδιασμό, οργάνωση, κατασκευή και λειτουργικότητα μιας κατασκευής και να γεμίσει το κενό που αφήνουν τα εργαλεία ποσοτικοποίησης ΑΚΚ. Από τη στιγμή που οι απαιτήσεις ακριβείας στον τομέα της ποσοτικοποίησης ΑΚΚ γίνονται ολοένα και περισσότερες, θεωρείται ότι οι εκτιμήσεις με τη βοήθεια των συστημάτων Η/Υ έχουν προοπτικές ανάπτυξης.

1.9.4.ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΚΤΙΜΗΣΕΙΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΑΚΚ

Ακριβείς προβλέψεις μελλοντικά παραγόμενων ποσοτήτων ΑΚΚ μπορούν να βοηθήσουν τους συντονιστές των έργων να κάνουν ορθότερη διαχείριση πρώτων υλών

στα εργοτάξια και τους πολιτικούς τοπικούς άρχοντες στην εγκαθίδρυση αποδοτικότερων εγκαταστάσεων υποδοχής αποβλήτων.

Εντούτοις, σε αντίθεση με την ποσοτικοποίηση των στερεών αστικών αποβλήτων, ελάχιστες έρευνες έχουν διεξαχθεί που να προβλέπουν τη μελλοντική παραγωγή των ΑΚΚ. Οι πρόσφατες μελέτες κυρίως επικεντρώνονται στην εκτίμηση της παραγωγής αποβλήτων ΑΚΚ ενός ολοκληρωμένου έργου ή στην εκτίμηση της παραγωγής σε κλίμακα περιοχής προηγούμενων ετών.

Αυτό συμβαίνει κυρίως γιατί η διαθέσιμη πληροφορία για την πρόβλεψη δεν επαρκεί, όπως συζητήθηκε διεξοδικά στην υποπαράγραφο 1.8.2. Προς το παρόν, οι μελέτες στρέφονται στην εύρεση ενός ρυθμού παραγωγής ΑΚΚ σε επίπεδο έργου. Θεωρείται ότι η πρόβλεψη των ποσοτήτων ΑΚΚ σε κλίμακα περιοχής γίνεται ολοένα και πιο εφαρμόσιμη, αλλά χρειάζεται ακόμα πολύ προσπάθεια. Από τη στιγμή που οι τοπικές κυβερνήσεις καλούνται να αναπτύξουν την περιβαλλοντολογική ευαισθησία τους σε ότι αφορά τη διαχείριση των ΑΚΚ, πιστεύεται ότι θα προκύψουν καταγραφές πραγματικών δεδομένων σε χρονολογική σειρά, ώστε να προκύψουν χρονοσειρές για μοντέλα παλινδρόμησης για μελλοντικές προβλέψεις.

2. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΩΝ ΠΟΣΟΤΙΚΟΠΟΙΗΣΗΣ ΑΚΚ ΣΤΟΝ ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΧΩΡΟ

2.1. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΠΟΣΟΤΗΤΩΝ ΑΚΚ ΣΤΟΝ ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΧΩΡΟ

Στην Ελλάδα χρησιμοποιείται από το 2005 ένα μοντέλο υπολογισμού ποσοτήτων ΑΚΚ που έχει αναπτυχθεί από τη Μονάδα Περιβαλλοντικής επιστήμης και Τεχνολογίας της σχολής Χημικών Μηχανικών του Ε.Μ.Π. Το μοντέλο χρησιμοποιείται στη σύνταξη όλων των Περιφερειακών Σχεδιασμών Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων της Ελλάδας καθώς και από ελληνικές επιχειρήσεις / συστήματα εναλλακτικής διαχείρισης ΑΕΚΚ που συντάσσουν το 5-ετές πλάνο δράσης τους, με σκοπό να υπολογίσουν τις ποσότητες ΑΚΚ που θα προκύψουν στο μέλλον.

Ειδικότερα για την εκτίμηση των ποσοτήτων αποβλήτων από κατεδαφίσεις εφαρμόζεται η ακόλουθη σχέση:

$$\text{ΑΠΚΤΔ} = \text{ΑΡΚΤΔ} * \text{ΑΟΚΤΔ} * \text{ΕΚΤΔ} * \text{ΟΚΤΔ} * \text{ΠΑΚΤΔ}$$

Όπου:

- ΑΠΚΤΔ: είναι τα Απόβλητα Κατεδαφίσεων σε τόνους
- ΑΡΚΤΔ: είναι ο αριθμός των κατεδαφίσεων, όπως προκύπτει από τα διαθέσιμα στατιστικά στοιχεία της ΕΛΣΤΑΤ
- ΑΟΚΤΔ: είναι ο μέσος όρος του αριθμού των ορόφων των κτιρίων που κατεδαφίζονται
- ΕΚΤΔ: είναι η μέση επιφάνεια των κτιρίων που κατεδαφίζονται σε m^2
- ΟΚΤΔ: είναι ο μέσος όγκος των αποβλήτων που προκύπτουν από κάθε κατεδάφιση σε m^3
- ΠΑΚΤΔ: είναι η μέση πυκνότητα των αποβλήτων κατεδαφίσεων σε tn/m^3

και για την εκτίμηση των ποσοτήτων αποβλήτων από κατασκευές εφαρμόζεται η ακόλουθη σχέση:

$$\text{ΑΠΚ} = (\text{ΕΝΚ} + \text{ΕΚ}) * \text{ΟΑΚ} * \text{ΠΑΚ}$$

Όπου:

- ΑΠΚ: είναι τα Απόβλητα Κατασκευών σε τόνους
- ΕΝΚ: είναι η επιφάνεια των νέων κτιρίων που κατασκευάζονται σε τετραγωνικά μέτρα, όπως προκύπτει από τα διαθέσιμα στατιστικά στοιχεία της ΕΛΣΤΑΤ
- ΕΚ: είναι η επιφάνεια των επεκτάσεων που κατασκευάζονται σε υφιστάμενα κτίρια σε τετραγωνικά μέτρα, όπως προκύπτει από τα διαθέσιμα στατιστικά στοιχεία της ΕΛΣΤΑΤ
- ΟΑΚ: είναι ο μέσος όγκος των αποβλήτων που προκύπτουν από κάθε κατασκευή σε m^3 ανά m^2 επιφάνειας κατασκευής
- ΠΑΚ: είναι η μέση πυκνότητα των αποβλήτων κατασκευών σε tn/m^3

Στο παρακάτω πίνακα 1, παρατίθενται συγκεντρωτικά οι συντελεστές των ανωτέρω εξισώσεων.

Πίνακας 1: Συντελεστές εξισώσεων για εκτίμηση αποβλήτων από κατασκευές και κατεδαφίσεις

	ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ
ΚΑΤΕΔΑΦΙΣΕΙΣ	Μέσος όρος αριθμού ορόφων	1,30

	Μέση επιφάνεια κτιρίων	130 m ²
	Μέσος όγκος αποβλήτων	0,80 m ³ /m ²
	Μέση πυκνότητα αποβλήτων	1,60 tn/m ²
ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ	Μέσος όγκος αποβλήτων	0,06 m ³ /m ²
	Μέση πυκνότητα αποβλήτων	1,60 tn/m ²

2.2. ΝΟΜΟΘΕΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΑΕΚΚ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Στην Ελλάδα έχει εκδοθεί η ΚΥΑ 36259/2010 που καθορίζει μέτρα, όρους και πρόγραμμα για την εναλλακτική διαχείριση των αποβλήτων ειδικά από εκσκαφές, κατασκευές και κατεδαφίσεις. Επιπρόσθετα σε εθνικό επίπεδο ισχύουν επίσης τα ακόλουθα νομοθετήματα.

1. Ευρωπαϊκός Κατάλογος Αποβλήτων (Ε.Κ.Α.)

Κατάλογος Αποβλήτων σύμφωνα με το Παράρτημα της απόφασης 2000/532/ΕΚ, όπως έχει τροποποιηθεί με τις Αποφάσεις 2001/118/ΕΚ και 2001/573/ΕΚ της Επιτροπής Ε.Κ.

2. Ν. 2939/2001

Συσκευασίες και εναλλακτική διαχείριση των συσκευασιών και άλλων προϊόντων. – Ίδρυση Εθνικού Οργανισμού Εναλλακτικής Διαχείρισης Συσκευασιών και Άλλων Προϊόντων (Ε.Ο.Ε.Δ.Σ.Α.Π) και άλλες διατάξεις

3. Ν. 4496/2017

Τροποποίηση του ν. 2939/2001 για την εναλλακτική διαχείριση των συσκευασιών και άλλων προϊόντων, προσαρμογή στην Οδηγία 2015/720/ΕΕ, ρύθμιση θεμάτων του Ελληνικού Οργανισμού Ανακύκλωσης και άλλες διατάξεις.

4. Ν. 4042/2012

Ποινική προστασία του περιβάλλοντος – Εναρμόνιση με την Οδηγία 2008/99/ΕΚ – Πλαίσιο παραγωγής και διαχείρισης αποβλήτων – Εναρμόνιση με την Οδηγία 2008/98/ΕΚ – Ρύθμιση θεμάτων Υπουργείου Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής.

3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι να σχεδιάσει έναν σχετικά γρήγορο τρόπο υπολογισμού ποσοτήτων οικοδομικών αποβλήτων που μπορεί να προκύψουν μετά από μια φυσική καταστροφή, με χρήση γεωγραφικών δεδομένων. Αρχικά θα γίνει μια προσπάθεια εκτίμησης ρυθμών παραγωγής ΑΚΚ βασισμένων σε εμβαδομετρήσεις, για διαφορετικές κατηγορίες κτιρίων, που μπορούν να χρησιμοποιηθούν τόσο για την εκτίμηση των ποσοτήτων διαφορετικών ρευμάτων αποβλήτων σύμφωνα με το σύστημα ταξινόμησης του Ευρωπαϊκού Καταλόγου Αποβλήτων αλλά και συνολικών ποσοτήτων αποβλήτων σε επίπεδο κτιρίου αλλά και σε επίπεδο περιοχής. Στη συνέχεια, χρησιμοποιώντας εμπειρικά δεδομένα κατεδαφισμένων κτηρίων, θα γίνει μια προσπάθεια κατασκευής ενός μαθηματικού τύπου που θα υπολογίζει τις ποσότητες οικοδομικών αποβλήτων σε μονάδες όγκου και σε μονάδες βάρους μέσω της χρήσης ανεξάρτητων μεταβλητών (χαρακτηριστικά κτιρίων).

Ύστερα από ένα καταστροφικό συμβάν, όπως ο σεισμός, μπορούν σχετικά γρήγορα να παραχθούν ψηφιακά μοντέλα εδάφους μιας περιοχής αλλά και τρισδιάστατα μοντέλα με τη χρήση μεθόδων γεωπληροφορικής, επιτρέποντας έτσι τον σχετικά γρήγορο προσδιορισμό διαφόρων χαρακτηριστικών των κτιρίων όπως π.χ. των ορόφων, του ύψους, του περιγράμματος κάτοψης χωρίς να είναι αναγκαία η μετάβαση σε επικίνδυνες περιοχές της περιοχής μελέτης. Μετά από ένα καταστροφικό συμβάν δεν είναι εύκολη αλλά και ασφαλής η επίσκεψη σε όλες τις υποπεριοχές της πληγείσας περιοχής, λόγω εμποδίων στην κυκλοφορία από τα συντρίμια αλλά και λόγω των επακόλουθων επιπτώσεων ενός συμβάντος (π.χ μετασεισμοί, κατολισθήσεις κλπ).

Πιο συγκεκριμένα, θα μελετηθεί η επίδραση του πλήθους ορόφων ή/και του ύψους και της επιφάνειας κάτοψης των κτιρίων στην εκτίμηση των ποσοτήτων αποβλήτων από καταρρεύσεις ή κατεδαφίσεις κτιρίων που έχουν πληγεί ανεπανόρθωτα από μια φυσική καταστροφή. Οι συγκεκριμένες μεταβλητές επιλέγονται λόγω του ότι είναι εύκολο και γρήγορο να συλλεχθούν εμπειρικά δεδομένα για αυτές με αρκετά υψηλή ακρίβεια μέσω χρήσης συστημάτων γεωπληροφορικής, πριν ή μετά την εκδήλωση της καταστροφής. Η εκτίμηση του μαθηματικού μοντέλου θα γίνει με χρήση της μεθόδου πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης, που χρησιμοποιείται ευρέως ως ένα ισχυρό στατιστικό εργαλείο εκτίμησης με τη χρήση εμπειρικών δεδομένων.

Οι παραπάνω μέθοδοι εκτίμησης αποβλήτων μπορούν να αποτελέσουν ένα χρήσιμο εργαλείο για την πολιτική αλλά και όλους τους εμπλεκόμενους φορείς στη διαχείριση των

ΑΚΚ στον σχεδιασμό κατάλληλων συστημάτων συλλογής, διαλογής και διαχείρισης των παραγόμενων αποβλήτων τόσο πριν όσο και μετά την εκδήλωση ενός καταστροφικού συμβάντος. Η εξεύρεση κατάλληλων χώρων προσωρινής αποθήκευσης των μπάζων είναι ύψιστης σημασίας στον καθαρισμό των πληγεισών περιοχών από τα συντρίμια και κατ' επέκταση στην επιτάχυνση του χρόνου ομαλοποίησης της ζωής στη περιοχή μελέτης. Η δυναμικότητα των διαθέσιμων εγκαταστάσεων υποδοχής αποβλήτων συνήθως δεν καλύπτει τις ανάγκες μιας επείγουσας κατάστασης. Αντίστοιχα, το διαθέσιμο εργατικό δυναμικό αλλά και ο διαθέσιμος μηχανικός εξοπλισμός (φορητά, μηχανήματα κλπ) μιας τοπικής κοινωνίας μπορεί να μην επαρκούν για τη διαχείριση της κρίσης. Χωρίς τη χρήση εμπειρικών δεδομένων και μαθηματικών υπολογισμών, οι αρμόδιοι φορείς δεν θα είναι σε θέση να σχηματίσουν οικονομικά αποδοτικές στρατηγικές απομάκρυνσης, διαχείρισης και επαναχρησιμοποίησης των αποβλήτων. Η εύρεση χρηματοδότησης για τη μεταφορά των συντριμμιών και την εκκένωση των περιοχών θα πρέπει να αποτελεί προτεραιότητα της πολιτικής προστασίας, γεγονός το οποίο απαιτεί την εκ των πρότερων εκτίμηση του κόστους μεταφοράς των ΑΚΚ αλλά και την εκτίμηση του απαιτούμενου μηχανικού εξοπλισμού.

Η ανακύκλωση και επαναχρησιμοποίηση συγκεκριμένων ρευμάτων αποβλήτων μετά από φυσική καταστροφή είναι επίσης ένα ζήτημα που θα πρέπει να λάβει σοβαρά υπόψη η πολιτική προστασία. Το κέρδος ιδιωτικών και δημόσιων επιχειρήσεων διαχείρισης του τεράστιου όγκου των αποβλήτων μπορεί να είναι εξαιρετικά σημαντικό και αυτή είναι μια παράμετρος που πρέπει να συνεκτιμηθεί στην περίπτωση καταστροφικού συμβάντος. Επίσης, θα πρέπει να ληφθεί σοβαρά υπόψη το γεγονός ότι στα πλαίσια της περιβαλλοντολογικής πολιτικής της Ευρωπαϊκής επιτροπής για τα ΑΚΚ, τα κράτη μέλη που δεν μεριμνούν για την πρόβλεψη και κατάλληλη διαχείριση του παραγόμενου όγκου των αποβλήτων τους μπορεί να επιβαρυνθούν με σημαντικά πρόστιμα.

Στον ελληνικό χώρο αλλά και σε πολλές άλλες χώρες του πλανήτη δεν έχουν καταρτιστεί ακόμα κατάλογοι με το κτιριακό απόθεμα τους και άρα δεν υπάρχουν εμπειρικά δεδομένα που μπορούν να αξιοποιηθούν για την καθιέρωση μιας τυποποιημένης μεθοδολογίας υπολογισμού ποσοτήτων των αποβλήτων/μπάζων που μπορεί να προκύψουν μετά από μια φυσική καταστροφή. Η εκτίμηση και διαχείριση των ζημιών που έπονται ενός καταστροφικού συμβάντος, απαιτεί ακριβή και υψηλής χωρικής ανάλυσης πληροφορία, ειδικότερα σε περιπτώσεις όπου έχουν προκληθεί ζημιές στον κτιριακό απόθεμα μιας περιοχής. Πιο συχνά, τα γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών

παρέχουν αξιόπιστη χωρική πληροφορία σε δύο διαστάσεις, ενώ σπανιότερα παρέχουν πληροφορία σε τρεις διαστάσεις, όπως για παράδειγμα σε κτίρια αρχαιολογικού ενδιαφέροντος, προκειμένου να αποτυπωθούν οι επιπτώσεις ενός φυσικού συμβάντος σε αυτά. Αν και τα γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών αναπτύσσονται ταχύτατα, μέχρι σήμερα ερευνώνται διαφόρων ειδών μεθοδολογίες που να μπορεί να εφαρμοστούν σε επείγουσες καταστάσεις, ώστε να παράγονται ταχύτατα τρισδιάστατα μοντέλα που θα απεικονίζουν τις επιπτώσεις σε κλίμακα περιοχής.

Έτσι στην παρούσα ανάλυση *είναι η πρώτη φορά* που έχουμε λεπτομερή δεδομένα σε επίπεδο κτηρίου για 182 κτήρια, μετά από ένα καταστροφικό συμβάν, που στην περίπτωση μας είναι ο σεισμός της Βρυσάς της 12 Ιουνίου 2017 (6.3 Mw), σε τρεις διαφορετικές κλίμακες:

1. Κλίμακα περιοχής
2. Κλίμακα οδών
3. Κλίμακα κτιρίου

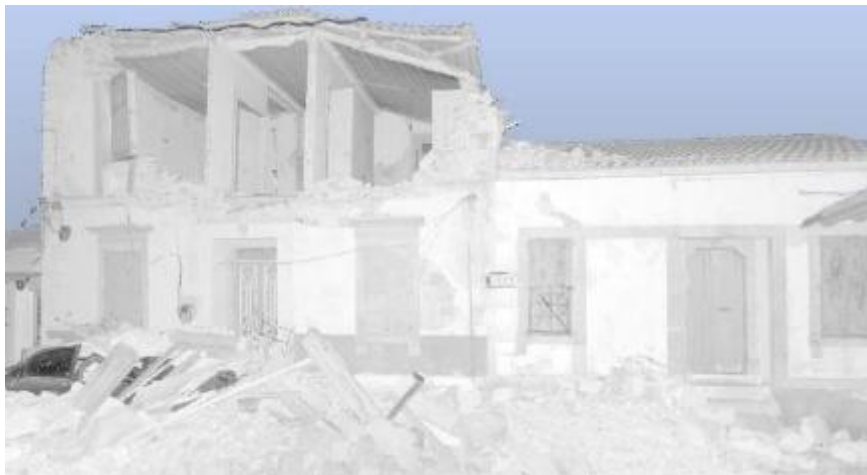
Μέσα από 140 νέφη σημείων (Εικόνα 3) και από 240 τρισδιάστατα μοντέλα (Εικόνα 2) που έχουν προκύψει από επίγειους σαρωτές *laser* και από εφαρμογή επίγειας φωτογραμμετρίας αντίστοιχα, καθώς και από δύο ορθοφωτοχάρτες, δύο ψηφιακά μοντέλα εδάφους και ένα ψηφιακό μοντέλο ανάγλυφου (Εικόνα 1) που έχουν προκύψει από μη-επανδρωμένα αεροσκάφη, έχουμε πλήθος εμπειρικών δεδομένων σε επίπεδο περιοχής και κτιρίου, που μπορούν να μας βοηθήσουν στην εύρεση ενός μοντέλου υπολογισμού ποσοτήτων οικοδομικών αποβλήτων μετά από καταστροφικό συμβάν.



Εικόνα 2: Τμήμα του τρισδιάστατου μοντέλου της 25^{ης} Ιουλίου 2017 που προέκυψε από υψηλής ανάλυσης εικόνες μη επανδρωμένων αεροσκαφών, N. Soulakellis, S. Chatzistamatis, C. Vasilakos, G. Tataris, A. Papakonstantinou, D. Kavroudakis, K. Topouzelis, O. Roussou, Ch. Kalloniatis, E. E. Papadopoulou, K. Chaidas, P. Kalaitzis, (2018).



Εικόνα 3: Τμήμα ενός τρισδιάστατου μοντέλου που προέκυψε με εφαρμογή επίγειας φωτογραμμετρίας, Επίγεια φωτογραμμετρική αποτύπωση του κτηριακού αποθέματος με χρήση φωτογραφιών υψηλής ανάλυσης, Τρισδιάστατη χαρτογράφηση υψηλής ανάλυσης της πληγείσας περιοχής Βρυσάς, από το σεισμό της Λέσβου στις 12/06/2017, Πανεπιστήμιο Αιγαίου



Εικόνα 4: Τμήμα ενός τρισδιάστατου μοντέλου που προέκυψε με εφαρμογή επίγειων σαρωτών laser, N. Soulakellis, S. Chatzistamatis, C. Vasilakos, G. Tataris, A. Papakonstantinou, D. Kavroudakis, K. Topouzelis, O. Roussou, Ch. Kalloniatis, E. E. Papadopoulou, K. Chaidas, P. Kalaitzis, (2018).

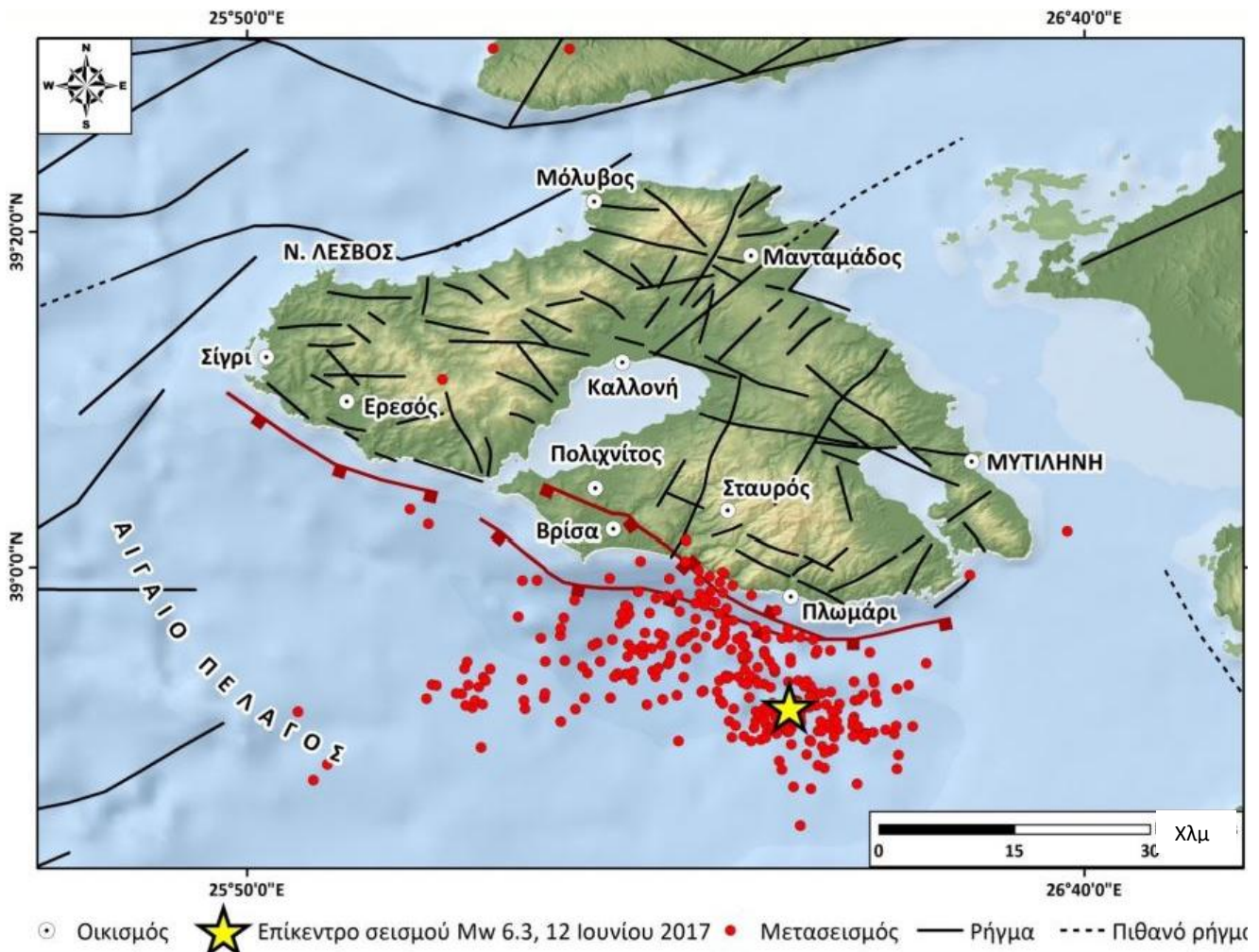
Μέσα από τα τρισδιάστατα αυτά μοντέλα που απεικονίζονται στις εικόνες 2, 3 και 4 μπορεί κάποιος να μετρήσει με μεγάλη σχετικά ακρίβεια της τάξης των 1 έως και 8 mm διάφορα χαρακτηριστικά των κτιρίων, όπως για παράδειγμα το ύψος τους, τις διαστάσεις των ανοιγμάτων, το εμβαδόν κάτοψης κλπ. Αυτές οι μετρήσεις συνετέλεσαν στο να συγκεντρώσουμε τα απαραίτητα δεδομένα που οδήγησαν στον υπολογισμό των παραγόμενων ποσοτήτων αποβλήτων από τα 182 κτίρια της περιοχής μελέτης.

4. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

Τα δεδομένα της ανάλυσης μας έχουν προκύψει από τον οικισμό της Βρυσάς, που βρίσκεται στη Λέσβο, στο Βόρειο Αιγαίο. Το Βόρειο Αιγαίο είναι μια τεκτονικά ενεργή περιοχή με πολλά ενεργά ρήγματα, τα περισσότερα από τα οποία δεν καταλήγουν στο έδαφος.

Στις 12 Ιουνίου του 2017 σεισμός μεγέθους $M_w = 6.3R$ σημειώθηκε παραλιακά της νοτιοανατολικής ακτής της Λέσβου, ο οποίος προκάλεσε το θάνατο ενός ατόμου και κατέστρεψε μερικώς τον παραδοσιακό οικισμό της Βρυσάς που βρίσκεται νοτιοανατολικά του νησιού. Οι σοβαρές βλάβες του κτιριακού αποθέματος της Βρυσάς οφείλονται σε πολλούς παράγοντες. Ένας από αυτούς είναι ότι ο οικισμός βρίσκεται σε μικρή απόσταση (5km περίπου) από το δυτικό άκρο του ρήγματος, αν και η απόσταση του από το υπόκεντρο είναι 23km. Επιπλέον βρίσκεται πάνω και σε μικρή απόσταση από το ολισθαίνον τέμαχος και πάνω σε αλλούβιες αποθέσεις, που έχουν ελάχιστο πάχος 220μ. Επιπρόσθετα, ο οικισμός δέχθηκε την κατευθυντικότητα του ρήγματος.

Οι περισσότερες ζημιές καταγράφηκαν στο δυτικό κομμάτι του οικισμού, ενώ το ανατολικό τμήμα έμεινε ανέπαφο. Η γεωλογική και γεωμορφολογική κατάσταση του οικισμού σε συνδυασμό με τα ιδιαίτερα μορφολογικά και δομικά χαρακτηριστικά των κτιρίων (παλαιά λιθόκτιστα κτίρια, αυθαίρετες προσθήκες ορόφων κλπ.) συνέβαλαν στη χωρική κατανομή των κτιριακών βλαβών. Ειδικότερα, ο συνδυασμός τρωτών παλαιών κτιρίων κτισμένα πάνω σε ποταμοχειμαρριες αποθέσεις με πιθανά φαινόμενα κατευθυντικότητας του ρήγματος οδήγησαν στην καταστροφή του. Τα περισσότερα από τα κτίρια του οικισμού υπέστησαν σοβαρές βλάβες, αρκετά κατέρρευσαν και άλλα κρίθηκαν μη-κατεδαφιστέα. Κάποια μνημεία επίσης, όπως εκκλησίες της μεταβυζαντινής περιόδου, υπέστησαν σοβαρές στατικές βλάβες.



Εικόνα 5: Η σεισμική ακολουθία και τα ενεργά ρήγματα της νήσου Λέσβου, Ενημερωτικό τεύχος, Ο σεισμός της Λέσβου Mw 6.3, 12 Ιουνίου 2017, Εθνικό & Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Αθήνα, 23/6/2017

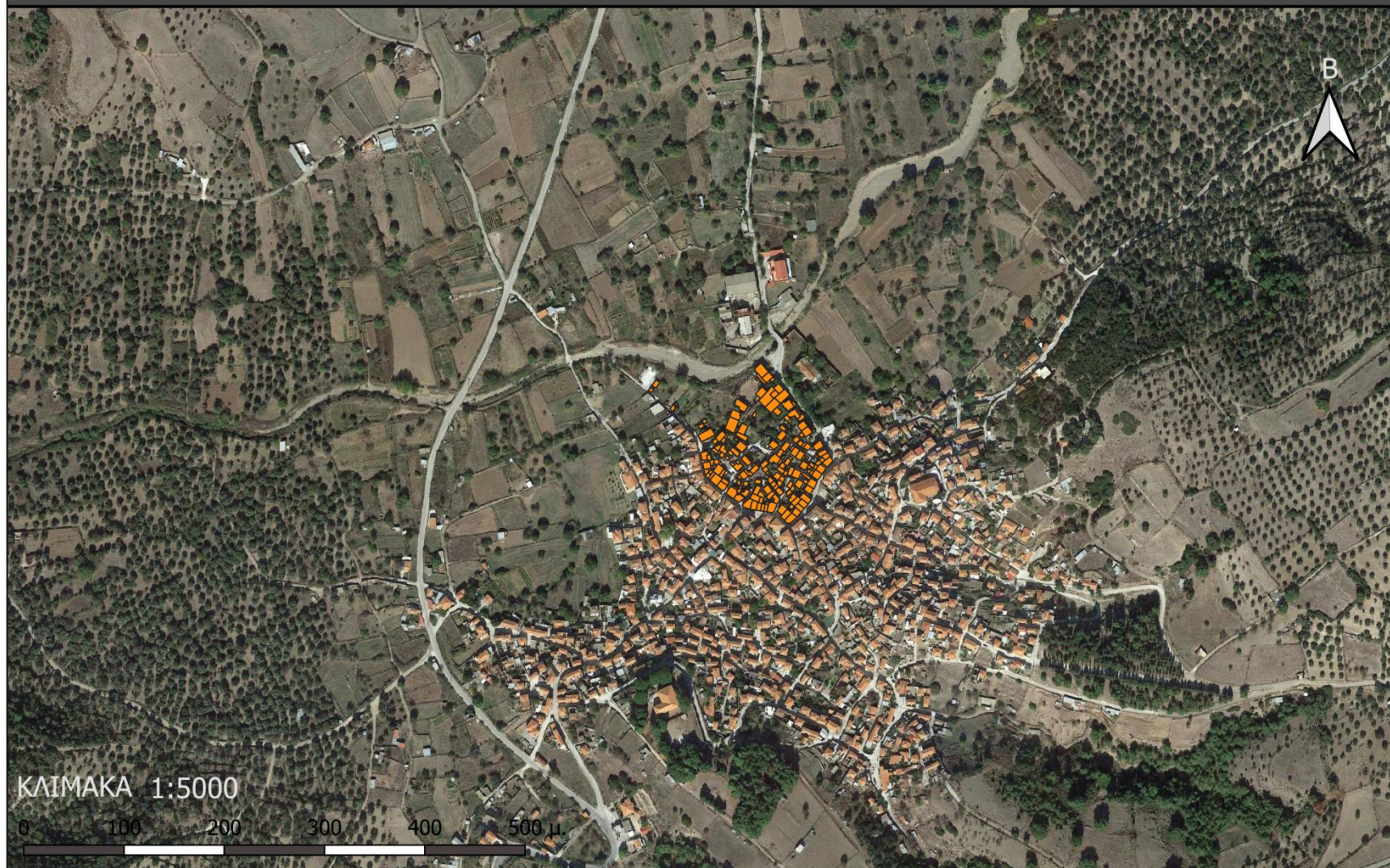
5. ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Τα δεδομένα της ανάλυσης μας έχουν προέλθει από την υποπεριοχή B1 (Χάρτης 1) του οικισμού της Βрусάς, σύμφωνα με τους τομείς που έχει χωριστεί ο οικισμός από το τμήμα Γεωγραφίας του Πανεπιστημίου Αιγαίου. Ο τομέας αυτός, θα αποτελέσει τη περιοχή μελέτης μας στην οποία θα γίνουν αναλύσεις στα χαρακτηριστικά των κτισμάτων. Πρόκειται για το βόρειο και κεντρικό κομμάτι του οικισμού της Βрусάς. Συγκεκριμένα στην ανάλυση μας χρησιμοποιούνται τα δεδομένα 75 οικοπέδων που περιλαμβάνουν συνολικά 182 κτίρια διαφόρων χρήσεων.

Στους χάρτες 2 έως και 4 απεικονίζονται επίσης διαφορετικές κατανομές των κτιρίων της περιοχής αναφορικά με τον τύπο της τοιχοποιίας, τον τύπο επικάλυψης και τον αριθμό των ορόφων.

Παρακάτω στον πίνακα 2, παρατίθεται η κατανομή των κτιρίων μελέτης ανά αριθμό ορόφων. Παρατηρείται ότι αν και τα μονώροφα κτίρια κυριαρχούν σε πλήθος στην περιοχή μελέτης, εν τούτοις συμβάλλουν πολύ λίγο στη συνολική επιφάνεια δόμησης του τομέα σε σχέση με τα διώροφα.

ΠΕΡΙΟΧΗ Β1



Χάρτης 1: Χάρτης περιοχής Β1 οικισμού Βρύσας

ΠΕΡΙΟΧΗ Β1

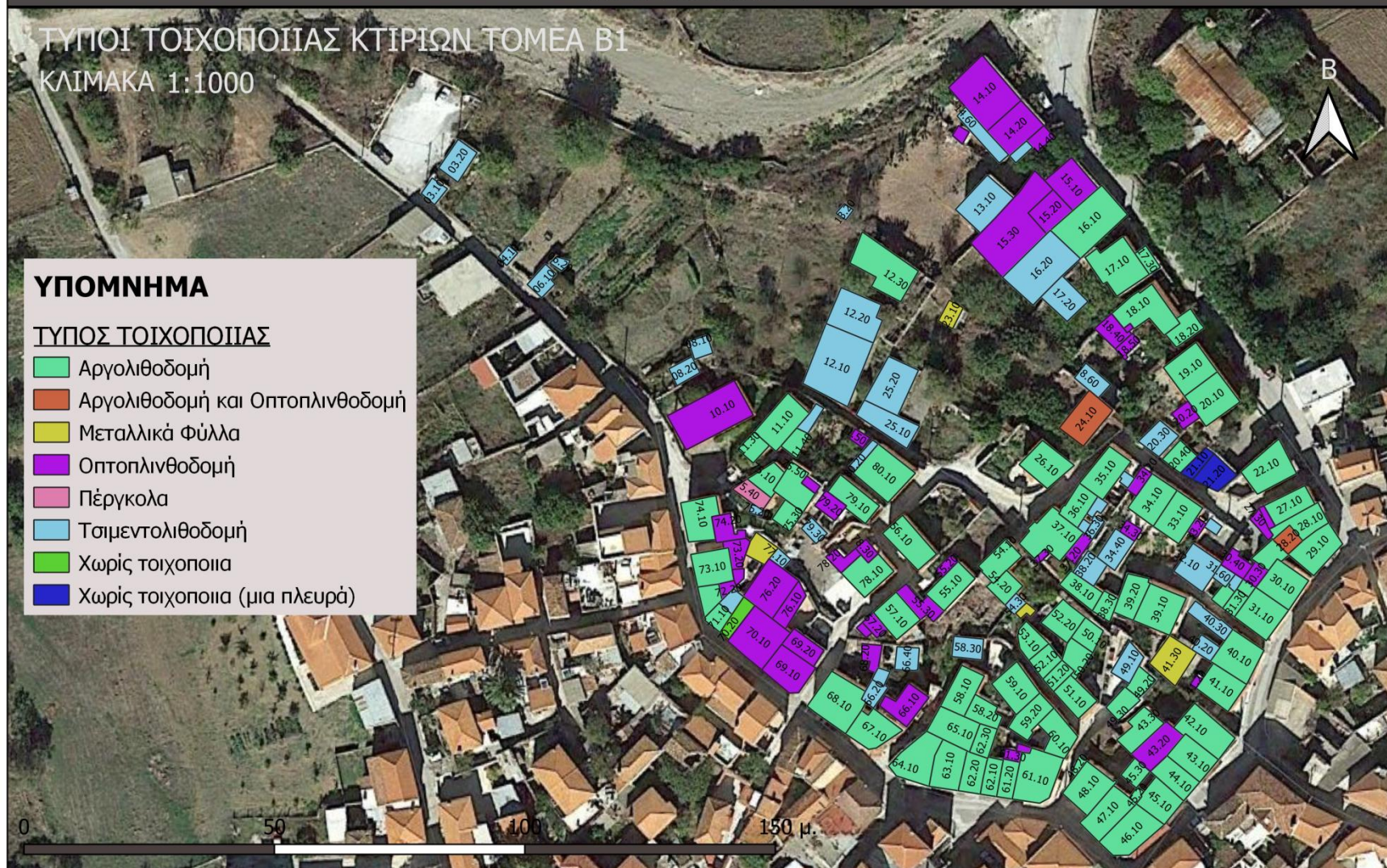
ΤΥΠΟΙ ΤΟΙΧΟΠΟΙΑΣ ΚΤΙΡΙΩΝ ΤΟΜΕΑ Β1
ΚΛΙΜΑΚΑ 1:1000

B

ΥΠΟΜΝΗΜΑ

ΤΥΠΟΣ ΤΟΙΧΟΠΟΙΑΣ

- Αργολιθοδομή
- Αργολιθοδομή και Οπτοπλινθοδομή
- Μεταλλικά Φύλλα
- Οπτοπλινθοδομή
- Πέργκολα
- Τσιμεντολιθοδομή
- Χωρίς τοιχοποιία
- Χωρίς τοιχοποιία (μία πλευρά)



Χάρτης 2: Χάρτης κατανομής τύπων τοιχοποιίας κτιρίων περιοχής Β1

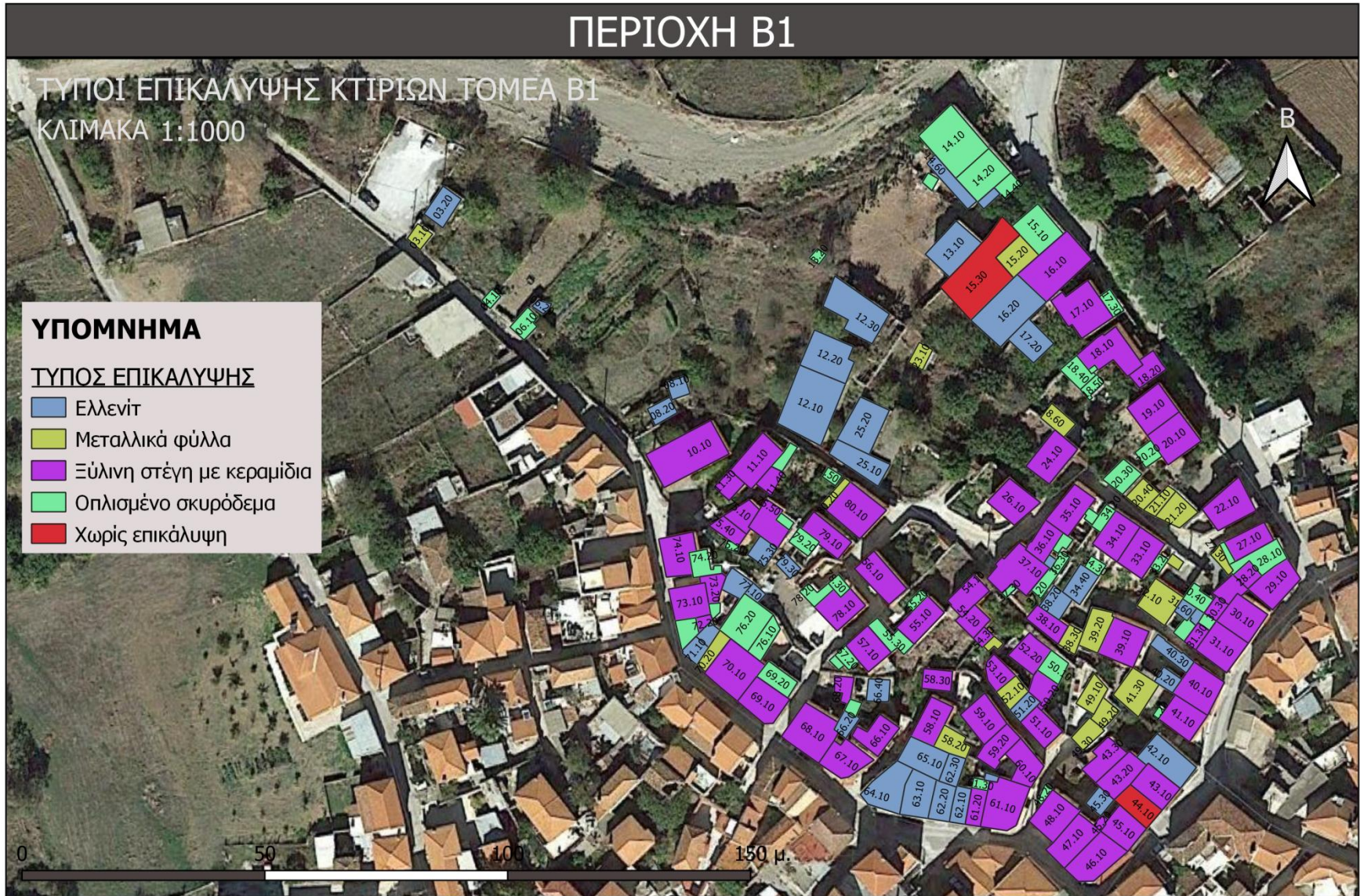
ΠΕΡΙΟΧΗ Β1

ΤΥΠΟΙ ΕΠΙΚΑΛΥΨΗΣ ΚΤΙΡΙΩΝ ΤΟΜΕΑ Β1
ΚΛΙΜΑΚΑ 1:1000

ΥΠΟΜΝΗΜΑ

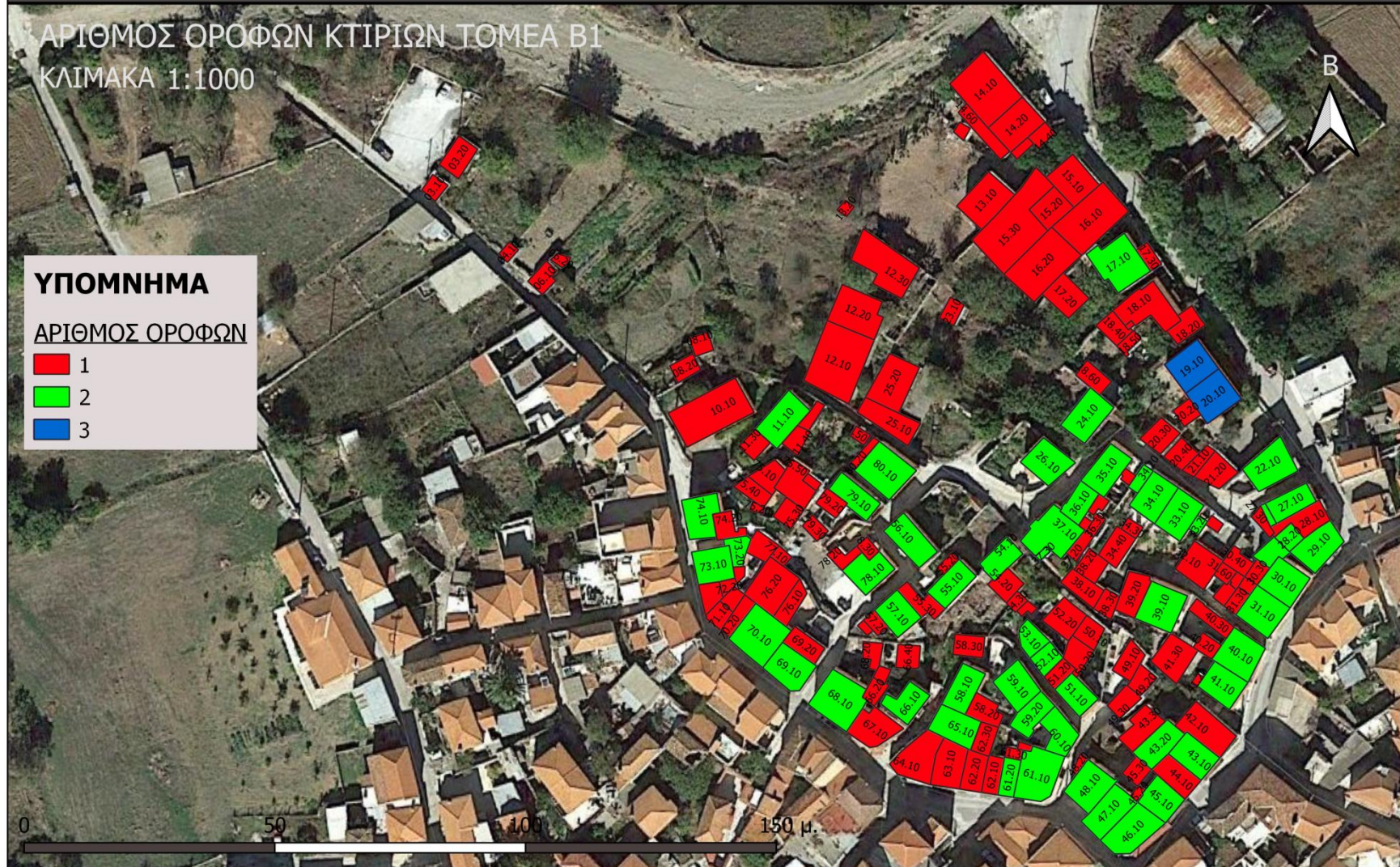
ΤΥΠΟΣ ΕΠΙΚΑΛΥΨΗΣ

- Ελληνίτ
- Μεταλλικά φύλλα
- Ξύλινη στέγη με κεραμίδια
- Οπλισμένο σκυρόδεμα
- Χωρίς επικάλυψη



Χάρτης 3: Χάρτης κατανομής τύπων επικάλυψης κτιρίων περιοχής Β1

ΠΕΡΙΟΧΗ Β1



Χάρτης 4: Χάρτης κατανομής ορόφων κτιρίων περιοχής Β1

Πίνακας 2: Πίνακας κατανομής ορόφων κτιρίων περιοχής μελέτης (τομέας Β1)

	ΜΟΝΟΡΩΦΑ	ΔΙΩΡΟΦΑ	ΤΡΙΩΡΟΦΑ	ΣΥΝΟΛΑ
ΕΜΒΑΔΟΝ ΔΟΜΗΣΗΣ ΣΕ Μ ²	3.574,91	5.050,84	364,08	8.989,83
ΠΛΗΘΟΣ	127	53	2	182
ΠΟΣΟΣΤΟ ΕΠΙ ΤΟΥ ΣΥΝΟΛΙΚΟΥ ΕΜΒΑΔΟΥ ΤΟΥ ΤΟΜΕΑ Β1	39,77%	56,18%	4,05%	100,00%
ΠΟΣΟΣΤΟ ΕΠΙ ΤΟΥ ΣΥΝΟΛΟΥ	69,78%	29,12%	1,10%	100,00%

Τα κτίρια της περιοχής μελέτης παρουσιάζουν διαφορές και στον τύπο της εξωτερικής τους τοιχοποιίας και έτσι παρουσιάζονται παρακάτω στο Πίνακα 3, τα είδη και τα επιμέρους ποσοστά τους. Παρατηρείται ότι κυριαρχούν στην περιοχή τα λιθόκτιστα κτίρια, τόσο σε αριθμό όσο και σε εμβαδόν δόμησης, γεγονός που καταδεικνύει και τον χαρακτηρισμό του οικισμού ως παραδοσιακού.

Πίνακας 3: Κατανομή τύπου εξωτερικής τοιχοποιίας κτιρίων περιοχής μελέτης

	ΕΙΔΟΣ ΤΟΙΧΟΠΟΙΙΑΣ								ΣΥΝΟΛΑ
	ΑΡΓΟΛΙ-ΘΟΔΟ-ΜΗ	ΜΕΙ-ΚΤΗ ΤΟΙ-ΧΟΠΟΙ-ΙΑ	ΜΕ-ΤΑΛ-ΛΙΚΑ ΦΥΛ-ΛΑ	ΟΠΤΟ-ΠΛΙΝ-ΘΟΔΟ-ΜΗ	ΤΣΙΜΕ-ΝΤΟΛΙ-ΘΟΔΟ-ΜΗ	ΧΩΡΙΣ ΤΟΙΧΟ-ΠΟΙΙΑ	ΧΩΡΙΣ ΤΟΙ-ΧΟΠΟΙ-ΙΑ (ΜΙΑ ΠΛΕΥ-ΡΑ)	ΠΕΡ-ΓΚΟΛΑ	
ΕΜΒΑΔΟΝ ΔΟ-ΜΗΣΗΣ ΣΕ Μ ²	5.978,36	149,96	93,73	1.549,80	1.124,73	21,67	49,90	21,68	8.989,83
ΠΛΗΘΟΣ ΣΕ ΑΡΙΘΜΟ	84	2	4	45	43	1	2	1	182
ΠΟΣΟΣΤΟ ΕΠΙ ΤΟΥ ΣΥΝ. ΕΜ-ΒΑΔΟΥ	66,50%	1,67%	1,04 %	17,24%	12,51%	0,24%	0,56%	0,24%	100,00%
ΠΟΣΟΣΤΟ ΕΠΙ ΤΟΥ ΣΥΝ. Α-ΡΙΘΜΟΥ	46,15%	1,10%	2,20 %	24,73%	23,63%	0,55%	1,10%	0,55%	100,00%

Στηριζόμενοι έτσι στα δεδομένα που συνέλεξε ο Νικόλαος Χρυσάφης στη διπλωματική του εργασία με τίτλο «Διερεύνηση μεθόδων γεωπληροφορικής στη διαχειριστική μοντελοποίηση ΑΕΚΚ (Απόβλητων Εκσκαφών Κατεδαφίσεων Κατασκευών) μετά από καταστροφικό σεισμό, η περίπτωση της Βρίσας Λέσβου», πραγματοποιήθηκε περαιτέρω επεξεργασία τους με σκοπό να χρησιμοποιηθούν στην ανάλυσή μας. Τα δεδομένα έχουν προέλθει από τρισδιάστατα μοντέλα, ορθοφωτοχάρτες (13 Ιουνίου 2017, 2007 και 2015), την εφαρμογή google maps σε συνδυασμό και με δεδομένα επιτόπου

επισκέψεων που πραγματοποιήθηκαν στις 06/08/2017 και 05/12/2017 (Χρυσάφης, 2018).

Συγκεκριμένα για κάθε κτίριο και για κάθε όροφο του έγινε υπολογισμός των βαρών και των όγκων των επιμέρους δομικών στοιχείων και των υλικών τους. Υπολογίστηκαν ξεχωριστά για όλα τα κτίρια (κατεδαφισθέντα, σοβαρές βλάβες, μη-κατεδαφισθέντα) τα βάρη και οι όγκοι των δαπέδων, των επικαλύψεων, των εξωτερικών και εσωτερικών τοιχοποιιών, των εξωτερικών και εσωτερικών ανοιγμάτων τους. Οι όγκοι και τα βάρη των επιμέρους δομικών υλικών προέκυψαν χρησιμοποιώντας τυπικές τιμές όγκου ανά τετραγωνικό μέτρο (m^3/m^2) και πυκνότητας υλικών (kg/m^3 , kg/m^2) (Χρυσάφης, 2018).

Για την εκτίμηση των ποσοτήτων των αποβλήτων συμπεριλήφθηκαν στην ανάλυση μας όλα τα κτίρια τα περιοχής μελέτης του τομέα Β1, ανεξαρτήτως του χαρακτηρισμού τους από τη ΔΑΕΦΚ μετά και τον δευτεροβάθμιο έλεγχο τους, καθώς αμέσως μετά από ένα καταστροφικό συμβάν όπως ο σεισμός, δεν είναι γνωστή η κατάσταση στην οποία έχουν περιέλθει. Είναι έτσι λογικό να γίνονται σε επίπεδο σχεδιασμού προσεισμικά αλλά και σε επίπεδο διαχείρισης μετασεισμικά, οι δυσμενέστερες παραδοχές, που είναι είτε η ολική κατάρρευση των κτιρίων είτε οι σοβαρές δομικές βλάβες που τα καθιστούν κατεδαφιστέα, ώστε από την ανάλυση να εκτιμώνται άμεσα και αποτελεσματικά και πάντα υπέρ της ασφάλειας, οι ποσότητες των μπαζών που μπορεί να προκύψουν μετά από μια ενδεχόμενη φυσική καταστροφή.

Έτσι υπολογίστηκαν όλες οι ποσότητες (βάρη) των δομικών υλικών που έχουν χρησιμοποιηθεί κατά την κατασκευή των κτιρίων και γίνεται η παραδοχή ότι αυτές αντιστοιχούν στις ποσότητες (βάρη) των εν δυνάμει παραγόμενων αποβλήτων κατά την κατεδάφιση ή την κατάρρευση. Για τον υπολογισμό του όγκου των παραγόμενων αποβλήτων χρησιμοποιείται ένας συντελεστής επιπλίσματος (διόγκωσης) ίσος με 1,25 κατά παραδοχή, ώστε να συμπεριληφθούν οι διαφορετικές μέθοδοι αποσυναρμολόγησης και κατεδάφισης των επιμέρους στοιχείων και τις διαφορετικές συνθήκες προσωρινής αποθήκευσης των συντριμμίων.

Στη συνέχεια έγινε κατάταξη των επιμέρους δομικών υλικών ανά τύπο αποβλήτων κατασκευών και κατεδαφίσεων σύμφωνα με τον Ευρωπαϊκό Κατάλογο αποβλήτων για την κατηγορία 17 που περιλαμβάνει τα απόβλητα από κατασκευές και κατεδαφίσεις (Πίνακας 4). Προέκυψαν συγκεντρωτικά ανά κωδικό του ΕΚΑ οι ποσότητες των αποβλήτων σε όγκο και βάρος για κάθε κτίριο καθώς και οι ποσότητες αποβλήτων ανά τετραγωνικό μέτρο κάτοψης του (Kg/m^2 και m^3/m^2).

Επιπρόσθετα υπολογίστηκαν οι συνολικές ποσότητες των αποβλήτων (όγκοι και βάρη) ανά κτίριο αλλά και οι ποσότητες των αποβλήτων ανά τετραγωνικό μέτρο κάτοψης των κτιρίων.

Στη συνέχεια έγινε μια προσπάθεια τα δεδομένα να αναπροσαρμοστούν και να γίνει υπολογισμών των αποβλήτων κατεδάφισης ανά κτίριο και όχι ανά όροφο (Χρυσάφης, 2018). Τα κτίρια κατηγοριοποιήθηκαν με βάση τον όροφο σε μονώροφα, διώροφα, και τριώροφα και υπολογίστηκαν ανά κτίριο οι ποσότητες των αποβλήτων (βάρη και όγκοι) κατά κωδικό ΕΚΑ αλλά και συνολικά. Επιπρόσθετα υπολογίστηκαν οι ποσότητες αποβλήτων ανά τετραγωνικό μέτρο κάτοψης των κτιρίων κατά κωδικό ΕΚΑ αλλά και συνολικά. Παρακάτω στους πίνακες 5 έως και 8 και στα γραφήματα 1 έως και 4, απεικονίζονται συγκεντρωτικά οι ποσότητες των αποβλήτων σε kg και m³ για κάθε κατηγορία απόβλητου καθώς και τα ποσοστά τους επί του συνόλου. Παρατηρούμε ότι το μεγαλύτερο τμήμα των αποβλήτων από καταρρεύσεις και κατεδαφίσεις προέρχεται από τις αργολιθοδομές σε ποσοστό περίπου 70% κατά βάρος και κατ' όγκο, από το σκυρόδεμα και από τις οπτοπλινθοδομές.

Επίσης, υπολογίζονται στατιστικοί δείκτες για ποσότητες αποβλήτων σε kg και m³ ανά τετραγωνικό μέτρο κάτοψης κτιρίων για όλα τα ρεύματα αποβλήτων που εμπεριέχονται στην ανάλυση μας. Τέλος, στους χάρτες 5 και 6 απεικονίζονται οι κατανομές του βάρους και του όγκου των αποβλήτων των κτιρίων της περιοχής.

Πίνακας 4: Ευρωπαϊκός Κατάλογος Αποβλήτων

17 01 ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ, ΤΟΥΒΛΑ, ΠΛΑΚΑΚΙΑ ΚΑΙ ΚΕΡΑΜΙΚΑ	
17 01 01	σκυρόδεμα
17 01 02	τούβλα
17 01 03	πλακάκια και κεραμικά
17 01 06	μείγματα ή επιμέρους συστατικά από σκυρόδεμα, τούβλα, πλακάκια και κεραμικά που περιέχουν επικίνδυνες ουσίες
17 01 07	μείγμα σκυροδέματος, τούβλων, πλακακίων και κεραμικών, εκτός εκείνων που αναφέρονται στο 17 01 06
17 02 ΞΥΛΟ, ΓΥΑΛΙ ΚΑΙ ΠΛΑΣΤΙΚΟ	
17 02 01	ξύλο
17 02 02	γυαλί
17 02 03	πλαστικά
17 02 04	γυαλί, πλαστικό και ξύλο που περιέχουν επικίνδυνες ουσίες ή έχουν μολυνθεί από αυτές
17 03 ΜΕΙΓΜΑΤΑ ΑΣΦΑΛΤΟΥ ΚΑΙ ΟΡΥΚΤΗΣ ΠΙΣΣΑΣ, ΛΙΘΑΝΘΡΑΚΟΠΙΣΣΑ ΚΑΙ ΠΡΟΪΟΝΤΑ ΠΙΣΣΑΣ	
17 03 01	μείγματα ορυκτής ασφάλτου που περιέχουν λιθανθρακόπισσα
17 03 02	μείγματα ορυκτής ασφάλτου, εκτός εκείνων που αναφέρονται στο 17 03 01
17 03 03	λιθανθρακόπισσα και προϊόντα πίσσας
17 04 ΜΕΤΑΛΛΑ (ΣΥΜΠΕΡΙΛΑΜΒΑΝΟΜΕΝΩΝ ΤΩΝ ΚΡΑΜΑΤΩΝ ΤΟΥΣ)	
17 04 01	χαλκός, μπρούντζος, ορείχαλκος
17 04 02	αργίλιο
17 04 03	μόλυβδος
17 04 04	ψευδάργυρος
17 04 05	σίδηρος και χάλυβας
17 04 06	κασσίτερος
17 04 07	μεικτά μέταλλα
17 04 09	απόβλητα μετάλλων μολυσμένα από επικίνδυνες ουσίες
17 04 10	καλώδια που περιέχουν πετρέλαιο, λιθανθρακόπισσα και άλλες επικίνδυνες ουσίες
17 04 11	καλώδια, εκτός εκείνων που αναφέρονται στο 17 04 10
17 05 ΧΩΜΑΤΑ (ΠΕΡΙΛΑΜΒΑΝΟΜΕΝΩΝ ΧΩΜΑΤΩΝ ΕΚΣΚΑΦΗΣ ΑΠΟ ΜΟΛΥΣΜΕΝΕΣ ΤΟΠΟΘΕΣΙΕΣ), ΠΕΤΡΕΣ ΚΑΙ ΜΠΑΖΑ ΕΚΣΚΑΦΩΝ	
17 05 03	χώματα και πέτρες που περιέχουν επικίνδυνες ουσίες

17 05 04	χώματα και πέτρες άλλα από τα αναφερόμενα στο σημείο 1705 03
17 05 05	μπάζα εκσκαφών που περιέχουν επικίνδυνες ουσίες
17 05 06	μπάζα εκσκαφών που περιέχουν επικίνδυνες ουσίες
17 05 07	έρμα σιδηροτροχιών που περιέχει επικίνδυνες ουσίες
17 05 08	έρμα σιδηροτροχιών εκτός εκείνου που περιλαμβάνεται στο σημείο 1705 07
17 06 ΜΟΝΩΤΙΚΑ ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΥΛΙΚΑ ΔΟΜΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΠΟΥ ΠΕΡΙΕΧΟΥΝ ΑΜΙΑΝΤΟ	
17 06 01	μονωτικά υλικά που περιέχουν αμίαντο
17 06 03	άλλα μονωτικά υλικά που αποτελούνται από επικίνδυνες ουσίες ή τις περιέχουν
17 06 04	μονωτικά υλικά, εκτός εκείνων που αναφέρονται στα 17 06 01 και 17 06 02
17 06 05	μπάζα εκσκαφών που περιέχουν επικίνδυνες ουσίες
17 08 ΥΛΙΚΑ ΔΟΜΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΟΝ ΓΥΨΟ	
17 08 01	υλικά δομικών κατασκευών με βάση τον γύψο μολυσμένα από επικίνδυνες ουσίες
17 08 02	υλικά δομικών κατασκευών με βάση τον γύψο, εκτός εκείνων που αναφέρονται στο 17 08 01
17 09 ΑΛΛΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΚΑΙ ΚΑΤΕΔΑΦΙΣΕΩΝ	
17 09 01	απόβλητα δομικών κατασκευών και κατεδαφίσεων που περιέχουν υδράργυρο
17 09 02	απόβλητα δομικών κατασκευών και κατεδαφίσεων που περιέχουν PCB (π.χ. στεγανωτικά υλικά που περιέχουν PCB, δάπεδα με βάση ρητίνες που περιέχουν PCB, μονάδες στεγανοποιημένης υαλόφραξης που περιέχουν PCB, πυκνωτές που περιέχουν PCB)
17 09 03	άλλα απόβλητα δομικών κατασκευών και κατεδαφίσεων (συμπεριλαμβανομένων των μειγμάτων αποβλήτων) που περιέχουν επικίνδυνες ουσίες
17 09 04	μείγματα αποβλήτων δομικών κατασκευών και κατεδαφίσεων, εκτός εκείνων που αναφέρονται στα 17 09 01, 17 09 02 και 17 09 03

Πίνακας 5 και γράφημα 1 από excel katigoriopiseis

Γράφημα 2 από excel katigoriopiseis

Πίνακας 6 και γράφημα 3 από excel katigoriopiseis

Γράφημα 4 από excel katigoriopiseis

Πίνακας 7 και 8 από excel katigoriopiseis

ΠΕΡΙΟΧΗ Β1

ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΒΑΡΟΥΣ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΚΤΙΡΙΩΝ ΤΟΜΕΑ Β1

ΚΛΙΜΑΚΑ 1:1000

ΥΠΟΜΝΗΜΑ

ΒΑΡΟΣ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΣΕ ΚG

0 - 100000
100000 - 200000
200000 - 300000
300000 - 400000
400000 - 500000
500000 - 600000



Χάρτης 5: Χάρτης κατανομής βάρους αποβλήτων κτιρίων περιοχής Β1

ΠΕΡΙΟΧΗ Β1

ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΟΓΚΟΥ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΚΤΙΡΙΩΝ ΤΟΜΕΑ Β1
ΚΛΙΜΑΚΑ 1:1000



Χάρτης 6: Χάρτης κατανομής όγκου αποβλήτων κτιρίων περιοχής Β1

6. ΠΟΛΛΑΠΛΗ ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΗΣΗ

Σε πολλά πρακτικά προβλήματα είναι απαραίτητο να χρησιμοποιήσουμε δύο ή περισσότερες ανεξάρτητες μεταβλητές προκειμένου να ερμηνεύσουμε με μεγάλη ακρίβεια ένα φυσικό φαινόμενο και να βγάλουμε αρτιότερα συμπεράσματα. Για παράδειγμα, προκειμένου να χρησιμοποιηθεί ένα μοντέλο παλινδρόμησης για να προβλεφθεί η ζήτηση ενός προϊόντος μιας εταιρείας σε έναν αριθμό από διαφορετικές πόλεις, είναι ίσως σκόπιμο να χρησιμοποιηθούν κοινωνικοοικονομικές μεταβλητές (μέσο οικογενειακό εισόδημα, μόρφωση), δημογραφικές μεταβλητές (αριθμός μελών οικογένειας, αριθμός συνταξιούχων) και περιβαλλοντολογικές μεταβλητές (μέση ημερήσια θερμοκρασία) κ.α. Όταν υπάρχουν διαθέσιμες περισσότερες από μία ανεξάρτητες μεταβλητές, για να ερμηνεύσουμε τη συμπεριφορά της εξαρτημένης μεταβλητής Y , χρησιμοποιούμε τη προσέγγιση της πολλαπλής παλινδρόμησης.

Αν η σχέση της εξαρτημένης μεταβλητής είναι γραμμική συνάρτηση των ανεξάρτητων μεταβλητών, τότε η περιγραφή της σχέσης αυτής γίνεται βάση ενός γραμμικού μοντέλου και έτσι αναφερόμαστε στην πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση. Η πολλαπλή παλινδρόμηση έχει ευρεία επιστημονική αποδοχή, διότι θεωρείται ισχυρό και ευέλικτο στατιστικό εργαλείο με πλήθος εφαρμογών σε ποικίλα ερευνητικά πεδία.

Κάποια από αυτά είναι:

- Διοίκηση επιχειρήσεων και έρευνα αγοράς: εκτίμηση του βαθμού επίδοσης του προσωπικού μιας εταιρείας, διαχείριση του αριθμού έκτασης των παραπόνων των πελατών.
- Προβλήματα οδικής συγκοινωνίας: διαχείριση του τύπου οδοστρώματος και είδους μεταφορικού μέσου στο χρόνο εκπλήρωσης μιας μετακίνησης.
- Υπέρβαση στον αθλητισμό: τρόποι βελτίωσης των αθλητικών επιδόσεων στο στίβο, προσαρμογή ενός βέλτιστου διαιτολογίου.
- Ατμοσφαιρική και υδρόβια ρύπανση με προεκτάσεις στη διαφύλαξη της δημόσιας υγείας.
- Τρόποι διερεύνησης της συμπεριφοράς του δείκτη νοημοσύνης σε διαγωνιστικό επίπεδο.

- Εκτίμηση της δράσης των χημικών συστατικών ενός τροφίμου στις οργανοληπτικές ιδιότητές του.

Συνοψίζοντας, η ανάλυση παλινδρόμησης χρησιμοποιείται για την περιγραφή των ειδικών σχέσεων μεταξύ των μεταβλητών, τη διακρίβωση θεωρητικών υποθέσεων, την πρόβλεψη από λήψεις πειραματικών δεδομένων και τη δημιουργία και επαλήθευση εξισώσεων πολλαπλής παλινδρόμησης.

Το γραμμικό μοντέλο πολλαπλής παλινδρόμησης με p ανεξάρτητες μεταβλητές, είναι της μορφής:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{i1} + \beta_2 X_{i2} + \dots + \beta_{p-1} X_{i,p-1} + \varepsilon_i \text{ για } i=1, \dots, n$$

ή σε μορφή πινάκων: $Y=X\beta+\varepsilon$, με

$$\begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ \vdots \\ Y_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & X_{11} & \dots & X_{1,p-1} \\ 1 & X_{21} & & X_{2,p-1} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ 1 & X_{n1} & \dots & X_{n,p-1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \beta_0 \\ \beta_1 \\ \vdots \\ \beta_{p-1} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \vdots \\ \varepsilon_n \end{bmatrix}$$

όπου Y_i είναι η τιμή της εξαρτημένης μεταβλητής στην i παρατήρηση. Ανάλογα, η X_{ij} είναι η i (για $i=1, \dots, n$) παρατήρηση της j (για $j=1, \dots, p-1$) ανεξάρτητης μεταβλητής. Η β_i αντιπροσωπεύει την μεταβολή στην Y που προέρχεται από μια μεταβολή στην X_i κατά μία μονάδα, όταν όλες οι άλλες ανεξάρτητες μεταβλητές παραμένουν σταθερές.

Τέλος, η ύπαρξη των καταλοίπων ε , όπως και στην απλή γραμμική παλινδρόμηση, είναι απαραίτητη γιατί στην πράξη κανένα μοντέλο δεν μπορεί να περιγράψει το σύνολο των πληροφοριών ενός σετ δεδομένων. Όσο καλά προσαρμοσμένη και να είναι η γραμμή πολλαπλής παλινδρόμησης στα δεδομένα, πάντα θα υπάρχει ένα μέρος της πληροφορίας που θα εξακολουθεί να μην ερμηνεύεται μέσω του μοντέλου. Αυτός ο παράγοντας που δεν ερμηνεύεται από το γραμμικό μοντέλο καλείται λάθος της παλινδρόμησης.

Επομένως, η πληθυσμιακή εξίσωση παλινδρόμησης ή συνάρτηση παλινδρόμησης ή συνάρτηση ανταπόκρισης είναι η:

$$E(Y_i) = \beta_0 + \beta_1 X_{i1} + \beta_2 X_{i2} + \dots + \beta_{p-1} X_{i,p-1}, \text{ για } i=1, \dots, n.$$

Η συνάρτηση αυτή ονομάζεται μερικές φορές και επιφάνεια παλινδρόμησης ή επιφάνεια ανταπόκρισης.

Η γραμμικότητα των μοντέλων αυτών αναφέρεται στις παραμέτρους και όχι στις ανεξάρτητες μεταβλητές. Έτσι, υπάρχουν και κάποια μοντέλα που είναι γραμμικά ως προς τις παραμέτρους όχι όμως ως προς τις μεταβλητές X .

Κάποιες μορφές τέτοιων μοντέλων είναι:

- Η πολυωνυμική μορφή k βαθμού, όπου:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{i1}^1 + \beta_2 X_{i2}^2 + \dots + \beta_k X_{ik}^k + \varepsilon_i$$

Το μοντέλο αυτό μπορεί να μετασχηματιστεί σε γραμμικό υπόδειγμα και ως προς τις ανεξάρτητες μεταβλητές θέτοντας

$$X_{i1} = X_{i1}^1, X_{i2} = X_{i2}^2, \dots,$$

Έτσι προκύπτει το μετασχηματισμένο μοντέλο:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{i1} + \beta_2 X_{i2} + \dots + \beta_k X_{ik} + \varepsilon_i$$

- Η αντίστροφη μορφή:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 \frac{1}{X_{i1}} + \beta_2 \frac{1}{X_{i2}} + \varepsilon_i$$

Το μοντέλο αυτό μετασχηματίζεται σε γραμμικό ως προς τις ανεξάρτητες μεταβλητές θεωρώντας,

$$X_{i1}^* = \frac{1}{X_{i1}} \text{ και } X_{i2}^* = \frac{1}{X_{i2}},$$

οπότε θα έχουμε το μετασχηματισμένο μοντέλο:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{i1}^* + \beta_2 X_{i2}^* + \varepsilon_i$$

- Το υπόδειγμα της μορφής:

$$Y_i = \beta_0 X_{i1}^{\beta_1} \dots X_{ik}^{\beta_k} \varepsilon_i$$

Σε αυτήν την περίπτωση λογαριθμίζοντας θα έχουμε το μετασχηματισμένο μοντέλο:

$$Y_i^* = \beta_0^* + \beta_1 X_{i1}^* + \dots + \beta_k X_{ik}^* + \varepsilon_i^*$$

- Η λογαριθμική αντίστροφη μορφή:

$$Y_i = e^{\beta_0 + \beta_1 \frac{1}{X_{i1}} + \beta_2 \frac{1}{X_{i2}} + \varepsilon_i}$$

Λογαριθμίζοντας και έπειτα θέτοντας

$$X_{i1}^* = \frac{1}{X_{i1}} \text{ και } X_{i2}^* = \frac{1}{X_{i2}},$$

παίρνουμε το μετασχηματισμένο μοντέλο:

$$Y_i^* = \beta_0 + \beta_1 X_{i1}^* + \beta_2 X_{i2}^* + \varepsilon_i, \text{ όπου } Y_i^* = \ln(Y_i).$$

- Η ημιλογαριθμική ή γραμμική λογαριθμική μορφή:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 \ln(X_{i1}) + \beta_2 \ln(X_{i2}) + \varepsilon_i, \text{ με } X_{ij} > 0$$

Θεωρώντας

$$X_{i1}^* = \ln(X_{i1}) \text{ και } X_{i2}^* = \ln(X_{i2}),$$

παίρνουμε το μετασχηματισμένο μοντέλο:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{i1}^* + \beta_2 X_{i2}^* + \varepsilon_i$$

Ο αριθμός των ανεξάρτητων μεταβλητών στην ανάλυση πολλαπλής παλινδρόμησης έχει σχέση με τον αριθμό των παρατηρήσεων. Στην βιβλιογραφία αναφέρονται εμπειρικοί κανόνες, όπως για παράδειγμα ότι σε κάθε ανεξάρτητη μεταβλητή πρέπει να αντιστοιχούν τουλάχιστον 10 ή 20 παρατηρήσεις. Συνήθως ο αριθμός των ανεξάρτητων μεταβλητών δεν υπερβαίνει τις 10.

6.1. ΒΑΣΙΚΕΣ ΥΠΟΘΕΣΕΙΣ

Όλες οι βασικές υποθέσεις που αναφέρθηκαν στο υπόδειγμα της απλής παλινδρόμησης ισχύουν και στην περίπτωση της πολλαπλής παλινδρόμησης. Δηλαδή τα κατάλοιπα ει:

1. αποτελούν ανεξάρτητες τυχαίες μεταβλητές που ακολουθούν κανονική κατανομή,
2. έχουν μηδενική μέση τιμή,
3. ικανοποιούν τις συνθήκες ομοσκεδαστικότητας και της μηδενικής συνδιασποράς

Όσον αφορά τις ανεξάρτητες μεταβλητές, αυτές δεν είναι στοχαστικές. Οι τιμές τους παραμένουν σταθερές, δηλαδή οι μεταβλητές X_i δεν συσχετίζονται με το σφάλμα και η συνδιασπορά τους είναι ίση με το μηδέν. Επίσης, οι τιμές δεν είναι όλες ίσες μεταξύ τους, που σημαίνει ότι η διασπορά των X_i είναι διαφορετική από το μηδέν. Επιπλέον, καμία από τις ανεξάρτητες μεταβλητές δεν μπορεί να εκφραστεί σαν γραμμικός μετασχηματισμός μιας ή περισσότερων από τις υπόλοιπες, πράγμα που αποκλείει τέλεια πολυσυγγραμμικότητα. Τέλος, ο αριθμός των ανεξάρτητων μεταβλητών p θα πρέπει να είναι μικρότερος του αριθμού των παρατηρήσεων n .

6.2. ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΙΑΣΠΟΡΑΣ

Όπως και στο απλό γραμμικό μοντέλο, η δειγματική διασπορά των παρατηρήσεων Y_i , τα οποία συμβολίζονται και πάλι με SST, SSR και SSE αντίστοιχα. Το SST εκφράζει τη συνολική παρατηρούμενη μεταβλητότητα των Y_i , το SSR εκφράζει τη μεταβλητότητα των προσαρμοσμένων τιμών, ενώ το SSE εκφράζει τη μεταβλητότητα των Y_i σε σχέση με τις αντίστοιχες προσαρμοσμένες τιμές.

Ο πίνακας ανάλυσης διασποράς ANOVA είναι:

Πίνακας 9: Πίνακας ανάλυσης διασποράς ANOVA

Πηγή Μεταβλητότητας	Αθροίσματα Τετραγώνων	Βαθμοί Ελευθερίας	Μέσο Αθροισμα Τετραγώνων	Έλεγχος F
Παλινδρόμηση	$SSR = \sum_{i=1}^n (\hat{Y}_i - \bar{Y})^2$	p-1	$MSR = \frac{SSR}{p-1}$	$F = \frac{MSR}{MSE}$
Υπόλοιπα	$SSE = \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2$	n-p	$MSE = \frac{SSE}{n-p}$	
Σύνολο	$SST = \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2$	n-1		

Σημαντική διαφορά από τον πίνακα ανάλυσης διασποράς στην απλή παλινδρόμηση, είναι οι βαθμοί ελευθερίας. Η ποσότητα SST εξακολουθεί να έχει n-1 βαθμούς ελευθερίας, ενώ η ποσότητα SSE έχει πλέον n-p βαθμούς ελευθερίας λόγω του ότι γίνεται εκτίμηση p μερικών συντελεστών παλινδρόμησης. Επίσης, η ποσότητα SSR έχει p-1 βαθμούς ελευθερίας που αντιπροσωπεύουν το πλήθος των μεταβλητών

$$X_1 X_2 \dots X_{p-1}.$$

6.3. ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ

Η αναλογία της συνολικής διασποράς η οποία ερμηνεύεται από την παλινδρόμηση, ονομάζεται συντελεστής προσδιορισμού και ισούται με το τετράγωνο του συντελεστή συσχέτισης του Pearson r. Το μέτρο αυτό συμβολίζεται με R^2 και αποτελεί ένα μέτρο του βαθμού προσαρμογής του επιπέδου παλινδρόμησης στις παρατηρήσεις του δείγματος. Ουσιαστικά μετράει την ερμηνευτική ικανότητα της εξίσωσης παλινδρόμησης και υπολογίζεται από τον τύπο:

$$R^2 = \frac{SSR}{SST} = 1 - \frac{SSE}{SST}.$$

Το πρόβλημα με τον συντελεστή πολλαπλού προσδιορισμού είναι ότι η τιμή του αυξάνει πάντα όταν αυξάνει ο αριθμός των ανεξάρτητων μεταβλητών, αφού προσθέτοντας ανεξάρτητες μεταβλητές βελτιώνουμε το μοντέλο με αποτέλεσμα να

μειώνεται το άθροισμα των τετραγώνων των σφαλμάτων SSE, ενώ η ποσότητα SST παραμένει σταθερή. Προσθέτοντας όμως μια ανεξάρτητη μεταβλητή μπορεί να αυξάνουμε την τιμή του συντελεστή πολλαπλού προσδιορισμού, χάνουμε όμως έναν βαθμό ελευθερίας. Για τον λόγο αυτό χρησιμοποιούμε ένα τροποποιημένο μέτρο, τον διορθωμένο συντελεστή πολλαπλού προσδιορισμού R_a^2 , που εκτός από την ποσότητα SSE λαμβάνει υπόψη και τους βαθμούς ελευθερίας. Ο υπολογισμός του διορθωμένου συντελεστή πολλαπλού προσδιορισμού γίνεται μέσω του τύπου:

$$R_a^2 = 1 - \frac{\frac{SSE}{n-1}}{\frac{SST}{n-1}} = 1 - \left(\frac{n-1}{n-p} \right) \frac{SSE}{SST}.$$

Εκτός από τα μέτρα αυτά, υπάρχουν και οι μερικοί συντελεστές προσδιορισμού. Οι μερικοί συντελεστές προσδιορισμού μετρούν το καθαρό ποσοστό της μεταβλητότητας της εξαρτημένης μεταβλητής που ερμηνεύεται από την ανεξάρτητη μεταβλητή, απαλλαγμένη από την επίδραση άλλων μεταβλητών στο υπόδειγμα παλινδρόμησης. Έτσι, στο πολλαπλό μοντέλο παλινδρόμησης με i μερικούς συντελεστές παλινδρομήσεως, ο μερικός συντελεστής προσδιορισμού ανάμεσα στην Y και την X_1 , υπό τον περιορισμό ότι οι υπόλοιπες X_i παραμένουν σταθερές, είναι:

$$r_{Y,1}^2 = \frac{\beta_1^2 \sum_{i=1}^n (X_{i1} - \bar{X}_1)^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}.$$

Σε ένα μοντέλο με δύο ανεξάρτητες μεταβλητές X , μπορούμε να ορίσουμε τον μερικό συντελεστή προσδιορισμού μεταξύ της Y και της X_1 ενώ η X_2 είναι ήδη στο μοντέλο, να είναι:

$$r_{Y1.2}^2 = \frac{SSR(X_1 \setminus X_2)}{SSE(X_2)}$$

Ανάλογα, ο μερικός συντελεστής προσδιορισμού μεταξύ της Y και της X2 ενώ η X1 είναι ήδη στο μοντέλο, είναι:

$$r_{Y2.1}^2 = \frac{SSR(X_2 \setminus X_1)}{SSE(X_1)}$$

7. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

7.1. ΡΥΘΜΟΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΟΙΚΟΔΟΜΙΚΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΕΣ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΚΤΙΡΙΩΝ

Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας έγινε αρχικά μια προσπάθεια εκτίμησης ρυθμών παραγωγής αποβλήτων κατεδάφισης σε μονάδες όγκου και βάρους ανά τετραγωνικό μέτρο κάτοψης για διάφορες κατηγορίες κτιρίων. Στην περιοχή μελέτης η επικρατέστερη χρήση των κτιρίων συνίσταται σε κατοικίες και αποθήκες, γεγονός λογικό για ένα μικρό παραδοσιακό οικισμό ενός νησιού, όπως αυτόν της Βρυσάς. Έτσι κρίθηκε αναγκαίο να γίνει μια επιμέρους κατηγοριοποίηση των κτιρίων των δύο αυτών χρήσεων σε σχέση με τον αριθμό των ορόφων, τον τύπο της εξωτερικής τοιχοποιίας και του τρόπου επικάλυψης τους, δεδομένα τα οποία μπορούν πολύ εύκολα να προκύψουν με τη χρήση GIS αλλά και επιτόπου επισκέψεων σε μια πληγείσα περιοχή μετά από μια φυσική καταστροφή.

Κατά τον τρόπο αυτό προέκυψαν συνολικά 16 κατηγορίες κτιρίων με χρήση αποθήκης οι οποίες παρουσιάζονται αναλυτικά ως εξής στον παρακάτω Πίνακα 10:

Πίνακας 10: Κατηγορίες κτιρίων με χρήση αποθήκης

1	Μονώροφο με τοιχοποιία από αργολιθοδομή και επικάλυψη από ελλενίτ
2	Μονώροφο με τοιχοποιία από αργολιθοδομή και επικάλυψη από μεταλλικά φύλλα
3	Διώροφο με τοιχοποιία από αργολιθοδομή και επικάλυψη από μεταλλικά φύλλα
4	Μονώροφο με τοιχοποιία από αργολιθοδομή και επικάλυψη από ξύλινη στέγη με κεραμίδια
5	Διώροφο με τοιχοποιία από αργολιθοδομή και επικάλυψη από ξύλινη στέγη με κεραμίδια
6	Μονώροφο με τοιχοποιία από αργολιθοδομή και επικάλυψη από πλάκα οπλισμένου σκυροδέματος
7	Μονώροφο με τοιχοποιία από οπτοπλινθοδομή και επικάλυψη από ελλενίτ
8	Μονώροφο με τοιχοποιία από οπτοπλινθοδομή και επικάλυψη από μεταλλικά φύλλα
9	Μονώροφο με τοιχοποιία από οπτοπλινθοδομή και επικάλυψη από ξύλινη στέγη

	με κεραμίδια
10	Μονώροφο με τοιχοποιία από οπτοπλινθοδομή και επικάλυψη από πλάκα οπλισμένου σκυροδέματος
11	Μονώροφο με τοιχοποιία από τσιμεντολιθοδομή και επικάλυψη από ελλενίτ
12	Μονώροφο με τοιχοποιία από τσιμεντολιθοδομή και επικάλυψη από μεταλλικά φύλλα
13	Μονώροφο με τοιχοποιία από τσιμεντολιθοδομή και επικάλυψη από ξύλινη στέγη με κεραμίδια
14	Μονώροφο με τοιχοποιία από τσιμεντολιθοδομή και επικάλυψη από πλάκα οπλισμένου σκυροδέματος
15	Μονώροφο με τοιχοποιία από μεταλλικά φύλλα και επικάλυψη από μεταλλικά φύλλα
16	Μονώροφο με τοιχοποιία από μεταλλικά φύλλα και επικάλυψη από ελλενίτ

καθώς και 11 κατηγορίες κτιρίων με χρήση κατοικίας οι οποίες παρουσιάζονται αναλυτικά στο παρακάτω Πίνακα 11:

Πίνακας 11: Κατηγορίες κτιρίων με χρήση κατοικίας

1	Διώροφο με τοιχοποιία από αργολιθοδομή και επικάλυψη από ελλενίτ
2	Μονώροφο με τοιχοποιία από αργολιθοδομή και επικάλυψη από ξύλινη στέγη με κεραμίδια
3	Διώροφο με τοιχοποιία από αργολιθοδομή και επικάλυψη από ξύλινη στέγη με κεραμίδια
4	Τριώροφο με τοιχοποιία από αργολιθοδομή και επικάλυψη από ξύλινη στέγη με κεραμίδια
5	Μονώροφο με τοιχοποιία από αργολιθοδομή και επικάλυψη από πλάκα οπλισμένου σκυροδέματος
6	Μονώροφο με τοιχοποιία από οπτοπλινθοδομή και επικάλυψη από ξύλινη στέγη με κεραμίδια
7	Διώροφο με τοιχοποιία από οπτοπλινθοδομή και επικάλυψη από ξύλινη στέγη με κεραμίδια
8	Μονώροφο με τοιχοποιία από οπτοπλινθοδομή και επικάλυψη από πλάκα οπλισμένου σκυροδέματος
9	Διώροφο με τοιχοποιία από οπτοπλινθοδομή και επικάλυψη από πλάκα οπλισμένου σκυροδέματος
10	Μονώροφο με τοιχοποιία από τσιμεντολιθοδομή και επικάλυψη από ξύλινη στέγη με κεραμίδια
11	Διώροφο με τοιχοποιία από οπτοπλινθοδομή και αργολιθοδομή και επικάλυψη από ξύλινη στέγη με κεραμίδια

Καταρτίστηκαν συνολικά τέσσερις πίνακες τιμών βάρους και όγκου αποβλήτων ανά τετραγωνικό μέτρο κάτοψης για διαφορετικά είδη και κωδικούς οικοδομικών αποβλήτων σύμφωνα με τον Ευρωπαϊκό Κατάλογο αποβλήτων αλλά και συνολικά για κάθε κατηγορία κτιρίου (Πίνακες 12 έως και 15).

Οι τιμές αυτές μπορούν να χρησιμεύσουν για γρήγορο υπολογισμό δυνητικών ποσοτήτων αποβλήτων από καταρρεύσεις και κατεδαφίσεις μεμονωμένων κτιρίων

που μπορούν να υποστούν ζημιές μετά από ένα καταστροφικό συμβάν αλλά και συνολικών ποσοτήτων αποβλήτων μιας πληγείσας περιοχής.

Επιπρόσθετα είναι εύκολο να προσδιοριστούν με ταχύτητα και ευκολία οι ποσότητες των επιμέρους κατηγοριών αποβλήτων κατεδάφισης όπως σκυρόδεμα, τούβλα, κεραμίδια, ξύλο, γυαλί, αμίαντος, πέτρες κλπ.

Οι διαχειριστές των ΑΕΚΚ μπορούν με τον τρόπο αυτό να εκτιμήσουν προκαταρκτικά τα διαφορετικά ρεύματα αποβλήτων που μπορεί να προκύψουν μετά από μια φυσική καταστροφή και να υπολογίσουν ταχύτατα τις ποσότητες των διαφορετικών ρευμάτων που μπορούν να επεξεργαστούν, προκειμένου να ανακυκλωθούν και να επαναχρησιμοποιηθούν στην αγορά. Με τον τρόπο αυτό επίσης οι τοπικές αρχές (Δήμος, Περιφέρεια) μπορούν να εκτιμήσουν το πιθανό κέρδος που μπορεί να αποφέρει η αξιοποίηση και η ανακύκλωση των διαφορετικών ρευμάτων αποβλήτων, ώστε να μελετήσουν το που συμφέρει να εγκατασταθούν επιχειρήσεις εκμετάλλευσης αποβλήτων ώστε να είναι οικονομικά βιώσιμες.

Παρατηρούμε από τους πίνακες ότι τα κυριότερα συστατικά αποβλήτων συνίστανται σε σκυρόδεμα, τούβλα και πέτρες.

Στα κτίρια με χρήση αποθήκης και εξωτερική τοιχοποιία από αργολιθοδομή τους μεγαλύτερους συντελεστές kg/m^2 και m^3/m^2 τους έχουν αυτά με επικάλυψη από μεταλλικά φύλλα, σε αυτά με εξωτερική τοιχοποιία από οπτοπλινθοδομή τους μεγαλύτερους συντελεστές kg/m^2 και m^3/m^2 τους έχουν αυτά με επικάλυψη από ελλενίτ, σε αυτά με εξωτερική τοιχοποιία από τσιμεντολιθοδομή τους μεγαλύτερους συντελεστές kg/m^2 και m^3/m^2 τους έχουν αυτά με επικάλυψη από πλάκα οπλισμένου σκυροδέματος, και σε αυτά με εξωτερική τοιχοποιία από μεταλλικά φύλλα τους μεγαλύτερους συντελεστές kg/m^2 και m^3/m^2 τους έχουν αυτά με επικάλυψη από μεταλλικά φύλλα.

Για τα κτίρια με χρήση αποθήκης τον μεγαλύτερο δείκτη βάρους αποβλήτων (kg/m^2) τον δίνουν τα διώροφα κτίρια με εξωτερική τοιχοποιία από αργολιθοδομή και επικάλυψη από μεταλλικά φύλλα και τον μικρότερο, τα μονώροφα με εξωτερική τοιχοποιία από μεταλλικά φύλλα και επικάλυψη από ελλενίτ. Αντίστοιχα τον μεγαλύτερο δείκτη όγκου αποβλήτων (m^3/m^2) στα κτίρια με χρήση αποθήκης τον δίνουν τα μονώροφα με εξωτερική τοιχοποιία από οπτοπλινθοδομή και επικάλυψη από ελλενίτ και τον μικρότερο πάλι τα μονώροφα με εξωτερική τοιχοποιία από μεταλλικά φύλλα και επικάλυψη από ελλενίτ.

Γενικώς για τα κτίρια με χρήση αποθήκης οι συντελεστές βάρους αποβλήτων κυμαίνονται από 264,56 kg/m² μέχρι 7.280,22 kg/m², ενώ οι συντελεστές όγκου κυμαίνονται από 0,177 m³/m² μέχρι 3,748 m³/m².

Στα κτίρια με χρήση κατοικίας και εξωτερική τοιχοποιία από αργολιθοδομή τους μεγαλύτερους συντελεστές kg/m² και m³/m² τους έχουν αυτά με επικάλυψη από ξύλινη στέγη με κεραμίδια και σε αυτά με εξωτερική τοιχοποιία από οπτοπλινθοδομή τους μεγαλύτερους συντελεστές kg/m² και m³/m² τους έχουν αυτά με επικάλυψη από πλάκα οπλισμένου σκυροδέματος.

Για τα κτίρια με χρήση κατοικίας τον μεγαλύτερο δείκτη βάρους αποβλήτων (kg/m²) τον δίνουν τα τριώροφα κτίρια με εξωτερική τοιχοποιία από αργολιθοδομή και επικάλυψη από ξύλινη στέγη με κεραμίδια και τον μικρότερο, τα μονώροφα με εξωτερική τοιχοποιία από τσιμεντολιθοδομή και επικάλυψη από ξύλινη στέγη με κεραμίδια. Αντίστοιχα τον μεγαλύτερο δείκτη όγκου αποβλήτων (m³/m²) για τα κτίρια με χρήση κατοικίας τον δίνουν τα διώροφα με εξωτερική τοιχοποιία από οπτοπλινθοδομή και επικάλυψη από πλάκα οπλισμένου σκυροδέματος και τον μικρότερο πάλι τα μονώροφα με εξωτερική τοιχοποιία από τσιμεντολιθοδομή και επικάλυψη από ξύλινη στέγη με κεραμίδια.

Γενικώς για τα κτίρια με χρήση κατοικίας οι συντελεστές βάρους αποβλήτων κυμαίνονται από 954,68 kg/m² μέχρι 7.677,30 kg/m², ενώ οι συντελεστές όγκου κυμαίνονται από 0,691 m³/m² μέχρι 3,625 m³/m².

Γενικά στα κτίρια με χρήση αποθήκης με ίδιο τύπο τοιχοποιίας και επικάλυψης η αύξηση του αριθμού των ορόφων προκαλεί περίπου διπλάσια αύξηση της ποσότητας των αποβλήτων, ενώ στα κτίρια με χρήση κατοικίας με ίδιο τύπο τοιχοποιίας και επικάλυψης η αύξηση του αριθμού των ορόφων προκαλεί αύξηση των ποσοτήτων αποβλήτων ανά τετραγωνικό μέτρο κατά περίπου 1,50 φορές.

Ανακεφαλαιώνοντας, τα κτίρια με χρήση κατοικίας έχουν κατά μέσο όρο 4.170 και 2,40 m³/m² παραγόμενα οικοδομικά απόβλητα, ενώ τα κτίρια με χρήση αποθήκης έχουν κατά μέσο όρο 2.470 kg/m² και 1,47 m³/m² παραγόμενα οικοδομικά απόβλητα.

Παρακάτω παρατίθενται οι πίνακες υπολογισμού ποσοτήτων αποβλήτων για τις διαφορετικές κατηγορίες κτιρίων με χρήση αποθήκης και κατοικίας.

Πίνακας 12 από excel katigoriopiseis

Πίνακας 13 από excel katigoriopiseis

Πίνακας 14 από excel katigoriopiseis

Πίνακας 15 από excel katigoriopiseis

7.2. ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΟΙΚΟΔΟΜΙΚΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

Χρησιμοποιώντας τα επεξεργασμένα δεδομένα για 182 κτίσματα του τομέα Β1 της Βρυσάς, υπολογίστηκαν τέσσερις μαθηματικοί τύποι για την εκτίμηση των οικοδομικών αποβλήτων.

1. Εμπειρική σχέση υπολογισμού βάρους κατεδαφισθέντων υλικών σε Kg

$$y = -130242.6 + (48903.4 * x_1) + (1332.6 * x_2)$$

όπου

x1: ύψος κτιρίου σε m

x2: Εμβαδόν κάτοψης κτιρίου σε m²

Εξίσωση 1: Μαθηματικός τύπος υπολογισμού βάρους κατεδαφισθέντων υλικών σε kg

Παρακάτω παρατίθεται ο πίνακας ανάλυσης διασποράς ανοα.

Πίνακας 16: Πίνακας ανάλυσης διασποράς

Response: y						
	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	Signif. codes
x1	1	1.7650e+12	1.7650e+12	579.696	< 2.2e-16	***
x2	1	1.8569e+11	1.8569e+11	60.986	4.669e-13	***
Residuals	179	5.4501e+11	3.0447e+09			
Signif. codes:	0 '***'	0.001 '**'	0.01 '*'	0.05 '.'	0.1 ''	1

Πιο απλά ο πίνακας ανάλυσης διασποράς είναι:

Πίνακας 17: Συγκεντρωτικός πίνακας διασποράς

Πηγή μεταβλητότητας	Άθροισμα Τετραγώνων	Βαθμοί Ελευθερίας	Μέσο άθροισμα τετραγώνων	Έλεγχος F
---------------------	---------------------	-------------------	--------------------------	-----------

Παλινδρόμηση	SSR = 2 1,9507e12	MSR= 9,7535e11	F =320,30
Υπόλοιπα	SSE = 179 5,4501e11	MSE = 3.044e9	
Σύνολο	SST= 2,4957e12	181	

Μια εκτενέστερη κατάσταση των παραμέτρων της παλινδρόμησης παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα 18:

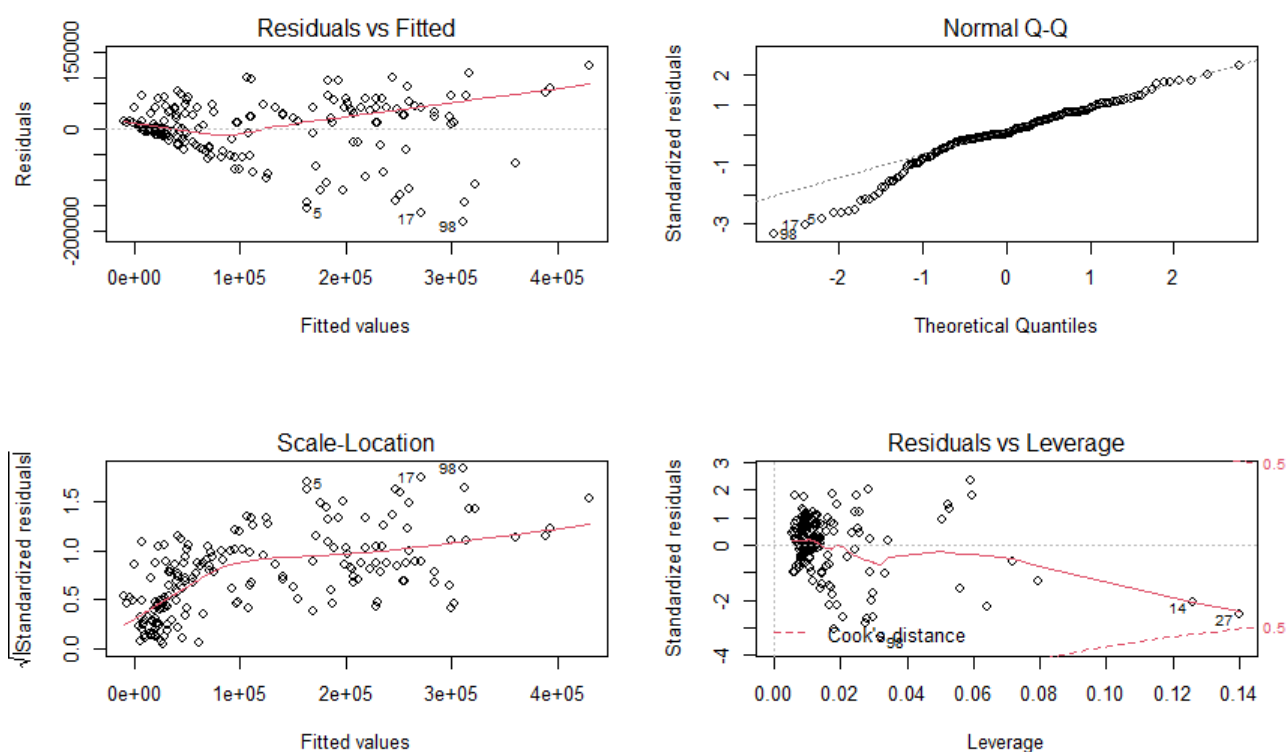
Πίνακας 18: Εκτενέστερη κατάσταση των παραμέτρων της παλινδρόμησης

Residuals:						
	Min	1Q	Median	3Q	Max	
	-180782	-20842	2387	37617	123587	
Coefficients:						
	Estimate	Error	t value	Pr(> t)	Signif. codes	
(Intercept)	-130242.6	10739.6	-12.127	< 2e-16	***	
x1	48903.4	2703.1	18.092	< 2e-16	***	
x2	1332.6	170.6	7.809	4.67e-13	***	
Signif. codes:	0 '***'	0.001 '***'	0.01 '**'	0.05 '.'	0.1 ''	1
Residual standard error: 55180 on 179 degrees of freedom						
Multiple R-squared: 0.7816				Adjusted R-squared: 0.7792		
F-statistic: 320.3 on 2 and 179 DF				p-value: < 2.2e-16		

Αρχικά παίρνουμε κάποια στοιχεία που αφορούν τα κατάλοιπα. Έπειτα στη στήλη Std. Error δίνονται οι εκτιμήσεις των τυπικών σφαλμάτων για τους εκτιμητές ελαχίστων τετραγώνων $\beta_0, \beta_1, \beta_2$, ενώ στη στήλη t-value δίνονται οι τιμές των στατιστικών συναρτήσεων ελέγχου. Από τις p-τιμές παρατηρούμε ότι επειδή όλες έχουν τιμή μεγαλύτερη είτε από το επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=5\%$, είτε από το επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=1\%$, αποδεχόμαστε ότι όλοι οι εκτιμητές των παραμέτρων παλινδρόμησης ξεχωριστά είναι στατιστικά σημαντικοί. Η τιμή F-statistics=320,30 που είναι ίδια με αυτή που προέκυψε από τον πίνακα ανάλυσης διασποράς παραπάνω και η p-τιμή $<2.2e-16 < 0,001$ μας οδηγεί στην απόρριψη της μηδενικής υπόθεσης

$H_0: \beta_0 = \beta_1 = \beta_2 = 0$, άρα το μοντέλο είναι στατιστικά σημαντικό. Τέλος, αναφέρεται η τιμή του συντελεστή πολλαπλού προσδιορισμού $Multiple\ R\text{-squared}=0.7816$ και η τιμή του προσαρμοσμένου συντελεστή προσδιορισμού $Adjusted\ R\text{-squared}=0,7792$. Το 78,16 % της διακύμανσης του βάρους των αποβλήτων κατεδάφισης ερμηνεύεται από τη διακύμανση του ύψους των κτιρίων και της επιφάνειας κάτοψης τους. Συγκεκριμένα, το ύψος των κτιρίων ερμηνεύει στατιστικά σημαντικά το βάρος των αποβλήτων ($t = 18.09$, $sig < 0,001$), όπως επίσης και η το εμβαδόν κάτοψης τους ($t = 7.809$, $sig < 0,001$).

Αφού βρήκαμε την καλύτερη προσαρμογή του μοντέλου, μας μένει να κάνουμε τα απαραίτητα διαγνωστικά διαγράμματα για τον έλεγχο των υποθέσεων του γραμμικού μοντέλου για τα κατάλοιπα τα οποία παρουσιάζονται στη παρακάτω Εικόνα XX.



Εικόνα 6: Διαγράμματα ελέγχου υποθέσεων γραμμικού μοντέλου

Από το πρώτο διάγραμμα παρατηρούμε ότι η κόκκινη γραμμή πλησιάζει εν μέρει την οριζόντια διακεκομμένη γραμμή, συνεπώς δεν φαίνεται να υπάρχουν προβλήματα στην γραμμικότητα του μοντέλου. Στο δεύτερο γράφημα, επειδή τα σημεία κινούνται κατά μήκος της διακεκομμένης ευθείας, εξασφαλίζεται η υπόθεση της κανονικότητας

των υπολοίπων. Στο τρίτο διάγραμμα η κόκκινη γραμμή είναι σχεδόν επίπεδη, οπότε ικανοποιείται και η υπόθεση ομοσκεδαστικότητας των υπολοίπων. Στο τέταρτο γράφημα, η κόκκινη συνεχόμενη γραμμή παραμένει κοντά στην γκρι οριζόντια διακεκομμένη γραμμή και τα σημεία δεν έχουν απόσταση Cook μεγαλύτερη από 0.5, οπότε δεν φαίνεται να έχουμε σημεία επιρροής τα οποία επηρεάζουν σημαντικά τα αποτελέσματα μας.

2. Εμπειρική σχέση υπολογισμού όγκου κατεδαφισθέντων υλικών σε m^3

$$y = -58.85607 + (22.78869 * x_1) + (0.74388 * x_2)$$

όπου

x_1 : ύψος κτιρίου σε m

x_2 : Εμβαδόν κάτοψης κτιρίου σε m^2

Εξίσωση 2: Μαθηματικός τύπος υπολογισμού όγκου κατεδαφισθέντων υλικών σε m^3

Παρακάτω παρατίθεται ο πίνακας ανάλυσης διασποράς άπονα.

Πίνακας 19: Πίνακας ανάλυσης διασποράς

Response: y						
	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	Signif.codes
x1	1	408093	408093	925.73	< 2.2e-16	***
x2	1	57858	57858	131.25	< 2.2e-16	***
Residuals	179	78909	441			
Signif. codes:	0 '***'	0.001 '**'	0.01 '*'	0.05 '.'	0.1 ''	1

Πιο απλά ο πίνακας ανάλυσης διασποράς είναι:

Πίνακας 20: Συγκεντρωτικός πίνακας διασποράς

Πηγή μεταβλητότητας	Άθροισμα Τετραγώνων	Βαθμοί Ελευθερίας	Μέσο άθροισμα τετραγώνων	Έλεγχος F
Παλινδρόμηση	SSR = 465951	2	MSR = 232975,50	F = 528,50
Υπόλοιπα	SSE = 78909	179	MSE = 440,83	
Σύνολο	SST = 544860	181		

Μια εκτενέστερη κατάσταση των παραμέτρων της παλινδρόμησης παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα 21:

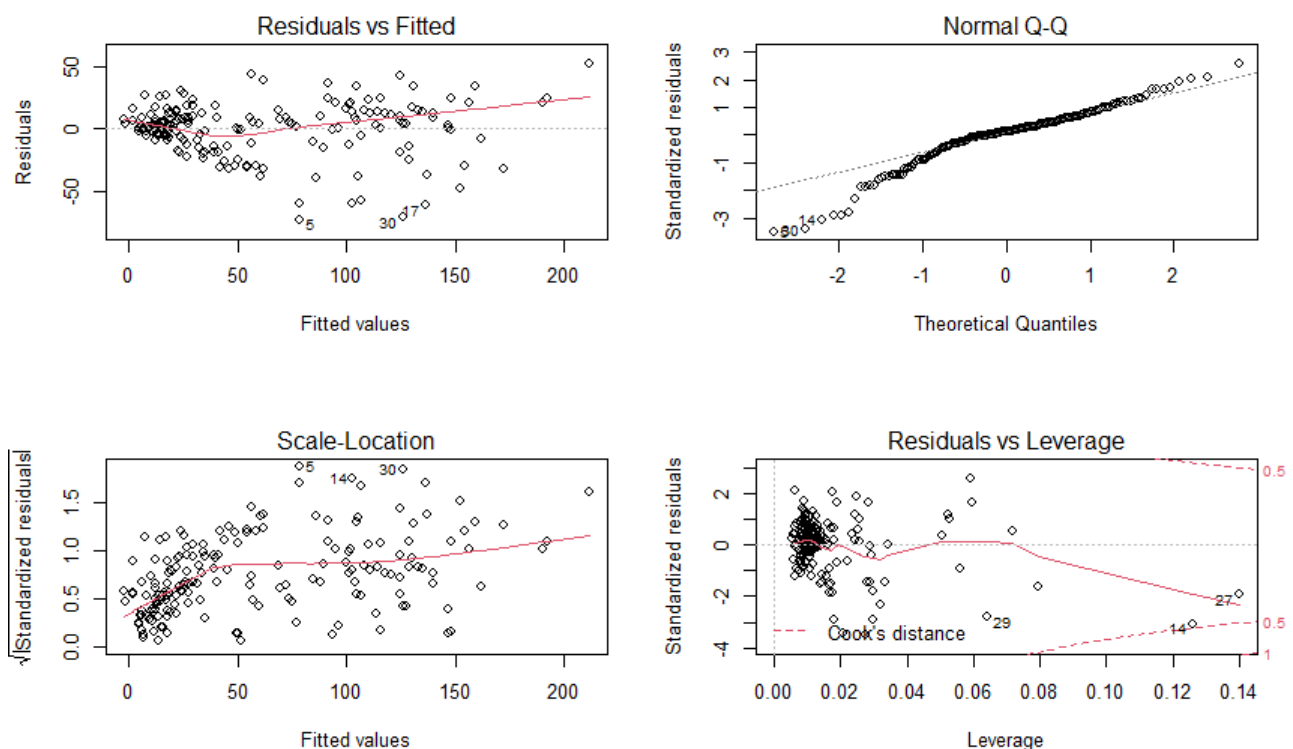
Πίνακας 21: Εκτενέστερη κατάσταση των παραμέτρων της παλινδρόμησης

Residuals:						
	Min	1Q	Median	3Q	Max	
	-72.573	-20842	2.771	12.204	52.505	
Coefficients:						
	Estimate	Error	t value	Pr(> t)	Signif. codes	
(Intercept)	-58.85607	4.08646	-14.40	<2e-16	***	
x1	22.78869	1.02854	22.16	<2e-16	***	
x2	0.74388	0.06493	11.46	<2e-16	***	
Signif. codes:	0 '***'	0.001 '**'	0.01 '*'	0.05 '.'	0.1 ' '	1
Residual standard error: 21 on 179 degrees of freedom						
Multiple R-squared: 0.8552				Adjusted R-squared: 0.8536		
F-statistic: 528.5 on 2 and 179 DF				p-value: < 2.2e-16		

Αρχικά παίρνουμε κάποια στοιχεία που αφορούν τα κατάλοιπα. Έπειτα στη στήλη Std. Error δίνονται οι εκτιμήσεις των τυπικών σφαλμάτων για τους εκτιμητές ελαχίστων τετραγώνων $\beta_0, \beta_1, \beta_2$, ενώ στη στήλη t-value δίνονται οι τιμές των στατιστικών συναρτήσεων ελέγχου. Από τις p-τιμές παρατηρούμε ότι επειδή όλες έχουν τιμή μεγαλύτερη είτε από το επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=5\%$, είτε από το επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=1\%$, αποδεχόμαστε ότι όλοι οι εκτιμητές των παραμέτρων παλινδρόμησης ξεχωριστά είναι στατιστικά σημαντικοί. Η τιμή F-statistics=528,50 που είναι ίδια με αυτή που προέκυψε από τον πίνακα ανάλυσης διασποράς παραπάνω και η p-τιμή $<2.2e-16 < 0,001$ μας οδηγεί στην απόρριψη της μηδενικής υπόθεσης $H_0: \beta_0 = \beta_1 = \beta_2 = 0$, άρα το μοντέλο είναι στατιστικά σημαντικό. Τέλος, αναφέρεται η τιμή του συντελεστή πολλαπλού προσδιορισμού Multiple R-squared=0.8552 και η τιμή του προσαρμοσμένου συντελεστή προσδιορισμού Adjusted R-squared=0.8536. Το 85.52 % της διακύμανσης του όγκου των αποβλήτων κατεδάφισης ερμηνεύεται από τη διακύμανση του ύψους των κτιρίων και της επιφάνειας κάτοψης τους.

Συγκεκριμένα, το ύψος των κτιρίων ερμηνεύει στατιστικά σημαντικά τον όγκο των αποβλήτων ($t = 22.16$, $\text{sig} < 0,001$), όπως επίσης και το εμβαδόν κάτοψης τους ($t = 11.46$, $\text{sig} < 0,001$).

Αφού βρήκαμε την καλύτερη προσαρμογή του μοντέλου, μας μένει να κάνουμε τα απαραίτητα διαγνωστικά διαγράμματα για τον έλεγχο των υποθέσεων του γραμμικού μοντέλου για τα κατάλοιπα.



Εικόνα 7: Διαγράμματα ελέγχου υποθέσεων γραμμικού μοντέλου

Από το πρώτο διάγραμμα παρατηρούμε ότι η κόκκινη γραμμή πλησιάζει εν μέρει την οριζόντια διακεκομμένη γραμμή, συνεπώς δεν φαίνεται να υπάρχουν προβλήματα στην γραμμικότητα. Στο δεύτερο γράφημα, επειδή τα σημεία κινούνται κατά μήκος της διακεκομμένης ευθείας, εξασφαλίζεται η υπόθεση της κανονικότητας των υπολοίπων. Στο τρίτο διάγραμμα η κόκκινη γραμμή είναι σχεδόν επίπεδη, οπότε ικανοποιείται και η υπόθεση ομοσκεδαστικότητας των υπολοίπων. Στο τέταρτο γράφημα, η κόκκινη συνεχόμενη γραμμή παραμένει κοντά στην γκρι οριζόντια διακεκομμένη γραμμή και τα σημεία δεν έχουν απόσταση Cook μεγαλύτερη από 0.5, οπότε δεν φαίνεται να έχουμε σημεία επιρροής.

3. Εμπειρική σχέση υπολογισμού βάρους κατεδαφισθέντων υλικών σε Kg

$$y = -147134.0 + (154491.7 * x_1) + (1734.2 * x_2)$$

όπου

x1: αριθμός ορόφων κτιρίου

x2:Εμβαδόν κάτοψης κτιρίου σε m²

Εξίσωση 3: Μαθηματικός τύπος υπολογισμού βάρους κατεδαφισθέντων υλικών σε kg

Παρακάτω παρατίθεται ο πίνακας ανάλυσης διασποράς ανοη

Πίνακας 22: Πίνακας ανάλυσης διασποράς

Response: y						
	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	Signif.codes
x1	1	1.5158e+12	1.5158e+12	427.470	< 2.2e-16	***
x2	1	3.4515e+11	3.4515e+11	97.334	< 2.2e-16	***
Residuals	179	6.3474e+11	3.5461e+09			
Signif. codes:	0 '***'	0.001 '**'	0.01 '*'	0.05 '.'	0.1 ''	1

Πιο απλά ο πίνακας ανάλυσης διασποράς είναι:

Πίνακας 23: Συγκεντρωτικός πίνακας διασποράς

Πηγή μεταβλητότητας	Άθροισμα Τετραγώνων	Βαθμοί Ελευθερίας	Μέσο άθροισμα τετραγώνων	Έλεγχος F
Παλινδρόμηση	SSR = 1,8610e12	2	MSR= 9,305e11	F =262,40
Υπόλοιπα	SSE = 6,3474e11	179	MSE = 3,5461e9	
Σύνολο	SST = 2,4957e12	181		

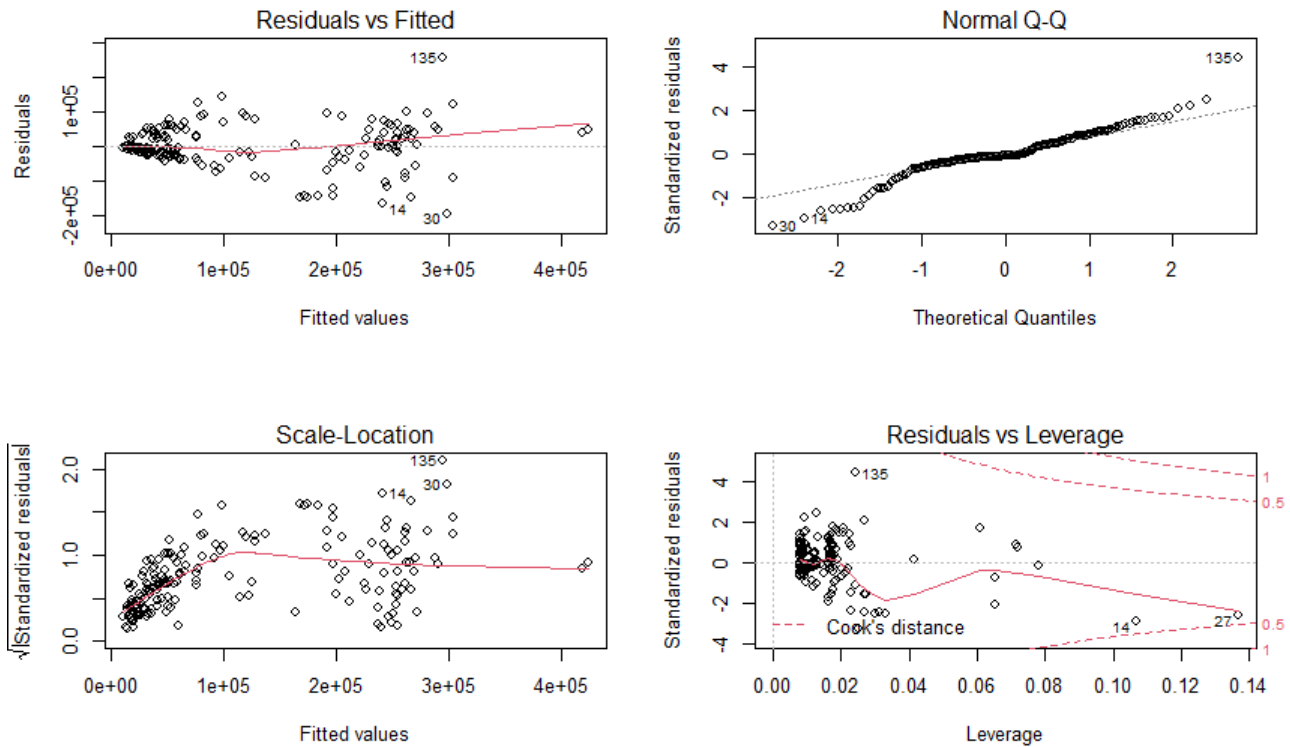
Μια εκτενέστερη κατάσταση των παραμέτρων της παλινδρόμησης παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα 24:

Πίνακας 24: Εκτενέστερη κατάσταση των παραμέτρων της παλινδρόμησης

Residuals:						
	Min	1Q	Median	3Q	Max	
	-193810	-24373	-5921	32975	257884	
Coefficients:						
	Estimate	Error	t value	Pr(> t)	Signif. codes	
(Intercept)	-147134.0	12800.1	-11.495	<2e-16	***	
x1	154491.7	9660.8	15.992	<2e-16	***	
x2	1734.2	175.8	9.866	<2e-16	***	
Signif. codes:	0 '***'	0.001 '**'	0.01 '*'	0.05 '.'	0.1 ''	1
Residual standard error: 59550 on 179 degrees of freedom						
Multiple R-squared: 0.7457				Adjusted R-squared: 0.7428		
F-statistic: 262.4 on 2 and 179 DF				p-value: < 2.2e-16		

Αρχικά παίρνουμε κάποια στοιχεία που αφορούν τα κατάλοιπα. Έπειτα στην στήλη Std. Error δίνονται οι εκτιμήσεις των τυπικών σφαλμάτων για τους εκτιμητές ελαχίστων τετραγώνων $\beta_0, \beta_1, \beta_2$, ενώ στην στήλη t-value δίνονται οι τιμές των στατιστικών συναρτήσεων ελέγχου. Από τις p-τιμές παρατηρούμε ότι επειδή όλες έχουν τιμή μεγαλύτερη είτε από το επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=5\%$, είτε από το επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=1\%$, αποδεχόμαστε ότι όλοι οι εκτιμητές των παραμέτρων παλινδρόμησης ξεχωριστά είναι στατιστικά σημαντικοί. Η τιμή $F\text{-statistics}=262,40$ που είναι ίδια με αυτή που προέκυψε από τον πίνακα ανάλυσης διασποράς παραπάνω και η p-τιμή $<2.2e-16 < 0,001$ μας οδηγεί στην απόρριψη της μηδενικής υπόθεσης $H_0 : \beta_0 = \beta_1 = \beta_2 = 0$, άρα το μοντέλο είναι στατιστικά σημαντικό. Τέλος, αναφέρεται η τιμή του συντελεστή πολλαπλού προσδιορισμού $\text{Multiple R-squared}=0.7457$ και η τιμή του προσαρμοσμένου συντελεστή προσδιορισμού $\text{Adjusted R-squared}=0.7428$. Το 74,57 % της διακύμανσης του βάρους των αποβλήτων κατεδάφισης ερμηνεύεται από τη διακύμανση των ορόφων των κτιρίων και της επιφάνειας κάτοψης τους. Συγκεκριμένα, οι όροφοι των κτιρίων ερμηνεύουν στατιστικά σημαντικά το βάρος των αποβλήτων ($t = 15.992$, sig $<0,001$), όπως επίσης και το εμβαδόν κάτοψης τους ($t = 9.866$ sig $<0,001$).

Αφού βρήκαμε την καλύτερη προσαρμογή του μοντέλου, μας μένει να κάνουμε τα απαραίτητα διαγνωστικά διαγράμματα για τον έλεγχο των υποθέσεων του γραμμικού μοντέλου για τα κατάλοιπα.



Εικόνα 8: Διαγράμματα ελέγχου υποθέσεων γραμμικού μοντέλου

Από το πρώτο διάγραμμα παρατηρούμε ότι η κόκκινη γραμμή πλησιάζει εν μέρει την οριζόντια διακεκομμένη γραμμή, συνεπώς δεν φαίνεται να υπάρχουν προβλήματα στην γραμμικότητα. Στο δεύτερο γράφημα, επειδή τα σημεία κινούνται κατά μήκος της διακεκομμένης ευθείας, εξασφαλίζεται η υπόθεση της κανονικότητας των υπολοίπων. Στο τρίτο διάγραμμα η κόκκινη γραμμή είναι σχεδόν επίπεδη, οπότε ικανοποιείται και η υπόθεση ομοσκεδαστικότητας των υπολοίπων. Στο τέταρτο γράφημα, η κόκκινη συνεχόμενη γραμμή παραμένει κοντά στην γκρι οριζόντια διακεκομμένη γραμμή και τα σημεία δεν έχουν απόσταση Cook μεγαλύτερη από 0.5, οπότε δεν φαίνεται να έχουμε σημεία επιρροής.

4. Εμπειρική σχέση υπολογισμού όγκου κατεδαφισθέντων υλικών σε m^3

$$y = -64.66171 + (70.11125 * x_1) + (0.94282 * x_2)$$

όπου

x1: αριθμός ορόφων κτιρίου

x2: Εμβαδόν κάτοψης κτιρίου σε m^2

Εξίσωση 4: Μαθηματικός τύπος υπολογισμού όγκου κατεδαφισθέντων υλικών σε m^3

Παρακάτω παρατίθεται ο πίνακας ανάλυσης διασποράς

Πίνακας 25: Πίνακας ανάλυσης διασποράς

Response: y						
	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	Signif. codes
x1	1	334291	334291	551.25	< 2.2e-16	***
x2	1	102018	102018	168.23	< 2.2e-16	***
Residuals	179	108550	606			
Signif. codes:	0 '***'	0.001 '**'	0.01 '*'	0.05 '.'	0.1 ''	1

Πιο απλά ο πίνακας ανάλυσης διασποράς είναι:

Πίνακας 26: Συγκεντρωτικός πίνακας διασποράς

Πηγή μεταβλητότητας	Άθροισμα Τετραγώνων	Βαθμοί Ελευθερίας	Μέσο άθροισμα τετραγώνων	Έλεγχος F
Παλινδρόμηση	SSR = 436309	2	MSR = 218154,50	F = 359,70
Υπόλοιπα	SSE = 108550	179	MSE = 606,42	
Σύνολο	SST = 544859	181		

Μια εκτενέστερη κατάσταση των παραμέτρων της παλινδρόμησης παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα 27.

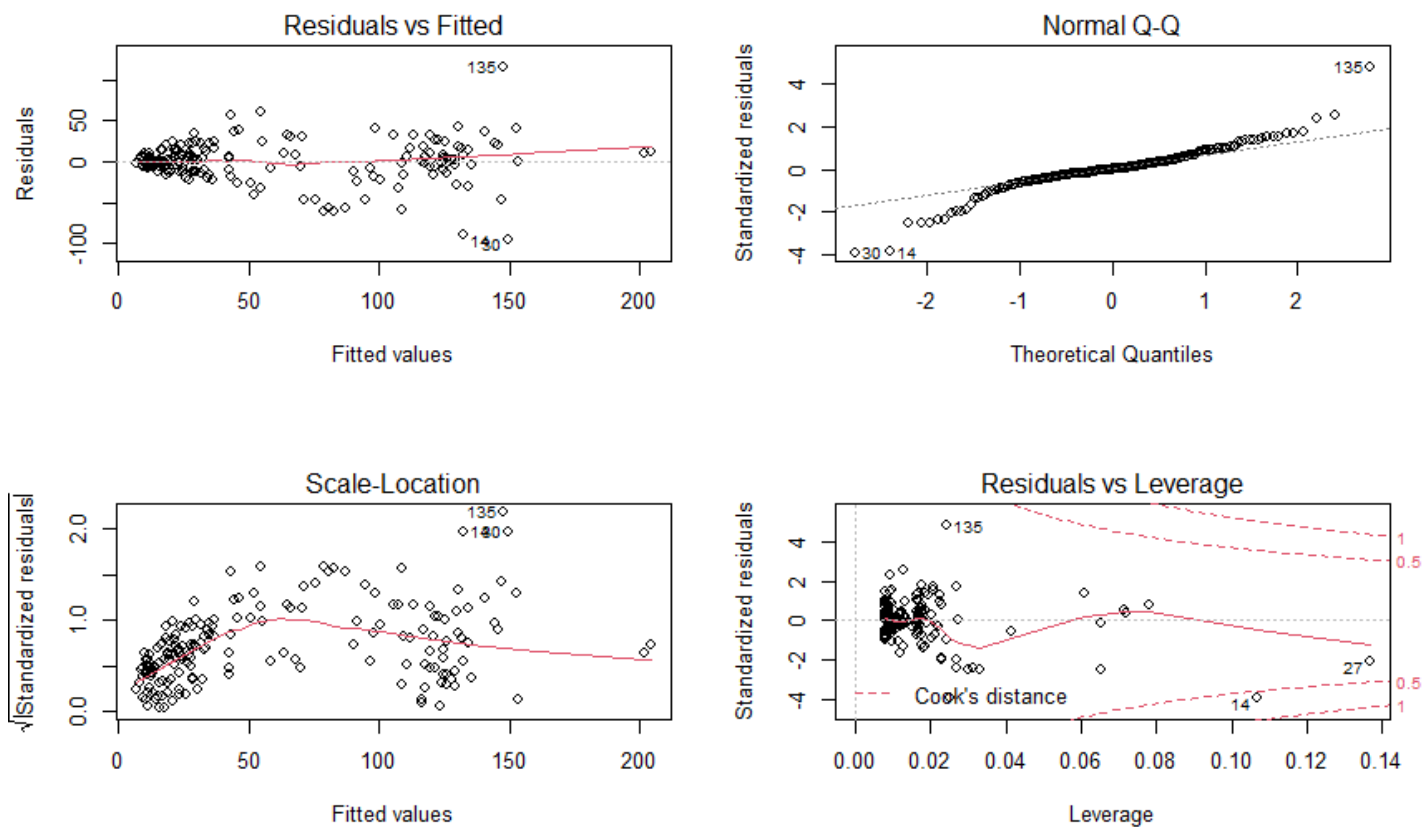
Πίνακας 27: Εκτενέστερη κατάσταση των παραμέτρων της παλινδρόμησης

Residuals:						
	Min	1Q	Median	3Q	Max	
	-94.682	-9.525	0.124	11.145	115.874	
Coefficients:						
	Estimate Std.	Error	t value	Pr(> t)	Signif. codes	

(Intercept)	-64.66171	5.29334	-12.22	<2e-16	***	
x1	70.11125	3.99510	17.55	<2e-16	***	
x2	0.94282	0.07269	12.97	<2e-16	***	
Signif. codes:	0 '***'	0.001 '***'	0.01 '**'	0.05 '.'	0.1 ''	1
Residual standard error: 24.63 on 179 degrees of freedom						
Multiple R-squared: 0.8008				Adjusted R-squared: 0.7985		
F-statistic: 359.7 on 2 and 179 DF				p-value: < 2.2e-16		

Αρχικά παίρνουμε κάποια στοιχεία που αφορούν τα κατάλοιπα. Έπειτα στη στήλη Std. Error δίνονται οι εκτιμήσεις των τυπικών σφαλμάτων για τους εκτιμητές ελαχίστων τετραγώνων $\beta_0, \beta_1, \beta_2$, ενώ στη στήλη t-value δίνονται οι τιμές των στατιστικών συναρτήσεων ελέγχου. Από τις p-τιμές παρατηρούμε ότι επειδή όλες έχουν τιμή μεγαλύτερη είτε από το επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=5\%$, είτε από το επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=1\%$, αποδεχόμαστε ότι όλοι οι εκτιμητές των παραμέτρων παλινδρόμησης ξεχωριστά είναι στατιστικά σημαντικοί. Η τιμή $F\text{-statistics}=359,70$ που είναι ίδια με αυτή που προέκυψε από τον πίνακα ανάλυσης διασποράς παραπάνω και η p-τιμή $<2.2e-16 < 0,001$ μας οδηγεί στην απόρριψη της μηδενικής υπόθεσης $H_0: \beta_0 = \beta_1 = \beta_2 = 0$, άρα το μοντέλο είναι στατιστικά σημαντικό. Τέλος, αναφέρεται η τιμή του συντελεστή πολλαπλού προσδιορισμού $\text{Multiple R-squared}=0.8008$ και η τιμή του προσαρμοσμένου συντελεστή προσδιορισμού $\text{Adjusted R-squared}=0.7985$. Το 80,08 % της διακύμανσης του όγκου των αποβλήτων κατεδάφισης ερμηνεύεται από τη διακύμανση των ορόφων και της επιφάνειας κάτοψης τους. Συγκεκριμένα, οι όροφοι των κτιρίων ερμηνεύουν στατιστικά σημαντικά τον όγκο των αποβλήτων ($t = 17.55 \text{ sig } <0,001$), όπως επίσης και το εμβαδόν κάτοψης τους ($t = 12.97, \text{ sig } <0,001$).

Αφού βρήκαμε την καλύτερη προσαρμογή του μοντέλου, μας μένει να κάνουμε τα απαραίτητα διαγνωστικά διαγράμματα για τον έλεγχο των υποθέσεων του γραμμικού μοντέλου για τα κατάλοιπα.



Εικόνα 9: Διαγράμματα ελέγχου υποθέσεων γραμμικού μοντέλου

Από το πρώτο διάγραμμα παρατηρούμε ότι η κόκκινη γραμμή πλησιάζει εν μέρει την οριζόντια διακεκομμένη γραμμή, συνεπώς δεν φαίνεται να υπάρχουν προβλήματα στην γραμμικότητα. Στο δεύτερο γράφημα, επειδή τα σημεία κινούνται κατά μήκος της διακεκομμένης ευθείας, εξασφαλίζεται η υπόθεση της κανονικότητας των υπολοίπων. Στο τρίτο διάγραμμα η κόκκινη γραμμή είναι σχεδόν επίπεδη, οπότε ικανοποιείται και η υπόθεση ομοσκεδαστικότητας των υπολοίπων. Στο τέταρτο γράφημα, η κόκκινη συνεχόμενη γραμμή παραμένει κοντά στην γκρι οριζόντια διακεκομμένη γραμμή και τα σημεία δεν έχουν απόσταση Cook μεγαλύτερη από 0.5, οπότε δεν φαίνεται να έχουμε σημεία επιρροής.

Τα παραπάνω αποτελέσματα των τεσσάρων μαθηματικών τύπων παρατίθενται συγκεντρωτικά στο παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 28: Συγκεντρωτικός πίνακας των τεσσάρων εξισώσεων με τις μεταβλητές και τα βάρη τους.

Εξίσωση της μορφής $Y = \beta_0 + \beta_1 \cdot x_1 + \beta_2 \cdot x_2$					
Y	β_0	β_1	x_1	β_2	x_2
1. Βάρος (kg)	-130242.6	48903.4	Ύψος (m)	1332.6	Εμβαδόν(m ²)
2. Όγκος (m ³)	-58.85607	22.78869	Ύψος (m)	0.74388	Εμβαδόν(m ²)
3. Βάρος (kg)	-147134.0	154491.7	Αριθμός ορόφων	1734.2	Εμβαδόν(m ²)
4. Όγκος (m ³)	-64.66171	70.11125	Αριθμός ορόφων	0.94282	Εμβαδόν(m ²)

7.3. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΒΑΣΕΙ ΔΙΑΚΡΙΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΟΡΟΦΩΝ ΚΑΙ ΕΜΒΑΔΩΝ ΚΑΤΟΨΗΣ ΚΤΙΡΙΩΝ

Επιπρόσθετα έγινε μια προσπάθεια να μελετηθεί η επίδραση του αριθμού των ορόφων των κτιρίων της περιοχής Β1 του οικισμού της Βρυσάς για τρεις διαφορετικές κατηγορίες εμβαδών κάτοψης. Συγκεκριμένα, διερευνάται πόσο μεταβάλλονται οι ποσότητες των αποβλήτων σε kg, m³ αλλά και σε kg/m² και m³/m² κατά μέσο όρο στις περιπτώσεις μονώροφων κτιρίων με εμβαδόν κάτοψης $\leq 50m^2$, διώροφων κτιρίων με εμβαδόν κάτοψης $\leq 50m^2$ και τριώροφων κτιρίων με εμβαδόν κάτοψης $\leq 50 m^2$. Ανάλογη διαδικασία εφαρμόζεται για εμβαδόν κάτοψης $E > 50m^2$ και $E \leq 100 m^2$ αλλά και για $E > 100 m^2$. Τα αποτελέσματα που παρατίθενται στη συνέχεια υπό τη μορφή πινάκων έχουν προκύψει αφενός στηριζόμενοι στα αρχικά δεδομένα που έχουν προέλθει από γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών [Χρυσάφης,2018] αλλά και από την εφαρμογή των εμπειρικών σχέσεων που προέκυψαν στα πλαίσια της ανάλυσης της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Παρακάτω παρατίθενται αναλυτικά τα αποτελέσματα:

Πίνακας 29: Σύγκριση αποτελεσμάτων από γεωγραφικά δεδομένα

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΑΠΟ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ			
	ΜΟΝΩΡΟΦΑ ≤ 50 m2	ΔΙΩΡΟΦΑ ≤ 50 M2	ΤΡΙΩΡΟΦΑ ≤ 50 M2
KG	42657,3	104380,8	0
KG/M2	2343	6018,45	0
M3	24,07	57,71	0
M3/M2	1,43	3,76	0
	ΜΟΝΩΡΟΦΑ >50 ΚΑΙ ≤100m2	ΔΙΩΡΟΦΑ > 50 ΚΑΙ ≤100 M2	ΤΡΙΩΡΟΦΑ > 50 ΚΑΙ ≤100 M2
KG	130889,1	235561	0
KG/M2	2077,43	5638,63	0
M3	70,1	117,3	0
M3/M2	1,11	2,79	0
	ΜΟΝΩΡΟΦΑ > 100m2	ΔΙΩΡΟΦΑ > 100 M2	ΤΡΙΩΡΟΦΑ > 100 M2
KG	152296,2	288300,3	465753,8
KG/M2	1309,88	4771,92	7677,29
M3	95,57	140,89	214
M3/M2	0,81	2,32	3,53

Παρατηρείται ότι μεταξύ των μονώροφων και διώροφων κτιρίων με $E < 50m^2$ η αύξηση των ποσοτήτων αποβλήτων είναι παραπάνω από διπλάσια. Ειδικότερα οι ποσότητες των αποβλήτων αλλά και οι ρυθμοί παραγωγής τους ανά τετραγωνικό μέτρο κάτοψης κτιρίου αυξάνονται κατά περίπου 2,50 φορές.

Για εμβαδόν κάτοψης $E > 50$ και $E < 100m^2$, η αύξηση του αριθμού των ορόφων των κτιρίων πολλαπλασιάζει τις ποσότητες των αποβλήτων κατεδάφισης κατά περίπου 1,75 φορές.

Για εμβαδόν κάτοψης $E > 100m^2$, μεταξύ μονώροφων και διώροφων κτιρίων οι ποσότητες των αποβλήτων κατεδάφισης αυξάνονται κατά περίπου 1,70 φορές, μεταξύ διώροφων και τριώροφων αυξάνονται κατά περίπου 1,50 φορές και μεταξύ μονώροφων και τριώροφων αυξάνονται κατά 2,5 περίπου φορές.

Καθώς μεταβάλλονται τα εμβαδά κάτοψης των κτιρίων από $E < 50$, σε $E > 50$ & < 100 και σε $E > 100$ η επίδραση της αλλαγής του αριθμού των ορόφων μειώνεται σταδιακά μεταξύ των πρώτων δύο κατηγοριών κατά 30%, μεταξύ των δύο τελευταίων κατά 2 % μόνο και μεταξύ της πρώτης και τελευταίας κατηγορίας κατά 32 %.

Πίνακας 30: Σύγκριση αποτελεσμάτων από εφαρμογή εμπειρικών σχέσεων

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΑΠΟ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΕΜΠΕΙΡΙΚΩΝ ΣΧΕΣΕΩΝ			
	ΜΟΝΩΡΟΦΑ ≤ 50 m²	ΔΙΩΡΟΦΑ ≤ 50 M²	ΤΡΙΩΡΟΦΑ ≤ 50 M²
KG	41289,16	181945,4	0
KG/M²	2741,83	15651,09	0
M³	23,36	88,5	0
M³/M²	1,56	7,6	0
	ΜΟΝΩΡΟΦΑ >50 ΚΑΙ ≤100m²	ΔΙΩΡΟΦΑ > 50 ΚΑΙ ≤100 M²	ΤΡΙΩΡΟΦΑ > 50 ΚΑΙ ≤100 M²
KG	143774,5	226939,3	0
KG/M²	2287,66	5371,12	0
M³	76,79	112,78	0
M³/M²	1,22	2,67	0
	ΜΟΝΩΡΟΦΑ > 100m²	ΔΙΩΡΟΦΑ > 100 M²	ΤΡΙΩΡΟΦΑ > 100 M²
KG	214902,8	259520,4	390750,2
KG/M²	1790,6	4277,62	6442,24
M³	116,9	130,29	191,38
M³/M²	0,97	2,15	3,16

Όταν γίνεται εφαρμογή των εμπειρικών σχέσεων στα κτίρια της περιοχής μελέτης παρατηρείται ότι μεταξύ των μονώροφων και διώροφων κτιρίων με $E < 50m^2$ η αύξηση των ποσοτήτων αποβλήτων είναι περίπου τετραπλάσια. Για εμβαδόν κάτοψης $E > 50$ και $E < 100m^2$, η αύξηση του αριθμού των ορόφων των κτιρίων αυξάνει τις ποσότητες των αποβλήτων κατεδάφισης κατά περίπου 1,50 φορές.

Για εμβαδόν κάτοψης $E > 100m^2$, μεταξύ μονώροφων και διώροφων κτιρίων οι ποσότητες των αποβλήτων κατεδάφισης είναι σχεδόν παραπλήσιες, μεταξύ διώροφων και τριώροφων αυξάνονται κατά περίπου 1,50 φορές και μεταξύ μονώροφων και τριώροφων αυξάνονται κατά 1,70 περίπου φορές.

Καθώς μεταβάλλονται τα εμβαδά κάτοψης των κτιρίων από $E < 50$, σε $E > 50$ & < 100 και σε $E > 100$ η επίδραση της αλλαγής του αριθμού των ορόφων μειώνεται σταδιακά μεταξύ των πρώτων δύο κατηγοριών κατά 32,5%, μεταξύ των δύο τελευταίων κατά 30 % και μεταξύ της πρώτης και τελευταίας κατηγορίας κατά περίπου 70 %.

7.4. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΑΠΟ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΕΜΠΕΙΡΙΚΩΝ ΣΧΕΣΕΩΝ ΚΑΙ ΑΠΟ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ

Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα που προκύπτουν μέσω της εφαρμογής των εμπειρικών σχέσεων για την εκτίμηση των αποβλήτων κατεδάφισης στα κτίρια της περιοχής μελέτης και αυτών που προκύπτουν από χρήση υπολογιστικών φύλλων στα δεδομένα που έχουν προέλθει από δισδιάστατα και τρισδιάστατα μοντέλα για τον τομέα Β1 (βόρεια) του οικισμού της Βρυσάς προκύπτει ότι:

Πίνακας 31: Σύγκριση αποτελεσμάτων μεταξύ υπολογισμών στα γεωγραφικά δεδομένα και εμπειρικών σχέσεων

	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΠΟ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥΣ ΣΤΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ GIS	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΠΟ ΕΜΠΕΡΙΚΗ ΣΧΕΣΗ(ΥΨΟΣ ΚΑΙ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΚΤΙΡΙΩΝ)	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΠΟ ΕΜΠΕΡΙΚΗ ΣΧΕΣΗ (ΟΡΟΦΟΙ ΚΑΙ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΚΤΙΡΙΩΝ)
ΒΑΡΟΣ (kg)	20.934.644,19	20.934.322,94	20.934.783,10
ΟΓΚΟΣ (m3)	10.854,08	10.854,08	10.854,09

Παρατηρούμε ότι τα αποτελέσματα που προκύπτουν και με τις δύο σχέσεις είναι σχεδόν παρόμοια με τα αποτελέσματα που προκύπτουν από τα δεδομένα GIS και ειδικότερα αυτά που προκύπτουν με την εφαρμογή της σχέσης που λαμβάνει υπόψη τους ορόφους και την επιφάνεια των κτιρίων είναι πανομοιότυπα με τα αντίστοιχα των αποτελεσμάτων που έχουν προκύψει από δεδομένα GIS.

7.5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΠΟ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΕΜΠΕΙΡΙΚΩΝ ΣΧΕΣΕΩΝ ΚΑΙ ΑΠΟ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΣΧΕΣΗΣ ΤΗΣ ΣΧΟΛΗΣ ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΤΟΥ ΕΜΠ

Η σχέση που εφαρμόζεται μέχρι σήμερα στον ελληνικό χώρο για την εκτίμηση των ποσοτήτων των αποβλήτων κατεδάφισης είναι:

$$ΑΠΚΤΔ = ΑΡΚΤΔ * ΑΟΚΤΔ * ΕΚΤΔ * ΟΚΤΔ * ΠΑΚΤΔ$$

ΑΠΚΤΔ: είναι τα Απόβλητα Κατεδαφίσεων σε τόνους

ΑΡΚΤΔ: είναι ο αριθμός των κατεδαφίσεων,

ΑΟΚΤΔ: είναι ο μέσος όρος του αριθμού των ορόφων των κτιρίων που κατεδαφίζονται

ΕΚΤΔ: είναι η μέση επιφάνεια των κτιρίων που κατεδαφίζονται σε m^2

ΟΚΤΔ: είναι ο μέσος όγκος των αποβλήτων που προκύπτουν από κάθε κατεδάφιση σε m^3

ΠΑΚΤΔ: είναι η μέση πυκνότητα των αποβλήτων κατεδαφίσεων σε tn/m^3

Όπου:

$$ΑΟΚΤΔ = 1,3$$

$$ΕΚΤΔ = 130 m^2$$

$$ΟΚΤΔ = 0,8 m^3/m^2$$

$$ΠΑΚΤΔ = 1,6tn/m^3$$

Εφαρμόζοντας στην περίπτωση μας και ειδικότερα στον τομέα Β1 του οικισμού της Βρυσάς προκύπτει ότι:

$$ΑΠΚΤΔ = ΑΡΚΤΔ * 1,3 * 130 m^2 * 0,8 m^3/m^2 * 1,6 tn/m^3$$

$$ΑΠΚΤΔ = ΑΡΚΤΔ * 216,32 tn$$

$$ΑΠΚΤΔ = 182 * 216,32 tn = 39.370,24 * 1000 kg/ tn = 39.370.240,00 kg (βάρος)$$

$$ΑΠΚΤΔ = 182 * 1,3 * 130m^2 * 0,8 m^3/m^2 = 24.606,40 m^3 (όγκος)$$

Να σημειωθεί ότι θεωρούμε κατεδαφιστέα και τα 182 κτίρια της περιοχής μελέτης, από τη στιγμή που μετά από ένα καταστροφικό συμβάν όπως είναι ο σεισμός, δεν είμαστε σε θέση να γνωρίζουμε την κατάσταση στην οποία έχουν περιέλθει τα κτίρια (κατεδαφιστέα, επισκευάσιμα ή μη-κατεδαφιστέα) και άρα κάνουμε εκτιμήσεις στηριζόμενοι στο δυσμενέστερο σενάριο, που είναι η ολική κατάρρευση των κτιρίων.

Πίνακας 32: Σύγκριση αποτελεσμάτων μεταξύ υπολογισμών από εφαρμογή του τύπου της σχολής Χημικών Μηχανικών ΕΜΠ και εμπειρικών σχέσεων

	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΠΟ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΤΥΠΟΥ	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΠΟ ΕΜΠΕΡΙΚΗ ΣΧΕΣΗ(ΥΨΟΣ ΚΑΙ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΚΤΙΡΙΩΝ)	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΠΟ ΕΜΠΕΡΙΚΗ ΣΧΕΣΗ (ΟΡΟΦΟΙ ΚΑΙ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΚΤΙΡΙΩΝ)
	$ΑΠΚΤΔ=ΑΡΚΤΔ*ΑΟΚΤΔ$		

	*ΕΚΤΔ*ΟΚΤΔ*ΠΑΚΤΔ		
ΒΑΡΟΣ (kg)	39.370.240,00	20.934.322,94	20.934.783,10
ΟΓΚΟΣ (m3)	24.606,40	10.854,08	10.854,09

Παρατηρούμε ότι υπάρχει σχετικά μεγάλη απόκλιση μεταξύ των αποτελεσμάτων που προκύπτουν με εφαρμογή των εμπειρικών σχέσεων και της σχέσης που αναπτύχθηκε από τη σχολή Χημικών μηχανικών του ΕΜΠ και χρησιμοποιείται ευρέως από το 2005 στη σύνταξη όλων των Περιφερειακών Σχεδιασμών Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων της Ελλάδας.

Συγκεκριμένα παρατηρείται απόκλιση της τάξης του 50% περίπου προς τα πάνω στην εκτίμηση του βάρους των αποβλήτων με εφαρμογή του τύπου που μέχρι σήμερα εφαρμόζεται στον ελληνικό χώρο και απόκλιση της τάξης του 60% προς τα πάνω στην εκτίμηση του όγκου των αποβλήτων.

Επιβεβαιώνεται έτσι η ανάγκη εύρεσης ενός μοντέλου υπολογισμού αποβλήτων κατεδάφισης που θα λαμβάνει υπόψη του ιδιαίτερα μορφολογικά χαρακτηριστικά μιας περιοχής (πχ. παραδοσιακός οικισμός, λιθόκτιστα κτίρια, κ.α) και όχι μόνο αξιοποιώντας διαθέσιμα στατιστικά στοιχεία από την ΕΛΣΤΑΤ σε σχέση με τον αριθμό των κατεδαφίσεων και μόνο.

Σε αυτό το σημείο πρέπει να διευκρινιστεί ότι οι συντελεστές που εφαρμόζονται στον τύπο που ισχύει και εφαρμόζεται μέχρι σήμερα έχουν προκύψει από επισκέψεις σε εργοτάξια οικοδομών προς κατεδάφιση για την ανέγερση πολυκατοικιών σε Δήμους των βορείων προαστίων της Αττικής. Όπως είναι κατανοητό, τα κτίρια των περιοχών αυτών έχουν κυρίως φέροντα οργανισμό από οπλισμένο σκυρόδεμα και όχι από αργολιθοδομές όπως ισχύει ως επί το πλείστον σε παραδοσιακούς οικισμούς του ελλαδικού χώρου. Επίσης, οι επιφάνειες κάτοψης των κτιρίων βάσει των οποίων εκτιμήθηκαν οι συντελεστές είναι πολύ μεγαλύτερες από ότι αυτών που βρίσκονται στον οικισμό της Βρυσάς. Επιπρόσθετα οι συντελεστές έχουν προκύψει από ένα δείγμα 30 καταγραφών εργοταξίων στην Αττική, σε σχέση με τα δεδομένα 182 κτιρίων ενός μικρού παραδοσιακού οικισμού.

7.6. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΠΟ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΕΜΠΕΙΡΙΚΩΝ ΣΧΕΣΕΩΝ ΚΑΙ ΑΠΟ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΕΣ ΕΠΙΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΟΓΚΟΥ ΚΑΙ ΒΑΡΟΥΣ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΕΠΕΙΤΑ ΑΠΟ ΚΑΤΕΔΑΦΙΣΕΙΣ ΚΤΙΡΙΩΝ ΣΤΟΝ ΟΙΚΙΣΜΟ

8. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία υπολογίστηκαν οι ρυθμοί παραγωγής αποβλήτων σε μονάδες βάρους και όγκου ανά τετραγωνικό μέτρο για διαφορετικά ρεύματα αποβλήτων αλλά και συνολικά και για διαφορετικές κατηγορίες κτιρίων. Επιπρόσθετα αναπτύχθηκε ένα μαθηματικό μοντέλο υπολογισμού ποσοτήτων αποβλήτων μετά από καταστροφικό συμβάν. Οι προαναφερθείσες διαδικασίες στηρίχθηκαν σε δεδομένα από μετρήσεις στο πεδίο και από εφαρμογή συστημάτων γεωπληροφορικής σε κλίμακα περιοχής, δρόμων και κτιρίων. Η διαθεσιμότητα και η συλλογή εμπειρικών δεδομένων είναι το πιο σημαντικό και αναγκαίο βήμα στην εδραίωση τυποποιημένων μεθόδων εκτίμησης οικοδομικών αποβλήτων τόσο σε τοπικό επίπεδο όσο και επίπεδο κτιρίου.

Επιπρόσθετα, η συλλογή των δεδομένων μπορεί να προηγείται μιας καταστροφής και άρα μπορεί να διευκολύνει την πολιτική ηγεσία στην οργάνωση σχεδίων άμεσης και αποτελεσματικής αποκατάστασης περιοχών που απειλούνται από διαφόρων ειδών φυσικά φαινόμενα. Η διαχείριση των αποβλήτων ειδικότερα είναι το πιο κρίσιμο ζήτημα μετά από μια καταστροφή και άρα η εκτίμηση των παραγόμενων αποβλήτων είναι φλέγον θέμα για τις τοπικές αρχές, ώστε να μπορούν να λάβουν εκ των προτέρων τα απαραίτητα μέτρα.

Σύμφωνα με το Πρωτόκολλο της ΕΕ για τη διαχείριση των αποβλήτων κατασκευών και κατεδαφίσεων [Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2016], η βελτίωση της ταυτοποίησης, του διαχωρισμού και της συλλογής των αποβλήτων στην πηγή αφορά το αρχικό στάδιο της αποτελεσματικής διαχείρισης των οικοδομικών αποβλήτων. Πριν από κάθε έργο κατεδάφισης κρίνεται σκόπιμο να διενεργείται έλεγχος για κάθε υλικό που πρόκειται να επαναχρησιμοποιηθεί ή να ανακυκλωθεί, καθώς και για τυχόν επικίνδυνα απόβλητα. Η διαδικασία αυτή διευκολύνει την ταυτοποίηση των παραγόμενων οικοδομικών αποβλήτων, την εκτέλεση ορθών εργασιών αποδόμησης και τον προσδιορισμό των πρακτικών αποσυναρμολόγησης και κατεδάφισης. Τα μέτρα που θα ληφθούν βάσει του ελέγχου θα διασφαλίσουν την ασφάλεια των εργαζομένων και θα έχουν ως αποτέλεσμα

την αύξηση της ποιότητας και της ποσότητας των ανακυκλωμένων προϊόντων. Θα διευκολύνουν επίσης την αύξηση του όγκου των υλικών που μπορεί να επαναχρησιμοποιηθούν στις διαδικασίες ανακατασκευής των πληγείσων περιοχών. Επιπροσθέτως, η εφαρμογή των ελέγχων αυτών μπορεί να στηρίξει την υλοποίηση ειδικού για το εκάστοτε εργοτάξιο σχεδίου διαχείρισης των αποβλήτων, να αναδείξει περιβαλλοντικά εχέγγυα, να αυξήσει την αποδοτικότητα των υλικών και τού εργατικού δυναμικού, να μειώσει τα απόβλητα και να μεγιστοποιήσει το κέρδος [Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2016].

Ο έλεγχος αυτός συνίσταται στην ταυτοποίηση όλων των ειδών απόβλητων που θα παραχθούν κατά τη διάρκεια των εργασιών κατεδάφισης με προσδιορισμό της ποσότητας, της ποιότητας αλλά και της θέσης τους στην κτιριακή υποδομή. Θα πρέπει να ταυτοποιούνται όλα τα υλικά και να παρέχεται ικανοποιητική εκτίμηση της ποσότητας που πρόκειται να συλλεχθεί. Επιπρόσθετα, θα πρέπει να διερευνάται ποια υλικά θα πρέπει (υποχρεωτικά) να διαχωριστούν στην πηγή (όπως επικίνδυνα απόβλητα π.χ. αμίαντος), ποια υλικά μπορούν/δεν μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν ή να ανακυκλωθούν, ποιες είναι οι δυνατότητες ανακύκλωσης των υλικών (τοπικές αγορές αποβλήτων) και τη δυναμικότητα έχουν οι μονάδες ανακύκλωσης. [Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2016]. Η μεθοδολογία που αναπτύχθηκε στην παρούσα εργασία για την εύρεση ρυθμών παραγωγής αποβλήτων ανά κατηγορία ΕΚΑ μπορεί να συμβάλει καθοριστικά στον έλεγχο αυτό και να συντελέσει στη συστηματική αξιοποίηση υλικών από τα συντρίμια για τις μετέπειτα διαδικασίες ανακατασκευής των κτιρίων.

Τα δεδομένα μας προήλθαν από ένα μικρό τμήμα ενός παραδοσιακού οικισμού που βρίσκεται στο νησί της Λέσβου, που είναι ενδεικτικό της επικρατούσας αρχιτεκτονικής τόσο στο νησί όσο και της επικρατούσας αρχιτεκτονικής στα νησιά του Αιγαίου. Έτσι τα προτεινόμενα μοντέλα της εργασίας μας μπορούν να χρησιμεύσουν για μελλοντικές εκτιμήσεις αποβλήτων που μπορούν να προέλθουν από μια πιθανή φυσική καταστροφή σε διάφορες άλλες περιοχές του νησιού όσο και του νησιωτικού συμπλέγματος στο Αιγαίο. Η Ελλάδα είναι μια χώρα με σημαντική σεισμική δραστηριότητα, και έτσι η απειλή του σεισμού πρέπει να απασχολεί τις αρμόδιες αρχές ώστε να βρίσκονται πάντα σε ετοιμότητα. Επίσης, από τη στιγμή που τα δεδομένα της ανάλυσης μας έχουν προέλθει από λεπτομερή καταγραφή κτιρίων και για ένα σημαντικό αριθμό τους (182 κτίρια), τα

μοντέλα αυτά μπορούν να μας εγγυηθούν αξιόπιστες και ασφαλείς μελλοντικές εκτιμήσεις για περιοχές που μορφολογικά προσιδιάζουν τη δική μας περίπτωση μελέτης. Στο σημείο αυτό πρέπει επίσης να σημειωθεί ότι η ανάλυση μας στηρίχθηκε στην εκτίμηση βάσει διαθέσιμου κτιριακού αποθέματος και όχι βάσει μετρήσεων πεδίου μετά την εκδήλωση της καταστροφής. Η εκτίμηση ποσοτήτων βάσει διαθέσιμου κτιριακού αποθέματος μπορεί να δώσει σχεδόν πάντα σταθερή ποσότητα αποβλήτων, ενώ μέθοδοι που στηρίζονται σε δεδομένα μετρήσεων πεδίου μετά την εκδήλωση ενός συμβάντος μπορούν να δώσουν σημαντικά κυμαινόμενες τιμές, γεγονός που οφείλεται σε πολλούς λόγους. Ένας από αυτούς είναι ότι μπορεί να έχει προηγηθεί η ανάμειξη υλικών κατεδάφισης διαφορετικών κτιρίων κατά τη μεταφορά τους από τα φορτηγά στον τόπο προσωρινής αποθήκευσης. Επιπρόσθετα, τα συλλεγόμενα απόβλητα μπορούν να περιέχουν σημαντικές ποσότητες οικοσκευών που δεν είναι τμήμα των κατασκευών. Επίσης, σημαντικό τμήμα των υλικών μπορεί να έχει συλλεχθεί εκ των προτέρων για την επαναχρησιμοποίηση τους προκειμένου να διατηρηθούν τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά που διαμορφώνουν την αρχιτεκτονική ενός τόπου.

Καθίσταται λοιπόν σαφές ότι τα αποτελέσματα της ανάλυσης μας μπορούν να χρησιμοποιηθούν από διάφορους φορείς (διαχειριστές ΑΕΚΚ, μηχανικούς, πολιτική ηγεσία, εταιρείες ανακύκλωσης) για αποτελεσματική διαχείριση αποβλήτων καταστροφών τόσο πριν όσο και μετά την εκδήλωση ενός καταστροφικού συμβάντος. Κάθε ένας από τους εμπλεκόμενους φορείς μπορεί να κάνει τις δικές του πολύτιμες εκτιμήσεις και έτσι να διασφαλιστεί έναντι οποιασδήποτε ενδεχόμενης απειλής.

Προτείνονται λοιπόν προς εφαρμογή οι ακόλουθες εξισώσεις:

1. Εμπειρική σχέση υπολογισμού βάρους κατεδαφισθέντων υλικών σε Kg

$$y = -130242.6 + (48903.4 * x1) + (1332.6 * x2)$$

όπου

x1: ύψος κτιρίου σε m

x2: Εμβαδόν κάτοψης κτιρίου σε m²

2. Εμπειρική σχέση υπολογισμού όγκου κατεδαφισθέντων υλικών σε m³

$$y = -58.85607 + (22.78869 * x1) + (0.74388 * x2)$$

όπου

x1: ύψος κτιρίου σε m

x2: Εμβαδόν κάτοψης κτιρίου σε m²

3. Εμπειρική σχέση υπολογισμού βάρους κατεδαφισθέντων υλικών σε Kg

$$y = -147134.0 + (154491.7 * x1) + (1734.2 * x2)$$

όπου

x1: αριθμός ορόφων κτιρίου

x2:Εμβαδόν κάτοψης κτιρίου σε m²

4. Εμπειρική σχέση υπολογισμού όγκου κατεδαφισθέντων υλικών σε m³

$$y = -64.66171 + (70.11125 * x1) + (0.94282 * x2)$$

όπου

x1: αριθμός ορόφων κτιρίου

x2:Εμβαδόν κάτοψης κτιρίου σε m²

9. ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Η κατηγοριοποίηση και η ποσοτικοποίηση των αποβλήτων καταστροφών είναι ένα παγκόσμιο πρόβλημα που απασχολεί τα τελευταία χρόνια την επιστημονική κοινότητα. Η αυξητική τάση εκδήλωσης φυσικών φαινομένων με ολοένα και πιο ολέθριες συνέπειες στον δομικό ιστό των περιοχών έχει στρέψει το επιστημονικό ενδιαφέρον στην έρευνα μεθόδων υπολογισμού οικοδομικών αποβλήτων, με σκοπό την αποτελεσματική τους διαχείριση και τη μείωση των επιπτώσεων τους στον περιβάλλον και στη δημόσια υγεία. Ειδικότερα τα απόβλητα από καταρρεύσεις και κατεδαφίσεις αποτελούν το μεγαλύτερο ποσοστό των αποβλήτων που προκύπτουν από κατασκευαστικές δραστηριότητες.

Έτσι στην παρούσα εργασία κρίθηκε σκόπιμο να μελετηθεί η δυνατότητα εύρεσης αξιόπιστων υπολογιστικών εργαλείων που να εκτιμούν ποιοτικά και ποσοτικά τις ροές αποβλήτων μετά από εκδήλωση φυσικών καταστροφών. Συγκεκριμένα μελετήθηκε η περίπτωση ενός μικρού τμήματος παραδοσιακού οικισμού στο νησί της Λέσβου μετά από τον καταστροφικό σεισμό της 12 Ιουνίου του 2017, που η μορφολογική και ογκοπλαστική διαμόρφωση των κτιρίων του, προσεγγίζει αρκετά τη διαμόρφωση και άλλων νησιωτικών αλλά και ηπειρωτικών οικισμών του ελλαδικού χώρου.

Η συγκεκριμένη περιοχή επιλέχθηκε λόγω του ότι για πρώτη φορά στην Ελλάδα συλλέχθηκαν εμπειρικά δεδομένα από τις πρώτες κιόλας ώρες μετά τον σεισμό με χρήση εφαρμογών GIS υπό την πρωτοβουλία του Τμήματος Γεωγραφίας του Πανεπιστημίου Αιγαίου. Με τη χρήση επίγειων σαρωτών laser, επίγειας φωτογραμμετρίας και μη επανδρωμένων αεροσκαφών για περίπου ένα μήνα μετά τον σεισμό, προέκυψε σημαντικός αριθμός εμπειρικών δεδομένων σε επίπεδο κτιρίου και περιοχής, που μπορούσε να χρησιμεύσει για περαιτέρω στατιστική επεξεργασία. Με τη

χρήση υπολογιστικών εργαλείων (Microsoft Excel) αρχικά έγινε μια προσπάθεια να γίνει μια κατηγοριοποίηση των κτιρίων με βάση τη χρήση τους. Παρατηρήθηκε ότι η περιοχή μελέτης αποτελείται κατά κύριο λόγο από κατοικίες και αποθήκες. Με βάση αυτήν την παρατήρηση κρίθηκε σκόπιμο να γίνει μια επιπλέον κατηγοριοποίηση των κτιρίων αυτών των δύο χρήσεων με βάση τον τύπο της εξωτερικής τους τοιχοποιίας, τον τύπο της επικάλυψης τους και τον αριθμό των ορόφων τους και βάσει αυτής και των μετρήσεων πεδίου διαμορφώθηκαν ενδεικτικοί πίνακες τιμών υπολογισμού βάρους και όγκου αποβλήτων ανά τετραγωνικό μέτρο κάτοψης κτιρίων για όλα τα ρεύματα αποβλήτων αλλά και συνολικά.

Οι παραπάνω πίνακες μπορούν να αποτελέσουν έναν χρήσιμο οδηγό για ταχύ υπολογισμό ποσοτήτων οικοδομικών αποβλήτων μετά από καταστροφικό συμβάν μεμονωμένων κτιρίων ή και ολόκληρης περιοχής. Επίσης, μπορούν να μας δώσουν πληροφορία ως προς τη σύνθεση των παραγόμενων αποβλήτων, γεγονός που μπορεί να χρησιμεύσει για εκτίμηση των ποσοτήτων που μπορούν να ανακυκλωθούν ή να επαναχρησιμοποιηθούν στις διαδικασίες ανακατασκευής των κτιρίων, για επιλογή της κατάλληλης μεθόδου διαχείρισης τους κλπ. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι οι τιμές βάρους αποβλήτων ανά τετραγωνικό μέτρο κυμαίνονται από 264,56 kg/m² έως 7.677,30 kg/m² και οι τιμές όγκου αποβλήτων κυμαίνονται από 0,177m³/m² μέχρι 3,748 m³/m². Η έντονη διακύμανση των τιμών επιβεβαιώνει την ανάγκη κατηγοριοποίησης των κτιρίων μελέτης προκειμένου να γίνεται μια ασφαλής εκτίμηση των ποσοτήτων αποβλήτων.

Στη συνέχεια έγινε μια προσπάθεια εύρεσης εμπειρικών σχέσεων υπολογισμού ποσοτήτων αποβλήτων καταστροφών μέσω χρήσης συγκεκριμένων μεταβλητών για τις οποίες μπορούν εύκολα και γρήγορα να συλλεχθούν δεδομένα με υψηλή ακρίβεια. Επιλέγονται στην ανάλυση μας λοιπόν, οι μεταβλητές του ύψους ή των ορόφων των κτιρίων αλλά και του περιγράμματος κάτοψης τους, που η χρήση των σύγχρονων εργαλείων γεωπληροφορικής επιτρέπει τον ακριβή και ταχύ προσδιορισμό τους. Η εύρεση των εξισώσεων αυτών έγινε με τη χρήση της μεθόδου της πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης, που χρησιμοποιείται ευρέως ως ένα ισχυρό στατιστικό εργαλείο πρόβλεψης με χρήση εμπειρικών δεδομένων.

Οι εξισώσεις αυτές μπορούν με ασφάλεια να χρησιμοποιηθούν για εκτιμήσεις ποσοτήτων αποβλήτων μετά από καταστροφές τόσο πριν όσο και μετά την εκδήλωση του συμβάντος. Έτσι μπορούν να μελετηθούν εκ των προτέρων πιθανές θέσεις προσωρινής διάθεσης των παραγόμενων αποβλήτων αλλά και απαιτούμενη δυναμικότητα μηχανικού εξοπλισμού και εργατικού δυναμικού, προκειμένου να καθαρίσουν οι δρόμοι γρήγορα

από τα συντρίμια, να είναι δυνατή η προσπέλαση τους για παροχή βοήθειας και να επέλθει γρήγορα η αποκατάσταση της ζωής των πληγεισών περιοχών.

Επισημαίνεται ότι οι παραπάνω εξισώσεις μπορούν να έχουν εφαρμογή σε περιοχές που μορφολογικά προσιδιάζουν την περιοχή μελέτης μας. Συγκεκριμένα, μπορούν να εφαρμοστούν σε παραδοσιακούς οικισμούς που βασικά μορφολογικά τους χαρακτηριστικά είναι οι λιθόκτιστες τοιχοποιίες, τα ξύλινα εσωτερικά και εξωτερικά ανοίγματα, οι εσωτερικές διαχωριστικές τοιχοποιίες από μπαγδατί, τα ξύλινα δάπεδα κλπ. Είναι κατανοητό ότι μπορούν να χρησιμοποιηθούν για προβλέψεις και εκτιμήσεις και άλλων παραδοσιακών οικισμών του νησιού της Λέσβου αλλά και οικισμών του νησιωτικού συμπλέγματος του Αιγαίου με παρόμοια αρχιτεκτονική.

Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την εφαρμογή των ανωτέρω σχέσεων στην περιοχή μελέτης μας και από την εφαρμογή της σχέσης της σχολής χημικών μηχανικών του ΕΜΠ, παρατηρούμε αποκλίσεις της τάξης του 50% περίπου μεταξύ τους και μάλιστα προς τα πάνω, γεγονός που πρέπει να ληφθεί σοβαρά υπόψη εκ μέρους της πολιτείας ώστε να λάβει τα απαραίτητα μέτρα που θα τη διασφαλίσουν έναντι οποιασδήποτε πιθανού φυσικού κινδύνου.

Η ανάγκη να βρεθεί μια τυποποιημένη εμπειρική σχέση υπολογισμού οικοδομικών αποβλήτων με ευρεία εφαρμογή σε παραδοσιακούς οικισμούς του ελληνικού χώρου με τρωτό κτιριακό απόθεμα και αυθαίρετες δομικές επεμβάσεις, επιβάλλει την περαιτέρω έρευνα με χρήση περισσότερων εμπειρικών δεδομένων. Μια προσπάθεια είναι να χρησιμοποιηθούν τα υπάρχοντα δεδομένα για ολόκληρη την περιοχή της Βρυσάς, ώστε αν επανεκτιμηθούν και να αναπροσαρμοστούν τα μαθηματικά μας μοντέλα. Επιπρόσθετα, θα μπορούσαν να αποκτηθούν δεδομένα και για άλλες περιοχές του νησιού της Λέσβου με τη χρήση μεθόδων GIS, ώστε γνωρίζοντας το διαθέσιμο κτιριακό της απόθεμα, αυτόματα να γνωρίζουμε και δυνητικές ποσότητες αποβλήτων καταστροφών από τη στιγμή που διάφοροι φυσικοί κίνδυνοι (σεισμοί, πλημμύρες, πυρκαγιές, κλπ) απειλούν την ύπαρξη του νησιού. Επιπλέον, θα πρέπει να πραγματοποιούνται επιμετρήσεις των ποσοτήτων των οικοδομικών αποβλήτων μετά από τις αναγκαίες κατεδαφίσεις από τους διαχειριστές των ΑΕΚΚ στα πλαίσια της περιβαλλοντολογικής τους ευθύνης ώστε να είναι δυνατή η σύγκριση και η επαλήθευση των αποτελεσμάτων που προκύπτουν από την εφαρμογή των εμπειρικών σχέσεων.

Τέλος, θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν και άλλες ή διαφορετικές μεταβλητές στο μαθηματικό μοντέλο ώστε με τη χρήση της μεθόδου της πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης να μπορεί να φανεί αν συμβάλλουν και πόσο στην ορθή εκτίμηση των

ποσοτήτων καθώς και να προσδιοριστούν οι μεταξύ τους αλληλοεξαρτήσεις. Τέτοιες μεταβλητές θα μπορούσαν παραδείγματος χάρη να είναι ο συντελεστής δόμησης, η ακόμα και κατηγορηματικές μεταβλητές, όπως είδος δαπέδων, τύπος επικάλυψης κλπ. Ανακεφαλαιώνοντας, είναι πλέον εφικτό να πραγματοποιούνται εκτιμήσεις των ποσοτήτων και των διαφορετικών ρευμάτων αποβλήτων καταστροφών βάσει των μεθόδων που προτείνονται στην παρούσα διπλωματική εργασία, με σκοπό την αποτελεσματική διαχείριση τους μετά την εκδήλωση καταστροφικών συμβάντων.

10. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Κουρμούσης, Φ., 2013. Ανάπτυξη μονάδων διαχείρισης αποβλήτων από κατασκευές και κατεδαφίσεις: δημιουργία μοντέλου υπολογισμού παραγόμενων ποσοτήτων αποβλήτων εκσκαφών, κατασκευών και κατεδαφίσεων. Διδακτορική διατριβή τμήματος Χημικών Μηχανικών Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.
2. Χρυσάφης Ν., 2018. Διερεύνηση μεθόδων γεωπληροφορικής στην διαχειριστική μοντελοποίηση ΑΕΚΚ (Απόβλητων Εκσκαφών Κατεδαφίσεων Κατασκευών) μετά από καταστροφικό σεισμό, η περίπτωση της Βρίσας Λέσβου, Μεταπτυχιακή διατριβή τμήματος Γεωγραφίας Πανεπιστημίου Αιγαίου
3. Raju Poudel, Yasuhiro Hirai, Misuzu Asari, Shin-ichi Sakai, (2018). Establishment of unit generation rates of building debris in Kathmandu Valley, Nepal, after the Gorkha earthquake. *Journal of Material Cycles and Waste Management* 20, pages1663–1675. <https://doi.org/10.1007/s10163-018-0731-8>
4. L. Askarizadeh 1, A.R. Karbassi 2*, M.B. Ghalibaf 3, J. Nouri, (2017). Debris management after earthquake incidence in ancient City of Ray. *Global J. Environ. Sci. Manage.*, 3(4): 447-456. DOI: 10.22034/gjesm.2017.03.04.010
5. Jaime Solvs-Guzman *, Madelyn Marrero, Maria Victoria Montes-Delgado, Antonio Ramvrez-de-Arellano, (2009). A Spanish model for quantification and management of construction waste. *Waste Management* 29, Issue 9, pages 2542–2548. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2009.05.009>
6. Zezhou Wu, Ann T.W. Yu, Liyin Shen, Guiwen Liu, (2014). Quantifying construction and demolition waste: An analytical review. *Waste Management*, Volume 34, Issue 9, Pages 1683-1692. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2014.05.010>

7. ΑΝΑΤΟΛΙΚΗ Α.Ε., Αναπτυξιακή Εταιρεία Ανατολικής Θεσσαλονίκης. Σχεδιασμός διαχείρισης αποβλητέων εκσκαφών, κατασκευή και κατεδαφίσεων (Α.Ε.Κ.Κ.). Ελληνική δημοκρατία Περιφέρεια Ανατολικής Μακεδονίας και Θράκης, Νομός Ροδόπης, Δήμος Κομοτηνής
8. L. Askarizadeh A. R. Karbassi, M. B. Ghalibaf, J. Nouri, (2015). Management of post-earthquake construction debris in Tehran Metropolitan. *International Journal of Environmental Science and Technology* volume 13, pages 639–648. <https://doi.org/10.1007/s13762-015-0893-z>
9. Samy García-Torres, Ramzy Kahhat* , Sandra Santa-Cruz, (2017). Methodology to characterize and quantify debris generation in residential buildings after seismic events. *Resources, Conservation and Recycling*, Volume 117, Part B, Pages 151-159. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2016.11.006>
10. Ελένη Ι. Κουτσουδάκη, (2016). Γραμμική και μη γραμμική παλινδρόμηση με εφαρμογές στην R. Μεταπτυχιακή διατριβή τμήματος Μηχανικών και Πληροφορικής Πανεπιστημίου Πατρών.
11. Συσχέτιση και γραμμική παλινδρόμηση, Αλεξάνδρειο Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Θεσσαλονίκης, Τμήμα Πληροφορικής Εργαστήριο «Θεωρία Πιθανοτήτων και Στατιστική»
Available at: https://people.iee.ihu.gr/~vkostogl/files/Statistiki/ARXEIA%20THEORIAS/ERG-STAT_Simeioseis%20Palindromisi.pdf
12. Εθνικό & Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, (2017). Σεισμός της Λέσβου Mw 6.3, 12 Ιουνίου 2017, Ενημερωτικό τεύχος, Πρόγραμμα Μεταπτυχιακό Σπουδών, Στρατηγικές διαχείρισης περιβάλλοντος, καταστροφών & κρίσεων
13. D. Fatta, A. Papadopoulos, E. Avramikos, E. Sgourou, K. Moustakas, F. Kourmoussis, A. Mentzis, M. Loizidou, (2003). Generation and management of construction and demolition waste in Greece- an existing challenge. *Resources Conservation and Recycling* 40(1):81-91. DOI: 10.1016/S0921-3449(03)00035-1
14. Ευρωπαϊκή επιτροπή, (2016). Πρωτόκολλο της ΕΕ για τη διαχείριση των αποβλήτων κατασκευών και κατεδαφίσεων. Ref. Ares(2016)6914779 - 12/12/2016
15. Ευρωπαϊκή επιτροπή, (2018). Κατευθυντήριες γραμμές για τους ελέγχους των αποβλήτων πριν από τις εργασίες κατεδάφισης και ανακαίνισης κτιρίων. Διαχείριση των αποβλήτων κατασκευών και κατεδαφίσεων της ΕΕ

- 16.Κ.Υ.Α. Αριθμ. 36259/1757/Ε103.ΦΕΚ1312Β/24-08-2010. Μέτρα, όροι και πρόγραμμα για την εναλλακτική διαχείριση των αποβλήτων από εκσκαφές, κατασκευές και κατεδαφίσεις (ΑΕΚΚ).
17. N. Soulakellis, S. Chatzistamatis, C. Vasilakos, G. Tataris, A. Papakonstantinou, D. Kavroudakis, K. Topouzelis, O. Roussou, Ch. Kalloniatis , E. E. Papadopoulou , K. Chaidas , P. Kalaitzis, (2018). Synergistic exploitation of geoinformation methods for post-earthquake 3D mapping of Vriza traditional settlement, Lesbos island, Greece. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XLII-3/W4, 491–498. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-3-W4-491-2018>
- 18.ΣΥΛΛΟΓΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΗΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΑΕΚΚ "ΑΝΑΚΕΜ Α.Ε."
[Ηλεκτρονικό] Available at: <http://www.anakem.gr/>.