

Εντοπισμός διαδρομών εκκένωσης με εκτιμώμενη υψηλή διακινδύνευση σε περίπτωση σεισμικού κινδύνου

Ιωάννης Τσιωνάς*

Δρ. Αγρ. Τοπογράφος Μηχανικός

Αικατερίνη Μπαλτζοπούλου

Αναπληρώτρια Καθηγήτρια ΔΠΘ

Βασίλειος Τσιούκας

Καθηγητής ΔΠΘ

Αθανάσιος Καραμπίνης

Καθηγητής ΔΠΘ

*6977 221034, tsionas@gmail.com

ΠΕΡΙΛΗΨΗ: Το παρόν άρθρο εξετάζει το ζήτημα του κινδύνου κατά την πεζή μετακίνηση σε οδούς διαφυγής σε περίπτωση σεισμού με χρήση GIS. Η εκτίμηση του βαθμού κινδύνου έχει μελετηθεί σε μακροσκοπικό επίπεδο χωρίς να λαμβάνει υπόψη τοπικά χαρακτηριστικά. Στο άρθρο προτείνεται η εκτίμηση της τρωτότητας και της διακινδύνευσης στο χωρικό επίπεδο διαδρομών διαφυγής, που επιτυγχάνεται με υπολογισμό παραμέτρων τρωτότητας και διακινδύνευσης. Οι παράμετροι προκύπτουν από παράγοντες κινδύνου που υπάρχουν λόγω των πολεοδομικών, λειτουργικών ή τεχνικών χαρακτηριστικών του αστικού ιστού επηρεάζοντας τις διαδρομές διαφυγής. Παρέχεται εκτίμηση αναφορικά με το ποιες διαδρομές είναι περισσότερο ή λιγότερο ασφαλείς κατά την καταφυγή. Η μέθοδος εφαρμόστηκε με χρήση παραμετροποιημένου Γεωγραφικού Συστήματος Πληροφοριών στην περιοχή του Δήμου Καλαμαριάς.

Λέξεις Κλειδιά: σεισμική διακινδύνευση, σεισμική τρωτότητα, Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών, Αστική περιοχή, εκκένωση.

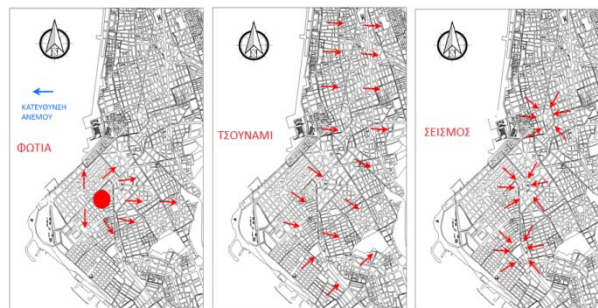
ABSTRACT: The paper examines the danger during on foot emergency evacuation in the case of earthquake, with the use of GIS. The estimation of the degree of the danger has been studied at macroscopic level without taking into account local characteristics. In the paper we propose the estimation of the vulnerability and risk at the spatial level of routes, achieved by calculating proposed vulnerability and risk parameters. The parameters express danger factors that exist due to urban, functional, and technical characteristics of the urban area that affect the escape routes. In this way an estimation for the safety of escape routes is provided. The method was applied with the use of customized Geographic Information System for the area of the Municipality of Kalamaria.

Keywords: seismic risk, seismic vulnerability, GIS, urban area, evacuation.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο πληθυσμός στις σεισμογενείς χώρες ενημερώνεται ότι σε περίπτωση ισχυρού σεισμού

πρέπει να προστρέξει στους προκαθορισμένους χώρους καταφυγής, στην Ελλάδα, σύμφωνα με τις οδηγίες του Οργανισμού Αντισεισμικής Προστασίας [1], [2] ακολουθώντας διαδρομές εκκένωσης (ή διαφυγής). Η εξασφάλιση πρόσβασης σε αυτούς, όπως και οι γραμμές ζωής (νερό, ενέργεια, μεταφορές), είναι ζωτικής σημασίας. Πρέπει να είναι ανθεκτικές ή πλεονασματικές και να υπάρχει εξασφάλιση ότι θα υπάρχουν προσβάσεις σε αυτούς. Έχουν εντοπιστεί προβλήματα σχετικά με τα παραπάνω τα οποία επιδείνωσαν τις επιπτώσεις από σεισμούς στην Αλάσκα, Ιαπωνία, Κίνα, Τουρκία, Ιταλία και Ελλάδα [3]. Η σεισμική εκκένωση εντός του αστικού ιστού απαιτεί πολυ-επιστημονική προσέγγιση για τη διαχείριση της [4], [5] και έχει χαρακτηριστικά διακριτά σε σχέση με άλλους κινδύνους. Κυρίως καθώς συνίσταται σε προσφυγή εσωτερικά στον αστικό ιστό σε προκαθορισμένα σημεία και όχι απομάκρυνση από την ίδια την εστία ή την έκταση του κινδύνου όπως π.χ. στην περίπτωση πλημμυρικών συμβάντων, φωτιάς ή χημικού ατυχήματος [Σχήμα 1]. Ο πληθυσμός προστρέχει σε αυτούς τους χώρους για να αποφύγει τον κίνδυνο για τη σωματική του ακεραιότητα από πιθανές αστοχίες δομικών στοιχείων και κατασκευών τα οποία είναι απόντα στους χώρους καταφυγής.



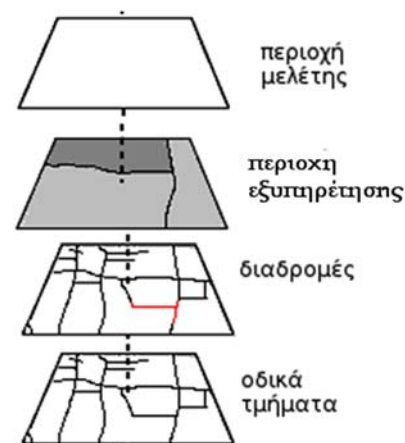
Σχήμα 1 - Διαφυγή από διαφορετικούς κινδύνους (από αριστερά προς δεξιά): φωτιά - τσουνάμι - σεισμός (Τσιωνάς, 2021)

Η ενδεχόμενη αστοχία των κτιρίων και των κατασκευών έχει μελετηθεί διεξοδικά τόσο ως προς τον κίνδυνο που αποτελούν για τους ενοίκους, όσο και για την οικονομική αποτίμηση των αναμενόμενων βλαβών [6].

Ωστόσο, κατά την διαδικασία πρόσβασης σε ασφαλείς χώρους ο πληθυσμός αντιμετωπίζει κίνδυνο από τις κατασκευές, ο οποίος διαφοροποιείται σε ένταση ανάλογα με τα χαρακτηριστικά της επιλεγμένης διαδρομής. Αυτός ο κίνδυνος έχει μελετηθεί, αλλά δεν είχε ποσοτικοποιηθεί αναλυτικά ανά διαδρομή, σε αντιστοιχία π.χ. με την ποσοτικοποίηση που έχει συντελεστεί σε επίπεδο κτιρίου. Οι Ye et al [7], για παράδειγμα, εκπόνησαν εργασία για την α) εκτίμηση της χωρικής κατανομής του πληθυσμού, β) ανάλυση της προσβασιμότητας των χώρων καταφυγής μέσω του οδικού δικτύου και γ) βελτιστοποίηση της επιλογής προορισμού βάση της χωρητικότητας με κριτήρια: 1) την ελάχιστη απόσταση, 2) τη μη υπέρβαση της χωρητικότητας των χώρων καταφυγής και 3) την αντιστοίχιση κατασκευών και χώρων καταφυγής. Σε αυτή όπως και σε άλλες αντίστοιχες εργασίες δεν εντοπίστηκε μεθοδολογία εκτίμησης του κινδύνου στο λεπτομερές επίπεδο του οδικού τμήματος.

Η εκτίμηση του κινδύνου μιας υποδομής (των διαδρομών στην περίπτωση μας) προσεγγίζεται με τη χρήση της τρωτότητας, η οποία ορίζεται ως ο βαθμός της αναμενόμενης πιθανής βλάβης [8]. Η τρωτότητα των κατασκευών, για παράδειγμα, αποτιμάται ως η πιθανότητα να επισυμβεί συγκεκριμένου βαθμού βλάβη, σε συγκεκριμένη κατασκευή, κατά την εμφάνιση σεισμικού κινδύνου συγκεκριμένου μεγέθους. Ασφαλέστερες κατασκευές είναι αυτές με χαμηλή τρωτότητα. Η εκτίμηση γίνεται με μητρώα βλαβών ή καμπύλες τρωτότητας και εκφράζεται σε τετραγωνικά μέτρα προς ανακατασκευή [6]. Η εκτίμηση αυτή σε τετραγωνικά αυτά μέτρα μπορεί να μετατραπεί σε κόστος επισκευής. Έτσι μπορεί να εκτιμηθεί το συνολικό εκτιμώμενο κόστος (διακινδύνευση) της βλάβης των κατασκευών εξαιτίας ενός σεισμικού συμβάντος σε μια περιοχή μελέτης.

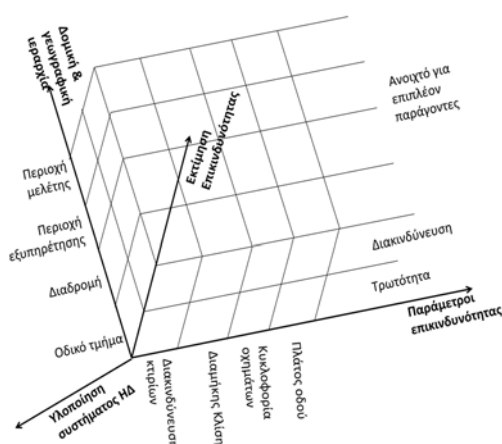
Η πρόταση μας για την εκτίμηση του κινδύνου σε επίπεδο διαδρομών, περιλαμβάνει αρχικά παραμέτρους τρωτότητας για τα οδικά τμήματα και τις διαδρομές εκκένωσης. Με βάση τις τιμές των παραμέτρων τρωτότητας εκτιμώνται παράμετροι διακινδύνευσης για τις ίδιες γεωχωρικές μονάδες αλλά και για εκτατικές γεωχωρικές μονάδες, όπως η περιοχή εξυπηρέτησης του πληθυσμού από χώρους καταφυγής και ολόκληρη η περιοχή μελέτης [Σχήμα 2].



Σχήμα 2 - Οι γεωγραφικές μονάδες στις οποίες μελετούμε την ασφάλεια της σεισμικής εκκένωσης (Τσιωνάς 2021)

Ασφαλέστερες διαδρομές είναι οι διαδρομές εκκένωσης με χαμηλή τρωτότητα και επισφαλές οι διαδρομές εκκένωσης υψηλής τρωτότητας. Η τρωτότητα για τις διαδρομές εκκένωσης είναι η πιθανότητα να συμβεί γεγονός που απειλεί τη σωματική ακεραιότητα του προσφεύγοντος πληθυσμού, σε συγκεκριμένων χαρακτηριστικών διαδρομή, κατά την εμφάνιση σεισμικού κινδύνου συγκεκριμένου μεγέθους. Μεθοδολογία εκτίμησης αυτής της τρωτότητας δεν υφίσταται και η συμβολή της εργασίας μας είναι η πρόταση υπολογισμού της.

Εάν είναι γνωστή η εκτίμηση της τρωτότητας των διαδρομών, ο πληθυσμός μπορεί να επιλέξει την ασφαλέστερη για αυτόν διαδρομή και να αποφύγει αυτές με υψηλή εκτίμηση τρωτότητας. Η επιλογή μπορεί να γίνει για παράδειγμα με τη χρήση επιτόπιας σήμανσης, ή με τη χρήση ηλεκτρονικής δρομολόγησης σε εφαρμογή σε κινητό τηλέφωνο.



Σχήμα 3 - Οι διαστάσεις της ολιστικής προσέγγισης μας για τη τρωτότητα και διακινδύνευση της εκκένωσης (Τσιωνάς, 2021)

Η ασφαλέστερη δυνατή διαδρομή για τον πληθυσμό που εκκινεί από μια τοποθεσία Α για να φτάσει σε ένα χώρο καταφυγής Κ1 κατά κανόνα δεν είναι εξίσου ασφαλής με την ασφαλέστερη δυνατή διαδρομή του πληθυσμού που εκκινεί από

ένα διαφορετικό σημείο Α' για τον ίδιο προορισμό K1. Προφανώς το ίδιο ισχύει για την περίπτωση πληθυσμού που εκκινεί από ένα άλλο σημείο Β με προορισμό έναν άλλο χώρο καταφυγής K2.

Η τρωτότητα χαρακτηρίζει πόσο τρωτή είναι η διαδρομή ανεξάρτητα από το εάν θα χρησιμοποιηθεί από τον πληθυσμό ή όχι. Η διακινδύνευση παρέχει την εκτίμηση της πραγματικής επίπτωσης του κινδύνου στον πληθυσμό. Προκύπτει από το συνυπολογισμό της τρωτότητας και του εκτεθειμένου κεφαλαίου, που είναι ο πληθυσμός. Ο γενικός υπολογισμός της διακινδύνευσης προκύπτει από την τρωτότητα και την έκθεση [9], [10]:

$$R = A * H * V$$

όπου,

R, η διακινδύνευση,
A, η έκθεση στον κίνδυνο,
H, η επικινδυνότητα, και
V, η τρωτότητα

Η επικινδυνότητα H εξαρτάται από το πόσο σεισμογενής είναι η περιοχή μελέτης και έτσι στην περίπτωση του σεισμικού κινδύνου δεν μπορούμε να επέμβουμε για να την μειώσουμε και έτσι να μειωθεί αντίστοιχα η διακινδύνευση.



Σχήμα 4 - Οι διαδρομές εκκένωσης μιας περιοχής εξυπηρέτησης καταλήγουν στον ίδιο χώρο καταφυγής και επικαλύπτονται (Τσιωνάς, 2021)

Με την εκτίμηση της τρωτότητας V κάθε διαδρομής και την εκτίμηση του πληθυσμού A που θα την ακολουθήσει, μπορούμε να εκτιμήσουμε τη διακινδύνευση R κάθε διαδρομής. Εφόσον η τρωτότητα μιας διαδρομής παραμένει σταθερή, τυχόν αύξηση ή μείωση του πληθυσμού που θα την ακολουθήσει, αυξάνει ή μειώνει ανάλογα την εκτίμηση της διακινδύνευσης. Συνάγεται ότι διαδρομές εκκένωσης υψηλής τρωτότητας που δεν αποτελούν επιλογή για τον πληθυσμό να τις ακολουθήσει, έχουν μηδενική διακινδύνευση, παρά την υψηλή τρωτότητα. Ομοίως, διαδρομές εκκένωσης χαμηλής τρωτότητας ενδέχεται να έχουν υψηλές τιμές διακινδύνευσης εφόσον αποτελούν την επιλογή μεγάλου πληθυσμού.

II. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΔΙΑΚΙΝΔΥΝΕΥΣΗΣ ΑΝΑ ΔΙΑΔΡΟΜΗ

Στην περίπτωση της τρωτότητας ενός οδικού τμήματος ή μιας διαδρομής η πιθανή βλάβη είναι τραυματισμός ή θάνατος για τον πληθυσμό. Έως σήμερα δεν υπάρχει τεκμηριωμένη εκτίμηση της πιθανότητας θανάτου ή τραυματισμού στην περίπτωση σεισμικού συμβάντος συγκεκριμένου μεγέθους σε ένα συγκεκριμένο οδικό τμήμα ή διαδρομή. Έτσι δεν μπορούμε να εκτιμήσουμε την τρωτότητα και την επικινδυνότητα των διαδρομών με ακριβώς αντίστοιχο τρόπο με τις κατασκευές. Για να αποκτήσουμε εκτίμηση της τρωτότητας ορίζουμε ως παράμετρο τρωτότητας Vi από το τύπο

$$V = V_i * P$$

όπου

V, η άγνωστη αναμενόμενη βλάβη (τρωτότητα)
P, η μέγιστη πιθανότητα να προκληθεί
συγκεκριμένη βλάβη
Vi, παράγοντας τρωτότητας που σταθμίζει την P

Η P είναι η σταθερή, μέγιστη και άγνωστη πιθανότητα να προκληθεί η βλάβη V που αφορά συγκεκριμένο μέγεθος του σεισμικού κινδύνου (Hazard). Ως μέγεθος του σεισμικού κινδύνου (H) επιλέγεται η προβλεπόμενη από τον Ελληνικό Αντισεισμικό Κανονισμό σεισμική επιτάχυνση εδάφους στη ζώνη επικινδυνότητας I, $a_g = 0.16g$. Η παράμετρος τρωτότητας Vi οφείλεται σε παράγοντες που σχετίζονται με τα χαρακτηριστικά του δικτύου. Προτείνουμε παραμέτρους τρωτότητας Vi για τη συνεισφορά των διαφορετικών χαρακτηριστικών του δικτύου στην τρωτότητα. Με αυτή την προσέγγιση μπορούμε να εκτιμήσουμε τη συμβολή κάθε παράγοντα στην τρωτότητα και διακινδύνευση και να προσβούμε σε συγκριτική ποσοτική αξιολόγηση της τρωτότητας και διακινδύνευσης των επιμέρους στοιχείων του δικτύου εκκένωσης. Έτσι, με βάση τον παραπάνω τύπο προτείνονται παράμετροι τρωτότητας Vi σε σχέση με τα χαρακτηριστικά του δικτύου. Συγκεκριμένα

$$R = A * H * V_i * P$$

λαμβάνοντας ως σταθερά το γινόμενο $\alpha = H * P$, δηλαδή το γινόμενο της σεισμικής επικινδυνότητας H (π.χ. σεισμική επιτάχυνση 0.16g όπως προβλέπεται στον ΕΑΚ για τη ζώνη I) και της μέγιστης σταθερής πιθανότητας P, η παραπάνω εξίσωση γίνεται

$$R = \alpha * A * V_i \Leftrightarrow R/\alpha = A * V_i$$

όπου

α , η σταθερά $H * P$
A, η έκθεση, και
Vi, παράμετρος τρωτότητας

αντικαθιστούμε $R_i = R/\alpha$, οπότε

$$R_i = A * V_i$$

όπου

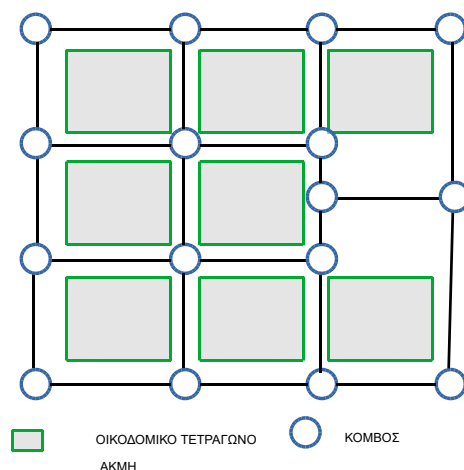
R_i , παράμετρος διακινδύνευσης

A , η έκθεση, και

V_i , ο παράγοντας τρωτότητας

Με βάση τον παραπάνω τύπο προτείνονται παράμετροι διακινδύνευσης R_i σε σχέση με τα χαρακτηριστικά του δικτύου. Η έκθεση A λαμβάνει ως τιμές τον πληθυσμό εκτόνωσης, ο οποίος αποτελεί το εκτεθειμένο κεφάλαιο. Με την προσέγγιση αυτή βαθμονομούμε το συνολικό δίκτυο ως προς τη διακινδύνευση ανά χωρική μονάδα που αναφέρεται η παράμετρος [6].

Για τον υπολογισμό της εκτίμησης της διακινδύνευσης απαιτείται η εκτίμηση της τρωτότητας αναφορικά με τους παράγοντες λόγω των οποίων μια υποδομή είναι τρωτή στον συγκεκριμένο κίνδυνο. Προτείνουμε τέσσερις παραμέτρους τρωτότητας ως προς κατασκευαστικά, λειτουργικά και πολεοδομικά χαρακτηριστικά των διαδρομών που επηρεάζουν την ασφάλεια του πληθυσμού εκτόνωσης που κινείται κατά μήκος τους σε περίπτωση σεισμικού συμβάντος [Πίνακας 1]. Έτσι, οι τιμές που προκύπτουν δεν αποτυπώνουν συγκεκριμένη πιθανότητα αλλά έχουν αξία για τη σύγκριση μεταξύ των διαφορετικών διαδρομών εκκένωσης. Για το λόγο αυτό κανονικοποιούνται στο διάστημα $[0, 1]$, σε αναλογία με παρόμοιες προσεγγίσεις μελετών επιπτώσεων [11].



Σχήμα 5 - Το δίκτυο εκκένωσης ως γράφος με κόμβους και ακμές (Τσιωνάς, 2021)

Η σεισμική διακινδύνευση των παρακειμένων κτιρίων αποτελεί παράγοντα τρωτότητας, καθώς αποκολλήσεις και πτώσεις δομικών στοιχείων από τα κτίρια έχουν αναλογική συσχέτιση με τη διακινδύνευση των κτιρίων. Η διαμήκης κλίση της διαδρομής αποτελεί εμπόδιο στην κίνηση και

δυσχεραίνει την κίνηση ιδιαίτερα των ατόμων με μειωμένη κινητικότητα, αυξάνοντας έτσι την έκθεση τους σε κίνδυνο. Η κίνηση οχημάτων επί των οδών αποτελεί επιβαρυντικό παράγοντα στην πεζή κίνηση και παράγοντα επικινδυνότητας. Αυτό συμβαίνει όχι μόνο λόγω ατυχημάτων που μπορούν να προκαλέσουν τα οχήματα και οι οδηγοί τους που ενδέχεται να μην είναι σε καλή ψυχολογική κατάσταση αλλά και λόγω του ότι η ύπαρξη των οχημάτων επί των οδών ωθεί τους πεζούς να κινηθούν πλησιέστερα στα παρακείμενα κτίρια και κατασκευές που αποτελούν τη σημαντικότερη πηγή επικινδυνότητας. Τέλος, το πλάτος της οδού σε σχέση με το ύψος των κτιρίων αποτελεί παράγοντα επικινδυνότητας καθώς σχετίζεται με την πιθανότητα τόσο τα τυχόν αποκολλημένα δομικά υλικά του κτιρίου, όσο και πρόσθετα υλικά (π.χ. γλάστρες) που δε σχετίζονται με τη σεισμική διακινδύνευση των κτιρίων να καταλήξουν στη διαδρομή ως εμπόδια στην κίνηση.

Πίνακας 1 - Οι παράμετροι τρωτότητα για τις διαδρομές εκκένωσης βάσει των χαρακτηριστικών τους που σχετίζονται με τους παράγοντες κινδύνου (Τσιωνάς, 2021)

Παρά-μετρος	Περιγραφή	Υπολογισμός
V_{Rb}	Λόγω της σεισμικής διακινδύνευσης των γειτονικών κτιρίων	$R_{Rm} = \sum (\sum R_{mi})_i$
V_{Rt}	Λόγω του κυκλοφοριακού φόρτου	$T_R = \sum (T_i)$
V_{Rs}	Λόγω της διαμήκου κλίσης	$dh_R = \sum (\text{Slope}_i * S_i)$ ή $dh_R = \sum H_{i, \text{end}} - H_{i, \text{start}} _i$
V_{Rd}	Λόγω ύπαρξης υλικών	$S_{Rd} = \sum (S_{d,i} * S_i)$

Με βάση τις εκτιμήσεις των χαρακτηριστικών των επιμέρους οδικών τμημάτων που τα αποτελούν, εκτιμώνται οι παράμετροι τρωτότητας των διαδρομών. Κάθε οδικό τμήμα μπορεί να περιλαμβάνεται σε καμία έως σε πολλές διαδρομές εκκένωσης. Το σε πόσες και ποιες διαδρομές εκκένωσης ανήκει ένα τμήμα εξαρτάται από την κατανομή του πληθυσμού και το κριτήριο υπολογισμού της διαδρομής. Τέλος με βάση τις παραμέτρους τρωτότητας των διαδρομών εκκένωσης εκτιμώνται οι παράμετροι διακινδύνευσης των [Πίνακας 2].

Πίνακας 2 - Οι παράμετροι διακινδύνευσης του πληθυσμού για τα οδικά τμήματα βάσει των διαδρομών (Τσιωνάς Ιωάννης, (2021))

Παρά-μετρος	Περιγραφή	Υπολογισμός
R_{Rb}	Λόγω σεισμικής διακινδύνευσης των γειτονικών κτιρίων	$P * V_{Rb}$
R_{Rt}	Λόγω του κυκλοφοριακού φόρτου	$P * V_{Rt}$
R_{Rs}	Λόγω της διαμήκου κλίσης	$P * V_{Rs}$
R_{Rd}	Λόγω ύπαρξης υλικών	$P * V_{Rd}$

Με βάση τις παραμέτρους που παρουσιάζονται στους Πίνακες 1 & 2, μπορούμε να εκτιμήσουμε την τρωτότητα και διακινδύνευση των διαδρομών εκκένωσης σε αντιστοιχία για την τρωτότητα και διακινδύνευση των οδικών τμημάτων [6]

III. ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ ΣΤΟΝ ΟΙΚΙΣΤΙΚΟ ΙΣΤΟ ΔΗΜΟΥ ΚΑΛΑΜΑΡΙΑΣ

Διενεργήθηκε υπολογισμός των προτεινόμενων παραμέτρων τρωτότητας και διακινδύνευσης των διαδρομών εκκένωσης στην περιοχή του Δήμου Καλαμαριάς. Καταλληλότερο εργαλείο για τους υπολογισμούς είναι τα γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών (G.I.S.). Χρησιμοποιήθηκε το ArcMap με κατάλληλη παραμετροποίηση [12], [4], [13].

Αρχικά εντοπίστηκαν τα απαιτούμενα χωρικά δεδομένα από τα οποία τα βασικά ήταν:

- Χώροι καταφυγής
- Κτίρια
- Οικοδομικές άδειες
- Οδοί
- Οικοδομικά Τετράγωνα

Εισήχθησαν στο σύστημα Χώροι Καταφυγής (151 πολύγωνα), Κτίρια (7.419 κτίρια), τμήματα οδών (2.570 οδικά τμήματα), Οικοδομικά Τετράγωνα (1.011), Πολεοδομικές Ενότητες (20 ενότητες), οικοδομικές άδειες ανέγερσης (4.072) και Χρήσεις γης με βάση το Γενικό Πολεοδομικό Σχέδιο (1.158 πολύγωνα). Τα χωρικά δεδομένα περιείχαν θεματικά χαρακτηριστικά απαραίτητα για τους υπολογισμούς όπως έτος ανέγερσης κτιρίων, είδος φέροντα οργανισμού (Πίνακας 3), μήκη και υψόμετρα οδικών τμημάτων

Πίνακας 3 - Τα κτίρια της περιοχής μελέτης ταξινομημένα ως προς το είδος του φέροντα οργανισμού (Τσιωνάς, 2021)

Είδος	Κτίρια	%	Δόμηση	%
Φέρουσα τοιχοποιία	1.403	18,91%	148.999	2,96%
Οπλισμένο σκυρόδεμα	6.013	81,05%	4.877.156	96,84%
Μέταλλο	3	0,04%	10.119	0,20%
ΣΥΝΟΛΑ	7.419	100,00%	5.036.275	100,00%

Αρχικά υπολογίστηκαν οι παράμετροι που αφορούν τα οδικά τμήματα [σχήμα 2]. Τα αποτελέσματα αυτού του σταδίου περιγράφονται στο [14]. Κατόπιν υπολογίστηκαν οι παράμετροι των διαδρομών εκκένωσης και από τις παράμετροι των διαδρομών εκκένωσης. Τέλος, υπολογίστηκαν οι παράμετροι των περιοχών εξυπηρέτησης των χώρων καταφυγής που δεν περιλαμβάνονται στην παρούσα εργασία.

Για τον υπολογισμό της τρωτότητας των τμημάτων και των διαδρομών εκκένωσης έγιναν πρόδρομοι υπολογισμοί για τα παρακάτω

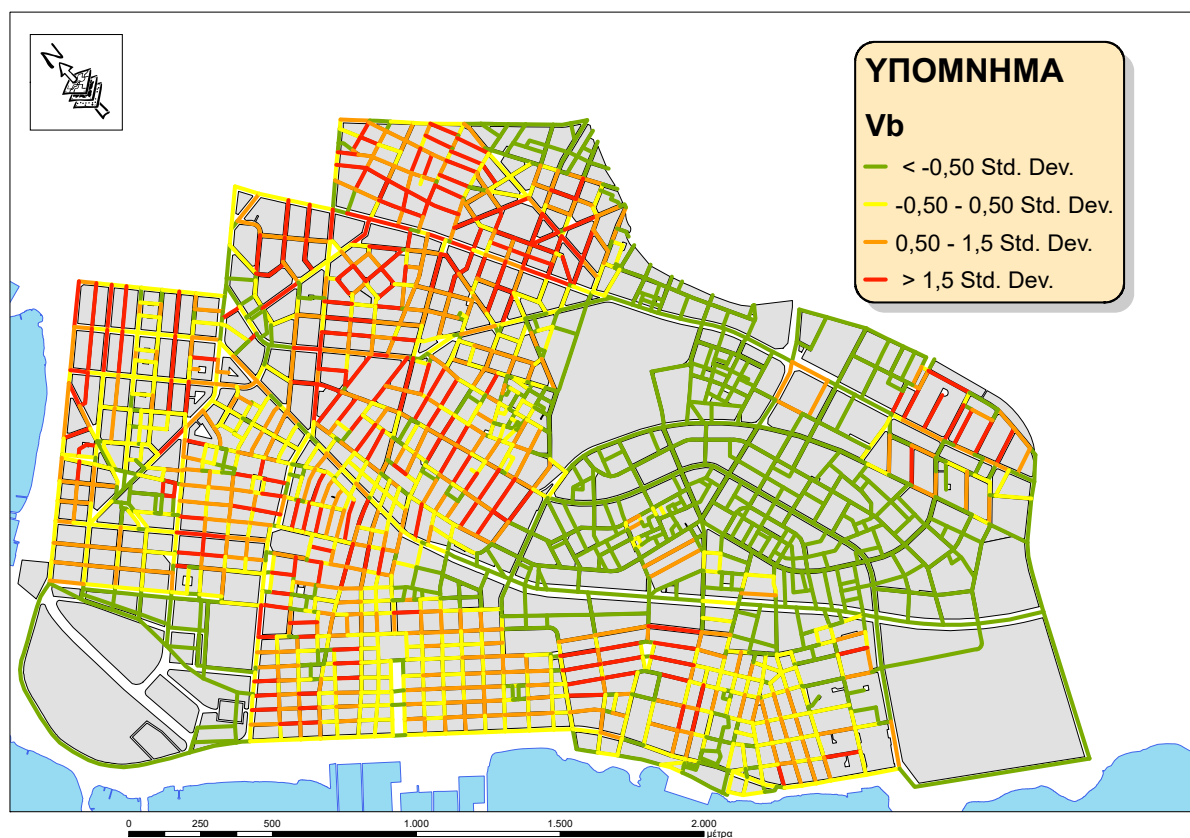
- χωρητικότητα των χώρων καταφυγής,
- ύψος των κτιρίων,
- σεισμική διακινδύνευση των κτιρίων,
 - ο επίπτωση της στα οδικά τμήματα
- ζώνη επικινδυνότητας που ορίζεται από το ύψος των κτιρίων,
 - ο επίπτωση της στα οδικά τμήματα
- πληθυσμός
 - ο ανά κτίριο
 - ο ανά χρήση
 - ο ανά χρονικό σενάριο
 - ο ανά σημείο αφετηρίας
- η κατανομή των χαρακτηριστικών των κτιρίων στα οδικά τμήματα έγινε με χωρική συσχέτιση γειτνίασης
 - ο σεισμικής διακινδύνευσης,
 - ο πληθυσμού
- διαδρομές εκκένωσης του πληθυσμού στους χώρους καταφυγής

Όλα οι παραπάνω υπολογισμοί διενεργήθηκαν με χρήση οπτικού προγραμματισμού σε λογισμικό GIS [15]. Επειδή οι διαδρομές εκκένωσης έχουν επικάλυψη, για απεικόνιση σε χαρτοσύνθεση χρησιμοποιείται κατηγοριοποίηση σε διαδρομές εκκένωσης χαμηλής έως υψηλής διακινδύνευσης [Σχήμα 8], [Σχήμα 9].

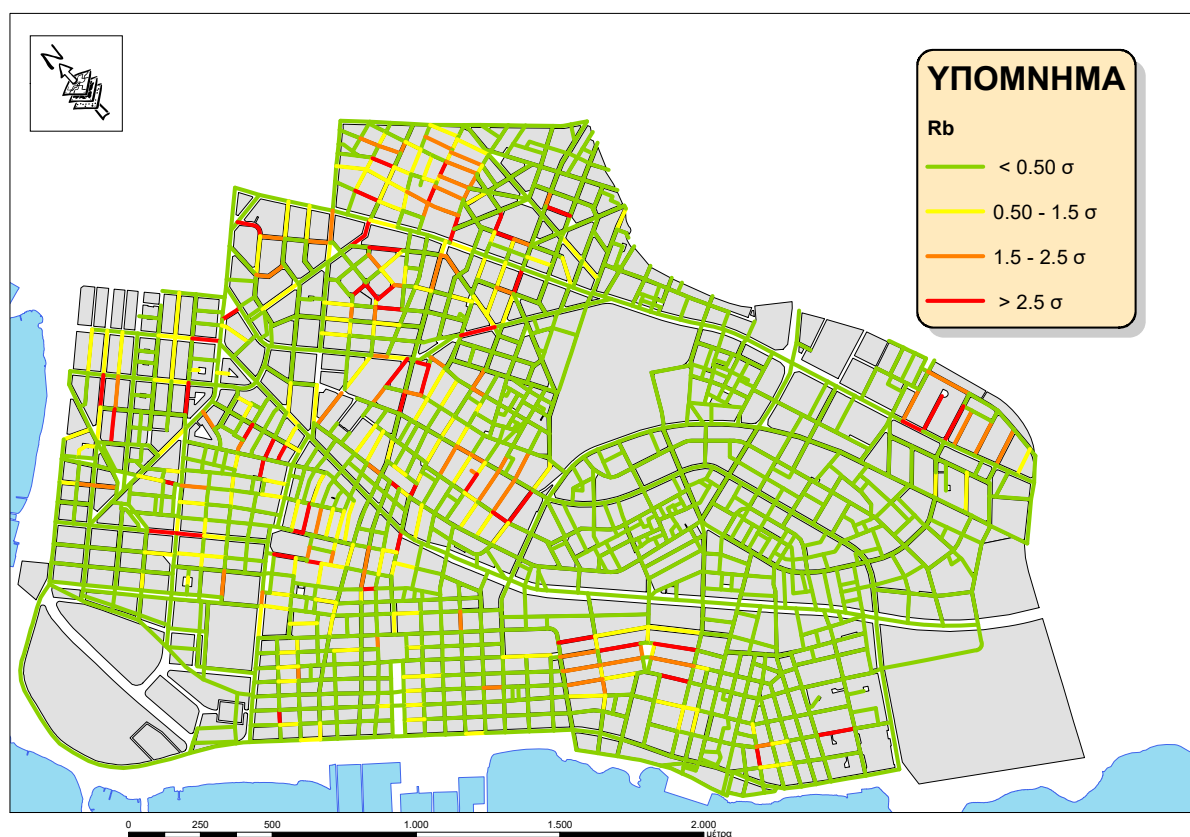
IV. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Με την εφαρμογή των προτεινόμενων παραμέτρων, στην περιοχή μελέτης εντοπίστηκαν διαδρομές εκκένωσης με υψηλή τρωτότητα ή/και διακινδύνευση. Εντοπίστηκαν συγκεντρώσεις από διαδρομές εκκένωσης με υψηλή τρωτότητα και αντίστοιχες συγκεντρώσεις διαδρομές εκκένωσης με υψηλή διακινδύνευση. Αυτές οι συγκεντρώσεις μπορούν να μελετηθούν υπό το πρίσμα υποπεριοχών της περιοχής μελέτης με διαφορετικά κριτήρια τμηματοποίησης.

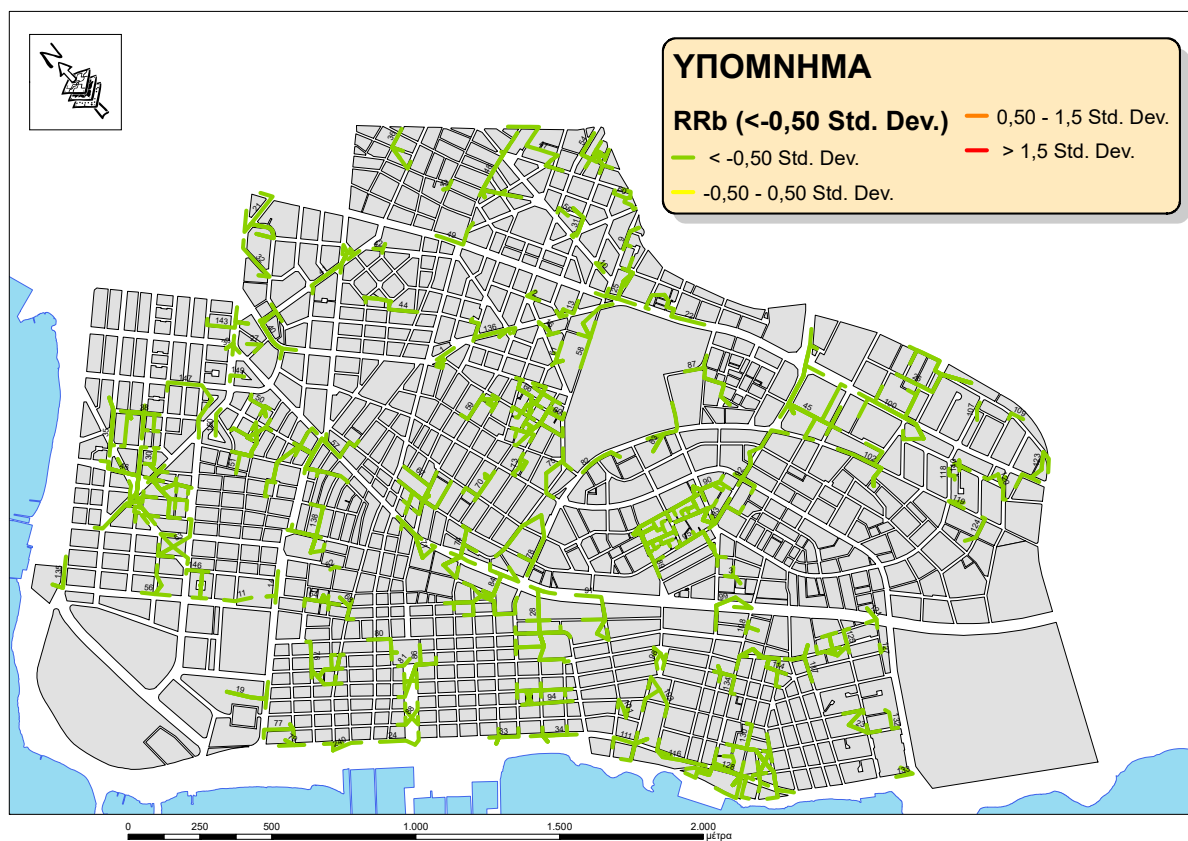
Τα παραπάνω παρέχουν δυνατότητες για τοπικές βελτιωτικές παρεμβάσεις κατασκευαστικού ή πολεοδομικού χαρακτήρα σε στοχευμένα οδικά τμήματα για τη μείωση της τρωτότητας (αυτού του είδους η παρέμβαση αφορά κυρίως τα οδικά τμήματα) και για παρεμβάσεις ρυθμιστικού χαρακτήρα σε διαδρομές εκκένωσης για τη μείωση της διακινδύνευσης. Συγκεκριμένα ο πληθυσμός πρέπει να αποφεύγει τα οδικά τμήματα υψηλής τρωτότητας, ενώ οι αρμόδιες αρχές μπορούν είτε να τα επισημαίνουν ως ακατάλληλα, είτε να τα βελτιώνουν. Ακόμα οι αρμόδιες αρχές πρέπει να εστιάζουν στις διαδρομές εκκένωσης υψηλής διακινδύνευσης σε σχέση με το ύψος του πληθυσμού που αναμένεται να τις χρησιμοποιήσει.



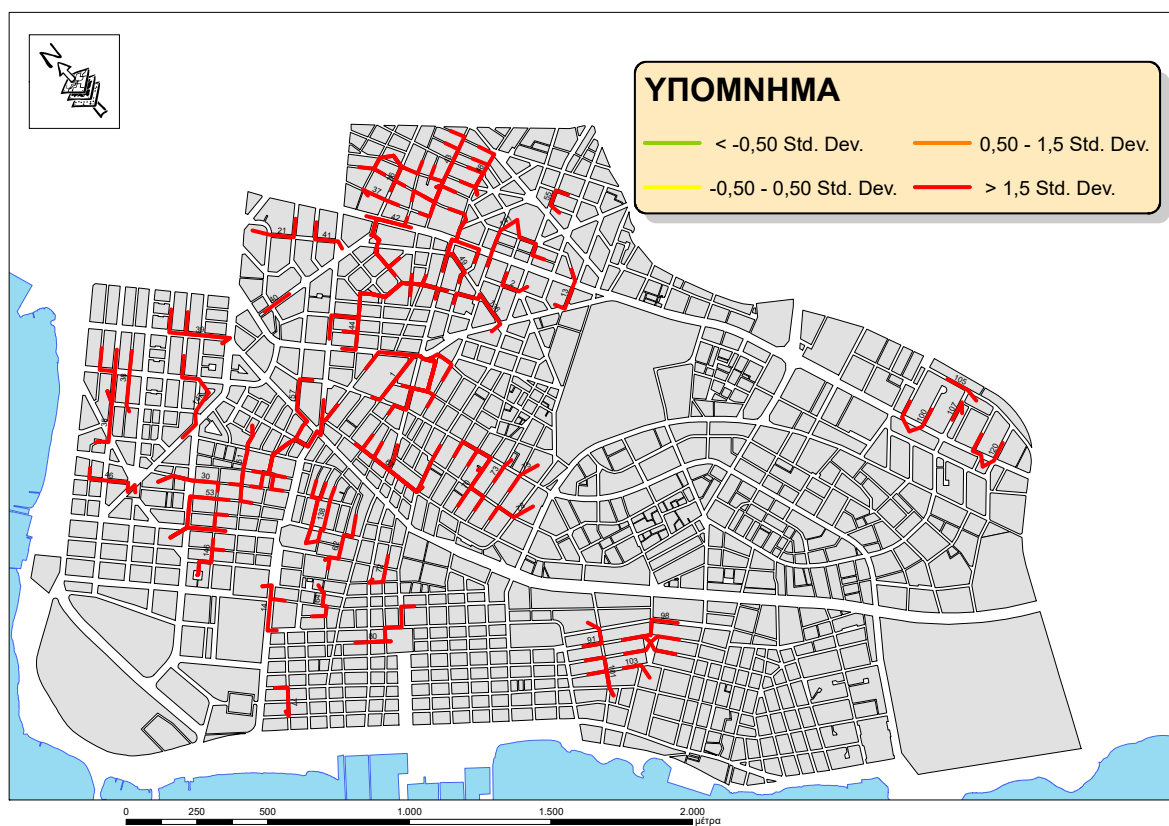
Σχήμα 6 - Η παράμετρος τρωτότητας Rb για τα οδικά τμήματα



Σχήμα 7 - Η παράμετρος διακινδύνευσης Rb για τα οδικά τμήματα



Σχήμα 8 - Οι διαδρομές εκκένωσης με τις χαμηλότερες τιμές για την παράμετρο διακινδύνευσης RRb



Σχήμα 9 - Οι διαδρομές εκκένωσης με υψηλές τιμές για την παράμετρο τρωτότητας RRb

Οι παράμετροι τρωτότητας των οδικών τμημάτων μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως δεδομένα πλοήγησης για την εύρεση της ασφαλέστερης διαδρομής εκκένωσης με τους ήδη υφιστάμενους αλγόριθμους στα λογισμικά πλοήγησης.

Οποιασδήποτε παρεμβάσεις όπως αλλαγή χρήσεων, σύνθεσης πληθυσμού, αύξηση δόμησης, αλλαγή αντισεισμικών κανονισμών, κατασκευαστικές κ.λπ. επηρεάζουν τις εκτιμήσεις των παραμέτρων των διαδρομών εκκένωσης και έτσι αυτές πρέπει να επαναυπολογιστούν ώστε να επανεκτιμηθεί η κατάσταση. Με τον ίδιο τρόπο τροποποίησης των δεδομένων εισόδου, μπορούν να αποτιμηθούν σενάρια παρεμβάσεων.

Υπάρχουν περιθώρια περαιτέρω βελτίωσης και ανάπτυξης με την συμπερίληψη επιπλέον παραγόντων και τη στάθμιση της τους ως προς τη σχετική τους βαρύτητα.

Σημείωση: το παρόν άρθρο αποτελεί περαιτέρω επεξεργασία τμήματος της διδακτορικής διατριβής του Ιωάννη Τσιωνά με τίτλο Σχεδιασμός Πολεοδομικού Γεωγραφικού Συστήματος Πληροφοριών (GIS) για την Ηλεκτρονική Διακυβέρνηση (e-Government). Εφαρμογή στη διαχείριση της σεισμικής Διακινδύνευσης. Επιβλέπουσα Επιτροπή: Α. Μπαλτζοπούλου, Β. Τσιούκας, Α. Καραμπίνης, Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης, 2021.

IV. ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- [1] ΟΑΣΠ (1994β) Αντισεισμικός Σχεδιασμός Εκτάκτου Ανάγκης, Υπουργείο Χωροταξίας Δημοσίων Έργων και Περιβάλλοντος, Γενική Γραμματεία Δημοσίων Έργων, Οργανισμός Αντισεισμικής Προστασίας (ΟΑΣΠ)
- [2] ΟΑΣΠ (1994α) Προδιαγραφές χώρων συγκέντρωσης του πληθυσμού σε περίπτωση σεισμού, Υπουργείο Χωροταξίας Δημοσίων Έργων και Περιβάλλοντος, Γενική Γραμματεία Δημοσίων Έργων, Οργανισμός Αντισεισμικής Προστασίας (ΟΑΣΠ)
- [3] Ciborowski A (1982) Physical Development Planning and Urban Design in Earthquake-Prone Areas, Eng. Struct. Vol 4, July
- [4] Güzey Ö, Aksoy E, Gel A C, Anil Ö, Gültekin N, Akbas S O (2013) An inter-disciplinary approach for earthquake vulnerability assessment in urban areas: A case study of Central District, Yalova, Regional Studies Association, Annual European Conference 2013, 6-8 May 2013 University of Tampere, Tampere, Finland
- [5] Τσιωνάς Ι., Μπαλτζοπούλου Α., Τσιούκας Β., Καραμπίνης Α., "Οι Πολεοδομικές Συνιστώσες της Σεισμικής Διακινδύνευσης", περιοδικό Αειχώρος, τεύχος 14, 2010, σελ. 94-115
- [6] Eleftheriadou A., Karabinis A., "Development of damage probability matrices based on Greek earthquake damage data", Earthquake Engineering and Engineering Vibration, Vol. 10, No 1, March 2011, pp. 129-141.
- [7] Ye M, Wang J, Huang J, Xu S, Chen Z (2012) Methodology and its application for community-scale evacuation planning against earthquake disaster, Nat Hazards (2012) 61:881-892
- [8] Cutter S (1996) Vulnerability to environmental hazards, Progress in Human Geography 20,4 pp. 529-539

- [9] Carreno M-L, Cardona O, Barbat A (2006) Urban Seismic Risk Evaluation: A Holistic Approach, Natural Hazards (2007) 40:137-172
- [10] UNDRO (1980) Natural Disasters and Vulnerability Analysis, Report of Expert Group Meeting, Geneva
- [11] Vartholomaios A, Kalogirou N, Athanassiou E, Papadopoulou M (2013) The green space factor as a tool for regulating the urban microclimate in vegetation-deprived Greek cities, Proceedings of the International Conference on "Changing Cities", Spatial, morphological, formal & socio-economic dimensions, ISBN: 978-960-6865-65-7, Skiathos island, Greece, June 18-21, 2013
- [12] Tsionas I., Baltzopoulou A., Tsioukas V., Karabinis A., "GEM, an urban planning oriented earthquake management geographic system", Proc. of the 11th International Multidisciplinary Scientific Geo Conference (SGEM 2011), Bulgaria, June 2011, Vol. II, pp. 393-400.
- [13] Τσιωνάς Ι., Μπαλτζοπούλου Α., Τσιούκας Β., Καραμπίνης Α., "Το Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών (GIS) Σεισμικής Διακινδύνευσης GEM", 6ο Πανελλήνιο Συνέδριο Ελληνικής Εταιρείας Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφορικής, Αθήνα 2010
- [14] Tsionas I., Baltzopoulou A., Tsioukas V., Karabinis A., "Evacuation vulnerability after an urban earthquake: mapping it using a GIS", 2016, Applied GIS, 12(1), pp. 1-16.
- [15] Τσιωνάς Ιωάννης, «Σχεδιασμός Πολεοδομικού Γεωγραφικού Συστήματος Πληροφοριών (GIS) για την Ηλεκτρονική Διακυβέρνηση (e-Government). Εφαρμογή στη διαχείριση της σεισμικής Διακινδύνευσης», Διδακτορική Διατριβή, ΔΠΘ, 2021

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ

Ιωάννης Α. Τσιωνάς

Δρ. Αγρ. Τοπογράφος Μηχ/κός
6977 221034

e-mail: tsionas@gmail.com

Χωρογραφίες/ Τεύχος 9 – 2022 – σελ. 26-33