

Η Συμβολή των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών στη Διαχείριση Φυσικών Καταστροφών

Βασίλειος Ν. Γρηγοριάδης, Ηλίας Ν. Τζιαβός, Γεώργιος Σ. Βέργος

Τομέας Γεωδαισίας και Τοπογραφίας, Τμήμα Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Περίληψη: Στην παρούσα εργασία εξετάζεται η συμβολή των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (ΓΣΠ) στη διαχείριση φυσικών κινδύνων και έκτακτων καταστάσεων και σχολιάζεται μέσω παραδειγμάτων ο καθοριστικός ρόλος τους ως συστημάτων διαχείρισης φυσικών καταστροφών. Η αξιοποίηση ΓΣΠ στην αντιμετώπιση συμβάντων με σημαντική οικονομική και κοινωνική διάσταση πραγματοποιείται συνήθως μέσω τεσσάρων επιμέρους σταδίων που περιλαμβάνουν την πρόληψη, την ετοιμότητα, την έκτακτη διαχείριση και την αποκατάσταση. Η ιεράρχηση αυτών των σταδίων και ο χρονικός ορίζοντας υλοποίησής τους συνδέεται με την ύπαρξη σχεδίων πολιτικής προστασίας και συναρτάται άμεσα με τη διαθεσιμότητα κατάλληλης υλικοτεχνικής υποδομής. Στις επόμενες ενότητες γίνεται αναφορά σε δύο συστήματα διαχείρισης φυσικών καταστροφών, τα συστήματα Seisimpact-Thess και SyNaRMa, που αναπτύχθηκαν μέσω ΓΣΠ και βάσεων γεωδοδεμένων στο πλαίσιο ερευνητικών προγραμμάτων. Η συνοπτική παρουσίαση της δομής των ανωτέρω συστημάτων, των βάσεων δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν σε αυτά, των εφαρμογών που είναι ικανά να υλοποιήσουν και τους τομείς τους οποίους είναι δυνατόν να καλύψουν στο μέλλον, αναδεικνύουν την καθοριστική συμβολή των ΓΣΠ στη διαχείριση εκτάκτων καταστάσεων που οφείλονται σε φυσικά φαινόμενα. Τέλος, γίνεται αναφορά στις δυνατότητες διασύνδεσης των συστημάτων διαχείρισης καταστροφών με άλλα ΓΣΠ, όπως είναι τα συστήματα παρακολούθησης και διαχείρισης περιβαλλοντικών οικοσυστημάτων παράκτιων περιοχών και παρουσιάζεται ένα σχετικό παράδειγμα με το σύστημα Eco-Satellite για τη Μαύρη Θάλασσα.

1. Εισαγωγή

Το δυναμικό σύστημα που αποτελείται από τη Γη και την ατμόσφαιρά της παρουσιάζει διαρκώς έντονες και ορισμένες φορές αιφνίδιες μεταβολές. Οι μεταβολές αυτές μπορεί να συμβαίνουν στο εσωτερικό ή στην επιφάνεια της Γης, αλλά ακόμη και στην ατμόσφαιρά της. Από αυτές τις μεταβολές μπορεί να προκύψει μία πληθώρα φαινομένων, τα οποία έχουν άμεσο αντίκτυπο στο ανθρωπογενές και φυσικό περιβάλλον με δυσμενείς κατά κανόνα συνέπειες. Για τα φαινόμενα αυτά χρησιμοποιείται ο όρος *φυσικές καταστροφές*. Στις φυσικές καταστροφές περιλαμβάνονται διάφορα φαινόμενα, μεταξύ των οποίων συγκαταλέγονται οι σεισμοί, οι κατολισθήσεις, οι πυρκαγιές, τα σεισμικά-παλιρροϊκά κύματα (tsunamis), οι τυφώνες, οι

κυκλώνες, οι εκρήξεις ηφαιστειών, οι εδαφικές παραμορφώσεις, οι πλημμύρες, οι χιονοθύελλες κ.ά. Επίσης, ένα φαινόμενο είναι πιθανόν να οδηγήσει στην πρόκληση ενός άλλου και στην περίπτωση αυτή έχουμε την εμφάνιση ενός φαινομένου που στη διεθνή βιβλιογραφία χαρακτηρίζεται ως «ντόμινο» (domino effect). Σε κάθε περίπτωση, η ένταση με την οποία εμφανίζονται τα ανωτέρω φαινόμενα έχει καθοριστική επίδραση στο μέγεθος τόσο των ζημιών στο δομημένο περιβάλλον όσο και στον αριθμό των ανθρώπινων απωλειών. Καθώς οι φυσικές καταστροφές είναι αναπόφευκτες, βασικός στόχος όλων των προσπαθειών είναι η άμβλυση των συνεπειών τους μέσω της κατάλληλης διαχείρισής τους.

Η διαχείριση των φυσικών καταστροφών που υλοποιείται με συντεταγμένο τρόπο στο πλαίσιο δομών όπως είναι η πολιτική προστασία σε επίπεδο ενός δήμου ή μιας χώρας, βασίζεται σε τέσσερα στάδια, τα οποία είναι: πρόληψη, ετοιμότητα, έκτακτη διαχείριση και αποκατάσταση. Το στάδιο της πρόληψης περιλαμβάνει την λήψη μέτρων για την προστασία από μια φυσική καταστροφή, π.χ. σεισμό, και την προσπάθεια πραγματοποίησης προγνώσεων και εκτιμήσεων των συνακόλουθων φυσικών κινδύνων και των επιπτώσεών τους. Το στάδιο της ετοιμότητας αφορά ένα εύλογο χρονικό διάστημα πριν προκύψει μία φυσική καταστροφή, κατά το οποίο γίνονται και πάλι εκτιμήσεις και προγνώσεις των επιπτώσεων μιας καταστροφής αλλά με πραγματικά δεδομένα. Επιπλέον, σε αυτό το στάδιο παρακολουθείται η εξέλιξη των φαινομένων που μπορεί να οδηγήσουν σε μία φυσική καταστροφή και συντάσσονται σχέδια αντιμετώπισης εκτάκτων καταστάσεων και οδηγίες οργάνωσης της πολιτικής προστασίας. Το τρίτο στάδιο, το στάδιο της έκτακτης διαχείρισης, τοποθετείται χρονικά στη διάρκεια εμφάνισης του φαινομένου, συμπεριλαμβανομένου και ενός σύντομου χρονικού διαστήματος αμέσως μετά το συμβάν. Στην έκτακτη διαχείριση περιλαμβάνονται η άμεση λήψη μέτρων και η αποστολή-παροχή βοήθειας για την προστασία κυρίως των ανθρώπινων ζωών και της δημόσιας υγείας. Τέλος, το στάδιο της αποκατάστασης περιλαμβάνει όλα τα αναγκαία μέτρα για την αποκατάσταση των ζημιών και την επαναφορά της καθημερινής ζωής των πολιτών σε κανονικούς ρυθμούς. Στο πλαίσιο της άρτιας οργάνωσης και αποτελεσματικής διαχείρισης των φυσικών καταστροφών έχει βασισθεί η ανάπτυξη των συστημάτων διαχείρισης φυσικών καταστροφών (Natural Disaster Management Systems).

Τα συστήματα διαχείρισης φυσικών καταστροφών είναι σύνθετοι μηχανισμοί μέσω των οποίων συνδυάζονται ετερογενή δεδομένα, υπολογιστικοί αλγόριθμοι και τεχνικές παρουσίασης αποτελεσμάτων. Η πολυπλοκότητα που παρουσιάζουν οι φυσικές καταστροφές ως φαινόμενο, καθιστά απαραίτητη τη χρησιμοποίηση πληροφοριακών συστημάτων, τα οποία προσφέρουν τις δυνατότητες για την επεξεργασία, ανάλυση και παρουσίαση των σχετικών δεδομένων και τη μοντελοποίησή τους (Doukas et al., 2007). Επιπλέον, η απαιτούμενη διεπιστημονική προσέγγιση των φυσικών καταστροφών προϋποθέτει και την αξιοποίηση ευρέως χρησιμοποιούμενων κοινών εργαλείων από διαφορετικούς επιστημονικούς κλάδους. Για τους

λόγους αυτούς, τα πληροφοριακά συστήματα επάνω στα οποία αναπτύσσονται τα συστήματα διαχείρισης φυσικών καταστροφών, είναι τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (ΓΣΠ). Στην περίπτωση που ένα ΓΣΠ είναι προσβάσιμο μέσω του διαδικτύου, αυτό ονομάζεται Διαδικτυακό Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών (web-based Geographical Information System).

Τα ΓΣΠ που έχουν αναπτυχθεί για τη διαχείριση φυσικών καταστροφών μπορεί να εστιάζουν σε μία ή περισσότερες φυσικές καταστροφές, ανάλογα με τον σκοπό του συστήματος και την περιοχή εφαρμογής τους. Επίσης, μπορεί να καλύπτουν ένα ή περισσότερα από τα τέσσερα στάδια ενός σχεδιασμού-πλαισίου πολιτικής προστασίας, ενώ υπάρχει η δυνατότητα να περιλαμβάνουν μοντέλα πρόγνωσης και αξιολόγησης του κινδύνου εμφάνισης μιας καταστροφής, μοντέλα προσομοίωσης των επιπτώσεων της και σχέδια εκκένωσης περιοχών. Δεδομένης λοιπόν της πολυπλοκότητας που παρουσιάζουν τα εν λόγω συστήματα, στο στάδιο της εφαρμογής συνήθως επικεντρώνονται σε συγκεκριμένους τομείς της διαχείρισης των φυσικών καταστροφών και παρέχουν συγκεκριμένες λύσεις για τη λήψη αποφάσεων, καθώς το κόστος υλοποίησης και συντήρησής τους αυξάνει αναλόγως. Στην συνέχεια γίνεται μία σύντομη επισκόπηση από τη διεθνή βιβλιογραφία ορισμένων ΓΣΠ σχετικών με τη διαχείριση φυσικών καταστροφών.

Οι Li et al. (2015) ανέπτυξαν ένα ΓΣΠ για την εκτίμηση του σεισμικού κινδύνου σε σχεδόν πραγματικό χρόνο με εφαρμογή στο στάδιο της έκτακτης διαχείρισης. Οι Careem et al. (2006) ανέπτυξαν το σύστημα Sahana για τη διαχείριση πληροφοριών που λαμβάνονται σε πραγματικό χρόνο από την ευρύτερη περιοχή που συνέβη μία καταστροφή κατά τα στάδια της έκτακτης διαχείρισης και αποκατάστασης. Οι Scaioni et al. (2009) ανέπτυξαν εργαλεία σε ΓΣΠ για την υποστήριξη της διαχείρισης μιας καταστροφής στην Ιταλία κατά τα στάδια της ετοιμότητας και της έκτακτης διαχείρισης. Οι Desprats et al. (2010) ανέπτυξαν ένα ΓΣΠ για τη μελέτη της τρωτότητας και επικινδυνότητας στην παράκτια ζώνη της περιοχής της Σρι-Λάνκα λόγω της ανόδου της στάθμης της θάλασσας, των σεισμικών-παλιρροϊκών κυμάτων, των έντονων καιρικών φαινομένων και της διάβρωσης του εδάφους, για τα στάδια της πρόληψης και της ετοιμότητας. Η Federal Emergency Management Agency των ΗΠΑ ανέπτυξε το σύστημα HAZUS MultiHazard (βλ., π.χ., Schneider and Schauer 2006), το οποίο αξιοποιεί τα ΓΣΠ για την εκτίμηση των επιπτώσεων από σεισμούς, πλημμύρες και τυφώνες. Το σύστημα εστιάζει κυρίως στα στάδια της πρόληψης και της ετοιμότητας. Οι Horita et al. (2015) ανέπτυξαν ένα ΓΣΠ στη Βραζιλία για τη διαχείριση πλημμυρών στα στάδια της ετοιμότητας και της έκτακτης διαχείρισης συνδυάζοντας δεδομένα που λαμβάνονται σε πραγματικό χρόνο από αισθητήρες και καταγραφικά συστήματα και πληροφορίες που προέρχονται από την εθελοντική συμμετοχή πολιτών. Από τα παραπάνω ενδεικτικά παραδείγματα εφαρμογών είναι προφανές πως κάθε σύστημα αναπτύσσεται από τους διάφορους ερευνητές, φορείς ή οργανισμούς με βάση συγκεκριμένους και εξειδικευμένους στόχους για την κάλυψη στοχευμένων αναγκών σε τοπική/εθνική κλίμακα,

χωρίς να επιχειρείται μία ολοκληρωμένη προσέγγιση σε παγκόσμιο επίπεδο. Σε κάθε περίπτωση, ο ρόλος των ΓΣΠ είναι πάντοτε σημαντικός και αποτελεί πλέον αναπόσπαστο τμήμα της διαχείρισης των φυσικών καταστροφών.

Στην παρούσα εργασία αναδεικνύεται η συμβολή των ΓΣΠ στη διαχείριση των φυσικών καταστροφών μέσα από συστήματα που εφαρμόστηκαν στην Ελλάδα και στην ανάπτυξη των οποίων συμμετείχαν οι συγγραφείς της παρούσας εργασίας. Πρόκειται για το σύστημα Seisimpact-Thess (Savnaidis et al. 2004), το οποίο αναπτύχθηκε στο πλαίσιο σχετικού έργου και χρηματοδοτήθηκε από τη Γενική Γραμματεία Έρευνας και Τεχνολογίας (ΓΓΕΤ), το σύστημα SyNaRMa (Information System for Natural Risk Management in the Mediterranean), το οποίο αναπτύχθηκε στο πλαίσιο του ερευνητικού προγράμματος INTERREG III – ArchiMed B (Γρηγοριάδης κ.ά. 2010) και το σύστημα διαχείρισης περιβαλλοντικών δεδομένων ECO-Satellite (Tziavos et al. 2013), που δημιουργήθηκε στο πλαίσιο του κοινού επιχειρησιακού προγράμματος “Black Sea Basin 2007-2013”. Το Seisimpact-Thess εστιάζει στο στάδιο της πρόληψης και τα σεισμικά φαινόμενα. Το SyNaRMa αποσκοπεί στη διαχείριση φυσικών καταστροφών, όπως οι σεισμοί, οι κατολισθήσεις και οι δασικές πυρκαγιές, για το σύνολο των σταδίων της πολιτικής προστασίας με έμφαση στα στάδια της πρόληψης, προετοιμασίας και αποκατάστασης. Τέλος, το ECO-Satellite, το οποίο έχει ως αντικείμενο τη διαχείριση περιβαλλοντικής πληροφορίας, θα μπορούσε δυνητικά να χρησιμοποιηθεί στο στάδιο της αποκατάστασης μιας φυσικής καταστροφής. Περισσότερες πληροφορίες σχετικά με το σχεδιασμό, τη δομή και τον τρόπο εφαρμογής των συστημάτων αυτών δίνονται στη συνέχεια.

2. Εφαρμογές

Στην ενότητα αυτή εξετάζονται μέσα από την ανάπτυξη και τις εφαρμογές των συστημάτων Seisimpact-Thess, SyNaRMa και ECO-Satellite τα στάδια της πολιτικής προστασίας, προκειμένου να αναδειχθεί ο ρόλος και η σημασία των ΓΣΠ. Πριν όμως από την ανάλυση των επιμέρους σταδίων, θα πρέπει να γίνει μία σύντομη αναφορά στις βάσεις γεωδεδομένων, οι οποίες αποτελούν τον κορμό των ΓΣΠ, και στις δυνατότητες προγραμματισμού των ΓΣΠ.

Όλα τα ΓΣΠ στηρίζουν τη λειτουργία τους στη διαχείριση πληροφοριών που βρίσκονται καταχωρημένες σε μία ή περισσότερες βάσεις γεωδεδομένων. Στις βάσεις αυτές συνδέεται και οργανώνεται η περιγραφική με τη χωρική πληροφορία και καθορίζονται οι σχέσεις που διέπουν τα δεδομένα. Η διαδικασία δημιουργίας των βάσεων γεωδεδομένων είναι κοινή για όλα τα ΓΣΠ. Ένα πρώτο στάδιο περιλαμβάνει την αξιολόγηση των δεδομένων, όπου ελέγχεται η τοπολογία τους, όπως επίσης και η περιγραφική πληροφορία που τα συνοδεύει, π.χ., εύρος τιμών, εσφαλμένες καταχωρήσεις, διπλοεγγραφές, κ.λπ.. Κατόπιν, ακολουθεί η ομογενοποίηση των δεδομένων, η οποία περιλαμβάνει την αναφορά τους σε ένα κοινό σύστημα ανα-

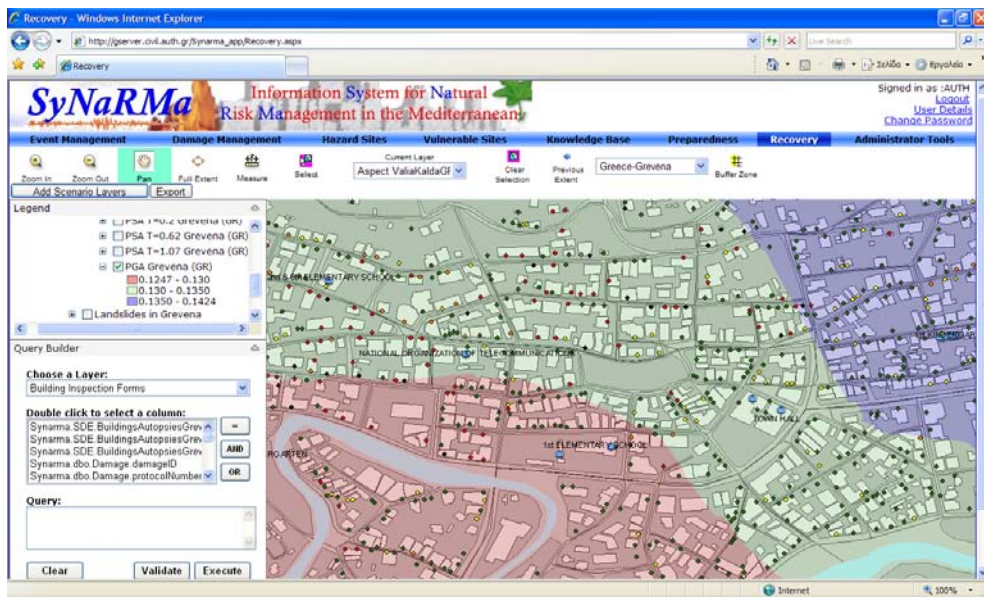
φοράς συντεταγμένων, την χρησιμοποίηση κοινών μονάδων μέτρησης και την ομαδοποίηση και καταχώρησή τους με ενιαίο τρόπο σε πίνακες της βάσης δεδομένων. Η όλη διαδικασία, η οποία περιεγράφηκε προηγουμένως συνοπτικά, μπορεί να πραγματοποιηθεί μέσα από τα ΓΣΠ και αυτό είναι ενδεικτικό του σημαντικού ρόλου τους στην υλοποίηση ενός συστήματος διαχείρισης φυσικών καταστροφών από ένα αρχικό σχεδιασμό έως το τελικό στάδιο εφαρμογής.

Για την πλήρη εκμετάλλευση των δυνατοτήτων που προσφέρουν τα ΓΠΣ στη διαχείριση γεωδεδομένων είναι απαραίτητη η δημιουργία κατάλληλης γραφικής διεπαφής χρήστη (Graphical User Interface – GUI), ώστε το παραγόμενο σύστημα να είναι εύχρηστο και αποτελεσματικό. Σήμερα, οι διαθέσιμες πλατφόρμες ΓΣΠ προσφέρουν τα κατάλληλα προγραμματιστικά εργαλεία και βιβλιοθήκες για την ανάπτυξη γραφικών διεπαφών χρήστη και γενικότερα εξειδικευμένων εφαρμογών ΓΣΠ. Η ανάπτυξη εξειδικευμένων εφαρμογών δίνει τη δυνατότητα απόκρυψης από τον τελικό χρήστη του συστήματος των πολύπλοκων διαδικασιών που απαιτούνται για την επεξεργασία και ανάλυση των δεδομένων. Με αυτόν τον τρόπο, το τελικό σύστημα καθίσταται αξιοποιήσιμο και από μη εξειδικευμένους σε ΓΣΠ χρήστες, χαρακτηριστικό ιδιαίτερα σημαντικό για τα συστήματα διαχείρισης φυσικών καταστροφών.

Στις επόμενες ενότητες εξετάζονται τα στάδια αντιμετώπισης μιας φυσικής καταστροφής που είναι αλληλένδετα με σχεδιασμούς πολιτικής προστασίας σε επίπεδο πόλης ή χώρας και αφορούν κυρίως επιπτώσεις από σεισμούς στο δομημένο περιβάλλον. Ο σχολιασμός αφορά εφαρμογές ΓΣΠ που αναπτύχθηκαν στο πλαίσιο ερευνητικών προγραμμάτων.

2.1 Πρόληψη - Ετοιμότητα

Ξεκινώντας από το στάδιο της πρόληψης, είναι αναγκαία η μελέτη του κινδύνου που αντιμετωπίζει η κάθε περιοχή, καθώς και η μελέτη της τρωτότητας των κτιρίων και των υποδομών μετά από ένα σεισμικό συμβάν. Για τη μελέτη του κινδύνου είναι απαραίτητος ο υπολογισμός μοντέλων τα οποία συνδυάζονται με πληροφορίες και χαρακτηριστικά για την περιοχή μελέτης, όπως π.χ., πληθυσμός, χρήσεις γης, αριθμός ορόφων ανά κτίριο, κ.λπ., ώστε είτε μέσω προσομοίωσης είτε μέσω εμπειρικών προσεγγίσεων να εκτιμώνται οι περιοχές, τα κτίρια ή οι υποδομές που σε περίπτωση εμφάνισης μιας φυσικής καταστροφής (σεισμός στην προκειμένη περίπτωση) θα υποστούν τις μεγαλύτερες συνέπειες. Για παράδειγμα, στα συστήματα Seisimpact-Thess και SyNaRMa μελετήθηκαν σενάρια εδαφικής επιτάχυνσης στην περίπτωση εμφάνισης σεισμικών φαινομένων για τις περιοχές της Θεσσαλονίκης και των Γρεβενών (Kirati et al. 2004, Theodulidis et al. 2006). Με βάση προκαθορισμένες τιμές για τα χαρακτηριστικά των σεισμών, υπολογίστηκαν η μέγιστη εδαφική και φασματική επιτάχυνση (peak ground acceleration, peak spectral acceleration) για τις περιοχές μελέτης. Η διαδικασία αυτή εκπόνησης σεναρίων είναι εφικτό να εξελιχθεί περαιτέρω με την αξιοποίηση δεδομένων τηλεπισκόπη-



Σχήμα 1: Σύγκριση των βλαβών που υπέστησαν τα κτίρια κατά τον σεισμό του 1995 στα Γρεβενά με τα αποτελέσματα των σεναρίων που αναπτύχθηκαν στο ΓΣΠ (πηγή: Grigoriadis et al. 2008).

σης, όπως απέδειξαν οι Savvaidis et al. (2012) μελετώντας τις δυνατότητες επέκτασης του συστήματος SyNaRMa.

Ταυτόχρονα με τους υπολογισμούς σεναρίων και για τις ίδιες περιοχές μελέτης συγκεντρώθηκαν τα φύλλα αυτοψιών κτιρίων για τους σεισμούς του 1978 στη Θεσσαλονίκη ($M_w = 6.5$) και του 1995 στα Γρεβενά ($M_w = 6.6$), τα οποία εισήχθησαν στις αντίστοιχες βάσεις δεδομένων των συστημάτων (βλ., π.χ., Savvaidis et al. 2004). Μέσω των εργαλείων γεωκωδικοποίησης που προσφέρουν τα ΓΣΠ, έγινε αντιστοίχιση των πληροφοριών των αυτοψιών με το επίπεδο των κτιρίων του διαθέσιμου ψηφιακού χαρτογραφικού υποβάθρου. Έχοντας ως δεδομένα πλέον τις επιπτώσεις των δύο σεισμικών φαινομένων, έγινε καταρχήν αξιολόγηση των σεναρίων που αναπτύχθηκαν αξιοποιώντας τις δυνατότητες χωρικής ανάλυσης των ΓΣΠ, ώστε να εκτιμηθεί η αξιοπιστία των μοντέλων (βλ., π.χ., σχήμα 1). Στη συνέχεια, και πάλι μέσω των εργαλείων χωρικής ανάλυσης, εκτιμήθηκαν οι επιπτώσεις στο δομημένο περιβάλλον από τα πιθανά σεισμικά σενάρια. Με ανάλογη διαδικασία με αυτήν που χρησιμοποιήθηκε στα φύλλα αυτοψιών, καταχωρήθηκαν μέσω κατάλληλης φόρμας που προσφέρει το σύστημα SyNaRMa και οι αναφορές και εκτιμήσεις τρωτότητας επιλεγμένων κτιρίων στην περιοχή των Γρεβενών (Karakostas et al. 2008). Με διαθέσιμη την πληροφορία για την κατάσταση των κτιρίων και έχοντας ως δεδομένα τα σενάρια των επιπτώσεων της σεισμικής καταστροφής, είναι δυνατόν κατά το στάδιο της πρόληψης να ληφθούν μέτρα και να εξεταστούν πολιτικές για την προστασία του πληθυσμού. Αυτά μπορεί να υλοποιηθούν με

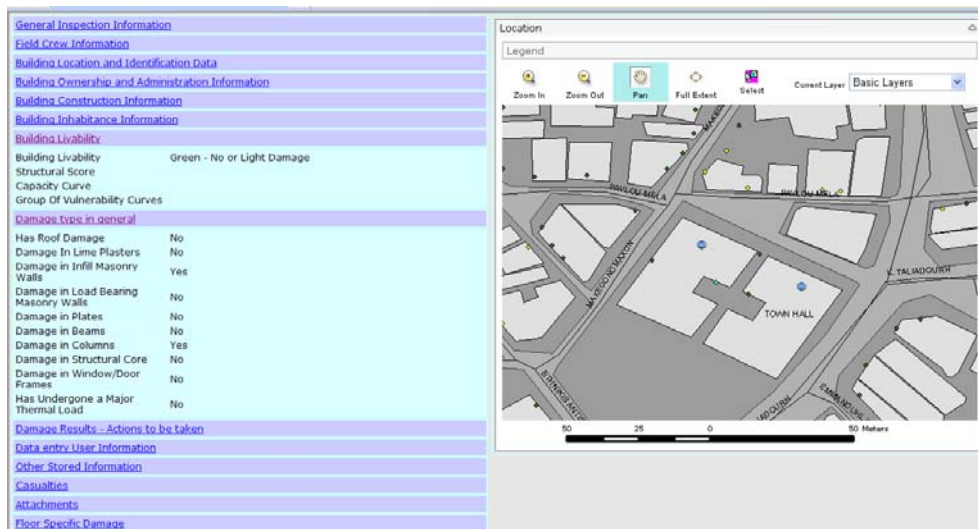
συνδυαστικές αναλύσεις που πραγματοποιούνται στο περιβάλλον των ΓΣΠ (Savvaidis et al. 2004).

Στο στάδιο της πρόληψης αλλά και της ετοιμότητας μπορεί να ενταχθεί η εκπόνηση και μελέτη σχεδίων καθορισμού του οδικού δικτύου έκτακτης ανάγκης, των χώρων συγκέντρωσης και των χώρων καταυλισμού (Spyridaki et al. 2009). Το οδικό δίκτυο έκτακτης ανάγκης καθορίζει στην περίπτωση που συμβεί μια φυσική καταστροφή, ποιες οδικές αρτηρίες θα πρέπει οπωσδήποτε να παραμείνουν προσπελάσιμες. Οι χώροι συγκέντρωσης είναι οι χώροι στους οποίους θα πρέπει να μετακινηθεί ο πληθυσμός κατά τη διάρκεια και αμέσως μετά την εμφάνιση του φαινομένου, ενώ οι χώροι καταυλισμού είναι εκείνοι στους οποίους θα διαμείνουν οι πολίτες των οποίων οι κατοικίες έχουν υποστεί σοβαρές ζημιές και θεωρούνται πλέον ακατάλληλες. Τόσο η δημιουργία των σχεδίων αυτών κατά τα στάδια της πρόληψης και ετοιμότητας, όσο και η αξιοποίησή τους κατά το στάδιο της έκτακτης διαχείρισης πραγματοποιούνται μέσω των ΓΣΠ. Η ένταξη των ανωτέρω σχεδίων στο σύστημα διαχείρισης φυσικών καταστροφών επιτρέπει την από κοινού εξέτασή τους με τα σενάρια επιπτώσεων που αναφέρθηκαν προηγουμένως, καθώς και με νέα δεδομένα και πληροφορίες που λαμβάνονται, όπως θα δούμε στη συνέχεια, όταν συμβεί μία καταστροφή.

2.2 Έκτακτη Διαχείριση

Για το στάδιο της έκτακτης διαχείρισης το σύστημα SyNaRMa δίνει τη δυνατότητα διαδικτυακής καταχώρησης μέσω ηλεκτρονικών φορμών των βλαβών που υπέστη ένα κτίριο. Η διαδικασία αυτή πραγματοποιείται μέσω του ΓΣΠ, ενώ η καταχώρηση μπορεί να γίνει και με φορητές συσκευές που έχουν πρόσβαση στο διαδίκτυο, όπως, π.χ., ένα κινητό τηλέφωνο (Papadopoulou et al. 2010, Παπαδοπούλου 2014). Αφού αποθηκευτεί η πληροφορία, γίνεται άμεσα διαθέσιμη (βλ. σχήμα 2) και μπορεί να αποτελέσει σημείο αναφοράς για το συντονισμό των συνεργειών διάσωσης και όλων των εμπλεκόμενων με την παροχή βοήθειας. Επίσης, οι καταγραφές των βλαβών μπορεί να συνδυαστούν με τα σχέδια έκτακτης ανάγκης προκειμένου να χρησιμοποιηθούν από τις αρμόδιες υπηρεσίες για την ασφαλή μετακίνηση του πληθυσμού.

Πέραν της δυνατότητας καταχώρησης κάποιας βλάβης, υπάρχει και η δυνατότητα καταχώρησης ενός συμβάντος. Αν και ο αρχικός σχεδιασμός της καταγραφής συμβάντων αναφερόταν αποκλειστικά στην παρατήρηση μιας φυσικής καταστροφής, η λειτουργικότητα αυτή επεκτάθηκε και για την καταγραφή καταστροφικών γεγονότων, τα οποία αποτελούν επακόλουθα του φυσικού φαινομένου. Ένα τέτοιο καταστροφικό γεγονός αποτελεί, για παράδειγμα, μία έκρηξη σε χημική βιομηχανία. Όπως και οι βλάβες των κτιρίων έτσι και τα συμβάντα εμφανίζονται στο σύστημα σε πραγματικό χρόνο και κατά συνέπεια μπορεί και αυτά να αξιοποιηθούν για την καλύτερη οργάνωση της απόκρισης του μηχανισμού της πολιτικής προστασίας.



Σχήμα 2: Εμφάνιση βλαβών κτιρίων μέσα από το σύστημα SyNaRMa. Αριστερά εμφανίζονται οι καταγεγραμμένες ζημιές και δεξιά απόσπασμα χάρτη με τη θέση του κτιρίου (πηγή: Γρηγοριάδης κ.ά. 2010).

Ο προηγούμενος σχολιασμός είναι ενδεικτικός της ευελιξίας ενός ΓΣΠ αναφορικά με την επέκτασή του για την κάλυψη διαφορετικών φυσικών καταστροφών ή επιμέρους συμβάντων και την καταγραφή και διαχείριση επιπλέον πληροφοριών μέσω κατάλληλων τροποποιήσεων του αρχικού συστήματος.

2.3 Αποκατάσταση

Η αποκατάσταση των βλαβών στο δομημένο περιβάλλον, η οποία στην περίπτωση μια σεισμικής καταστροφής αφορά την επιδιόρθωση κτισμάτων ή την κατασκευή νέων, αποτελεί κύρια επιδίωξη του σταδίου της αποκατάστασης. Στο στάδιο αυτό βέβαια περιλαμβάνεται και η κατασκευή πιο ανθεκτικών κτιρίων ή κατοικιών σύμφωνα με τους ισχύοντες αντισεισμικούς κανονισμούς. Επιπλέον, στο ίδιο στάδιο, είναι αρκετές φορές αναγκαίο να κατασκευαστούν ειδικά τεχνικά έργα κοινής ωφέλειας, ή να βελτιωθούν ήδη υπάρχοντα, τα οποία θα συμβάλλουν στη μείωση των επιπτώσεων από άλλες φυσικές καταστροφές (π.χ., αντιπλημμυρικά έργα για την αντιμετώπιση των επιπτώσεων που προκάλεσαν δασικές πυρκαγιές, κ.λπ.). Συγκεντρώνοντας σε ένα σύστημα διαχείρισης φυσικών καταστροφών το σύνολο των βλαβών και καταγράφοντας με κατάλληλο τρόπο τις επιπτώσεις τόσο στο φυσικό όσο και στο ανθρωπογενές περιβάλλον, είναι δυνατόν μέσω των εργαλείων που προσφέρουν τα ΓΣΠ, αφενός μεν να δρομολογηθούν άμεσα οι επιδιορθώσεις των υφιστάμενων κατασκευών, αφετέρου δε, σε συνδυασμό με τη χρησιμοποίηση κατάλληλων υπολογιστικών μοντέλων να εκτιμηθούν οι πιθανές επιπτώσεις από τις αλλαγές που επέφερε η φυσική καταστροφή στο περιβάλλον και αναλόγως να αποφασιστούν οι κατάλληλες τεχνικές παρεμβάσεις.

Το σύστημα SyNaRMa προσφέρει μέσα από την καταγραφή τόσο των βλαβών όσο και των διαφορών συμβάντων, τα οποία είναι δυνατόν να προκύψουν κατά τη διάρκεια μιας καταστροφής, την απαραίτητη πληροφορία για την επιδιόρθωση των υφιστάμενων κατασκευών. Δυνητικά όμως θα μπορούσαν οι πληροφορίες αυτές να συνδυαστούν και με ένα σύστημα παρακολούθησης και διαχείρισης περιβαλλοντικής πληροφορίας. Για παράδειγμα, το σύστημα ECO-Satellite (Tziavos et al. 2013), το οποίο αποτελεί ένα διαδικτυακό ΓΣΠ, στοχεύει στη διαχείριση περιβαλλοντικών δεικτών για την εκτίμηση της κατάστασης των υδάτων από άποψη μόλυνσης. Σε συνδυασμό με τεχνικές που βασίζονται στην τηλεπισκόπηση και in-situ δεδομένα είναι δυνατό να παρακολουθείται η ποιότητα των υδάτων σε παράκτιες περιοχές (Alexandridis et al. 2013). Στην περίπτωση μιας φυσικής καταστροφής, συνακόλουθες βλάβες σε τεχνικά έργα και βιομηχανικές εγκαταστάσεις μπορεί να οδηγήσουν στη μόλυνση των επιφανειακών υδάτων καθιστώντας απαραίτητο τον χωρικό εντοπισμό της περιοχής που επηρεάζεται από το συγκεκριμένο συμβάν και τον ακριβή προσδιορισμό των επιπτώσεων στο φυσικό και ανθρωπογενές περιβάλλον. Επιπλέον, λόγω της διαθεσιμότητας μέσω διαδικτύου τόσο του συστήματος SyNaRMa όσο και του ECO-Satellite θα μπορούσε να γίνει διασύνδεση των δύο αυτών συστημάτων ώστε να υπάρξει ανταλλαγή δεδομένων και επιπέδων πληροφορίας μέσω κατάλληλων πρωτοκόλλων (Tziavos et al. 2013), όπως, π.χ., του Web Feature Service (WFS). Επομένως, ένα σύστημα διαχείρισης φυσικών καταστροφών μπορεί να αξιοποιεί πληροφορίες και αναλύσεις δεδομένων από άλλα συστήματα που βασίζονται στα διαδικτυακά ΓΣΠ και να βελτιώνει σε σημαντικό βαθμό τις εφαρμογές που υποστηρίζει. Οι εφαρμογές αυτές ανάγονται σε υπηρεσίες που προσφέρονται σε επίπεδο δημόσιων οργανισμών, φορέων ή φυσικών προσώπων που εμπλέκονται με την αντιμετώπιση και διαχείριση φυσικών κινδύνων και καταστροφών αλλά και έκτακτων καταστάσεων γενικότερα.

3. Σχολιασμός

Στις προηγούμενες ενότητες επιχειρήθηκε μία συνοπτική παρουσίαση της συμβολής των ΓΣΠ σε εφαρμογές συστημάτων διαχείρισης φυσικών καταστροφών, μέσω των επιμέρους σταδίων που συνήθως συναντώνται σε σχέδια ή φορείς πολιτικής προστασίας, ή ακόμη υπηρεσίες του δημοσίου που εμπλέκονται με την αντιμετώπιση και διαχείριση φυσικών κινδύνων και καταστροφών. Από τα παραδείγματα που σχολιάστηκαν είναι προφανές πως τα ΓΣΠ διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη συστημάτων διαχείρισης φυσικών καταστροφών κυρίως λόγω της δυνατότητας συνδυασμού και χωρικής ανάλυσης ετερογενών δεδομένων και διαχείρισής τους μέσω ευέλικτων και προηγμένων προγραμματιστικών μεθόδων και αλγορίθμων. Επιπλέον, τα ΓΣΠ μπορεί να αξιοποιηθούν για τη διαχείριση οποιασδήποτε φυσικής καταστροφής, ενώ είναι ακόμη εφικτή η διασύνδεση μέσω διαδικτύου με άλλα ανάλογα συστήματα, συσκευές επικοινωνίας (π.χ., κινητά τηλέφω-

να) και όργανα (π.χ., αισθητήρες και συσκευές καταγραφής στο πεδίο), διευρύνοντας σημαντικά τα πεδία εφαρμογών και την αποτελεσματικότητά τους.

Αξίζει να επισημανθεί ότι η διαχείριση φυσικών κινδύνων και καταστροφών μέσω ΓΣΠ συνιστά έναν τομέα αιχμής για ευρύ φάσμα των γεωεπιστημών, που αποκτά ιδιαίτερο ενδιαφέρον καθώς συνδέεται με σημαντικές οικονομικές και κοινωνικές παραμέτρους. Επιπλέον, η δημιουργία βασικής και εφαρμοσμένης επιστημονικής και τεχνολογικής υποδομής στον κλάδο του δημόσιου τομέα που ασχολείται με τη διαχείριση φυσικών καταστροφών μέσω ΓΣΠ αποτελεί σήμερα ένα από τα θεμελιώδη ζητούμενα. Η αξιοποίηση της επιστημονικής γνώσης στο σχεδιασμό και τη διαχείριση των επιπτώσεων των φυσικών καταστροφών αποτελεί πρόκληση σε ένα ταχύτατα μεταβαλλόμενο κοινωνικό και οικονομικό περιβάλλον.

Οι δυνατότητες των ΓΣΠ δεν περιορίζονται βέβαια σε όσα αναφέρθηκαν προηγουμένως. Η ραγδαία ανάπτυξη της τεχνολογίας και της γεωπληροφορικής τις τελευταίες δεκαετίες προσφέρουν συνεχώς νέα προϊόντα και καινοτόμες τεχνολογίες που αξιοποιούνται προοδευτικά στον τομέα της βελτίωσης των πληροφοριακών συστημάτων και δημιουργούν νέες προοπτικές στην αντιμετώπιση και διαχείριση των φυσικών καταστροφών. Ενδεικτικά αναφέρονται τα μη επανδρωμένα εναέρια οχήματα-συστήματα απεικόνισης (unmanned aerial vehicles), σύγχρονες δορυφορικές τεχνολογίες και προϊόντα σε μορφή εικόνας και σήματος, νέφη υπολογιστών κ.λπ. Με δεδομένη την πληθώρα επιστημονικών και τεχνολογικών δυνατοτήτων και προκλήσεων μέσω των ΓΣΠ, είναι αναμενόμενη στο άμεσο μέλλον η ανάπτυξη αρτιότερων και ακριβέστερων μοντέλων πρόγνωσης και παρακολούθησης των γεωεπιπτώσεων αιτίων των φυσικών καταστροφών, ώστε η σύγχρονη γνώση να αξιοποιηθεί με βέλτιστο τρόπο από τα συστήματα αντιμετώπισης και διαχείρισής τους.

Βιβλιογραφία

- Γρηγοριάδης, Β.Ν., Παπαδοπούλου, Ι.Δ., Σπυριδάκη, Π., Δούκας, Ι., Τζιαβός, Η.Ν., Σαββαΐδης, Π., 2010. *Συστήματα Διαχείρισης Φυσικών Καταστροφών - Το σύστημα SynARMa*. Ειδικός Τόμος “Πρόληψη και Διαχείριση των Φυσικών Καταστροφών. Ο Ρόλος του Αγρονόμου και Τοπογράφου Μηχανικού”, Κέντρο Εκτίμησης Φυσικών Κινδύνων και Προληπτικού Σχεδιασμού”, Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, σελ. 81-89.
- Παπαδοπούλου, Ι.Δ., 2014. *Εφαρμογές γεωματικής για την παρακολούθηση και διαχείριση φυσικών καταστροφών*. Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.
- Alexandridis, T.K., Aleksandrov, B.G., Monachou, S., Kalogeropoulos, C., Strati, S., Vorobyova, L., Bogatova, Y., Grigoriadis, V.N., Vergos, G.S., Topaloglou, C., 2013. *Monitoring water quality parameters in the marine area of Danube Delta using satellite remote sensing: preliminary results*. In: Hadjimitsis DG, Themistocleous K, Micha-

- elides S, Papadavid G (eds) "First International Conference on Remote Sensing and Geoinformation of Environments", SPIE vol. 8795, pp. 87950P-8.
doi: 10.1117/12.2027210
- Careem, M., De Silva, C., De Silva, R., Raschid, L., Weerawarana, S. 2006. *Sahana: Overview of a disaster management system*. In: Proceedings of the International Conference on Information and Automation, IEEE Computer Society, pp. 361-366.
doi: 10.1109/ICINFA.2006.374152
- Desprats, J.-F., Garcin, M., Attanayake, N., Pedreros, R., Siriwardana, C., Fontaine, M., Fernando, S., De Silva, U., 2010. *A 'coastal-hazard GIS' for Sri Lanka*. Journal of Coastal Conservation, vol. 14 (1), pp. 21–31. doi: 10.1007/s11852-009-0084-5
- Doukas, I.D., Savvaidis, P., Tziavos, I.N., Grigoriadis, V.N., Papadopoulou, I., Vavassis, I., 2007. *The use of a Web-based GIS for the management of databases related to natural disasters*, Geodesy and Cartography, vol. 56, No. 1, pp. 37-52.
- Grigoriadis, V.N., Papadopoulou, I.D., Spyridaki, P., Doukas, I., Tziavos, I.N., Savvaidis, P., 2008. *Presentation of a Web-based GIS System for the Management of Natural Disasters*. In: e-Proceedings of the International Conference "Studying, Modeling and Sense Making of Planet Earth", June 1-6, Mytilene, Greece.
- Horita, F.E.A., Porto de Albuquerque, J., Degrossi, L.C., Mendiondo, E.M., Ueyama, J., 2015. *Development of a spatial decision support system for flood risk management in Brazil that combines volunteered geographic information with wireless sensor networks*. Computers and Geosciences, vol. 80, pp. 84-94.
doi: 10.1016/j.cageo.2015.04.001
- Karakostas, C., Lekidis, V., Salonikios, T., Makarios, T., Sous, I., 2008. *Rapid visual screening of public buildings in the town of Grevena within a Natural Risk Management System*. In: e-Proceedings of the 3rd International conference on the earthquake engineering and engineering seismology, Athens, 5–7 November, paper number 1985.
- Kiratzi, A., Roumelioti, Z. Benetatos, Ch., Theodulidis, N., Savvaidis, A., Panou, A., Tziavos, I.N., Savvaidis, P., Hatzigogos, Th., Koutoupes, S., Karantonis, G., 2004. *Seis-impact-Thess: A Scenario Earthquake Affecting the Built Environment of the Prefecture of Thessaloniki*. Bulletin of the Geological Society of Greece, vol. XXXVI (3), pp. 1412-1421.
- Li, B., Wu, J., Pan, M., Huang, J., 2015. *Application of 3D WebGIS and real-time technique in earthquake information publishing and visualization*. Earthquake Science, vol. 28 (3), pp. 223-231. doi: 10.1007/s11589-015-0124-1
- Papadopoulou, I.D., Savvaidis, P., Tziavos, I.N., 2010. *Using the SyNaRMA system as a disaster management tool*. Natural Hazards, vol. 57 (2), pp. 453-464.
doi: 10.1007/s11069-010-9626-2
- Savvaidis, P., Theilen-Willige, B., Tziavos, I.N., Grigoriadis, V.N., Papadopoulou, I.D., 2012. *Detection of earthquake vulnerable areas in the Grevena region/northern Greece using Remote sensing and WebGIS methods*. In: Proc. "Modern technologies, education

and professional practice in geodesy and related fields”, 20th International Symposium, November 8 - 9, Sofia, Bulgaria.

- Savvaidis, P., Doukas, I., Hatzigogos, Th., Tziavos, I.N., Kiratzi, A., Roumelioti, A., Savvaidis, A., Theodulidis, N., Drakatos, G., Koutoupes, S., Karantonis, G., Sotiriadis, A., 2004. *Data base development and evaluation of earthquake damage reports under the Seis-Impact system*. Bulletin of the Geological Society of Greece. Vol. XXXVI, 2004, Proceedings of the 10th In. Congress, Thessaloniki, April 2004.
- Scaioni, M., Alba, M., Rota, R., Caragliano, S., 2009. *A GIS-Based SW Prototype for Emergency Preparedness Management Applied to a Real Case Study*. In: Gervasi, O., Taniar, D., Murgante, B., Mun, Y.S., Lagana, A., Gavrilova, M., (Eds) “International Conference on Computational Science and Its Applications – Part I”, 29 June–2 July, Seoul, Korea, vol. 5592, pp. 79–93.
- Schneider, P., Schauer, B., 2006. *Hazus—its development and its future*. Natural Hazards Review, vol. 7, pp. 40–44. doi: 10.1061/(ASCE)1527-6988(2006)7:2(40)
- Spyridaki, P., Papadopoulou, I.D., Grigoriadis, V.N., Tziavos, I.N., Savvaidis, P., 2009. *Methodology for identification of emergency assembly areas and road network in cities using geographic information systems tools*. Proceedings of the 9th International Multidisciplinary Scientific Geoconference SGEM 2009, Bulgaria, 14-19 June, 2009, Vol. II, pp. 135–142.
- Theodulidis, N., Roumelioti, Z., Panou, A., Savvaidis, A., Kiratzi, A., Grigoriadis, V., Dimitriou, P., Chatzigogos, T., 2006. *Retrospective Prediction of Macroseismic Intensities Using Strong Ground Motion Simulation: The Case of the 1978 Thessaloniki (Greece) Earthquake (M6.5)*. Bulletin of Earthquake Engineering, vol. 4, pp. 101-130. doi: 10.1007/s10518-006-9001-6
- Tziavos, I.N., Alexandridis, T.K., Alexandrov, B., Andrianopoulos, A., Cernisencu, I., Dimova, S., Doukas, J., Georgiadis, P., Grigoras, I., Grigoriadis, V.N., Karapetsas, N., Michailides, C., Papadopoulou, I.D., Repa, E., Savvaidis, P., Stancheva, M., Stergioudis, A., Stila, K., Teodorof, L., Vergos, G.S., Vorobyova, L., Zalidis, G.C., 2013. *Development of a WebGIS-based monitoring and environmental protection and preservation system for the Black Sea: The ECO-Satellite project*. Presented at the 2013 EGU General Assembly, Session OS2.2 “Advances in understanding of the multi-disciplinary dynamics of the Southern European Seas (Mediterranean and Black Sea)”, April 7th-12th, Vienna, Austria.