

ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΩΝ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΩΝ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ «ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟΥ ΝΕΦΟΥΣ» (CLOUD GIS)

Ντούρος Κωνσταντίνος*, Κωνσταντινίδης Αλέξανδρος**, Παπαθεοδώρου Κωνσταντίνος***, Κωνσταντίνος Ευαγγελίδης****

(*) Επιστημονικός Συνεργάτης, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών ΤΕ και Μηχανικών Τοπογραφίας & Γεωπληροφορικής ΤΕ, ΤΕΙ Κεντρικής Μακεδονίας, Σέρρες (konstantinos.d.ntouros@gmail.com)

(**) Καθηγητής Εφαρμογών, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών ΤΕ και Μηχανικών Τοπογραφίας & Γεωπληροφορικής ΤΕ, ΤΕΙ Κεντρικής Μακεδονίας, Σέρρες, (akonsta@teiser.gr)

(***) Αναπληρωτής Καθηγητής, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών ΤΕ και Μηχανικών Τοπογραφίας & Γεωπληροφορικής ΤΕ, ΤΕΙ Κεντρικής Μακεδονίας, Σέρρες, (conpap@teiser.gr)

(****) Αναπληρωτής Καθηγητής, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών ΤΕ και Μηχανικών Τοπογραφίας & Γεωπληροφορικής ΤΕ, ΤΕΙ Κεντρικής Μακεδονίας, Σέρρες, (kevan@teiser.gr)

Λέξεις Κλειδιά: GIS, Cloud GIS, Cloud Computing, ΓΠΣ, υπολογιστικό νέφος, Φυσικοί Πόροι

1. Εισαγωγή

Η αποτελεσματική διαχείριση των φυσικών πόρων βασίζεται στις εξής τρεις βασικές προϋποθέσεις: α) πληροφορία σχετικά με τους φυσικούς πόρους, β) σαφείς και συγκεκριμένες πολιτικές και γ) η συμμετοχή των εμπλεκόμενων φορέων-μερών. (Skidmore et.al., 1997). Τα Γεωγραφικά Πληροφοριακά Συστήματα (ΓΠΣ - GIS) διαδραματίζουν ένα σημαντικό ρόλο όσον αφορά τη διαχείριση των φυσικών πόρων λόγω της χωρικής τους έκτασης (από τοπική ως παγκόσμια κλίμακα) καθώς επίσης την πολυπλοκότητα και τον όγκο των δεδομένων (δορυφορικές εικόνες, χωρικά και περιγραφικά δεδομένα κ.α.) που πρέπει να διαχειριστούν, να αναλυθούν και να μετασχηματιστούν σε πολύτιμη πληροφορία για την υποστήριξη της λήψης αποφάσεων.

Στο πλαίσιο αυτό της διαχείρισης των φυσικών πόρων, τα ΓΠΣ και τα περιβαλλοντικά μοντέλα μπορούν εύκολα να συνδεθούν (Goodchild et. al., 1996) και να ενσωματωθούν με μοντέλα πολυ-κριτήριας ανάλυσης (Malczewski, 1999; Boroushaki and Malczewski, 2010). Στη βιβλιογραφία αρκετές εργασίες μπορούν βρεθούν σχετικά με την ενσωμάτωση και τη χρήση των ΓΠΣ για τη διαχείριση των υδατικών πόρων (McKinney and Cai, 2002; Aspinall and Pearson, 2000; Rahman, 2008; Al-Adamat et.

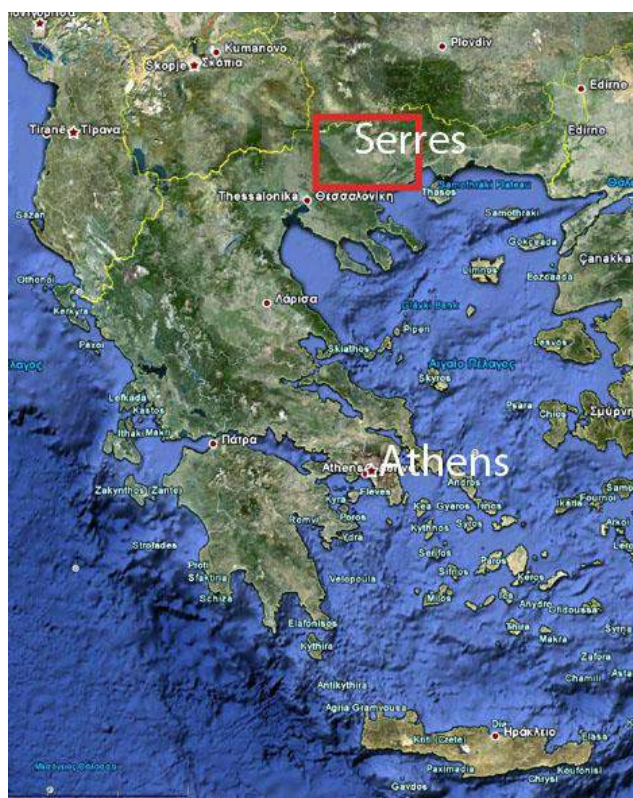
al., 2010; Zeng et al. 2012), την ανίχνευση των αλλαγών καλύψεων και χρήσεων γης (Malczewski, 1999; Castella et al., 2007; Yang et. al., 2008), την διαχείριση των δασικών οικοσυστημάτων (Douglas et. al., 1994; Greene et. al., 2010), την υποβάθμιση του εδάφους (Mallawaarachchi et. al., 1996), την διάβρωση του εδάφους (Baigorria and Romero, 2007; Gitas et.al., 2009) καθώς και του κινδύνου ερημοποίησης (Ladisa et.al. 2011).

Ένα πρακτικό πρόβλημα που σχετίζεται με την περιβαλλοντική ανάλυση μέσω των ΓΠΣ είναι η διάδοση της πληροφορίας μεταξύ των εμπλεκόμενων πλευρών που συμμετέχουν σε ένα έργο διαχείρισης. Τα τελευταία χρόνια οι εφαρμογές των ΓΠΣ πέρασαν στο διαδίκτυο (WebGIS), διευκολύνοντας με αυτόν τον τρόπο την διάχυση της πληροφορίας τόσο σε ομάδες επιστημονικού ενδιαφέροντος όσο και στους πολίτες, προωθώντας έτσι την ευαισθητοποίηση του κοινού και την συμμετοχή του στις διαδικασίες λήψης αποφάσεων (Boroushaki and Malczewski, 2010). Το πρόβλημα σε αυτές τις περιπτώσεις εδράζεται στο γεγονός ότι για την ανάπτυξη διαδικτυακών ΓΠΣ (Web-GIS) απαιτείται ένα αρκετά μεγάλο κόστος αρχικής επένδυσης όπως για την προμήθεια λογισμικού (software) και υπολογιστικών συστημάτων (hardware), το κόστος του εξειδικευμένου προσωπικού για την ανάπτυξη των εφαρμογών καθώς και το κόστος συντήρησης για την εύρυθμη λειτουργία τους.

Την τελευταία σχεδόν πενταετία, έχουν αναπτυχθεί στο χώρο της γεω-πληροφορικής πλατφόρμες που βασίζονται στην τεχνολογία του «υπολογιστικού νέφους» (cloud computing) και προσφέρονται ως «λογισμικά ως υπηρεσία (Software as a Service) με αποτέλεσμα την αντιμετώπιση των περιορισμών των διαδικτυακών ΓΠΣ που αναφέρθηκαν παραπάνω (Web-GIS). Οι υπηρεσίες αυτές παρέχονται μέσω του διαδικτύου χωρίς να απαιτείται η εγκατάσταση κανενός λογισμικού ή υπολογιστικού συστήματος και η πρόσβαση γίνεται με τη χρήση και μόνο ενός λογισμικού περιήγησης στο διαδίκτυο. Δεδομένης της νέας αυτής γενιάς υπηρεσιών, σκοπός της εργασίας ήταν η αξιολόγηση μίας τέτοιας πλατφόρμας (Cloud GIS) που προσφέρεται ως «Λογισμικό ως Υπηρεσία», όσον αφορά το κόστος, την ευκολία της χρήσης της, τις διαδικασίες διάδοσης των δεδομένων και των παραγόμενων χαρτών, καθώς και τις διαδικασίες δημιουργίας και ανάλυσης των γεωχωρικών δεδομένων. Η εφαρμογή που χρησιμοποιήθηκε ήταν η εφαρμογή 'Map Editor' της εταιρείας 'GIS Cloud' (www.giscloud.com).

2. Περιοχή μελέτης

Περιοχή μελέτης ήταν ο Νομός Σερρών (**Εικ.1**) και τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν αφορούσαν τόσο 'ψηφιδωτά' (raster) δεδομένα εδαφικής διάβρωσης όσο και διανυσματικά δεδομένα (vector) όπως υδρογραφικό δίκτυο, γεωλογικοί σχηματισμοί καθώς και καταγεγραμμένες θέσεις ρυπογόνων δραστηριοτήτων.



Εικόνα 1. Περιοχή μελέτης

3. Μεθοδολογία

3.1 Εδαφική διάβρωση

Για την εκτίμηση της εδαφικής διάβρωσης της περιοχής μελέτης, χρησιμοποιήθηκε η «Παγκόσμια Εξίσωση Απώλειας Εδάφους» (USLE), (Wischmeier and Smith, 1978) και συγκεκριμένα η «Τροποποιημένη Παγκόσμια Εξίσωση Απώλειας Εδάφους» (RUSLE) (Renard & Ferreira, 1993; Renard et al. 1997). Η μέση ετήσια απώλεια εδάφους υπολογίζεται σύμφωνα με την εξίσωση $A = R * K * LS * C * P$, όπου A: η εκτιμώμενη απώλεια εδάφους ανά έτος, R: ο παράγοντας διαβρωσιμότητας της βροχόπτωσης, K: ο παράγοντας διαβρωσιμότητας του εδάφους, LS: ο συνδυαστικός παράγοντας της κλίσης και του μήκους κλίσης, C: ο παράγοντας της κάλυψης γης και P: ο παράγοντας πρακτικών προστασίας του εδάφους από τη διάβρωση.

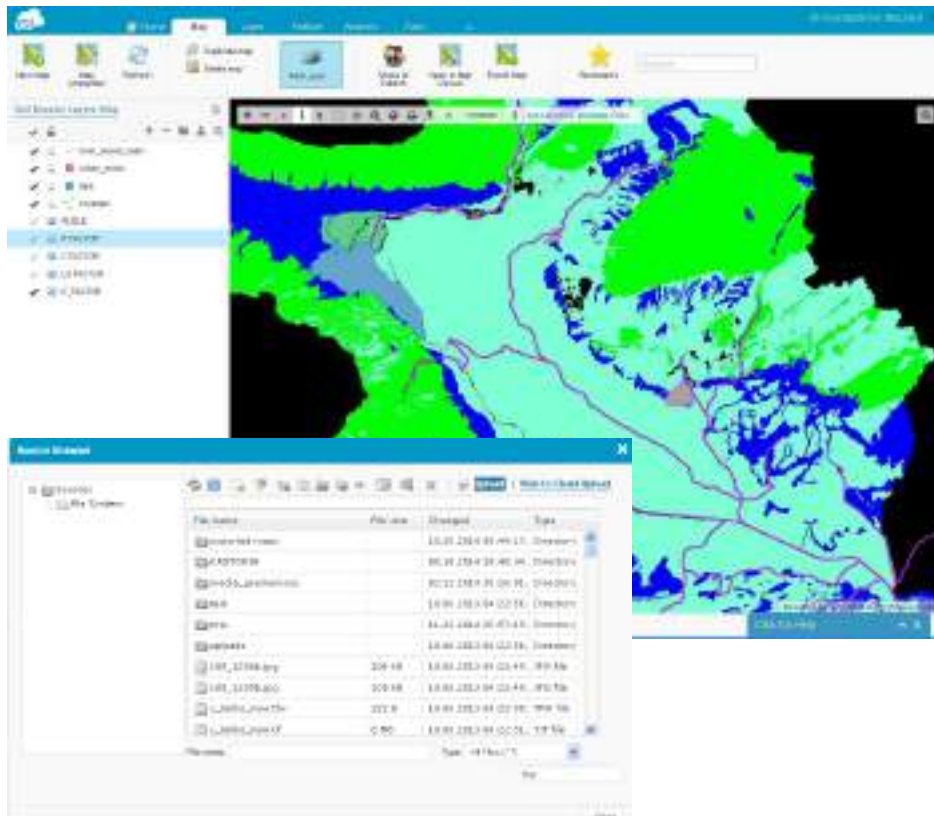
Η εκτίμηση της εδαφικής διάβρωσης πραγματοποιήθηκε σε περιβάλλον ΓΠΣ (ArcGIS) και για την εκτίμηση των παραμέτρων της «Παγκόσμια Εξίσωση Απώλειας Εδάφους» (USLE) χρησιμοποιήθηκαν τα παρακάτω δεδομένα και τροποποιήσεις. Πιο συγκεκριμένα, για τον παράγοντα (R) χρησιμοποιήθηκαν χρονοσειρά 25 ετών βροχομετρικών δεδομένων για τον υπολογισμό της μέσης ετήσιας βροχόπτωσης (P) (mm) και εν συνεχεία χρησιμοποιήθηκε η μεθοδολογία (Flambouris, 2008) για την εκτίμηση του παράγοντα (R) ($MJ * mm * ha^{-1} * hour^{-1} * year^{-1}$) σύμφωνα με την εξίσωση ($R = a * P$) όπου a: 0.6-1.0 για την περιοχή μελέτης ($MJ * ha^{-1} * hour^{-1} * year^{-1}$). Για την εκτίμηση του παράγοντα (K) χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα γεωλογικών χαρτών,

λαμβάνοντας υπόψη πεδογενετικές διεργασίες (Buol et.al. 2003) και λήφθησαν υπόψη οι συντελεστές K σύμφωνα με τις αντίστοιχες κλάσεις μηχανικής σύστασης (Stone and Hilborn, 2000). Ο συνδυαστικός παράγοντας επίδρασης στη διάβρωση της κλίσης και του μήκους κλίσης (Renard et.al. 1997) υπολογίστηκε σύμφωνα με την εξίσωση ($LS = 1.6 (As / 22.13)^{0.6} (\sin \beta / 0.0896)^{1.3}$) (Griffin et.al., 1988) και χρησιμοποιήθηκε η παρακάτω έκφραση υπολογισμού ($Pow([flowacc] * resolution / 22.1, 0.6) * Pow(\sin([slope] * 0.01745) / 0.09, 1.3)$). Τέλος, για την εκτίμηση του παράγοντα (C) χρησιμοποιήθηκε ο δείκτης βλάστηση (NDVI) που προήλθε από δορυφορικές εικόνες Landsat TM της περιοχής, δεδομένης της συσχέτισης του δείκτη (NDVI) με τον παράγοντα κάλυψης γης(C) (De Jong 1994; De Jong et al., 1999; De Jong and Riezebos, 1997; van der Knijff et.al. 2000; Wang et al., 2002; Karaburun, 2010).

3.2 Πλατφόρμα ΓΠΣ υπολογιστικού νέφους

3.2.1 Ενσωμάτωση δεδομένων και δημιουργία χαρτών

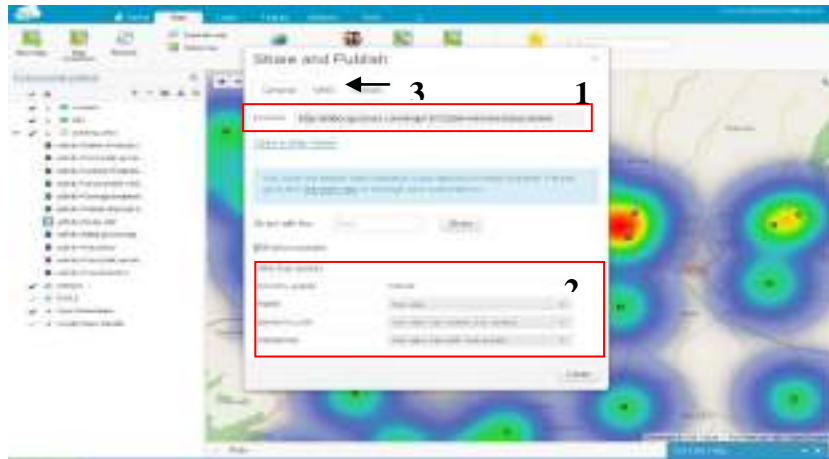
Για την πρόσβαση στην εφαρμογή Map Editor της GIS Cloud απαιτήθηκε η δημιουργία ενός λογαριασμού. Για την προσπέλαση στις υπηρεσίες χρειάζεται και μόνο ένας περιηγητής διαδικτύου (mozilla firefox, Google Chrome κλπ.). Η διαδικασία της χρήσης της εφαρμογής ξεκινάει με τη δημιουργία ενός «νέου χάρτη» στον οποίο δηλώνεται το σύστημα συντεταγμένων καθώς επίσης υπάρχει η δυνατότητα χρήση και χαρτών υποβάθρου (base maps) όπως (Google maps, Bing maps, Open Street maps κ.α.). Επίσης ως χάρτες υποβάθρου μπορούν να χρησιμοποιηθούν και άλλων παρόχων (WMS) όπως του Εθνικού Κτηματολογίου. Για την ενσωμάτωση των δεδομένων στο περιβάλλον του χάρτη απαιτείται η μεταφόρτωση (upload) των χωρικών δεδομένων η οποία προσφέρεται μέσα από την εφαρμογή. Επιπρόσθετα, τα δεδομένα μπορούν να μεταφορτωθούν και μέσω (FTP) καθώς και να συνδεθεί εξωτερική βάση γεωχωρικών δεδομένων (PostGIS). Στην περίπτωση αυτή, τα δεδομένα μεταφορτώθηκαν με την «τυπική διαδικασία» και αφορούσαν τόσο ψηφιδωτά δεδομένα (raster, geotiff) της εκτίμησης της εδαφικής διάβρωσης και των παραγόντων διάβρωσης καθώς και διανυσματικά δεδομένα (ESRI, shp), όπως υδρογραφικό δίκτυο, οικισμοί και οι ρυπόγονες δραστηριότητες της περιοχής (Εικ. 2). Το γραφικό περιβάλλον διεπαφής χρήστη (GUI) είναι απλοποιημένο και μπορεί να χρησιμοποιηθεί και από μη ειδικούς με μικρή εκπαίδευση. Πρέπει να σημειωθεί ότι υπάρχει και η δυνατότητα καταγραφής δεδομένων πεδίου σε πραγματικό χρόνο μέσω της εφαρμογής “Mobile Data Collection” για φορητές συσκευές (smartphone, tablet) και τη χρήση προσαρμοσμένων φορμών καταχώρησης δεδομένων (περιγραφικών, φωνής, πολυμέσων)



Εικόνα 2. Περιβάλλον διεπαφής χρήστη (GUI) της εφαρμογής Map Editor

3.2.2 Διάδοση δεδομένων και χαρτών

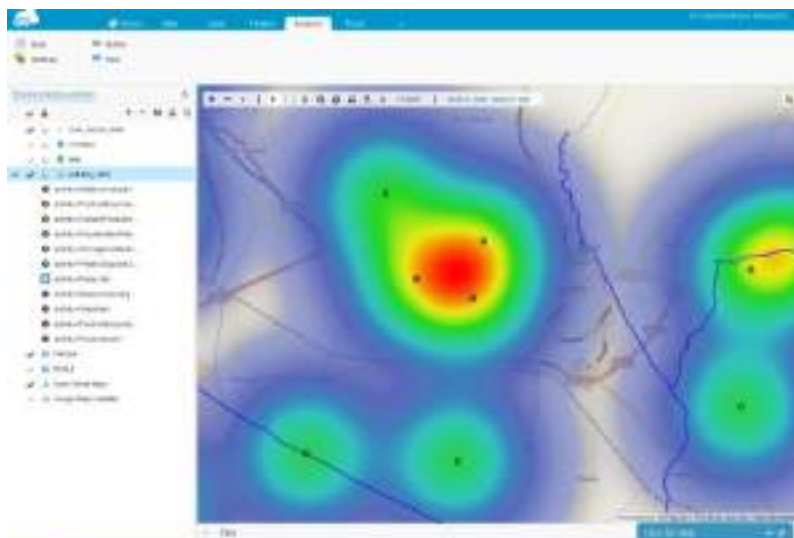
Δεδομένου ότι η προστασία των φυσικών πόρων απαιτεί την συνεργασία διαφορετικών επιστημονικών ειδικοτήτων, φορέων λήψης απόφασης καθώς και την συμμετοχή των πολιτών, η διάδοση των δεδομένων μεταξύ των εμπλεκόμενων μερών αποτελεί σημαντικό παράγοντα για την επιτυχή συνεργασία τους. Στην παρούσα εφαρμογή η διάδοση των δεδομένων και των χαρτών πραγματοποιείται με μεγάλη ευκολία, χωρίς να απαιτείται κάποια εξειδικευμένη διεργασία. Στην εικόνα που ακολουθεί (Εικ. 3) παρουσιάζεται το «παράθυρο διαλόγου» διάδοσης, και συγκεκριμένα ο χρήστης έχει τη δυνατότητα οι χάρτες είναι διαθέσιμοι στο ευρύτερο κοινό μέσα από μία αυτοματοποιημένη διαδικασία δημιουργίας ενός «υπερ-συνδέσμου» (permalink) καθώς και σε άλλους χρήστες της εφαρμογής, με διαβαθμισμένα δικαιώματα (επεξεργασίας, θέασης και εξαγωγής δεδομένων, ενημέρωσης δεδομένων). Επιπρόσθετα, η διάχυση των χαρτών μπορεί να πραγματοποιηθεί και μέσω 'Web Map Services' (WMS) έτσι ώστε να μπορούν να ενσωματωθούν και σε λογισμικά «desktop» ΓΠΣ. Με αυτόν τον τρόπο, αντιμετωπίζεται το πρόβλημα της συνεργασίας μεταξύ των εμπλεκόμενων φορέων, αφού είναι δυνατή η δημιουργία, επεξεργασία, θέαση και ενημέρωση δεδομένων για ένα 'έργο' από διαφορετικούς χρήστες την ίδια χρονική στιγμή.



Εικόνα 3. Παράθυρο διαλόγου «διάδοσης δεδομένων». (1. υπερσύνδεσμός, 2. καθορισμός δικαιωμάτων χρηστών, 3. χρήση WMS υπηρεσιών

3.2.3 Διαδικασίες δημιουργίας και επεξεργασίας δεδομένων

Όσον αφορά της διαδικασίες δημιουργίας, διαχείρισης και ανάλυσης των δεδομένων (WPS), ο χρήστης μπορεί να πραγματοποιήσει μια σειρά από διαδικασίες όπως, να δημιουργήσει εξ' αρχής διανυσματικά δεδομένα, να τροποποιήσει υφιστάμενα διανυσματικά δεδομένα, να πραγματοποιήσει χωρικά ερωτήματα και να επιλέξει στοιχεία ενός επιπέδου, να δημιουργήσει νέα διανυσματικά επίπεδα από επιλεγμένα στοιχεία, να ενοποιήσει διανυσματικά επίπεδα και εικόνες (Geotiff), να συνδέσει μη χωρικούς πίνακες δεδομένων με χωρικά διανυσματικά δεδομένα, να μετασχηματίσει τα δεδομένα σε διαφορετικά συστήματα συντεταγμένων, να πραγματοποιήσει διαδικασίες γεω – κωδικοποίησης. Επιπρόσθετα, παρέχονται διαδικασίες δημιουργίας ζωνών επιρροής (buffer), ανάλυσης πυκνότητας (heat map), μέτρησης εμβαδού καθώς και εύρεσης γειτονικών σημείων. Στην εικόνα που ακολουθεί (Εικ. 4) παρουσιάζεται το αποτέλεσμα της ανάλυσης πυκνότητας (heat map) που πραγματοποιήθηκε στο σημειακό επίπεδο των ρυπογόνων δραστηριοτήτων της περιοχής μελέτης.



Εικόνα 4. Αποτέλεσμα της διεργασίας ανάλυσης πυκνότητας

4. Αποτελέσματα

Όπως αναφέρθηκε και νωρίτερα, για τη διαχείριση των φυσικών πόρων απαιτείται η συντονισμένη προσπάθεια πολλών επιστημονικών ειδικοτήτων καθώς και διαφόρων φορέων λήψης αποφάσεων. Τα αποτελέσματα της διαδικασίας αξιολόγησης της εφαρμογής αυτής έδειξαν ότι αποτελεί μια απλή στη χρήση εφαρμογή ακόμη και από μη ειδικούς στο χώρο των ΓΠΣ καθώς παρέχει ένα απλοποιημένο γραφικό περιβάλλον διεπαφής χρήστη (GUI) με αποτέλεσμα την εύκολη και γρήγορη διαχείριση των δεδομένων και ανάκτησης της πληροφορίας. Επίσης, η διάδοση των δεδομένων και των χαρτών πραγματοποιείται με μία απλή διαδικασία, χωρίς την απαίτηση κάποιας εξειδικευμένης διεργασίας με αποτέλεσμα την διευκόλυνση της συνεργασίας μεταξύ των εμπλεκόμενων σε τέτοιου είδους δραστηριότητες. Εκτός από την διάδοση των πληροφοριών ο χρήστης είναι σε θέση να πραγματοποιήσει και βασικές διεργασίες ανάλυσης γεωχωρικών δεδομένων καθώς και να δημιουργήσει νέα δεδομένα. Επιπρόσθετα, η δυνατότητα καταγραφής δεδομένων πεδίου σε πραγματικό χρόνο μέσω της εφαρμογής “Mobile Data Collection” για φορητές συσκευές (smartphone, tablet) και τη χρήση προσαρμοσμένων φορμών καταχώρησης δεδομένων (περιγραφικών, φωνής, πολυμέσων) συμβάλει αποτελεσματικά σε δραστηριότητες παρακολούθησης των φυσικών πόρων και της ανανέωσης των δεδομένων. Τέλος, αξιοσημείωτή είναι η ταχύτητα απεικόνισης των δεδομένων (map rendering), γεγονός που δεν αποθαρρύνει το χρήστη στην απεικόνιση και χρησιμοποίηση μεγάλου μεγέθους δεδομένων τόσο διανυσματικών όσο και ψηφιδωτών.

Αναφορικά με το κόστος, η εφαρμογή αυτή έχει μικρό κόστος αρχική επένδυσης (συνδρομητική υπηρεσία) το οποίο υπολογίζεται σε 550 \$ ανά έτος και ανά χρήστη. Συγκρινόμενο με το αρχικό κόστος επένδυσης που χρειάζεται για την δημιουργία διαδικτυακών ΓΠΣ (Web GIS), χωρίς να ληφθεί υπόψη το κόστος συντήρησης και αναβάθμισης τους, έχει ως αποτέλεσμα να αποτελεί μια οικονομικά προσιτή λύση. Λαμβάνοντας υπόψη ότι πολύπλοκες διαδικασίες χωρικής ανάλυσης όπως η δημιουργία χαρτών εδαφικής διάβρωσης, όπως παρουσιάστηκε νωρίτερα, μπορούν πλέον να πραγματοποιηθούν από λογισμικά ΓΠΣ «ανοικτού κώδικά» (open source) όπως είναι το λογισμικό Quantum GIS (QGIS), συμβάλει ακόμη περισσότερο στην μείωση του κόστους.

5. Συμπεράσματα

Συμπερασματικά, μπορούμε να πούμε ότι αναμφίβολα τα ΓΠΣ αποτελούν ένα σημαντικό σύστημα για την διαχείριση και τη παρακολούθηση του περιβάλλοντος που ενδυναμώνεται ακόμη περισσότερο με την ανάπτυξη της τεχνολογίας και τη μετάβασή τους σε πλατφόρμες «υπολογιστικού νέφους». Ως αποτέλεσμα της μετάβασης αυτής, αποτελούν πλέον μια εφικτή και οικονομική λύση, με την οποία παρακάμπτονται τα εμπόδια για την συνεργασία μεταξύ των φορέων λήψης απόφασης καθώς και μεταξύ των διαφόρων συνεργαζόμενων επιστημονικών ομάδων.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Aspinall, R. and Pearson, D., 2000. Integrated geographical assessment of environmental condition in water catchments: Linking landscape ecology, environmental modelling and GIS. *Journal of Environmental Management*, 59, 299–319.
- Al-Adamat, R., Diabat, A., Shatnawi, G., 2010. Combining GIS with multicriteria decision making for siting water harvesting ponds in Northern Jordan. *Journal of Arid Environments*, 74, 1471-1477.
- Baigorria, G.A. and Romero, C.C., 2007. Assessment of erosion hotspots in a watershed: Integrating the WEPP model and GIS in a case study in the Peruvian Andes. *Environmental Modelling & Software*, 22, 1175 - 1183.
- Borouhaki, S. and Malczewski, J., 2010. Using the fuzzy majority approach for GIS-based multicriteria group decision-making. *Computers & Geosciences*, 36, 302–312.
- Borouhaki, S. and Malczewski, J., 2010. Measuring consensus for collaborative decision-making: A GIS-based approach. *Computers, Environment and Urban Systems*, 34, 322–332.
- Boyd, D.S. and Foody, G.M., 2011. An overview of recent remote sensing and GIS based research in ecological informatics. *Ecological Informatics*, 6, 25–36.
- Buol, S.W., Southard, R.J., Graham, R.C. and McDaniel, P.A., 2003. *Soil Genesis and Classification*. 5th edition (Iowa State University Press, Ames, Iowa, USA), 494.
- Castella, J.C., Kamb, S.P., Quang, D.D., Verburg, P.H., Hoanhb, C.T., 2007. Combining top-down and bottom-up modelling approaches of land use/cover change to support public policies: Application to sustainable management of natural resources in northern Vietnam. *Land Use Policy*, 24, 531–545.
- De Jong, S.M., 1994. Applications of reflective remote sensing for land degradation studies in a Mediterranean environment. In: *Netherlands Geographical Studies:book*, KNAG, Utrecht.
- De Jong, S.M. and Riezebos, H.T., 1997. SEMMED: a distributed approach to soil erosion modelling. In: Spiteri, A. Ed. *Remote Sensing '96: Integrated Applications for Risk Assessment and Disaster Prevention for the Mediterranean*. Balkema, Rotterdam, 199–204.
- De Jong, S.M., Paracchini, M.L., Bertolo, F., Folving, S., Megier, J., De Roo, A.P.J., 1999. Regional assessment of soil erosion using the distributed model SEMMED and remotely sensed data. *Catena*, 37 (3–4), 291–308.
- Douglas, L.K., Hsieh, Y.T. C., Choo, Y.K., Holtfrerich, D.R., 1994. Integration of a rule-based expert system with GIS through a relational database management system for forest resource management. *Computers and Electronics in Agriculture*, 11, 215-228.
- Gitas, I.Z., Douros, K., Minakou, C., Silleos, G.N., and Karydas, C.G., 2009. Multi-Temporal Soil Erosion Risk Assessment in N. Chalkidiki Using a Modified USLE Raster Model. *EARSeL eProceedings*, 8 (1), 40-52.

- Goodchild, M. F., Steyaert, L. T., Parks, B. O., Johnston, C., Maidment, D., Crane, M. and Glendinning (eds) (1996). *GIS and Environmental Modelling: Progress and Research Issues*, John Wiley and Sons Inc., New York.
- Greene, R., Luther, J.E., Devillers, R., Eddy, B., 2010. An approach to GIS-based multiple criteria decision analysis that integrates exploration and evaluation phases: Case study in a forest-dominated landscape. *Forest Ecology and Management*, 260, 2102–2114.
- Griffin, M.L., Beasley, D.B., Fletcher, J.G., and Foster, G.R., 1988. Estimating soil loss on topographically non uniform field and farm units. *Journal of Soil and Water Conservation*, 43, 326-331.
- Karaburun, A., 2010: Estimation of C factor for soil erosion using NDVI in Buyukcekmece watershed. *Ozean Journal of Applied Sciences*, 3 (1), 77-85.
- Ladisa, G., Todorovic, M., Liuzzi, T.G., 2011. A GIS-based approach for desertification risk assessment in Apulia region, SE Italy. *Physics and Chemistry of the Earth*, available online.
- Lal, R., 1985. Soil erosion and sediment transport research in tropical Africa. *Hydrological Sciences Journal*, 30, (2), 239 – 256.
- Malczewski, J., 1999. *GIS and Multi-Criteria Decision Analysis*. JohnWiley & Sons, Inc., New York.
- Mallawaarachchi, T., Walker, P.A., Young, M.D., Smyth, R.E. and Lynch, H.S., 1996. GIS-based Integrated Modelling Systems for Natural Resource Management. *Agricultural Systems*, 50, 169-189.
- McCool, D.K., Foster, G.R., Mutchler, C.K. and Meyer, L.D., 1989. Revised slope length factor for the Universal Soil Loss Equation. *Transactions of the ASAE*, 32 (5), 1571-1576.
- McKinney, D.C., and Cai, X., 2002. Linking GIS and water resources management models: an object-oriented method. *Environmental Modelling & Software*, 17, 413–425.
- Nearing, M.A., 1997. A single, continuous function for slope steepness influence on soil loss. *Soil Science Society of America journal*, 61 (3), 917-919.
- Rahman, A., 2008. A GIS based DRASTIC model for assessing groundwater vulnerability in shallow aquifer in Aligarh, India. *Applied Geography*, 28 (1), 32–53.
- Renard, K.G., Foster, G.R., Weesies, G.A. and McCool, D.K., 1997. Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). *Agric. Handb.*, US Department of Agriculture, Washington, DC, vol.703.
- Skidmore, A. K., Bijker, W., Schmidt, K., & Kumar, L., 1997. Use of remote sensing and GIS for sustainable land management. *ITC Journal*, 3, 302 – 315 (www.itc.nl/library/papers_1997/general/skidmore_use.pdf)
- Stone, R.P. and Hilborn, D., 2000. Universal Soil Loss Equation (USLE). Factsheet, Agricultural Engineering, Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs, Ontario, 1 – 8,
- Wang, G., Wentz, S., Gertner, G.Z., Anderson, A., 2002. Improvement in mapping vegetation cover factor for the universal soil loss equation by geostatistical methods

with Landsat Thematic Mapper images. *International Journal of Remote Sensing*, 23 (18), 3649–3667.

Wischmeier, W.H., Johnson, C.B. and Cross, B.W., 1971. A soil erodibility nomograph for farmland and construction sites. *Journal of Soil and Water Conservation*, 26 (5), 189-193.

Wischmeier W. H. and Smith, D. P., 1978. Predicting Rainfall Erosion Losses - a Guide for Selection for Conservation Planning. *Agricultural Handbook* (U.S. Dept of Agriculture), 537, 69.

Yang, F., Zeng, G., Du, C., Tang, L., Zhou, J., Li, Z., 2008. Spatial analyzing system for urban land-use management based on GIS and multi-criteria assessment modelling. *Progress in Natural Science*, 18, 279–1284

Zeng, Y., Cai, Y., Jia, P., Jee, H., 2012. Development of a web-based decision support system for supporting integrated water resources management in Daegu city, South Korea. *Expert Systems with Applications*, 39, 10091–10102.