

ΘΕΣΣΑΛΙΚΟΣ ΚΑΜΠΟΣ , ΕΝΑ ΔΙΑΧΡΟΝΙΚΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΝΕΡΩΝ ΜΕ ΠΟΛΛΑΠΛΕΣ ΕΚΔΟΧΕΣ

Π. Σαμπατακάκης¹ , Μ. Στεφούλη¹, Π. Κρασάκης²

¹ Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών και Μελετών (Ι.Γ.Μ.Ε.),
Σπ. Λούη 1, Γ' Είσοδος, Ολυμπιακό Χωριό, 13677, Αχαρναί, Αττική

² Εθνικό Κέντρο Έρευνας & Τεχνολογικής Ανάπτυξης, Ινστιτούτο Χημικών Διεργασιών
& Ενεργειακών Πόρων (Ε.Κ.Ε.Τ.Α./Ι.Δ.Ε.Π.), Αιγιαλείας 52, 15125, Μαρούσι, Αττική,
e-mail: p_krassakis@hotmail.gr

Λέξεις κλειδιά : υδατικοί πόροι, ήπια τεχνητά έργα, δορυφορικά συστήματα,
περιβαλλοντικοί δείκτες, γεωγραφικά πληροφοριακά συστήματα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η κάλυψη των αναγκών σε νερό του Θεσσαλικού Κάμπου εξακολουθεί να αποτελεί για την χώρα και τους αρμόδιους φορείς τοπικούς και κεντρικούς , ένα διαχρονικό ζήτημα. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός, ότι σε περιόδους θέρους και ξηρασίας οι αρδευτικές ανάγκες είναι αυξημένες σε πολύ μεγάλο ποσοστό μεγιστοποιώντας τα προβλήματα σε σχέση με την ορθολογική διαχείριση των υδάτων. Περιοχές με τόσο μεγάλο εύρος αρδευτικών δραστηριοτήτων αλλά και τόσης σημαντικότητας από την πλευρά του αγροτικού κεφαλαίου και με βάση τις μεγάλες διακυμάνσεις στο ύψος των βροχοπτώσεων, δεν μπορεί να βασίζεται μόνο σε μία διαχειριστική παράμετρο, εκείνης των ταμιευτήρων. Πρέπει να διευκρινιστεί ότι η **παρακάτω πρόταση σε καμιά περίπτωση δεν έρχεται σε αντιπαράθεση με τις παλαιότερες προτάσεις και τα έργα που είναι να πραγματοποιηθούν ή δεν ολοκληρώθηκαν.**

Η υπό εξέταση περιοχή παρουσιάζει μία μοναδικότητα καθώς συγκεντρώνει τέσσερα σημαντικά αρνητικά ζητήματα:

- Έχει εκπονηθεί ο μεγαλύτερος αριθμός ερευνητικών προγραμμάτων και μελετών σχετικά με την διαχείριση των υδατικών πόρων
- Έχουν σχεδιαστεί τα σημαντικότερα αρδευτικά έργα από το 1925 μέχρι και σήμερα
- Το φάσμα της έλλειψης αρδευτικού νερού επανέρχεται κάθε χρόνο,
- Η επιστημονική κοινότητα έχει παρουσιάσει τόσες διαφορετικές εκτιμήσεις ως προς τα αποθέματα αλλά και ως προς τις πραγματικές ανάγκες.

Η παρούσα εργασία δεν επιχειρεί μία επαναπροσέγγιση του μεγέθους των αναγκών σε νερό ενώ λαμβάνει σαν δεδομένο την εκτίμηση που έχει δοθεί στο Διαχειριστικό Σχέδιο που ολοκληρώθηκε το 2014 στα πλαίσια των υποχρεώσεων της χώρας σε σχέση με την Ευρωπαϊκή Οδηγία 2000/60.

Επιχειρείται μια επαναξιολόγηση των μεγεθών, τόσο ως προς τις ανάγκες, όσο και ως προς την αιτιολογική αξιοποίηση των υδατικών πόρων. Σκοπός είναι η εφαρμογή και η επιλογή κατάλληλων μέτρων, ώστε οι ανάγκες σε νερό να μην κινούνται σε οριακά επίπεδα. από πλευράς διαθέσιμων υδατικών πόρων.

Σύμφωνα με την πιο πρόσφατη επανεκτίμηση των αρδευτικών αναγκών, προκύπτει ότι αυτές κινούνται στο επίπεδο των 1.3 δις M³ / ετησίως σε αντίθεση με παλαιότερες εκτιμήσεις (Μ.Π.Ε. 2006) που τις προσέγγιζαν σε 1. 8 δις M³/ετησίως. Επίσης οι πιο πρόσφατες επικαιροποιημένες εκτιμήσεις στο υδατικό ισοζύγιο που

πραγματοποιήθηκαν από το ΙΓΜΕ, προσθέτουν σημαντικά νέα συμπεράσματα σχετικά με τις βασικές υδραυλικές παραμέτρους (Μανάκος Α. 2012 , Μανάκος κ.α. 2014), από τις οποίες εξαρτώνται και οι τεχνικές παρεμβάσεις που δυνητικά μπορούν να πραγματοποιηθούν, ώστε να αναβαθμιστούν οι ποσότητες του υπόγειου νερού.

Ένα καθοριστικό στοιχείο που προκύπτει από το σύνολο αυτών των ερευνητικών εργασιών του ΙΓΜΕ, αλλά και άλλων φορέων, είναι **ότι οι υπόγειοι υδροφόροι που επιδέχονται εύκολα τεχνητό εμπλουτισμό αναπτύσσονται σε βάθη < 100μ. σε όλο το Πεδίο Ανατολικής και Δυτικής Λεκάνης**. Αυτή η υδρογεωλογική παράμετρος είναι σημαντική και θα μπορούσε να έχει αξιοποιηθεί, σε συνδυασμό και με άλλα τεχνικά έργα που έχουν αναληφθεί μέχρι σήμερα και που δεν έχουν ολοκληρωθεί σωστά.

Η πρόταση της παρούσας εργασίας συνίσταται: α) στην ανάλυση των τοπικών υδρολογικών και υδρογεωλογικών συνθηκών σε δύο πιλοτικές ζώνες περιφερειακά του Πεδίου για την εφαρμογή ήπιων μορφών "**τεχνητού εμπλουτισμό**" των ρηχών υπόγειων υδροφόρων , επιχειρώντας την "**περιφερειακή υδραυλική φόρτιση**". β) οι πιλοτικές ζώνες θα επιλεγούν με βάση την υψηλή υδροπερατότητα αλλά και με γνώμονα τη μηδενική όχληση στις υφιστάμενες χρήσεις γης, γ) θα προσφέρουν το μικρότερο βαθμό δυσκολίας στην ανάπτυξη των τεχνικών παρεμβάσεων εμπλουτισμού. Πρόκειται για παρεμβάσεις που δεν αλλοιώνουν τις γεωμορφολογικές παραμέτρους, ενώ ταυτόχρονα δεν διαταράσσουν το υφιστάμενο καθεστώς των χρήσεων γης. Επιπρόσθετα αξιοποιούν μόνο τις γραμμικές ζώνες του υδρογραφικού δικτύου καθώς και τις ελεύθερες επιφάνειες μεγάλης υδροπερατότητας, σε χρονικές περιόδους μη πλημμυρικών απορροών.

Αξιοποιώντας τη χρήση ειδικών τεχνικών που παρέχει η **σύγχρονη τηλεπισκόπηση**, είναι εφικτή η παρακολούθηση της λειτουργίας αυτών των παρεμβάσεων, συνδυαστικά με άλλες παραμέτρους που έχουν σχέση με **περιβαλλοντικούς δείκτες** χρήσιμους την εξοικονόμηση νερού.

Επιπρόσθετα, με τη χρήση συνδυασμού δορυφορικών και διανυσματικών δεδομένων σε κατάλληλες **ομαδοποιημένες γεωβάσεις GIS**, η παρακολούθηση αλλά και η εξέλιξη της λειτουργίας των ήπιων αυτών τεχνικών έργων είναι πλέον δυνατή, αφού σε καθημερινή βάση είναι εφικτό να παρατηρούνται σημαντικοί **περιβαλλοντικοί δείκτες (NDVI, NDWI, Χλωροφύλλη A , κ.α.)** , που σχετίζονται άμεσα με την ποιότητα των υδάτων αλλά και την κατάσταση των καλλιεργειών.

Με κύριο στόχο την ανάδειξη της αποτελεσματικότητας αυτών των προτάσεων προτείνεται σε πρώτη φάση η εκπόνηση μιας σύντομης μελέτης, με σκοπό την επιλογή δύο ζωνών (μία στην κάθε λεκάνη, Δυτική και Ανατολική) για Πιλοτική Εφαρμογή αυτής της μεθοδολογίας.

Αξίζει να σημειωθεί ότι τα κόστη δεν είναι απαγορευτικά για τα μεγέθη μιας Περιφέρειας , τόσο για την εκπόνηση της πρόδρομης μελέτης όσο και για την εφαρμογή της.

Εν κατακλείδι ένα έργο αυτής της κλίμακας μπορεί να σχεδιαστεί και να εκτελεστεί σε επίπεδο Περιφέρειας με την συνδρομή εξειδικευμένου επιστημονικού και τεχνικού προσωπικού.

1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η παρούσα εργασία είναι αποτέλεσμα της συγκέντρωσης και επεξεργασίας στοιχείων , τα οποία εμπεριέχονται σε πλήθος μελετών και ερευνών, που αναπτύχθηκαν μετά το 1970 μέχρι και σήμερα στην περιοχή του Θεσσαλικού Κάμπου. Κυρίως στηρίζεται σε πρωτογενή στοιχεία του ΙΓΜΕ, τα οποία εξασφαλίστηκαν μέσα από συνεχή υδρογεωλογικά προγράμματα που υλοποίησε ο Φορέας αυτός με χρηματοδοτήσεις των ΚΠΣ. Μέσω των προγραμμάτων αυτών πραγματοποιήθηκαν συχνές χρονοσειρές υδρομετρήσεων σε ένα αρκετά πυκνό δίκτυο υδροσημείων, δημιουργώντας μια ιδιαίτερα ανεπτυγμένη και αξιόπιστη βάση υδρογεωλογικών δεδομένων.

Στόχος της εργασίας δεν αποτελεί η επαναξιολόγηση των αναγκών σε νερό, τις οποίες εκλαμβάνει σαν δεδομένες και έτσι όπως αυτές προσδιορίζονται στο εγκεκριμένο Διαχειριστικό Σχέδιο του Υδατικού Διαμερίσματος Θεσσαλίας. Επίσης δεν επιχειρείται επαναξιολόγηση του υδατικού δυναμικού (επιφανειακού και υπόγειου), ώστε απλά να προστεθεί μία νέα μελέτη σε αυτές που έχουν ήδη πραγματοποιηθεί. Δυστυχώς την τελευταία 40ετία έχουν παραχθεί πάρα πολλές εκτιμήσεις, όπου η κάθε νέα έκδοση σχεδόν αναιρεί σε σημαντικό βαθμό την προηγούμενη.

Χαρακτηριστικό είναι το γεγονός ότι μετά το 1970 οι συστηματικά αρδευόμενες καλλιέργειες αναπτύσσονται ραγδαία στην επικράτεια του Ελληνικού χώρου, χωρίς όμως την πραγματοποίηση του ανάλογου σχεδιασμού στον τομέα της διαχείρισης των υδατικών πόρων. Μεγάλο μειονέκτημα αποτελεί το γεγονός ότι κατά την περίοδο αυτή δεν υπήρξε πρόνοια για ένα **"Σύστημα Υδροαποθεμάτων Ασφάλειας"** (Σ.Υ.Α.). Με βάση τα υδρολογικά και υδρογεωλογικά στοιχεία που διαθέτει σε πανελλαδική κλίμακα το ΙΓΜΕ, προκύπτει το γεγονός ότι στην διάρκεια ενός έντονα ξηρού υδρολογικού έτους, όπως για παράδειγμα το διάστημα 1989 - 1990, είναι εφικτή η πρόκληση σημαντικών μειώσεων στα υπόγεια νερά >40 %, καθώς και μεγαλύτερες στα επιφανειακά στο ίδιο υδρολογικό έτος. Από τα παραπάνω προκύπτει πως ένα Σ.Υ.Α. θα πρέπει να σχεδιαστεί ώστε να μπορεί να υποστηρίξει ανάλογες ετήσιες διακυμάνσεις.

Οι αρδευτικές ανάγκες του Υδατικού Διαμερίσματος Θεσσαλίας με βάση το πρόσφατο Σχέδιο Διαχείρισης εκτιμήθηκαν σε 1,3 εκ. M³ /ετησίως περίπου. Όμως σε ένα έντονα ξηρό υδρολογικό έτος η "αντοχή" των υδροαποθεμάτων δοκιμάζεται σε διπλάσιο βαθμό διότι:

- Επεκτείνεται χρονικά η αρδευτική περίοδος και αυξάνονται οι ανάγκες σε νερό ανά στρέμμα
- Μειώνονται τα υδροαποθέματα.

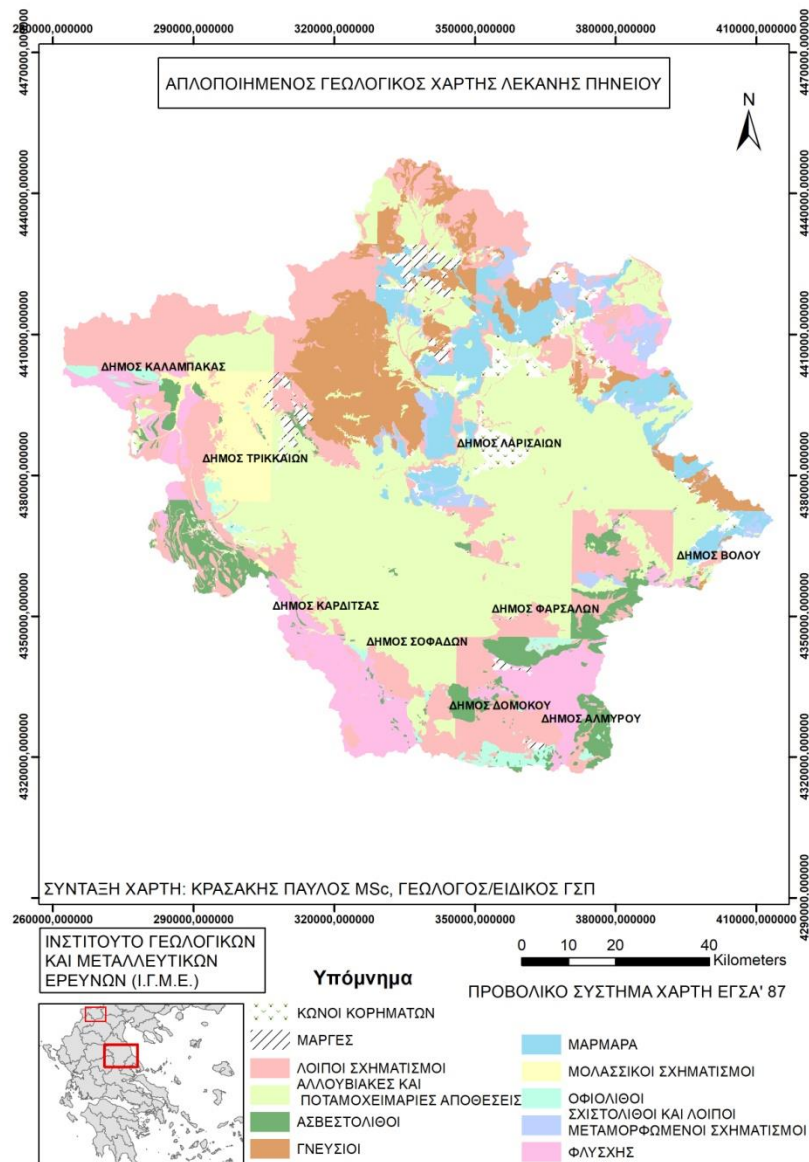
Γίνεται αντιληπτό ότι σε ένα τέτοιο συνδυασμό αρνητικών παραγόντων, το άνοιγμα που δημιουργείται στην σχέση **«ελαχιστοποίηση υδροαποθεμάτων / μεγιστοποίηση αναγκών» (ΕΥ/ΜΑ)** είναι τεράστιο, και αυτό δεν ισχύει μόνο στην περίπτωση του Θεσσαλικού Πεδίου.

Εκτός από το παραπάνω σενάριο του ενός ξηρού υδρολογικού έτους, υπάρχει και ένας άλλος αρνητικός παράγοντας, ο οποίος μπορεί να προκαλέσει σημαντική μείωση των υδροαποθεμάτων, και αποτελεί εκείνο των **«συσσωρευμένων συνεχών ξηρών ετών»**. Ο συνδυασμός αυτός έχει λάβει χώρα τουλάχιστον τρεις φορές μετά την έντονη ξηρασία του 1989-1990 έως και σήμερα. Ως δόκιμος όρος στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε η **«σωρευτική μείωση υδροαποθεμάτων»**. Αναλυτικότερα προσδιορίζεται ως η μείωση που μπορεί να δημιουργηθεί στα υδροαποθέματα μέσα από δύο ή και περισσότερα συνεχή ξηρά υδρολογικά έτη.

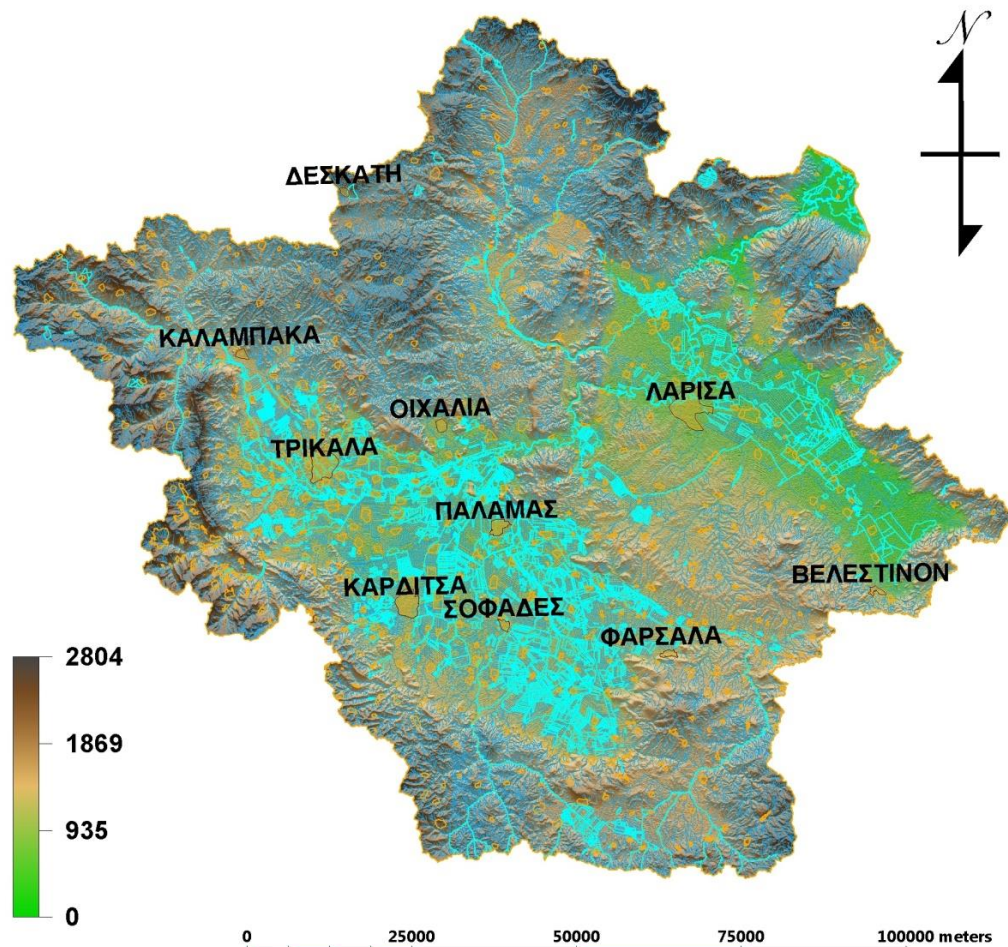
Στο σημείο αυτό πρέπει να αναφερθεί η μονοδιάστατη προσέγγιση που πραγματοποιείται τις περισσότερες φορές στις εκπονούμενες μελέτες για την εκτίμηση μόνο των "μέσων όρων" ενός υδατικού ισοζυγίου (**ανάγκες σε νερό / διαθέσιμοι υδατικοί πόροι**), αφού αποτελεί σε αρκετές περιπτώσεις την αιτία πρόκλησης αστοχιών στο σχεδιασμό και στην επιλογή των κατάλληλων τεχνικών έργων .

2. ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΚΑΙ ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Αξιοποιώντας τα στοιχεία των γεωλογικών αποτυπώσεων του ΙΓΜΕ της Λεκάνης του Θεσσαλικού Πεδίου παρατηρείται ότι σε γενικές γραμμές οι δομές αυτές έχουν τα «κλασικά» χαρακτηριστικά των υπολοίπων λεκανών απορροής που αναπτύσσονται στον ελλαδικό χώρο.



Σχήμα 1α) Απλοποιημένος Γεωλογικός χάρτης της Λεκάνης απορροής Πηνειού ποταμού: Ανατολικό & Δυτικό τμήμα λεκάνης



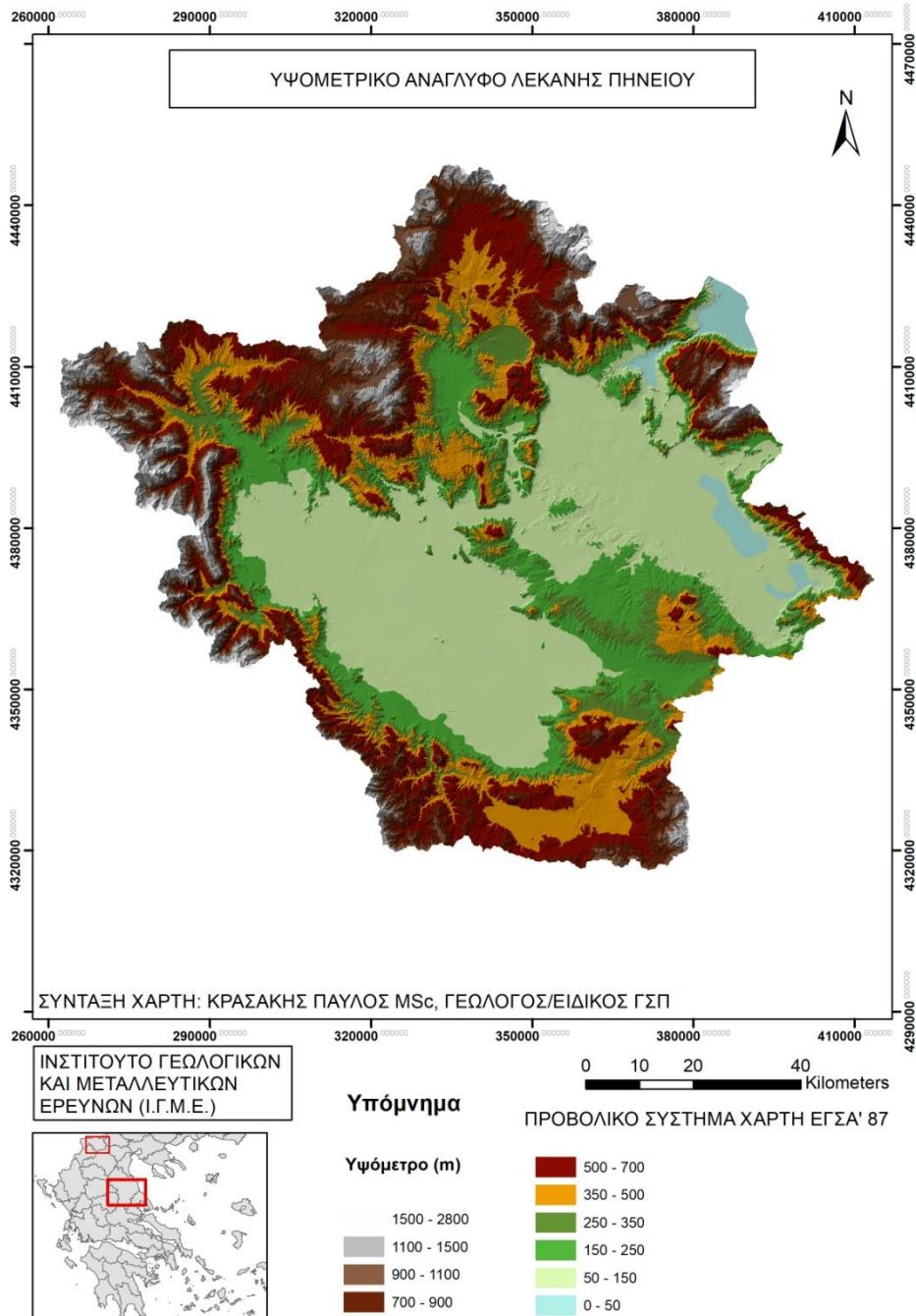
Σχήμα 1β) Λεκάνη απορροής Πηνειού ποταμού: Ανατολικό & Δυτικό τμήμα λεκάνης

Συγκεκριμένα στην περίπτωση του Θεσσαλικού πεδίου, διαμορφώνονται δύο λεκάνες, η Δυτική και η Ανατολική, των οποίων τα νερά (επιφανειακά και υπόγεια) έχουν υδραυλική επικοινωνία.

Τα μεγάλα πάχη των κοκκωδών σχηματισμών (τεταρτογενή και νεογενή) στο πεδινό τμήμα επιτρέπουν την δημιουργία επάλληλων υδροφόρων με μεγάλη ποικιλία των υδραυλικών παραμέτρων, των οποίων τα χαρακτηριστικά έχουν αναδειχθεί μέσα από τις πολυάριθμες υδρογεωλογικές έρευνες και μελέτες.

Οι ορεινοί όγκοι οι οποίοι οριοθετούν τις δύο λεκάνες, δομούνται σε μεγάλο βαθμό από ασβεστόλιθους, εντός των οποίων αναπτύσσονται μεγάλης δυναμικότητας υδροφορίες. Τα υδροσυστήματα αυτά έχουν μελετηθεί ενδελεχώς και είναι αξιολογημένη η υδραυλική επικοινωνία τους με τους κοκκώδεις υδροφόρους σχηματισμούς του Πεδίου. Επιπρόσθετα, αποτελούν τον αποκλειστικό τροφοδότη των επιφανειακών απορροών στην διάρκεια της ξηρής περιόδου κάθε υδρολογικού έτους.

Το Θεσσαλικό Πεδίο ενώ υπεραντλείται τα τελευταία 30 έτη, παρατηρείται μία σχετική «ισορροπία» τα τελευταία 8 χρόνια. Το γεγονός αυτό δικαιολογείται από την σημειώνεται περαιτέρω σημαντική επιδείνωση, χωρίς όμως να αποκλείεται το γεγονός ότι δεν υπάρχουν τοπικές εξαιρέσεις.



Σχήμα 1γ) Μορφολογικό ανάγλυφο ΤΙΝ της Λεκάνης απορροής Πηνειού ποταμού: Ανατολικό & Δυτικό τμήμα λεκάνης

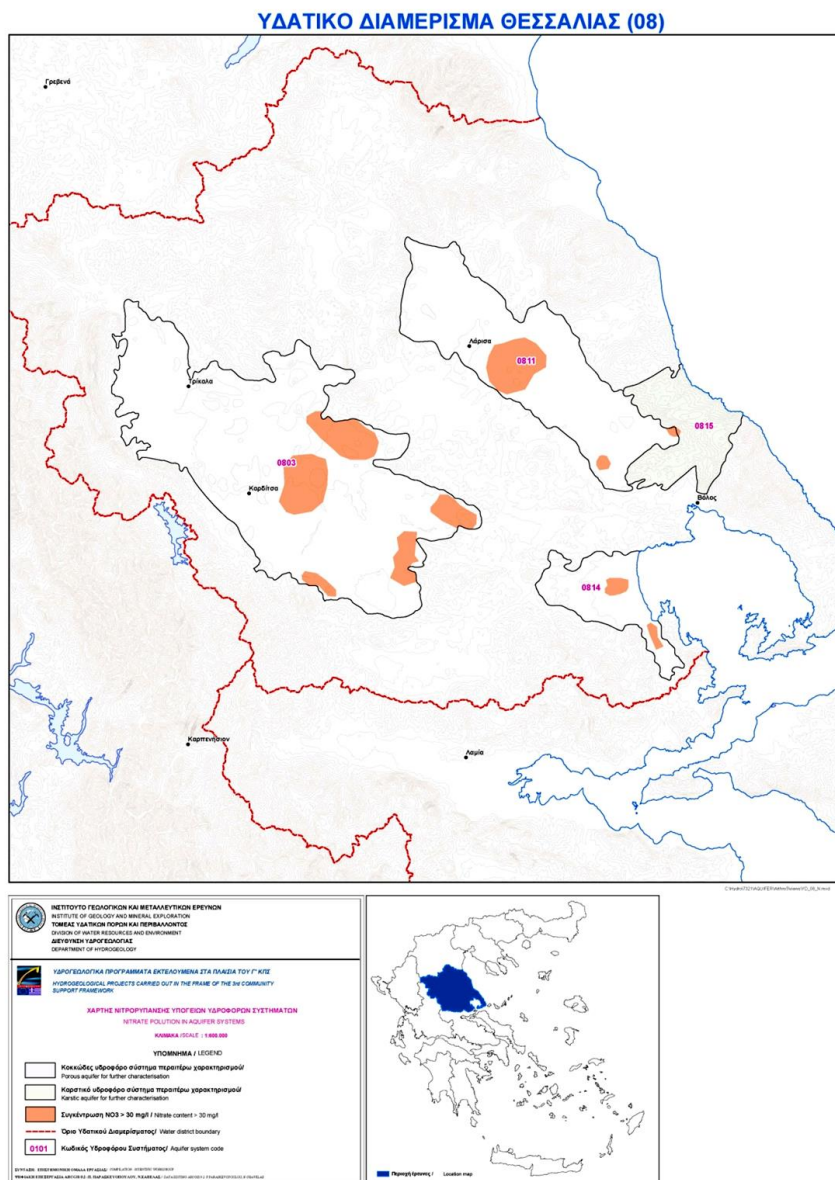
Οι διακυμάνσεις του βάθους της στάθμης σε αντιπροσωπευτικές γεωτρήσεις και με χρονική αφετηρία τις απαρχές του 1970 μέχρι και σήμερα, αποτελεί την πιο αξιόπιστη μεθοδολογία για τον υπολογισμό του ελλείμματος που έχει δημιουργηθεί στα υπόγεια νερά. Δυστυχώς ούτε και σε αυτό οι διαφορετικές ερευνητικές εργασίες και μελέτες συμπίπτουν.

Οι χάρτες συγκεκριμένων ποιοτικών "δεικτών" που παρουσιάζονται στην παρούσα εργασία για τα υπόγεια νερά του Θεσσαλικού Πεδίου, αντιπροσωπεύουν μετρήσεις που διήρκεσαν περισσότερο από μια 15ετία. Παρόλο που δεν έχουν γίνει πρόσφατες επικαιροποιήσεις στους δείκτες αυτούς με την αντίστοιχη χωροχρονική

πυκνότητα, εκτιμάται ότι δεν έχουν διαφοροποιηθεί μέχρι σήμερα αφού το “status” των αντλήσεων και των αρδεύσεων δεν έχει αλλάξει σημαντικά τα τελευταία 7 χρόνια. Άρα τα ποιοτικά στοιχεία που αποτυπώνονται σε αυτούς τους χάρτες αποτυπώνουν την «**παραμένουσα κατάσταση**».

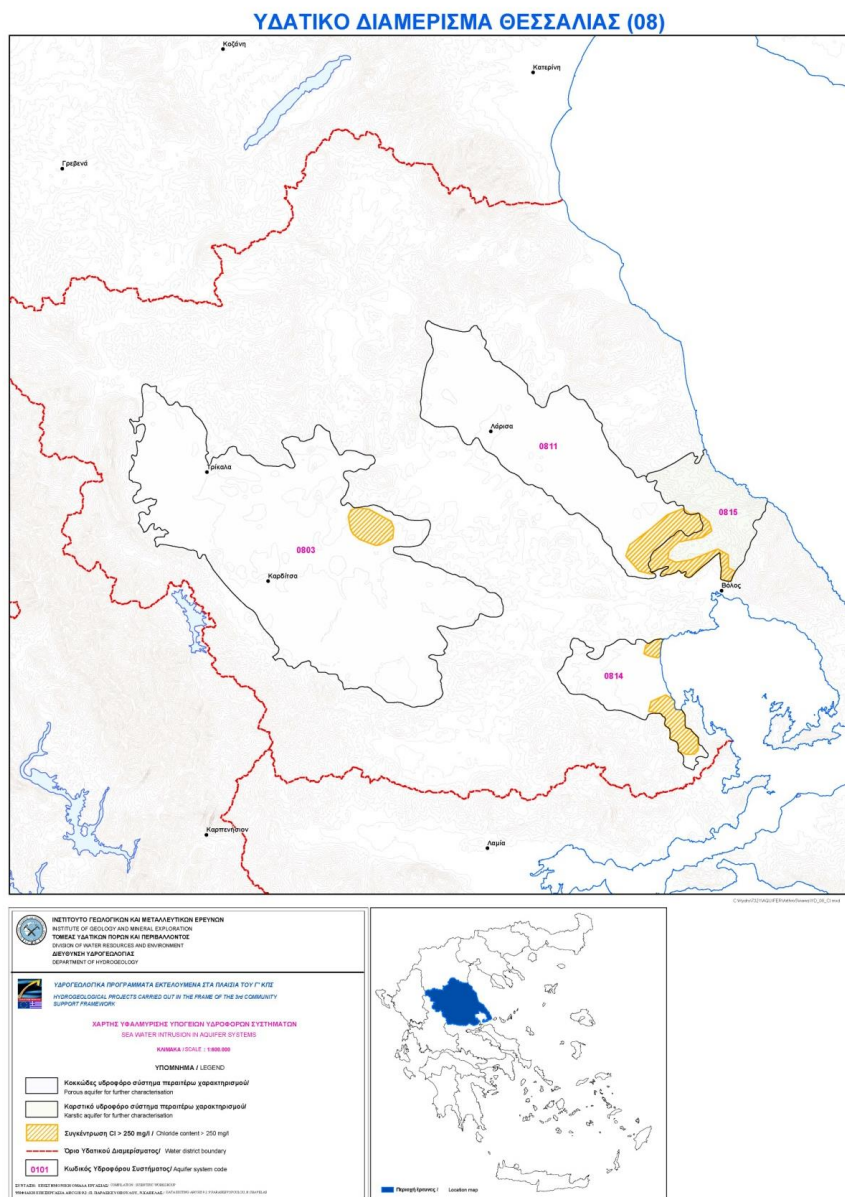
Από την απεικόνιση συγκεκριμένων δεικτών στους εν λόγω χάρτες για τα υπόγεια νερά προκύπτουν σημαντικά συμπεράσματα,. Όπως ότι η κακή κατάσταση σε ορισμένες περιοχές είναι αναστρέψιμη και σε άλλες όχι. Πιο συγκεκριμένα :

- Στον **Χάρτη της νιτρορύπανσης** οι ζώνες στις οποίες έχουν «μονιμοποιηθεί» τα φαινόμενα χρήζουν εξυγιαντικής παρέμβασης που συνίσταται στην τακτική παρακολούθηση των τιμών σε αντιπροσωπευτικές γεωτρήσεις και με παράλληλη ενημέρωση των χρηστών για μείωση της χρήσης των αζωτούχων λιπασμάτων και την χρήση ενδεχόμενα εναλλακτικών βελτιωτικών. Οι συχνές αντλήσεις από την μια αποτελούν πρόβλημα στην εξάντληση των υπόγειων νερών, από τη άλλη είναι το σημαντικότερο προστατευτικό σύστημα για να μην γίνει συσσώρευση νιτρικών μέσω της απαζώτωσης. Σε διαφορετική περίπτωση αρκετοί υπόγειοι υδροφόροι της χώρας μας εδώ και χρόνια θα είχαν καταστεί ακατάλληλοι για κάθε χρήση.



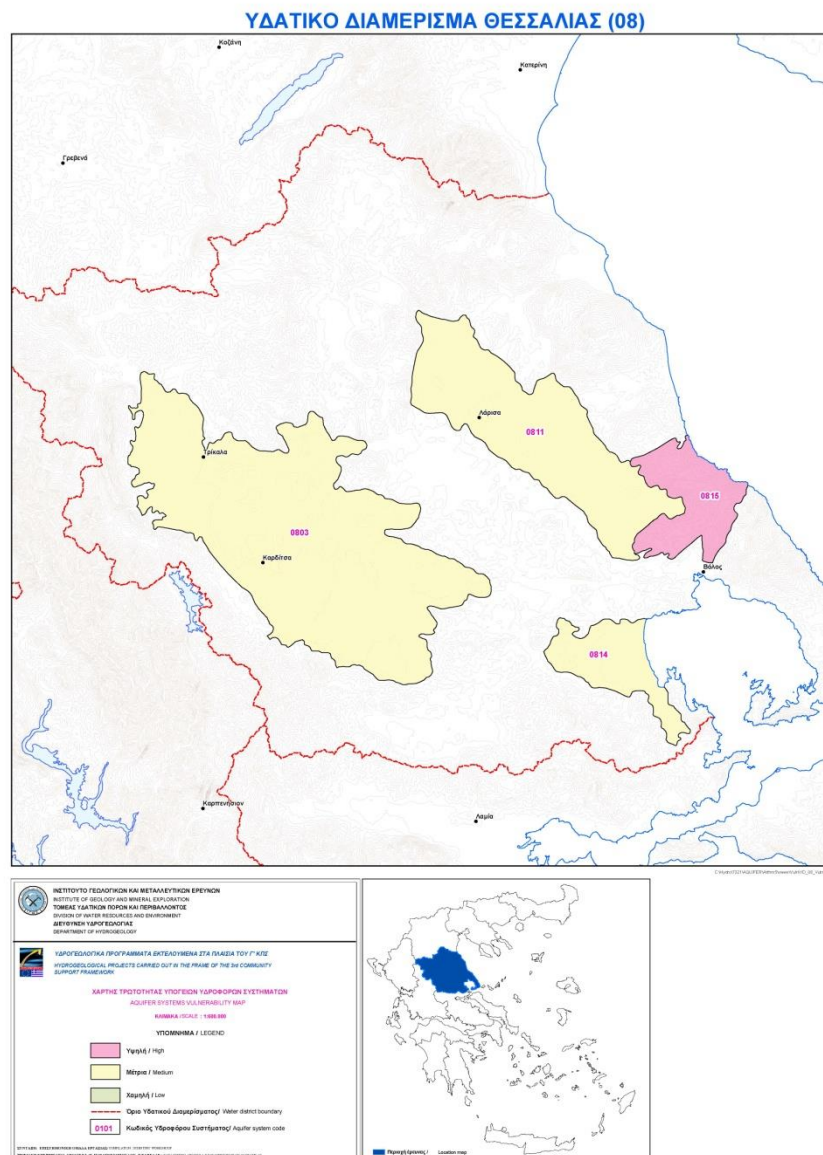
Σχήμα 3 Χάρτης Νιτρορύπανσης

- Στον **Χάρτη των χλωριόντων** , παρατηρούνται τρεις ζώνες υφαλμύρωσης. Η μία περίπτωση από αυτές οφείλεται στον ανθρώπινο παράγοντα δηλαδή στην υπεράντληση. και πρόκειται για την υφάλμυρη ζώνη στην δυτική Μαγνησία.. Η υφάλμυρη ζώνη στο νοτιοανατολικό τμήμα της Θεσσαλίας συνδέεται κατά κύριο λόγο με τις υδρογεωλογικές δομές της περιοχής. Ο ρόλος των διανοιγμένων υδρογεωτρήσεων έχει επιδεινώσει περαιτέρω το φαινόμενο, προκαλώντας φαινόμενα «παραμένουσας κατάστασης». Η παρουσία αυξημένων τιμών χλωριόντων σε κεντρική ζώνη του Πεδίου οφείλεται αποκλειστικά στην μείωση των υδροαποθεμάτων και την αύξηση της στράγγισης του αρδευτικού νερού το οποίο διαλύει τα άλατα στο υπέδαφος και υπάγεται στα γνωστά φαινόμενα της "**Επιστρεφόμενης Αρδευτικής Ροής**" (irrigation return flow). Φαινόμενα που απαντώνται σε κλειστές και μη αποστραγγιζόμενες λεκάνες αλλά και σε χώρες με κλίμα πολύ πιο ξηροθερμικό (Euhriusan- Barton, 1971).



Σχήμα 4 Χάρτης χλωριόντων

- Στο σημείο αυτό πρέπει να αναφερθεί ότι σε όλες τις περιπτώσεις απαιτείται μείωση αντλήσεων. Ειδικά στην κατηγορία εμφάνισης χλωριόντων που οφείλονται στην θαλάσσια διείσδυση, η απόκριση θα είναι άμεση ενώ τα φαινόμενα θα μειωθούν εντός της ίδιας περιόδου άντλησης. Πρόσθετα στην περίπτωση του κινδύνου της αλάτωσης των εδαφών σε υδρογεωλογικές ζώνες όπου επικρατούν συνθήκες υπεράντλησης και ταυτόχρονα είναι σε μεγάλο βαθμό απομονωμένες υδραυλικά αποτελώντας ενδορειακές επιφανειακές λεκάνες.



Για τη συνολική περιοχή του Θεσσαλικού Κάμπου έχει πραγματοποιηθεί αξιολόγηση, αναδεικνύοντας ότι ο βαθμός τρωτότητας στο μεγαλύτερο τμήμα είναι μέτριος εκτός από την νοτιοανατολική ζώνη. Από τα παραπάνω προκύπτει ότι η βελτίωση της κατάστασης των υδατικών πόρων, συναρτάται ευθεία με τις δραστηριότητες που ασκούνται (υπεράντληση και μεγάλη χρήση γεωργικών βελτιωτικών).

Στη συνέχεια και σύμφωνα με τα παραπάνω, τίθεται το **ερώτημα ποιά λύση είναι λιγότερο κοστοβόρα , περισσότερο αειφορική , πιο αποτελεσματική αφού τα τελευταία 40 έτη δεν έχει δοθεί.**

Η παρούσα εργασία δίνει έμφαση στην αναγκαιότητα ώστε οι εγχώριοι υδατικοί πόροι να πετύχουν το "optimum" της διαχειριστικής ικανότητας και στη συνέχεια να εξασφαλιστεί ένα Σ.Υ.Α. με τέτοιο τρόπο που να καλύπτονται οι παραπάνω παράμετροι.

3. ΤΕΧΝΗΤΟΣ ΕΜΠΛΟΥΤΙΣΜΟΣ

Η τεχνική του «εμπλουτισμού» των υπόγειων νερών δεν είναι άγνωστη στην χώρα μας . Μετά το 1980 , όπου ξεκίνησε η συστηματοποίηση των γεωτρήσεων άρχισαν να αυξάνονται τα φαινόμενα θαλάσσιας διείσδυσης, αλλά και οι μέθοδοι του τεχνητού εμπλουτισμού ως μία ολοκληρωμένη λύση. Πρέπει να σημειωθεί ότι οι εφαρμογές του τεχνητού εμπλουτισμού αλλά και η αποτελεσματικότητά του διαφέρει από περιοχή σε περιοχή ενώ προκύπτει ότι τα αποτελέσματα του δεν ήταν πάντα θετικά. Οι περισσότερες αρνητικές εφαρμογές προέκυψαν από την ακαταλληλότητα της μεθοδολογίας σε σχέση με τις υδρογεωλογικές δομές της περιοχής που είχε επιλεγεί. Συγκεντρωτικά στον Θεσσαλικό Κάμπο εκπονήθηκαν σχέδια για την εφαρμογή τέτοιων μεθόδων με στόχο την βελτίωση των υπόγειων υδροαποθεμάτων. Σε μια τόσο εκτεταμένη περιοχή, με μεγάλη ποικιλία γεωμορφολογικών δομών αλλά και χρήσεων γης, η επιδίωξη να εφαρμοστεί μια ενιαία μεθοδολογία εμπλουτισμού δεν θα ήταν σωστή. Οι τοπικές ιδιαιτερότητες, αλλά και ορισμένες βασικές αντικειμενικές προϋποθέσεις, είναι αυτές που προσδιορίζουν και τον βαθμό καταλληλότητας της μεθοδολογίας που πρέπει να επιλεγεί. Οι ιδιαιτερότητες αυτές συνοπτικά είναι οι εξής:

- **τοπικό υδρογραφικό δίκτυο και η πυκνότητά του**
- **παράμετροι γεωμορφολογικού ανάγλυφου(κλίσεις, επιπεδότητα, ελεύθερες επιφάνειες)**
- **περατότητα επιφανειών και στρωμάτων μικρού βάθους**
- **πυκνότητα και είδος βλάστησης**
- **προσβασιμότητα σε μόνιμες και περιοδικές απορροές**
- **κόστος κατασκευής και λειτουργίας των έργων εμπλουτισμού**
- **βαθμός δυσκολίας εφαρμογής και παρακολούθησης της λειτουργίας των έργων**
- **βαθμός γήρανσης των έργων εμπλουτισμού**
- **μηδενική παρακώληση στις υφιστάμενες αγροτικές δραστηριότητες**
- **αειφορικό πρόσημο της μεθοδολογίας**

Με βάση τις παραπάνω προϋποθέσεις προκύπτει ότι, οι μέθοδοι τεχνητού εμπλουτισμού που πρέπει να αξιολογηθούν σε δεύτερο βαθμό μέσω ειδικής μελέτης αφορούν την "Κατάκλιση". και διαχωρίζονται σε 5 κατηγορίες. Έχοντας υπόψη τις βασικές από τις παραπάνω προϋποθέσεις, προκύπτει η επιλογή δύο πτυων κατάκλισης: 1)"Μέθοδος Πλημμύρας" (Flooding Method) και 2)"Μεθοδος Διευθέτησης Υδρορέματος" (Stream -Channel) τροποποιημένο και προσαρμοσμένο στις τοπικές υδρογραφικές συνθήκες. Και οι δύο αυτοί μέθοδοι απαιτούν συγκριτικά το μικρότερο κόστος και χρόνο ανάπτυξης ενώ προσφέρουν τις μεγαλύτερες

δυνατότητες διήθησης νερού, καθώς και την μικρότερη συντήρηση. Αξιοποιούν και βασίζονται, στα φυσιογραφικά προτερήματα της κάθε ζώνης.

Στην παρούσα εργασία δεν θα πραγματοποιηθεί ανάλυση των τεχνικών λεπτομερειών αυτών των δύο μεθόδων κατάκλισης. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η διαστασιολόγηση τους αποτελεί αντικείμενο που συνδέεται άμεσα με την εκπόνηση ειδικής μελέτης εφαρμογής.

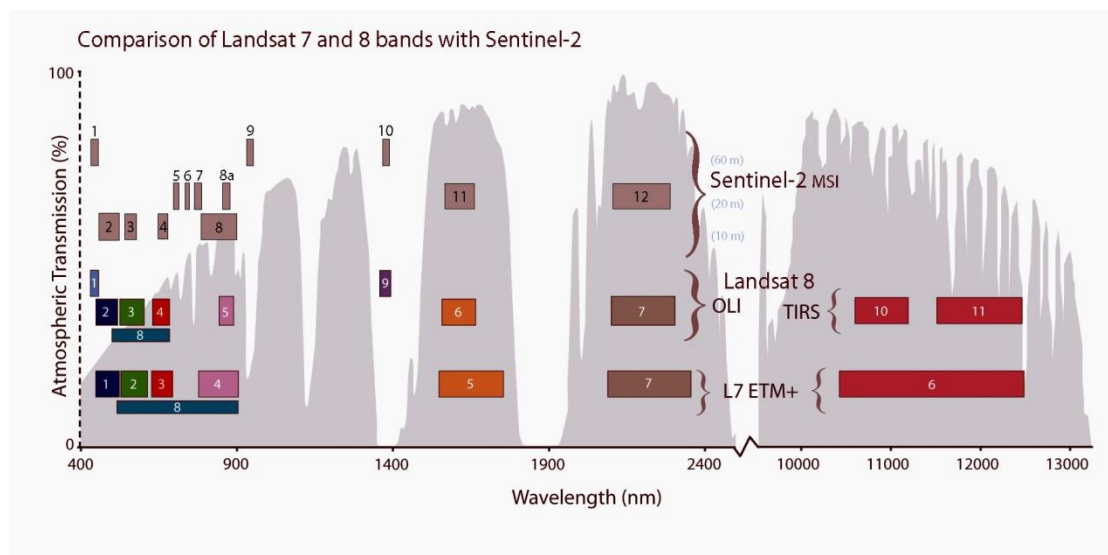
Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι η επιλογή των ζωνών εφαρμογής καθώς και η παρακολούθηση της λειτουργίας των έργων αυτών είναι δυνατόν να πραγματοποιηθεί με αποτελεσματικό τρόπο μέσω των σύγχρονων μεθόδων τηλεπισκόπησης οι οποίες αναλύονται στο επόμενο κεφάλαιο.

4. ΜΕΘΟΔΟΙ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΙΣΗΣ -ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ

Η δορυφορική τηλεπισκόπηση δίδει τη δυνατότητα απόκτησης εξειδικευμένων πληροφοριών που είναι απαραίτητες σε θέματα σχεδιασμού έργων διαχείρισης υδατικών πόρων. Το τμήμα αυτό της μελέτης αφορά:

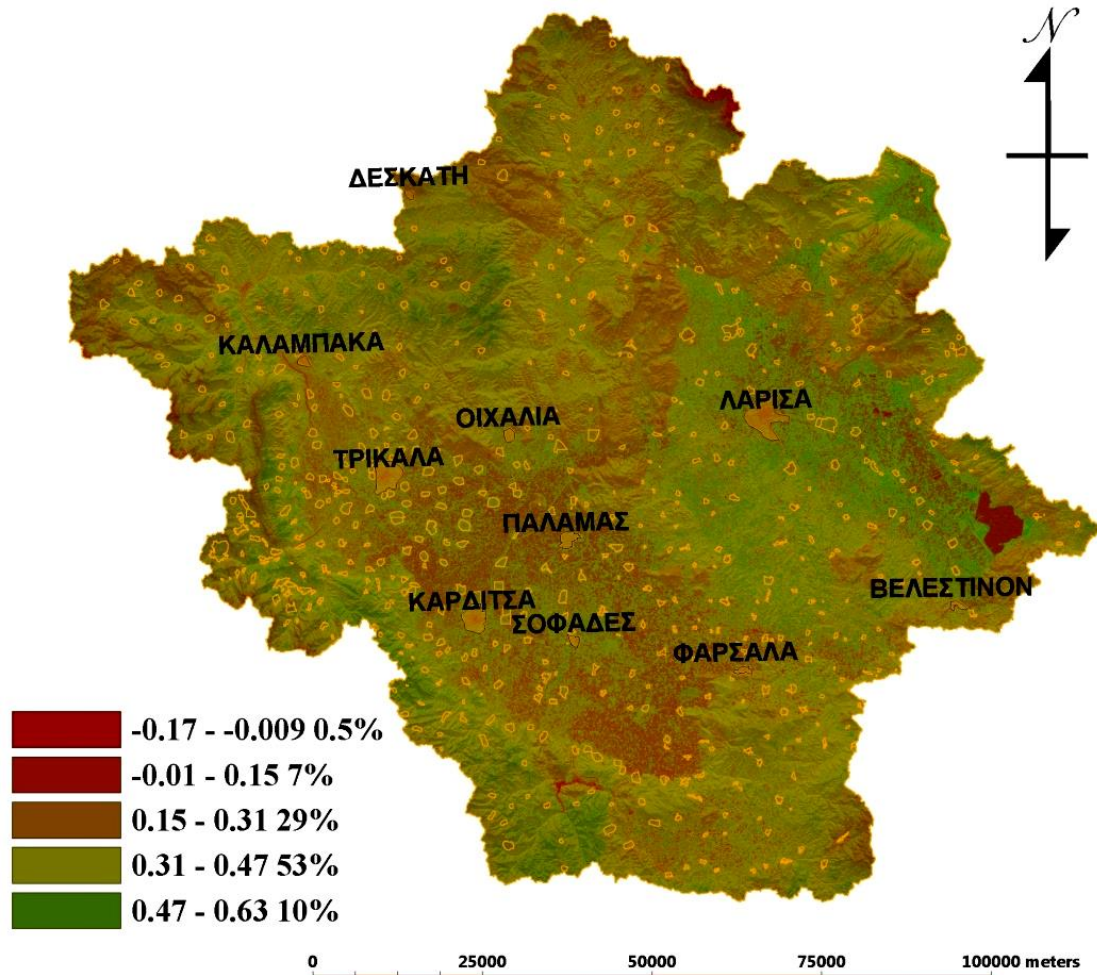
Συμπλήρωση των στοιχείων που συγκεντρώνονται στα πλαίσια προτεινόμενων τεχνικών έργων με την εφαρμογή των Διαστημικών τεχνολογιών των Συστημάτων Παρατήρησης Γης και Γεωγραφικών Συστημάτων πληροφοριών. Το όριο της πιλοτικής μελέτης έχει ορισθεί σύμφωνα με το όριο της Λεκάνης απορροής του Πηνειού ποταμού.

Οι εργασίες αφορούν την ερμηνεία δεδομένων Παρατήρησης Γης και περιλαμβάνουν τη χρήση πολυφασματικών δορυφορικών εικόνων τύπου Landsat και Sentinel, Σχήμα 6, για την ερμηνεία θεμάτων που σχετίζονται με τη κάλυψη Γης και την εξαγωγή παραμέτρων που σχετίζονται με δείκτες υγρασίας / βλάστησης. Το δορυφορικό σύστημα Sentinel 2 αποτελεί το νεώτερο σύστημα του Ευρωπαϊκού Οργανισμού διαστήματος ESA με αρχή λήψης εικόνων από το Μάιο του 2015.

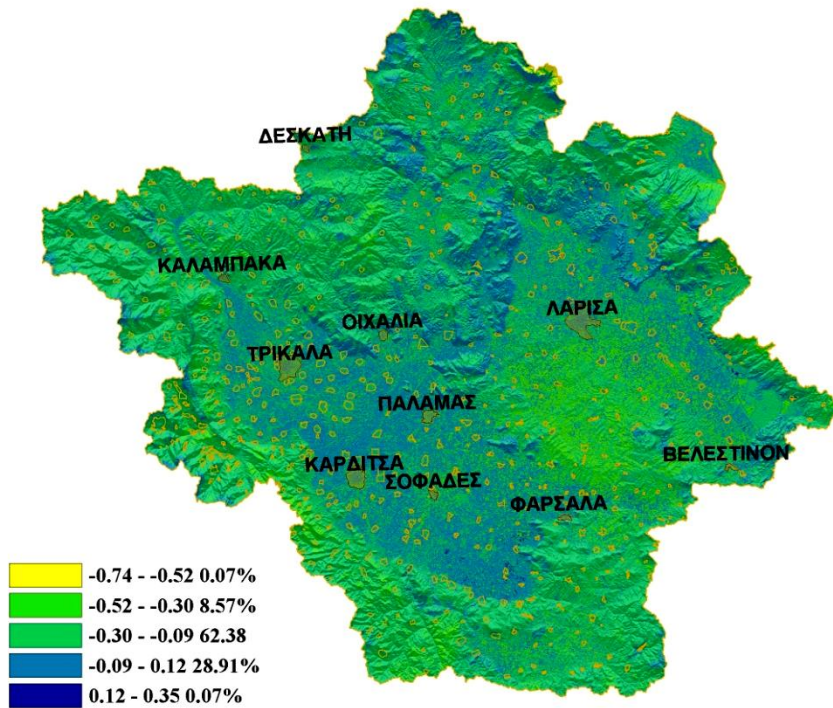


Σχήμα 6 Διάγραμμα χαρακτηριστικών λήψης των συστημάτων Landsat 7 / 8 & Sentinel-2

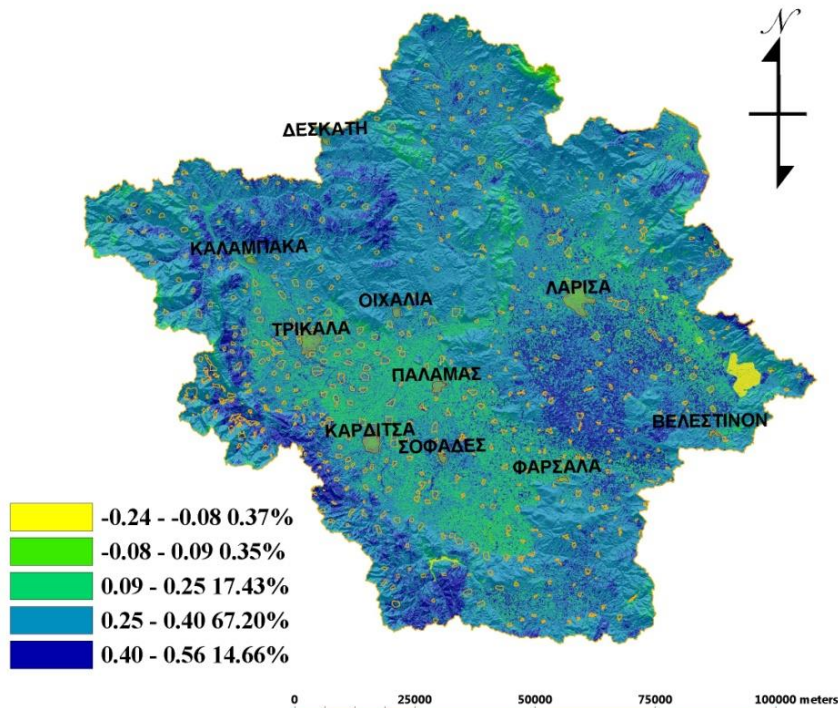
Έχει γίνει συστηματική παρακολούθηση επιλεγμένων παραμέτρων και από τα δύο δορυφορικά συστήματα. Έχει εκτελεστεί επεξεργασία των αποτελεσμάτων (δεδομένων), η συνθεσή τους σε «Γεωπληροφορίες» και η δημιουργία διαφόρων μεμονομένων ή / και σύνθετων αναλογικών και ψηφιακών θεματικών χαρτών κλίμακας 1:50 000.



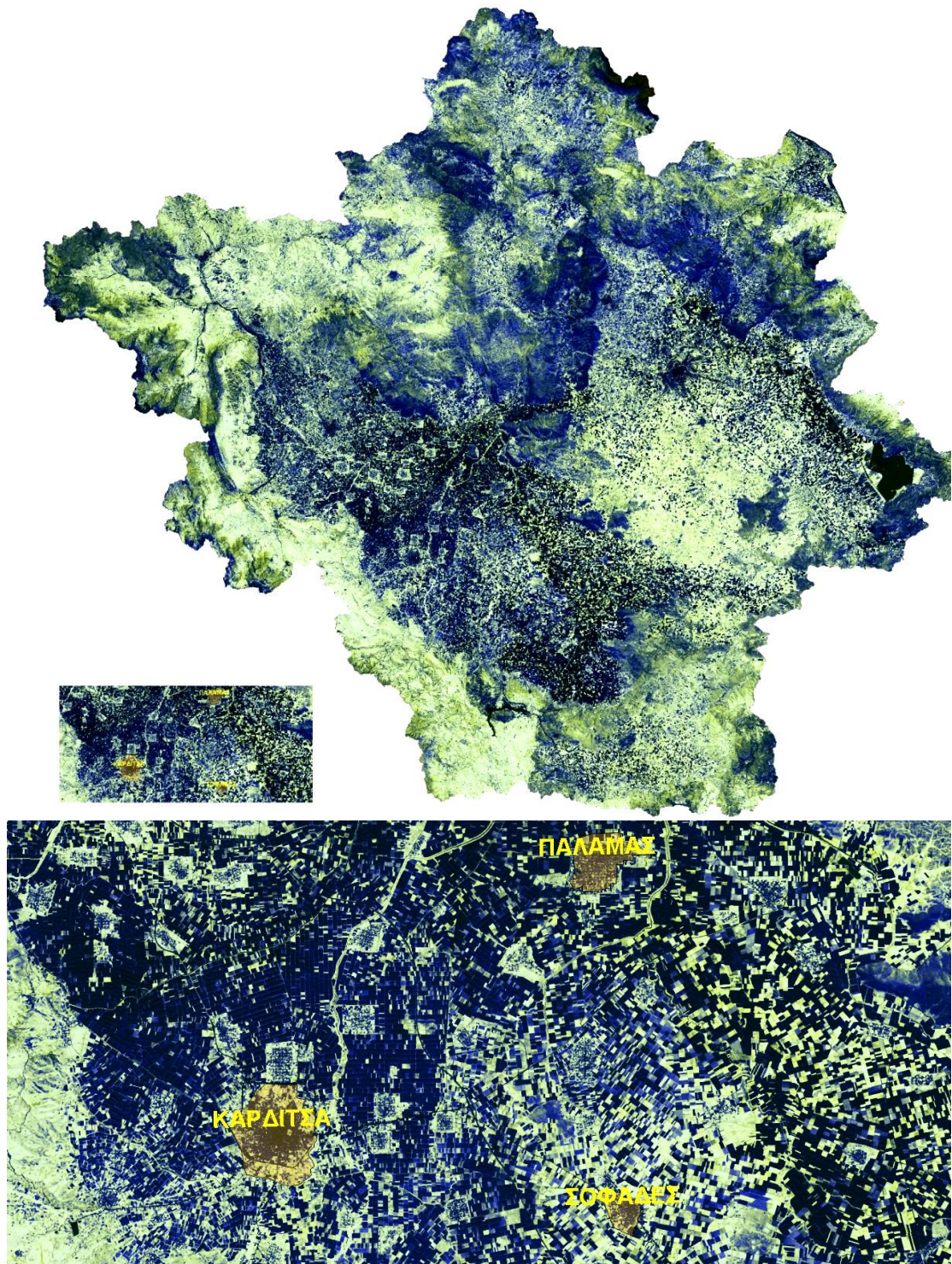
Σχήμα 7 Χάρτης Δείκτη βλάστησης: Σύστημα Landsat 8 με ημερομηνία λήψης 2/5/2017. Χαρτογραφείται η ποιότητα βλάστησης σε όλη τη λεκάνη. Το ανατολικό τμήμα της πεδινής περιοχής της λεκάνης διαφοροποιείται σε σχέση με το δυτικό τμήμα της.



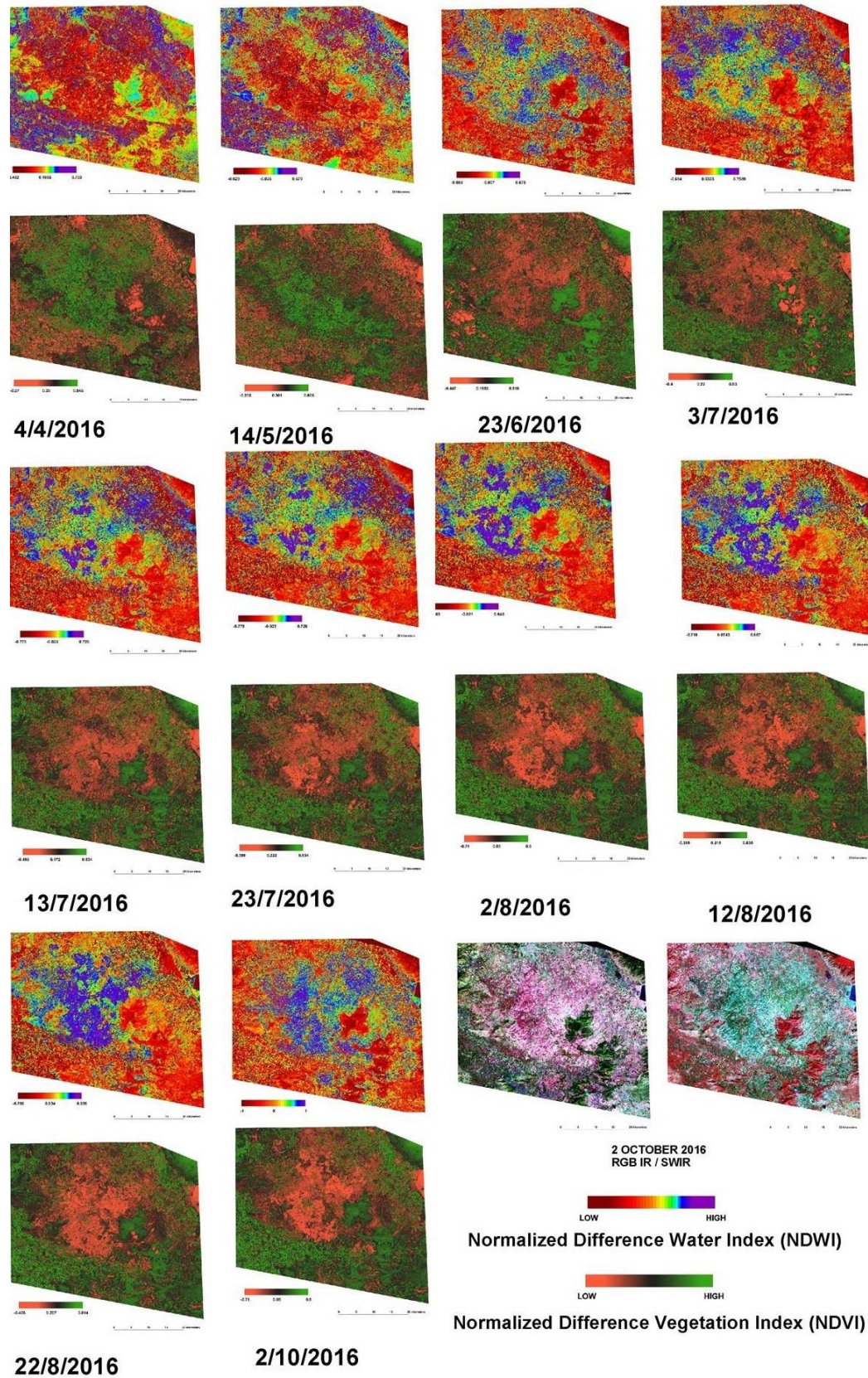
Σχήμα 8 Χάρτης Δείκτη επιφανειακής υγρασίας και ποσοστά επιφανειακής κάλυψης, Δορυφορικό Σύστημα Landsat 8 με ημερομηνία λήψης 2/5/2017 Είναι ενδεικτική η διαφοροποίηση του δείκτη υγρασίας στα διαφορετικά τμήματα της λεκάνης



Σχήμα 9 Δείκτης της περιεκτικότητας Νερού της βλάστησης και των επιφανειακών υδάτων με ποσοστά κάλυψης ανά κατηγορία.

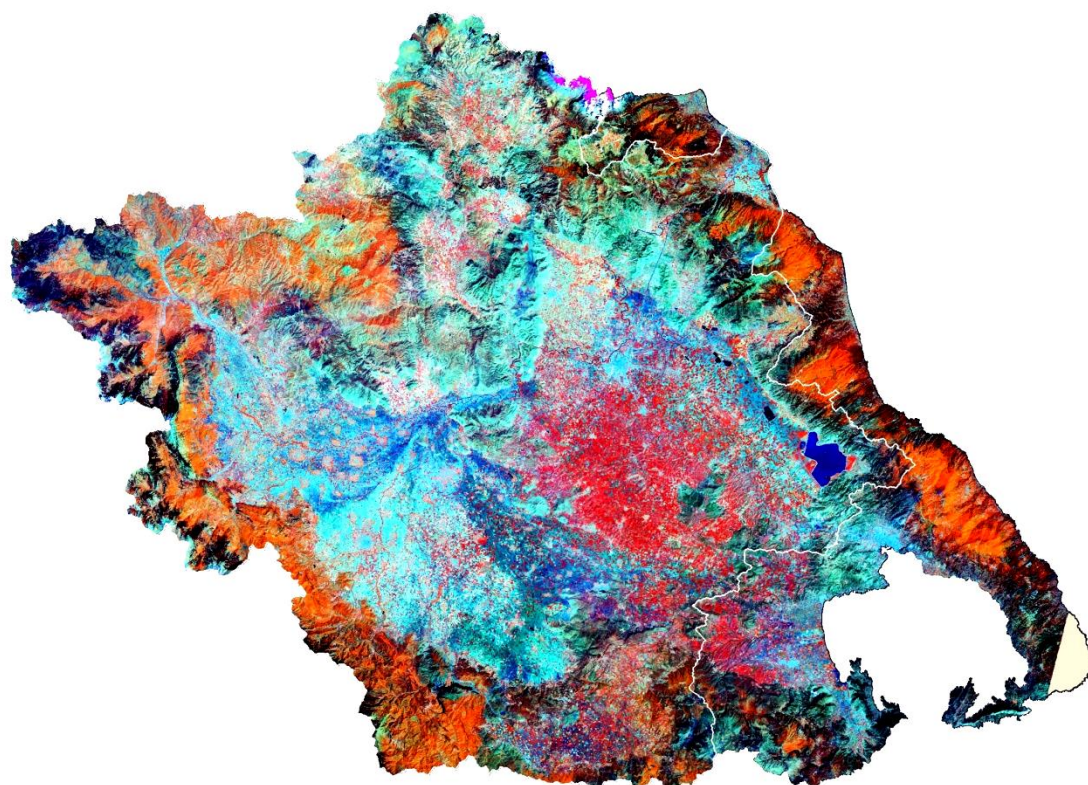


Σχήμα 10 Συνδυασμός υπολογισμένων Δεικτών στη λεκάνη απορροής για τη βελτίωση της απεικόνισης των επιφανειακών υδάτων / υγρασίας (σκούροι τόνοι του μπλε απεικονίζουν αυξημένα ποσοστά υγρασίας ή επιφανειακά ύδατα). Είναι δυνατή η διάκριση διαφορετικών "χαρακτηριστικών" των υπολεκανών και περιοχών της ευρύτερης λεκάνης απορροής του Πηνειού.



Σχήμα 11 Διαχρονική παρακολούθηση Δεικτών βλάστησης και υγρασίας από το δορυφορικό Σύστημα Sentinel 2 σε επιλεγμένο τμήμα της λεκάνης

Οι χάρτες των δορυφορικών εικόνων έχουν συντελέσει στην εξαγωγή σημαντικών συμπερασμάτων, σε ό,τι αφορά την εξαγωγή δεικτών που αφορούν τη κάλυψη γης, την υγρασία του εδάφους, τη κατάσταση της βλάστησης και τη χαρτογράφηση των επιφανειακών υδάτων. Η συγκριτική μελέτη μεταξύ των χρονοσειρών των δύο δορυφορικών συστημάτων δίδει τη δυνατότητα επαναληπτικής κάλυψης της περιοχής ακόμη και σε εβδομαδιαία βάση αν και οι καιρικές συνθήκες / νεφοκάλυψη αποτελούν έναν ανασταλτικό παράγοντα σε σχέση με τη κάλυψη της περιοχής του Θεσσαλικού κάμπου. Η βέλτιστη διακριτική ευκρίνεια των εικόνων είναι 10 μέτρα αν εικονοστοιχείο για το δορυφορικό σύστημα Sentinel 2. Δίδεται η δυνατότητα κάλυψης της περιοχής όχι μόνο της λεκάνης του Πηνειού αλλά και ολόκληρου του υδατικού διαμερίσματος, Σχήμα 12.



Σχήμα 12 Η δορυφορική εικόνα του Υδατικού Διαμερίσματος 08, έκτασης 13136 km²

5. ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Όπως προαναφέρθηκε , σε πρώτη φάση προτείνεται η εκπόνηση "Πιλοτικής Μελέτης" σε δύο αντιπροσωπευτικές ζώνες , μία σε κάθε λεκάνη , Δυτική και Ανατολική για την πειραματική εφαρμογή και αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας των προτεινόμενων εργασιών. Προεκτιμείται ότι ο απαιτούμενος χρόνος για την εκπόνηση της παραπάνω προτεινόμενης μελέτης δεν θα ξεπεράσει τον κύκλο των 6 μηνων εργασιών . Επιπρόσθετα ο συνολικός κύκλος εργασιών της πιλοτικής εφαρμογής, στην οποία περιλαμβάνονται οι τεχνικές διευθετήσεις, η παρακολούθηση και η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων, προεκτιμείται σε 18 μήνες. Στην παραπάνω αναφερόμενη χρονική διάρκεια υλοποίησης της μελέτης και της πιλοτικής εφαρμογής, δεν συμπεριλαμβάνεται ο γραφειοκρατικός χρόνος ωρίμανσης των απαραίτητων γραφειοκρατικών εργασιών.

Οι τεχνικές διευθετήσεις οι οποίες πρόκειται να προταθούν δεν θα εμπεριέχουν διαδικασίες απαλλοτρίωσης, αλλαγής χρήσεων γης ή άλλων σχετικών διευθετήσεων που αποτελούν χρονοβόρες διαδικασίες.

Τέλος, με βάση τα παραπάνω αποτελέσματα διαπιστώνεται πόσο σημαντική είναι η συστηματική και διαχρονική παρακολούθηση τόσο σε επίπεδο αλλαγών των χρήσεων γης αλλά και των υδρολογικών παραμέτρων, μέσω της χαρτογράφησης και της ερμηνείας σημαντικών δεικτών όπως NDVI και NDWI. Ο συνδυασμός της χρήσης των δορυφορικών συστημάτων και των ΓΠΣ θα βοηθήσει στην εκτίμηση της ποιότητας αλλά και της κατάστασης των καλλιεργειών σε σχέση με τους υδατικούς πόρους στην λεκάνη του Πηνειού, βοηθώντας στη σωστή και ορθολογική λήψη μέτρων από τους αρμόδιους φορείς.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

Καλλέργης ,Γ. (2000):"*Εφαρμοσμένη Περιβαλλοντική Υδρογεωλογία*" 2η έκδοση , Τόμος Α, Β, &Γ. ΤΕΕ.

Καλλέργης Γ., Μόρφης Α., Παπασπυρόπουλος Χ., Χριστοδούλου Θ., (1973): "*Υδρογεωλογική έρευνα Δυτικής Λεκάνης Θεσσαλίας*". ΕΘΙΓΜΕ, Κεντρ. Βιβλ.

Κωνσταντινίδης ,Δ. και Περγαλιώτης , Π. (1984) : "*Ανάπτυξη υπόγειων υδάτων Θεσσαλία. Αναρίθμηση υδρολογικού μοντέλου*". Υπ. Γεωργίας, Δ/ση Γεωλογίας - Υδρογεωλογίας.ΜΜ. 84.1.

Μανάκος, Α. (2010) : "*Υδρογεωλογική Μελέτη - Υδατικό Δυναμικό Θεσσαλίας (08)*" Γ'ΚΠΣ , Θεσσαλονίκη , ΙΓΜΕ , σελ. 547.

Μανάκος Α. .(2012) . "*Επιπτώσεις στα ποσοτικά και ποιοτικά χαρακτηριστικά των υδατικών πόρων από την μακροχρόνια μη ορθολογική διαχείριση τους. Το παράδειγμα του Θεσσαλικού Κάμπου*". 12ο Συνέδριο της Ελλην. Υδροτεχνικής Ένωσης , 11-13-Οκτ. 2012.

Μανάκος Α. , Χρηστίδης Χ. , Τσιούμας Β. , (2014): "*Πιεζομετρικές συνθήκες και υπολογισμός της μεταβολής των αποθεμάτων νερού για τα έτη 1974-2007 σε λεκάνες της Περιφέρειας Θεσσαλίας με την χρήση GIS*". 12ο Υδρογεωλογικό Συνέδριο , Οκτ. 2014, Θεσσαλονίκη.

Μαρίνος Π. , Θάνος Μ., Περλέρος Β. , Καββαδάς Μ. (1995) :"*Υδατικό δυναμικό Θεσσαλικής Πεδιάδας , επιπτώσεις από την υπερεκμετάλλευσή του*". 3ο Υδρογεωλογικό Συνέδριο , Ηράκλειο Κρήτης , σελ. 468-480.

Sogreah, (1974) : "*Μελέτη αναπτύξεως υπογείων υδάτων πεδιάδος Θεσσαλίας* ". Υπουργείο Γεωργίας ,Αθήνα.

Sogreah, 1979 : "*Ανάπτυξη υπόγειων υδάτων Θεσσαλίας -Μαθηματικά ομοιώματα*". Υπ. Γεωργίας , Αθήνα.