



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**

ΔΙΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ – ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

«ΕΠΙΣΤΗΜΗ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ

ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ»

**Βελτιστοποίηση Μεθόδου DRASTIC για την  
εκτίμηση της τρωτότητας υπόγειων υδροφορέων  
στην περιοχή Μεσογαίας Αττικής**

**Χειλάς – Διαμαντόπουλος Γ. Νικόλαος, Γεωλόγος**

**Αθήνα, Νοέμβριος 2019**

**«ΕΠΙΣΤΗΜΗ &  
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ  
ΥΔΑΤΙΚΩΝ  
ΠΟΡΩΝ»**

**Επιβλέπων: Επίκουρος Καθηγητής Α. Καλλιώρας**



## Πίνακας περιεχομένων

<b>Πρόλογος</b> .....	<b>i</b>
<b>Ευχαριστίες</b> .....	<b>ii</b>
<b>Περίληψη</b> .....	<b>iii</b>
<b>Extended Abstract</b> .....	<b>v</b>
<b>Ευρετήριο</b> .....	<b>x</b>
<b>1. Εισαγωγή</b> .....	<b>1</b>
<b>2. Μεθοδολογία Εργασίας</b> .....	<b>3</b>
<b>2.1 Γενικά Στοιχεία</b> .....	<b>3</b>
<b>2.2 Συλλογή πρωτογενών δεδομένων</b> .....	<b>6</b>
<b>2.3 Ανάπτυξη ψηφιακής – γεωχωρικής δομής</b> .....	<b>7</b>
<b>2.4 Βιβλιογραφική αναζήτηση</b> .....	<b>8</b>
<b>3. Νιτρικά Ιόντα – Υδατικοί Πόροι</b> .....	<b>9</b>
<b>3.1. Νιτρικά Ιόντα</b> .....	<b>9</b>
<b>3.2. Νιτρορύπανση</b> .....	<b>10</b>
<b>3.3. Μέτρα Αντιμετώπισης - Νομοθεσία</b> .....	<b>12</b>
<b>4. Περιοχή Μελέτης</b> .....	<b>15</b>
<b>4.1 Φυσικό Περιβάλλον</b> .....	<b>15</b>
<b>4.1.1 Γεωγραφία</b> .....	<b>15</b>
<b>4.1.2 Μορφολογία</b> .....	<b>16</b>
<b>4.1.3 Υδρογραφικό Δίκτυο</b> .....	<b>18</b>
<b>4.1.4 Γεωλογία - Τεκτονική</b> .....	<b>21</b>
<b>4.1.5 Υδρογεωλογία</b> .....	<b>25</b>
<b>4.2 Ανθρωπογενές Περιβάλλον</b> .....	<b>30</b>
<b>4.2.1 Διοικητικά Στοιχεία</b> .....	<b>30</b>
<b>4.2.2 Δημογραφική εξέλιξη</b> .....	<b>32</b>
<b>4.2.3 Γεωργία - Κτηνοτροφία</b> .....	<b>34</b>
<b>4.2.4 Τομείς Απασχόλησης</b> .....	<b>36</b>

4.2.5	Χρήσεις Γής.....	38
<b>4.3</b>	<b>Μετεωρολογία - Κλιματολογία.....</b>	<b>40</b>
4.3.1	Κλιματολογικά Δεδομένα.....	40
4.3.2	Θερμοκρασία .....	42
4.3.2.1	Ετήσια Πορεία Θερμοκρασίας.....	42
4.3.2.2	Μηνιαία Πορεία Θερμοκρασίας.....	43
4.3.2.3	Σχέση Υψομέτρου - Θερμοκρασίας .....	44
4.3.3	Σχετική Υγρασία.....	45
4.3.3.1	Μηνιαία Πορεία Σχετικής Υγρασίας .....	46
4.3.4	Βροχόπτωση.....	47
4.3.4.1	Ετήσια Πορεία Βροχόπτωσης .....	48
4.3.4.2	Μηνιαία Πορεία Βροχόπτωσης .....	49
4.3.4.3	Σχέση Υψομέτρου - Θερμοκρασίας .....	52
4.3.5	Θερμοϋετόγραμμα.....	53
4.3.6	Ένταση Ανέμου .....	54
4.3.6.1	Ετήσια Πορεία Έντασης Ανέμου .....	54
4.3.6.2	Μηνιαία Πορεία Έντασης Ανέμου .....	56
<b>5.</b>	<b>Υδροχημεία .....</b>	<b>58</b>
5.1	Φυσικά χαρακτηριστικά υπογείων υδάτων.....	58
5.2	Διαδικασία υδροχημικών αναλύσεων .....	60
5.3	Στατιστική επεξεργασία μετρήσεων.....	61
5.4	Υδροχημικοί Χάρτες.....	64
5.4.1	Θερμοκρασία .....	64
5.4.2	pH .....	65
5.4.3	Διαλυμένο Οξυγόνο .....	66
5.4.4	Ηλεκτρική Αγωγιμότητα .....	67
5.4.5	Χλωριόντα .....	68
5.4.6	Νιτρικά Ιόντα .....	69
<b>6.</b>	<b>Τρωτότητα Υπόγειων Υδροφορέων.....</b>	<b>70</b>
6.1	Εννοιολογική προσέγγιση.....	70

<b>6.2</b>	<b>Μέθοδοι εκτίμησης Τρωτότητας (βιβλιογρ επισκόπηση) .....</b>	<b>72</b>
<b>6.3</b>	<b>Μεθοδολογία DRASTIC.....</b>	<b>75</b>
<b>7.</b>	<b>Εφαρμογή Μεθόδου DRASTIC .....</b>	<b>79</b>
<b>7.1</b>	<b>Αρχική Μέθοδος DRASTIC .....</b>	<b>80</b>
7.1.1	Ανάλυση Παραμέτρων.....	80
7.1.1.1	Βάθος (D).....	80
7.1.1.2	Ενεργή Κατείσδυση (R) .....	82
7.1.1.3	Μέσο Υδροφορέα (A) .....	91
7.1.1.4	Εδαφική Υφή (S) .....	93
7.1.1.5	Μορφολογία (T) .....	97
7.1.1.6	Ακόρεστη Ζώνη (I) .....	98
7.1.1.7	Υδραυλική Αγωγιμότητα (C).....	100
7.1.2	Θηκογράμματα κατανομής Νιτρικών Ιόντων ανά Παράμετρο .....	102
7.1.3	Μέθοδος Επιλογής Βαρών Κριτηρίων (AHP).....	104
7.1.4	Χάρτης Ενδογενούς Τρωτότητας (DRASTIC) – Στατιστικά.....	107
7.1.5	Συσχέτιση Τιμών Μοντέλου – Δείκτη Ρύπανσης .....	109
7.1.6	Ανάλυση Ευαισθησίας .....	111
<b>7.2</b>	<b>Στατιστική Βελτιστοποίηση Μεθόδου DRASTIC .....</b>	<b>113</b>
7.2.1	Αναθεώρηση Κλίμακας μετατροπής (DRASTIC <sub>r</sub> ) .....	113
7.2.1.1	Χάρτης Ειδικής Τρωτότητας (DRASTIC <sub>r</sub> ) - Στατιστικά .....	115
7.2.1.2	Συσχέτιση Τιμών Μοντέλου – Δείκτη Ρύπανσης.....	116
7.2.1.3	Ανάλυση Ευαισθησίας.....	117
7.2.2	Αναθεώρηση Βαρύτητας Κριτηρίων (DRASTIC <sub>Nw</sub> ) .....	118
7.2.2.1	Χάρτης Ειδικής Τρωτότητας (DRASTIC <sub>Nw</sub> ) - Στατιστικά.....	123
7.2.2.2	Συσχέτιση Τιμών Μοντέλου – Δείκτη Ρύπανσης.....	125
7.2.2.3	Ανάλυση Ευαισθησίας.....	125
7.2.3	Αναθεώρηση Κλίμακας Μετατροπής & Βαρύτητας Κριτηρίων (DRASTIC <sub>Nrw</sub> ).....	127
7.2.3.1	Χάρτης Ειδικής Τρωτότητας (DRASTIC <sub>Nrw</sub> ) - Στατιστικά .....	131
7.2.3.2	Συσχέτιση Τιμών Μοντέλου – Δείκτη Ρύπανσης.....	132
7.2.3.3	Ανάλυση Ευαισθησίας.....	133
<b>7.3</b>	<b>Εισαγωγή ρυπαντικού φορτίου - Διακινδύνευση .....</b>	<b>135</b>

7.3.1	Χρήσεις Γής (L) – (DRASTICLn <sub>rw</sub> ) .....	135
7.3.1.1	Χάρτης Διακινδύνευσης (DRASTICLn <sub>rw</sub> ) - Στατιστικά.....	139
7.3.1.2	Συσχέτιση Τιμών Μοντέλου – Δείκτη Ρύπανσης.....	141
7.2.1.3	Ανάλυση Ευαισθησίας.....	141
7.3.2	Σημειακές Πηγές Ρύπανσης (P) – (DRASTICLn <sub>rwP</sub> ).....	143
7.3.2.1	Συσχέτιση Τιμών Μοντέλου – Δείκτη Ρύπανσης.....	145
7.3.2.2	Χάρτης Διακινδύνευσης (DRASTICLn <sub>rwP</sub> ) - Στατιστικά .....	146
7.3.1.3	Ανάλυση Ευαισθησίας.....	149
7.4	<i>Σύνοψη αποτελεσμάτων μεθόδων βελτιστοποίησης .....</i>	<i>150</i>
8.	<i>Συμπεράσματα.....</i>	<i>156</i>
9.	<i>Βιβλιογραφικές Αναφορές.....</i>	<i>166</i>
10.	<i>Παράρτημα .....</i>	<i>178</i>

## Πρόλογος

Η παρούσα εργασία με τίτλο «Βελτιστοποίηση μεθόδου Drastic για την εκτίμηση της τρωτότητας υπόγειων υδροφορέων στην περιοχή της Μεσογαίας Αττικής», εκπονήθηκε στο Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, στο πλαίσιο του Διεπιστημονικού - Διατμηματικού Μεταπτυχιακού Προγράμματος Σπουδών της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών του ΕΜΠ με τίτλο «Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών Πόρων» - Ειδίκευση «Υδρολογία και Περιβαλλοντική Διαχείριση Υδατικών Πόρων».

Αντικείμενο της παρούσας διατριβής αποτελεί η εκτίμηση της τρωτότητας/διακινδύνευσης των υπόγειων υδροφορέων στην εξωτερική ρύπανση με την χρήση Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών και στατιστικών αναλύσεων.

Πεδίο εφαρμογής της παρούσας μελέτης αποτελεί η ευρύτερη περιοχή της Μεσογαίας Αττικής και ως δείκτης ρύπανσης επιλέχθηκαν τα νιτρικά ιόντα τα οποία βάσει διαχρονικών μετρήσεων εμφανίζουν υψηλές τιμές στην περιοχή μελέτης.

Στο πλαίσιο προσδιορισμού της ενδογενούς τρωτότητας των υπόγειων υδροφορέων επιχειρείται μια προσπάθεια εφαρμογής της κλασικής μεθόδου DRASTIC η οποία και βελτιστοποιείται μέσω κατάλληλων στατιστικών και γεωχωρικών μεθόδων.

Επιπλέον προσδιορίζεται και το δυναμικό μόλυνσης μέσω προσθήκης στοιχείων ρυπαντικού φορτίου με τελικό σκοπό την παραγωγή ενός τελικού χάρτη διακινδύνευσης που θα απεικονίζει με σχετική ακρίβεια τις πλέον ευάλωτες περιοχές στην νιτρορύπανση.

Η διατριβή αυτή καλύπτει ένα μεγάλο μέρος από πολλαπλούς τομείς έρευνας τόσο φυσικούς όσο και ανθρωπογενείς, με σκοπό την πληρέστερη κατανόηση των χαρακτηριστικών της περιοχής μελέτης όσο και της επίδρασης τους στην μελέτη της ρύπανσης των υπόγειων υδάτων.

Βασικό τμήμα της διατριβής, αποτέλεσε η εκτεταμένη εργασία υπαίθρου, η οποία έλαβε χώρα κατά τα αρχικά στάδια, η συλλογή, αποτύπωση και ανάλυση των λοιπών πρωτογενών δεδομένων, όσο και κατά τα μεταγενέστερα, η δημιουργία των δευτερογενών δεδομένων και ο έλεγχος των αποτελεσμάτων μέσω κατάλληλων μηχανισμών συσχέτισης.

Επιπλέον δημιουργήθηκε και παρατίθεται σημαντικός αριθμός πολυθεματικών χαρτών, στατιστικών διαγραμμάτων και πινάκων όπως προέκυψαν μέσα από την ανάλυση πρωτογενών και δευτερογενών δεδομένων στο πλαίσιο εφαρμογής της μεθόδου DRASTIC.

Επίσης, παρουσιάζονται χάρτες και αναλυτικά στατιστικά στοιχεία φυσικοχημικών και υδροχημικών αναλύσεων δειγμάτων από σημαντικό αριθμό υδροληπτικών έργων της ευρύτερης περιοχής μελέτης καθώς επίσης και τα συμπεράσματα που προκύπτουν σε ό,τι αφορά χωρική και ποσοτική κατανομή των παραμέτρων που εξετάστηκαν.

## Ευχαριστίες

Στο πλαίσιο εκπόνησης της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά όσους συνετέλεσαν στην πραγματοποίηση αυτής της εργασίας ξεκινώντας από την σύζυγο μου Σοφία και τον γιό μου Γιώργο για την αμέριστη συμπαράσταση και υπομονή τους καθόλη την διάρκεια εκπόνησης της μεταπτυχιακής μου εργασίας.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω το διδακτικό και ερευνητικό προσωπικό της Σχολής Μηχανικών Μεταλλείων - Μεταλλουργών του ΕΜΠ ήτοι τον επιβλέποντα επίκουρο Καθηγητή κο Καλλιώρα Ανδρέα για τις κατευθύνσεις του, τον κο Μαρκαντώνη Κωνσταντίνο για την βοήθεια του στην πραγματοποίηση των δειγματοληψιών και την κα Βασιλείου Ελένη για την παροχή βοήθειας στο στάδιο της συλλογής πρωτογενών δεδομένων.

Ευχαριστώ ιδιαίτερα τους συναδέλφους γεωλόγους Βλησίδη Αντώνη, Βασιλάκη Αλέκα, Φαχάμ Μιχαήλ, Λάππα Ιωάννη, Ζόραπα Βασίλειο και Αγόρογλου Ουρανία για την ανεκτίμητη βοήθεια τους στην πραγματοποίηση των δειγματοληψιών, στην συλλογή των πρωτογενών δεδομένων και στην παροχή σημαντικών γνώσεων στις τοπικές υδρογεωλογικές συνθήκες.

Θα ήθελα επιπλέον να ευχαριστήσω θερμά τις υποψήφιες διδάκτορες της Σχολής Μηχανικών Μεταλλείων - Μεταλλουργών του ΕΜΠ, Έφη Ζαβρίδου και Μάρθα Περδικάκη, για την παροχή βοήθειας κατά την διάρκεια των εργαστηριακών αναλύσεων και τους υπαλλήλους του Δήμου Παλλήνης κο Κοκκοτίνη Νικόλαο και του Δήμου Σπάτων – Αρτέμιδας κο Κουμπή Θεοφάνη για την βοήθεια τους στην πραγματοποίηση των δειγματοληψιών.

Τέλος, θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες στους συναδέλφους μου, την υπηρεσία μου και τους συμφοιτητές μου για την αμέριστη συμπαράσταση και υποστήριξη κατά την διάρκεια αυτού του εγχειρήματος.

Στη μνήμη του Πατέρα μου



## Περίληψη

Η ρύπανση των νερών από νιτρικά ιόντα συνιστά μια σημαντική περιβαλλοντική απειλή επηρεάζοντας τα υδατικά οικοσυστήματα. Τις τελευταίες δεκαετίες η εντατικοποίηση της γεωργίας καθώς επίσης και η ένταση της αστικοποίησης, συνοδεύτηκαν από υπερβολική αύξηση της χρήσης των λιπασμάτων και των αστικών λυμάτων με αποτέλεσμα να παρατηρείται κατακόρυφη αύξηση των συγκεντρώσεων νιτρικών ιόντων στα υπόγεια και επιφανειακά νερά. Η μεταφορά των νιτρικών ιόντων στα υπόγεια νερά είναι μια σύνθετη διαδικασία που εξαρτάται από μια σειρά παράγοντες όπως εδαφικούς, υδρογεωλογικούς, κλιματικούς, από το είδος των καλλιεργειών και από τα χαρακτηριστικά των υπόγειων υδροφορέων.

Η γνώση της χωρικής κατανομής των στοιχείων της ποιότητας των υπόγειων νερών αποτελεί ένα σημαντικό εργαλείο στην διαδικασία λήψης αποφάσεων από τους αρμόδιους φορείς με βασικό στόχο την ορθολογική διαχείριση των υδατικών πόρων.

Στην παρούσα εργασία γίνεται μια προσπάθεια βελτιστοποίησης - τροποποίησης της κλασικής μεθόδου προσδιορισμού της τρωτότητας υπογείων υδροφορέων στην εξωτερική ρύπανση Drastic μέσω εργαλείων GIS και στατιστικής.

Πεδίο εφαρμογής της εν λόγω εργασίας αποτελεί το Υπόγειο Υδατικό Υποσύστημα Μεσογαίας (B) το οποίο και καταλαμβάνει όλη τη κεντρική περιοχή της πεδιάδας της Μεσογαίας Αττικής.

Η επιλογή της εν λόγω περιοχής έγινε με βασικό κριτήριο την πίεση που δέχονται οι υπόγειοι υδροφορείς τόσο από διάχυτες όσο και από σημειακές πηγές ρύπανσης γεγονός που αντικατοπτρίζεται στις αυξημένες συγκεντρώσεις νιτρικών ιόντων βάσει μετρήσεων του Εθνικού Δικτύου Παρακολούθησης Υπόγειων Υδάτων.

Επιπλέον βασικό κίνητρο για την διεξοδική μελέτη της τρωτότητας των υπόγειων υδροφορέων στην εξωτερική ρύπανση, αποτέλεσαν οι πολύπλοκες φυσικές (υδρογεωλογία, εδαφολογία, μορφολογία, γεωλογία, κλιματολογία) και ανθρωπογενές (γεωργία, βιομηχανία, αστική δόμηση, σημειακές πηγές ρύπανσης) συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή μελέτης.

Βασική ιδέα και εφαρμογή της παρούσας έρευνας αποτελεί η βελτιστοποίηση της κλασικής μεθόδου εκτίμησης τρωτότητας DRASTIC, μέσω της προσθήκης επιπλέον κριτηρίων και μέσω της βέλτιστης κατανομής βαρών και παραμετρικών τιμών του αρχικού μοντέλου (στατιστική βελτιστοποίηση).

Η μεθοδολογία η οποία και ακολουθήθηκε αφορά αφενός την συλλογή πρωτογενών δεδομένων (γεωχωρικά δεδομένα, κλιματολογικά δεδομένα, μετρήσεις στάθμης υπόγειων υδροφορέων και φυσικοχημικές αναλύσεις από επιλεγμένα υδροσημεία) και αφετέρου την

ανάπτυξη κατάλληλων στατιστικών-γεωχωρικών μεθόδων και τεχνικών (ανάλυση ευαισθησίας, χωρική παρεμβολή, τεχνικές κανονικοποίησης, map algebra, στατιστική ανάλυση, συσχέτιση τιμών μοντέλου με δείκτη ρύπανσης, σύγκριση αποτελεσμάτων μοντέλων) στο πλαίσιο παραγωγής του τελικού μοντέλου εκτίμησης τρωτότητας.

Τελικός στόχος της εν λόγω εργασίας είναι να παραχθει ένας χάρτης Διακινδύνευσης υψηλής χωρικής συσχέτισης με τις πραγματικές τιμές των νιτρικών ιόντων ούτως ώστε να αποτελέσει ένα πολύτιμο εργαλείο για τη χάραξη ζωνών προστασίας, το σχεδιασμό χρήσεων γης και τη ορθολογική διαχείριση των υδατικών πόρων.

## Extended Abstract

The present work attempts to evaluate the vulnerability of groundwater aquifers in the area of Mesogaia Attica by optimizing - modifying the classic DRASTIC vulnerability estimation method using Geographic Information Systems and statistical methods.

The type of pollution under consideration is the nitrate ( $\text{NO}_3^-$ ) which, based on National Monitoring Network measurements, shows increased values in the area.

The Mesogaia Groundwater Subsystem B (code EL 0600152) was selected as the study area according to the approved deliverables of the 1st Review River Basin Management Plan of Attica 06.

A total of 68 hydropoints were selected which met a number of conditions such as appropriate spatial dispersion, existence of lithological sections and test pumps, representativeness of land uses and groundwater aquifers.

The wet hydrological period 2017-2019 is selected as the study period.

The main objective of this study is the spatial assessment of nitrate pollution which has a significant negative impact on human health and aquatic ecosystems.

The main sources of nitrate pollution come mainly from anthropogenic activities. High concentrations of nitrates are observed in areas with increased agricultural activity, where intensive use of nitrogen fertilizers is taking place, as well as in areas with high concentrations of animal waste. Other sources of nitrate pollution are urban waste water and industrial waste.

The study area is 227 km<sup>2</sup> and occupies the central part of the Mesogaia area of Attica. It's morphology is generally characterized as a lowland slope.

The main seasonal rivers flowing through the area are the Erasinos and the Great Rafina Stream. They source from the Penteli and Ymittos massifs and flow into the South Euboean Gulf. Their river basin covers the entire study area and drain the surface water.

The geological formations that constitute the area consist of 2 basic categories based on their geological age (alpine, postalpine). The alpine formations form the background of the study area and are divided into three tectonic units, the upper and lower alien series and the indigenous series. The rocks that are mainly composed are limestones and shales.

The postalpine geological formations consist of quaternary and neogene sediments and cover most of the study area.

The hydrogeological status of the study area can be characterized by 4 main categories of aquifers. The karstic aquifer, the neogene aquifer, the quaternary aquifer, and the weak shale aquifer.

The climate of the study area is generally characterized as temperate Mediterranean type and is characterized by a summer dry season and a short winter cold season. According to the climatic data of 8 meteorological stations in the wider area of Mesogaia Attica for the period 2013-2017, the average annual temperature is 18.36 ° C, the average annual precipitation is 406 mm, the average annual relative humidity is 61% and the average annual wind intensity was calculated at 8.45 km / h. The dry season begins in April and ends in late October.

Complex crop systems (33%), urban areas (23.5%) and vineyards (22.6%) occupy the largest share of land use.

The tertiary sector accounts for about 80% of the population's main employment.

According to the results of the chemical analyzes, the concentration of nitrate in groundwater during the period of this study (wet period 2017-2019) is between 1.23 mg/l and 360 mg/l with an average value of 64.99 mg/l. Of the total samples, 38 (55.8%) show values above the maximum level under drinking water legislation which is 50 mg/l. Concentration values are highly dispersed around the mean. The largest number of values is concentrated at a concentration of 0 to 75 mg/l.

According to the spatial distribution map of nitrates, the southwestern part of the study area is extremely burdened with nitrate pollution.

High levels of nitrate concentration in urban areas have also been observed, which is linked to the lack of sewage in the area, which is another major deteriorating factor for groundwater status, as urban and industrial wastewater is discharged into absorbent and non-septic tanks.

The main purpose of this study is to determine the endogenous and specific vulnerability of groundwater aquifers in the research area, using the DRASTIC method. For this reason, the DRASTIC standard method is optimized and various modifications and transformations are proposed, based on the statistical parameters of the distribution of nitrate concentration as an indicator of pollution and additional additions of pollutant load parameters.

The sensitivity analysis procedure is also applied to each method in order to arrive at conclusions regarding the importance of each parameter separately and the correlation between the theoretical and active weighting of the model criteria.

The DRASTIC method is one of the indicator methods and is widely used to estimate the risk of groundwater pollution based on 7 physical parameters (depth of aquifer, recharge, type of aquifer, soil texture, topography, unsaturated zone, hydraulic conductivity). In the context of applying this method, raw data related to DRASTIC parameters were collected and

through the spatial interpolation process of the Geographic Information Systems the relevant physical variation parameter maps were generated.

The parameters of the model are introduced in a simple linear equation after being subtracted from their physical range to a decimal relative scale on the basis of subjective criteria. Each of these parameters is multiplied by a weighting factor.

Multivariate analysis was used to calculate the weights of the criteria of the original DRASTIC method. The Pearson's correlation coefficient between the model output values and the logarithmic concentration values of the nitrate ions was used as a criterion for testing and accepting the methods as they approximated the normal distribution more satisfactorily.

After producing the final DRASTIC endogenous vulnerability map, the correlation coefficient between the model values and the pollution index was calculated to be 0.48.

The statistical optimization method DRASTIC<sub>Nr</sub> was then applied.

Revision of the DRASTIC<sub>Nr</sub> rating scale is achieved by using the arithmetic mean of the concentration of nitrate in each of the classes of each parameter, as defined in the original model. For each parameter, the maximum concentration of nitrate ions gives the corresponding parametric heading 10, while for the other heights the new value is calculated proportionally to the nearest whole number. In this way some parameters are grouped into new classes which are smaller in number than the original ones.

After producing the final map of endogenous vulnerability DRASTIC<sub>Nr</sub>, the correlation coefficient between the model values and the pollution index was calculated to be 0.55.

The next method of statistical optimization is the process of updating the weighted criteria of the original DRASTIC model.

Due to the limitation of the calibration of each parameter to only specific values (classes), the nitrate concentration values were subtracted and grouped at each time by the number of groups, as well as the calibration classes of each parameter. Subsequently the averages of the parametric values of each group and the concentration of nitrate ions were calculated.

Parameter correlation calculations were performed using Spearman's Rho and Kendall's Tau correlation coefficients, which are appropriate for such parameters. On the basis of the calculations of the above coefficients, the coefficients were redefined and the unsaturated zone parameter was removed as non-significant due to the negative correlation.

After producing the final endogenous vulnerability map DRASTIC<sub>Nw</sub>, the correlation coefficient between the model values and the pollution index was calculated to be 0.61.

According to the following DRASTIC<sub>Nrw</sub> optimization method, the criterion weighted values of the model were revised according to the parameter values classes derived from the DRASTIC<sub>Nr</sub> optimization method.

Due to the limitation of the calibration of each parameter to only specific values (classes), the nitrate concentration values were subtracted and grouped at each time by the number of groups, as well as the calibration classes of each parameter. Subsequently the averages of the parametric values of each group and the concentration of nitrate ions were calculated. By the same procedure as in the previous method, the weights of the model criteria were redefined. After producing the final map of endogenous vulnerability DRASTICNrw, the correlation coefficient between the model values and the pollution index was calculated to be 0.69.

To assess the specific vulnerability of groundwater aquifers, 2 new pollutant load parameters such as diffuse sources of pollution (land uses) and point sources of pollution were added, with a weight value of these criteria a maximum value of 5 due to the importance of the parameters.

For land use L geospatial data from Land Cover Corine 2012 program were used.

The parameter values were calibrated by a procedure similar to the revision of the factor values of the DRASTIC method parameters. That is, the mean of the distribution of nitrates in each of the land use categories was used, the reduction of which resulted in the revised scale of parametric values at 10. The specific vulnerability estimation index was then calculated by adding the land use parameter to the linear equation of the optimized DRASTICNrw model. After producing the final map of endogenous vulnerability DRASTICLNrw, the correlation coefficient between the model values and the pollution index was calculated to be 0.70.

The final modification of the original DRASTIC method, was the DRASTICPLNrw specific vulnerability assessment model, which was implemented by adding the parameter of point sources of pollution (industries, cemeteries, livestock farms, etc.). Initial values were parameterized as the calibration based on the average nitrates yielded lower results. Then the final DRASTICPLNrw 9-parameter specific vulnerability assessment index with a correlation coefficient between the model values and the pollution index was calculated to be 0.73.

According to the statistical analysis of the final model, the low risk zone occupies the largest area while the very high risk zone occupies the smaller area of the study area.

As far as spatial resolution is concerned, the zone of very high specific vulnerability occupies the southwest and small part of the western part of the study area. High vulnerability occupies the same area and part of the Southeast. The zone of moderate vulnerability occupies most of the central, south and northwestern part. Finally, very low specific vulnerability occupies the east - northeast and part of the central part of the study area.

The final DRASTICLN<sub>rw</sub>P specific vulnerability / hazard assessment map yielded quite satisfactory results by comparison with the spatial distribution of nitrate concentration based on the results at 68 hydropoints. In particular, it has been found that in areas characterized by high to very high vulnerability, indeed, increased concentrations of nitrates occur. Also, in areas characterized by very low vulnerability, comparatively lower nitrate concentrations occur.

The exception is the Low Risk Zone as nitrate values are very low to high which may be related to groundwater movement.

Of the physical parameters the soil texture has the smallest contribution to the formation of the vulnerability values (mean 6.29), which means that in the research area the soil area does not affect the concentration of nitrates ending in the aquifer.

The unsaturated zone parameter has the largest contribution to the shaping of the vulnerability values (mean 35.53). The physical significance of the event can be attributed to the granulometry of the material that constitutes it and the mineralogy of the terrestrial materials (clay minerals), parameters that determine the ability of the unsaturated zone to protect the underground aquifer from surface water.

Consequently, the final map of the DRASTICPLN<sub>rw</sub> method can contribute to the design of actions and interventions that may relate to the overall planning and land use context of the study area, thus contributing to the rational management of water resources.

# Ευρετήριο

## Πίνακες

Πίνακας 1: Πηγές πρωτογενών δεδομένων μεθόδου DRASTIC .....	6
Πίνακας 2: Κατάταξη Μ.Ο νιτρικών ιόντων υπογείων υδάτων 2012 -2015,.....	12
Πίνακας 3: Στατιστικά στοιχεία υψομετρικών Ζωνών.....	16
Πίνακας 4: Μεταβολή πληθυσμού 1971-2011 Δημοτικών Ενοτήτων .....	32
Πίνακας 5: Μεταβολή πληθυσμού 2001-2011 Καλλικρατικών Δήμων .....	32
Πίνακας 6: Κατανομή Γεωργικών – Κτηνοτροφικών Εκτάσεων ανά τύπο καλλιέργειας 2009-2010.....	34
Πίνακας 7: Κατανομή Κτηνοτροφικών Εκμεταλλεύσεων 2009-2010.....	36
Πίνακας 8: Απασχόληση Πληθυσμού ανά τομέα Παραγωγής 2011 .....	37
Πίνακας 9: Εκτάσεις Χρήσεων Γής περιοχής μελέτης 2012.....	39
Πίνακας 10: Στοιχεία Μετεωρολογικών Σταθμών ευρύτερης περιοχής μελέτης ...	41
Πίνακας 11: Μέσες ετήσιες τιμές θερμοκρασίας μετεωρολογικών σταθμών.....	42
Πίνακας 12: Μέσες μηνιαίες τιμές θερμοκρασίας μετεωρολογικών σταθμών.....	43
Πίνακας 13: Μέσες ετήσιες τιμές θερμοκρασίας - υψόμετρα μετεωρολογικών σταθμών .....	45
Πίνακας 14: Μέσες ετήσιες τιμές Σχετικής Υγρασίας μετεωρολογικών σταθμών..	46
Πίνακας 15: Μέσες ετήσιες τιμές Βροχόπτωσης μετεωρολογικών σταθμών .....	49
Πίνακας 16: Μέσες μηνιαίες τιμές Βροχόπτωσης μετεωρολογικών σταθμών .....	50
Πίνακας 17: Μέσες ετήσιες τιμές ύψους υετού - υψόμετρα μετεωρολογικών σταθμών .....	52
Πίνακας 18: Μέσες ετήσιες τιμές έντασης ανέμου μετεωρολογικών σταθμών .....	55
Πίνακας 19: Μέσες μηνιαίες τιμές έντασης ανέμου μετεωρολογικών σταθμών ...	56
Πίνακας 20: Στατιστικά στοιχεία φυσικοχημικών αναλύσεων υδροσημείων έρευνας .....	61
Πίνακας 21: Στατιστικά στοιχεία μετρήσεων νιτρικών ιόντων.....	63
Πίνακας 22: Κατανομή συχνοτήτων νιτρικών ιόντων.....	63
Πίνακας 23: Βαθμονόμηση τιμών παραμέτρου Βάθους D .....	80
Πίνακας 24: Βαθμονόμηση τιμών Θερμοκρασίας ως προς την ενεργή κατείδυση	82
Πίνακας 25: Βαθμονόμηση τιμών Βροχόπτωσης ως προς την ενεργή κατείδυση	83



<b>Πίνακας 26: Βαθμονόμηση τιμών Έντασης Ανέμου ως προς την ενεργή κατείσδυση</b>	
	<b>84</b>
<b>Πίνακας 27: Βαθμονόμηση τιμών Σχετικής Υγρασίας ως προς την ενεργή κατείσδυση.....</b>	<b>85</b>
<b>Πίνακας 28: Βαθμονόμηση τιμών Μορφολογικών Κλίσεων ως προς την ενεργή κατείσδυση.....</b>	<b>86</b>
<b>Πίνακας 29: Βαθμονόμηση τιμών Υδρολιθολογίας ως προς την ενεργή κατείσδυση</b>	
	<b>87</b>
<b>Πίνακας 30: Βαθμονόμηση τιμών Χρήσεων Γής ως προς την ενεργή κατείσδυση .</b>	<b>89</b>
<b>Πίνακας 31: Βαθμονόμηση τιμών Πυκνότητας Υδροληψιών ως προς την ενεργή κατείσδυση.....</b>	<b>90</b>
<b>Πίνακας 32: Βαθμονόμηση τιμών μοντέλου ως προς την ενεργή κατείσδυση.....</b>	<b>91</b>
<b>Πίνακας 33: Κωδικοποίηση υπόγειων υδροφορέων περιοχής μελέτης.....</b>	<b>92</b>
<b>Πίνακας 34: Βαθμονόμηση τιμών παραμέτρου μέσου Υδροφορέα Ar .....</b>	<b>92</b>
<b>Πίνακας 35: Βαθμονόμηση τιμών Κοκκομετρίας.....</b>	<b>94</b>
<b>Πίνακας 36: Βαθμονόμηση τιμών Υδρομορφίας.....</b>	<b>96</b>
<b>Πίνακας 37: Βαθμονόμηση τιμών Εδαφικής Υφής Sr .....</b>	<b>97</b>
<b>Πίνακας 38: Βαθμονόμηση τιμών Μορφολογίας Tr.....</b>	<b>98</b>
<b>Πίνακας 39: Κωδικοποίηση Είδους Ακόρεστης Ζώνης.....</b>	<b>99</b>
<b>Πίνακας 40: Βαθμονόμηση Είδους Ακόρεστης Ζώνης ως προς την Τρωτότητα Ir ..</b>	<b>99</b>
<b>Πίνακας 41: Τιμές υδραυλικής αγωγιμότητας m/sec υδροφόρων στρωμάτων ...</b>	<b>100</b>
<b>Πίνακας 42: Βαθμονόμηση Τιμών Υδραυλικής Αγωγιμότητας ως προς την Τρωτότητα Cr.....</b>	<b>100</b>
<b>Πίνακας 43: Πίνακας κλίμακας μεθόδου AHP.....</b>	<b>104</b>
<b>Πίνακας 44:Στάθμιση κριτηρίων μοντέλου DRASTIC - AHP .....</b>	<b>105</b>
<b>Πίνακας 45: Στάδιο υπολογισμού Βαρών Κριτηρίων – Κανονικοποίηση Τιμών - AHP</b>	
	<b>106</b>
<b>Πίνακας 46: Έκταση Ζωνών ενδογενούς Τρωτότητας DRASTIC .....</b>	<b>108</b>
<b>Πίνακας 47: Στατιστικά Στοιχεία Παραμέτρων Μοντέλου DRASTIC.....</b>	<b>108</b>
<b>Πίνακας 48: Στατιστικά Στοιχεία Δείκτη Διακύμανσης Μοντέλου DRASTIC .....</b>	<b>111</b>
<b>Πίνακας 49: Υπολογισμός ενεργου βαρύτητας μοντέλου DRASTIC.....</b>	<b>112</b>
<b>Πίνακας 50: Βαθμονόμηση Παραμετρικών Τιμών μεθόδου DRASTICNr.....</b>	<b>114</b>
<b>Πίνακας 51: Νέες παραμετρικές κλάσεις μεθόδου DRASTICNr.....</b>	<b>114</b>

Πίνακας 52: Έκταση Ζωνών ενδογενούς Τρωτότητας DRASTICNr .....	116
Πίνακας 53: Στατιστικά Στοιχεία Δείκτη Διακύμανσης Μοντέλου DRASTICNr .....	117
Πίνακας 54: Υπολογισμός ενεργου βαρύτητας μοντέλου DRASTICNr .....	118
Πίνακας 55: Μέσος όρος παραγοντικών τιμών και συγκέντρωσης νιτρικών ιόντων ανά κλάση παραμέτρου DRASTCNw .....	119
Πίνακας 56: Τροποποίηση Βαρύτητας Κριτηριών DRASTCNw.....	123
Πίνακας 57: Έκταση Ζωνών ενδογενούς Τρωτότητας DRASTCNw.....	123
Πίνακας 58: Στατιστικά Στοιχεία Δείκτη Διακύμανσης Μοντέλου DRASTCNw.....	125
Πίνακας 59: Υπολογισμός ενεργου βαρύτητας μοντέλου DRASTCNw.....	126
Πίνακας 60: Μέσος όρος παραγοντικών τιμών και συγκέντρωσης νιτρικών ιόντων ανά κλάση παραμέτρου DRASTICNr <sub>w</sub> .....	127
Πίνακας 61: Τροποποίηση Βαρύτητας Κριτηριών DRASTICNr <sub>w</sub> .....	130
Πίνακας 62: Έκταση Ζωνών ενδογενούς Τρωτότητας DRASTICNr <sub>w</sub> .....	131
Πίνακας 63: Στατιστικά Στοιχεία Παραμέτρων Μοντέλου DRASTICNr <sub>w</sub> .....	132
Πίνακας 64: Στατιστικά Στοιχεία Δείκτη Διακύμανσης Μοντέλου DRASTICNr <sub>w</sub> ..	133
Πίνακας 65: Υπολογισμός ενεργου βαρύτητας μοντέλου DRASTICNr <sub>w</sub> .....	134
Πίνακας 66: Αρχική βαθμονόμηση χρήσεων γής ως προς την Διακινδύνευση υπόγειων υδροφορέων.....	136
Πίνακας 67: Βαθμονόμηση χρήσεων γής ως προς την Διακινδύνευση υπόγειων υδροφορέων βάσει Μ.Ο συγκέντρωσης νιτρικών ιόντων .....	136
Πίνακας 68: Έκταση Ζωνών ειδικής Τρωτότητας DRASTICLN <sub>r<sub>w</sub></sub> .....	139
Πίνακας 69: Στατιστικά Στοιχεία Παραμέτρων Μοντέλου DRASTICLN <sub>r<sub>w</sub></sub> .....	140
Πίνακας 70: Στατιστικά Στοιχεία Δείκτη Διακύμανσης Μοντέλου DRASTILCN <sub>r<sub>w</sub></sub> .	141
Πίνακας 71: Υπολογισμός ενεργου βαρύτητας μοντέλου DRASTICLN <sub>r<sub>w</sub></sub> .....	142
Πίνακας 72: Αρχική βαθμονόμηση πυκνότητας σημειακών πηγών ρύπανσης ως προς την Διακινδύνευση υπόγειων υδροφορέων.....	144
Πίνακας 73: Βαθμονόμηση πυκνότητας σημειακών πηγών ρύπανσης ως προς την Διακινδύνευση υπόγειων υδροφορέων.....	144
Πίνακας 74: Έκταση Ζωνών ειδικής Τρωτότητας DRASTICLN <sub>r<sub>w</sub></sub> P.....	147
Πίνακας 75: Στατιστικά Στοιχεία Παραμέτρων Μοντέλου DRASTICLN <sub>r<sub>w</sub></sub> P.....	148
Πίνακας 76: Στατιστικά Στοιχεία Δείκτη Διακύμανσης Μοντέλου DRASTILCN <sub>r<sub>w</sub></sub> P	149
Πίνακας 77: Υπολογισμός ενεργου βαρύτητας μοντέλου DRASTICLN <sub>r<sub>w</sub></sub> P .....	149
Πίνακας 78: Σύγκριση αποτελεσμάτων μεθόδων βελτιστοποίησης DRASTIC .....	151

<i>Πίνακας 79: Σύγκριση αποτελεσμάτων εκτάσεων ζωνών τρωτότητας/διακινδύνευσης.....</i>	<i>153</i>
<i>Πίνακας 80: Βάρη κριτηρίων μεθόδων DRASTIC Typical και Pesticide .....</i>	<i>154</i>
<i>Πίνακας 81: Σύγκριση συντελεστών συσχέτισης μεθόδων εργασίας, DRASTIC Typical και Pesticide .....</i>	<i>155</i>
<i>Πίνακας 82: Σύγκριση συντελεστών συσχέτισης θεωρητικών και ενεργών S τιμών βαρύτητας κριτηρίων .....</i>	<i>155</i>
<i>Πίνακας 81: Δεδομένα Υδροχημικών Αναλύσεων - Μετρήσεων Στάθμης υπόγειων υδάτων .....</i>	<i>178</i>
<i>Πίνακας 82: Δεδομένα Υπολογιστικών Μεθόδων.....</i>	<i>180</i>

## **Γραφήματα**

<i>Γράφημα 1: Ιστογράμματα εξέλιξης πληθυσμού Δημοτικών Ενοτήτων.....</i>	<i>33</i>
<i>Γράφημα 2: Ιστόγραμμα εξέλιξης συνολικού πληθυσμού .....</i>	<i>34</i>
<i>Γράφημα 3: Ποσοστιαία Κατανομή Γεωργικών – Κτηνοτροφικών Εκτάσεων ανά τύπο καλλιέργειας 2009-2010 .....</i>	<i>35</i>
<i>Γράφημα 4: Ιστόγραμμα κτηνοτροφικών εκμεταλλεύσεων ανά Δημοτική Ενότητα 2009-2010.....</i>	<i>36</i>
<i>Γράφημα 5: Ιστόγραμμα ποσοστιαίας απασχόλησης πληθυσμού ανά τομέα παραγωγής ανά Δημοτική Ενότητα .....</i>	<i>37</i>
<i>Γράφημα 6: Ποσοστιαία Κατανομή Χρήσεων Γής περιοχής μελέτης.....</i>	<i>39</i>
<i>Γράφημα 7: Διακύμανση ετήσιων τιμών θερμοκρασίας συνόλου μετεωρολογικών σταθμών.....</i>	<i>43</i>
<i>Γράφημα 8: Διακύμανση μέσω μηνιαίων τιμών θερμοκρασίας ανά μετεωρολογικό σταθμό.....</i>	<i>44</i>
<i>Γράφημα 9: Ιστόγραμμα Μέσης μηνιαίας κατανομής θερμοκρασίας συνόλου μετεωρολογικών σταθμών.....</i>	<i>44</i>
<i>Γράφημα 10: Γραμμική παλινδρόμηση μεταξύ θερμοκρασίας και υψομέτρου στους μετεωρολογικούς σταθμούς της ευρύτερης περιοχής μελέτης.....</i>	<i>45</i>
<i>Γράφημα 11: Διακύμανση μέσω μηνιαίων τιμών Σχετικής Υγρασίας ανά μετεωρολογικό σταθμό.....</i>	<i>47</i>
<i>Γράφημα 12: Ιστόγραμμα μέσω μηνιαίων τιμών σχετικής Υγρασίας συνόλου μετεωρολογικών σταθμών.....</i>	<i>47</i>
<i>Γράφημα 13: Διακύμανση ετήσιων τιμών ύψους υετού μετεωρολογικών σταθμών</i>	

<i>Γράφημα 14: Διακύμανση μέσων μηνιαίων τιμών βροχόπτωσης ανά μετεωρολογικό σταθμό .....</i>	<i>50</i>
<i>Γράφημα 15: Ιστόγραμμα μέσων μηνιαίων τιμών βροχόπτωσης συνόλου μετεωρολογικών σταθμών .....</i>	<i>51</i>
<i>Γράφημα 16: % Ποσοστό μέσων μηνιαίων τιμών βροχόπτωσης συνόλου μετεωρολογικών σταθμών .....</i>	<i>52</i>
<i>Γράφημα 17: Γραμμική παλινδρόμηση βροχόπτωσης - υψομέτρου μετεωρολογικών σταθμών .....</i>	<i>53</i>
<i>Γράφημα 18: Θερμοϋετόγραμμα μετεωρολογικών σταθμών .....</i>	<i>54</i>
<i>Γράφημα 19: Διακύμανση μέσων ετήσιων τιμών έντασης ανέμου .....</i>	<i>55</i>
<i>Γράφημα 20: Διακύμανση μέσων μηνιαίων τιμών έντασης ανέμου ανά μετεωρολογικό σταθμό .....</i>	<i>56</i>
<i>Γράφημα 21: Ιστόγραμμα μέσων μηνιαίων τιμών έντασης ανέμου συνόλου μετεωρολογικών σταθμών .....</i>	<i>57</i>
<i>Γράφημα 22: Ιστόγραμμα συχνοτήτων νιτρικών ιόντων .....</i>	<i>63</i>
<i>Γράφημα 23: Ιστόγραμμα Έκτασης Ζωνών ενδογενούς Τρωτότητας DRASTIC.....</i>	<i>108</i>
<i>Γράφημα 24: Ιστόγραμμα Συχνοτήτων με καμπύλη κανονικής κατανομής αρχικών και λογαριθμικών τιμών συγκέντρωσης νιτρικών ιόντων .....</i>	<i>109</i>
<i>Γράφημα 25: Κανονική πιθανότητα των αρχικών και λογαριθμικών τιμών συγκέντρωσης νιτρικών ιόντων.....</i>	<i>110</i>
<i>Γράφημα 26: Συσχέτιση τιμών αρχικής μεθόδου DRASTIC / λογαριθμικών τιμών συγκέντρωσης νιτρικών ιόντων.....</i>	<i>110</i>
<i>Γράφημα 27: Ιστόγραμμα θεωρητικής ενεργού βαρύτητας μοντέλου DRASTIC..</i>	<i>112</i>
<i>Γράφημα 28: Ιστόγραμμα Έκτασης Ζωνών ενδογενούς Τρωτότητας DRASTICNr.</i>	<i>116</i>
<i>Γράφημα 29: Συσχέτιση τιμών βελτιστοποιημένης μεθόδου DRASTICNr / λογαριθμικών τιμών συγκέντρωσης νιτρικών ιόντων.....</i>	<i>117</i>
<i>Γράφημα 30: Ιστόγραμμα θεωρητικής ενεργού βαρύτητας μοντέλου DRASTICNr</i>	<i>118</i>
<i>Γράφημα 31: Συσχέτιση Μέσης Τιμής NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/ Dr .....</i>	<i>120</i>
<i>Γράφημα 32: Συσχέτιση Μέσης Τιμής NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/ Rr .....</i>	<i>120</i>
<i>Γράφημα 33: Συσχέτιση Μέσης Τιμής NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/ Ar .....</i>	<i>120</i>
<i>Γράφημα 34: Συσχέτιση Μέσης Τιμής NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/ Sr.....</i>	<i>121</i>
<i>Γράφημα 35: Συσχέτιση Μέσης Τιμής NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/ Tr.....</i>	<i>121</i>
<i>Γράφημα 36: Συσχέτιση Μέσης Τιμής NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/ Ir .....</i>	<i>121</i>

Γράφημα 37: Συσχέτιση Μέσης Τιμής $\text{NO}_3^-/\text{Cr}$ .....	122
Γράφημα 39: Συσχέτιση τιμών βελτιστοποιημένης μεθόδου <i>DRASTCNw</i> / λογαριθμικών τιμών συγκέντρωσης νιτρικών ιόντων.....	125
Γράφημα 40: Ιστογράμματα θεωρητικής ενεργού βαρύτητας μοντέλου <i>DRASTCNw</i> 126	
Γράφημα 41: Συσχέτιση Μέσης Τιμής $\text{NO}_3^-/\text{DrNr}$ .....	128
Γράφημα 42: Συσχέτιση Μέσης Τιμής $\text{NO}_3^-/\text{RrNr}$ .....	128
Γράφημα 43: Συσχέτιση Μέσης Τιμής $\text{NO}_3^-/\text{DrNr}$ .....	128
Γράφημα 44: Συσχέτιση Μέσης Τιμής $\text{NO}_3^-/\text{SrNr}$ .....	129
Γράφημα 45: Συσχέτιση Μέσης Τιμής $\text{NO}_3^-/\text{TrNr}$ .....	129
Γράφημα 46: Συσχέτιση Μέσης Τιμής $\text{NO}_3^-/\text{IrNr}$ .....	129
Γράφημα 47: Συσχέτιση Μέσης Τιμής $\text{NO}_3^-/\text{CrNr}$ .....	130
Γράφημα 49: Συσχέτιση τιμών βελτιστοποιημένης μεθόδου <i>DRASTICNrw</i> / λογαριθμικών τιμών συγκέντρωσης νιτρικών ιόντων.....	133
Γράφημα 50: Ιστόγραμμα θεωρητικής ενεργού βαρύτητας μοντέλου <i>DRASTICNrw</i> 134	
Γράφημα 51 Ιστόγραμμα Έκτασης Ζωνών ειδικής Τρωτότητας <i>DRASTICLNrw</i> ....	139
Γράφημα 52: Συσχέτιση τιμών βελτιστοποιημένης μεθόδου <i>DRASTICLNrw</i> / λογαριθμικών τιμών συγκέντρωσης νιτρικών ιόντων.....	141
Γράφημα 53: Ιστόγραμμα θεωρητικής ενεργού βαρύτητας μοντέλου <i>DRASTILCNrw</i> 142	
Γράφημα 53: Συσχέτιση τιμών βελτιστοποιημένης μεθόδου <i>DRASTICLNrwP</i> / λογαριθμικών τιμών συγκέντρωσης νιτρικών ιόντων.....	146
Γράφημα 54 Ιστόγραμμα Έκτασης Ζωνών ειδικής Τρωτότητας <i>DRASTICLNrwP</i> ...	147
Γράφημα 55: Ιστόγραμμα θεωρητικής ενεργού βαρύτητας μοντέλου <i>DRASTICLNwP</i> 150	
Γράφημα 56: Βελτίωση Συντελεστών συσχέτισης μεθόδων βελτιστοποίησης ....	151
Γράφημα 57: Ιστόγραμμα κατανομής εκτάσεων ζωνών τρωτότητας/διακινδύνευσης.....	153
<b>Χάρτες</b>	
Χάρτης 1: Υπόγεια Υδατικά Συστήματα ευρύτερης περιοχής μελέτης .....	4
Χάρτης 2: Υδροσημεία έρευνας.....	5
Χάρτης 3: Περιοχή Μελέτης.....	15

<i>Χάρτης 4: Μορφολογικό ανάγλυφο .....</i>	<i>16</i>
<i>Χάρτης 5: Υψομετρικές Ζώνες .....</i>	<i>17</i>
<i>Χάρτης 6: Μορφολογικές Κλίσεις.....</i>	<i>18</i>
<i>Χάρτης 7: Υδρογραφικό Δίκτυο.....</i>	<i>19</i>
<i>Χάρτης 8: Λεκάνες Απορροής υδατορεμάτων.....</i>	<i>19</i>
<i>Χάρτης 9: Γεωλογικοί Σχηματισμοί - Τεκτονική.....</i>	<i>25</i>
<i>Χάρτης 10:Υδρολιθολογικοί σχηματισμοί .....</i>	<i>30</i>
<i>Χάρτης 11: Καλλικρατικοί Δήμοι Περιοχής Μελέτης.....</i>	<i>31</i>
<i>Χάρτης 12: Χάρτης Χρήσεων Γής, Land Cover Corine 2012.....</i>	<i>38</i>
<i>Χάρτης 13: Μετεωρολογικοί Σταθμοί ευρύτερης περιοχής μελέτης.....</i>	<i>41</i>
<i>Χάρτης 14: Πηγή Δεδομένων Υδροσημείων Μελέτης .....</i>	<i>61</i>
<i>Χάρτης 15: Κατανομή θερμοκρασίας υπόγειων υδροφορέων περιοχής μελέτης..</i>	<i>64</i>
<i>Χάρτης 16: Κατανομή ΡΗ υπόγειων υδροφορέων περιοχής μελέτης .....</i>	<i>65</i>
<i>Χάρτης 17: Κατανομή Διαλυμένου Οξυγόνου υπόγειων υδροφορέων περιοχής μελέτης.....</i>	<i>66</i>
<i>Χάρτης 18: Κατανομή Ηλεκτρικής Αγωγιμότητας υπόγειων υδροφορέων περιοχής μελέτης.....</i>	<i>67</i>
<i>Χάρτης 19: Κατανομή συγκέντρωσης χλωριόντων υπόγειων υδροφορέων περιοχής μελέτης.....</i>	<i>68</i>
<i>Χάρτης 20: Κατανομή συγκέντρωσης νιτρικών ιόντων υπόγειων υδροφορέων περιοχής μελέτης.....</i>	<i>69</i>
<i>Χάρτης 21: Βάθος υπόγειων υδροφορέων περιοχής μελέτης.....</i>	<i>81</i>
<i>Χάρτης 22: Βαθμονόμηση Βάθους υπόγειων υδροφορέων D<sub>r</sub> ως προς την Τρωτότητα.....</i>	<i>81</i>
<i>Χάρτης 23: : Βαθμονόμηση Μέσης Ετήσιας Θερμοκρασίας ως προς την ενεργή κατείδυση.....</i>	<i>83</i>
<i>Χάρτης 24: : Βαθμονόμηση Μέσης Ετήσιας Βροχόπτωσης ως προς την ενεργή κατείδυση.....</i>	<i>84</i>
<i>Χάρτης 25: : Βαθμονόμηση Μέσης Ετήσιας Έντασης Ανέμου ως προς την ενεργή κατείδυση.....</i>	<i>85</i>
<i>Χάρτης 26: : Βαθμονόμηση Μέσης Ετήσιας Σχετικής Υγρασίας ως προς την ενεργή κατείδυση.....</i>	<i>86</i>
<i>Χάρτης 27: : Βαθμονόμηση Μορφολογικών Κλίσεων ως προς την ενεργή κατείδυση.....</i>	<i>87</i>

<i>Χάρτης 27: : Χαρακτηρισμός επιφανειακής υδρολιθολογίας ως προς την ενεργή κατεΐσδυση.....</i>	<i>88</i>
<i>Χάρτης 28: : Βαθμονόμηση Χρήσεων Γής ως προς την ενεργή κατεΐσδυση .....</i>	<i>89</i>
<i>Χάρτης 30: : Βαθμονόμηση ενεργούς κατεΐσδυσης Rr ως προς την Τρωτότητα.....</i>	<i>91</i>
<i>Χάρτης 31: : Μέσο Υπόγειων Υδροφορέων περιοχής μελέτης A.....</i>	<i>92</i>
<i>Χάρτης 31: : Βαθμονόμηση Μέσου Υπόγειων Υδροφορέων Ar ως προς την τρωτότητα.....</i>	<i>93</i>
<i>Χάρτης 32: : Κοκκομετρία Εδάφους .....</i>	<i>95</i>
<i>Χάρτης 33: : Βαθμονόμηση Κοκκομετρίας Εδάφους ως προς την Τρωτότητα .....</i>	<i>95</i>
<i>Χάρτης 34: : Υδρομορφία Εδάφους.....</i>	<i>96</i>
<i>Χάρτης 35: : Βαθμονόμηση Εδαφικής Υφής Sr ως προς την Τρωτότητα.....</i>	<i>97</i>
<i>Χάρτης 35: : Βαθμονόμηση Μορφολογίας Tr ως προς την Τρωτότητα .....</i>	<i>98</i>
<i>Χάρτης 36: : Ακόρεστη Ζώνη I.....</i>	<i>99</i>
<i>Χάρτης 37: : Βαθμονόμηση Ακόρεστης Ζώνης Ir ως προς την Τρωτότητα.....</i>	<i>100</i>
<i>Χάρτης 38: : Υδραυλική Αγωγιμότητα Υπόγειων Υδροφορέων.....</i>	<i>101</i>
<i>Χάρτης 39: : Βαθμονόμηση Υδραυλικής Αγωγιμότητας Cr ως προς την Τρωτότητα</i>	<i>101</i>
<i>Χάρτης 40: Κατανομή Ενδογενούς Τρωτότητας DRASTIC της περιοχής μελέτης ..</i>	<i>107</i>
<i>Χάρτης 41:Κατανομή Ενδογενούς Τρωτότητας DRASTICNr της περιοχής μελέτης</i>	<i>115</i>
<i>Χάρτης 42: : Κατανομή Ενδογενούς Τρωτότητας DRASTCNw της περιοχής μελέτης</i>	<i>124</i>
<i>Χάρτης 43: : Κατανομή Ενδογενής Τρωτότητα DRASTICNrw της περιοχής μελέτης</i>	<i>132</i>
<i>Χάρτης 44: : Χρήσεις Γής της περιοχής μελέτης, Land Cover Corine 2012.....</i>	<i>137</i>
<i>Χάρτης 45: : Κατανομή Αρδευτικών Υδροληψιών φυτωρίων, θερμοκηπίων .....</i>	<i>137</i>
<i>Χάρτης 45: : Αρχική Βαθμονόμηση Χρήσεων Γής .....</i>	<i>138</i>
<i>Χάρτης 46: : Τελική Βαθμονόμηση Χρήσεων Γής βάσει Μ.Ο συγκέντρωσης νιτρικών ιόντων.....</i>	<i>138</i>
<i>Χάρτης 47: : Κατανομή Διακινδύνευσης DRASTICLNrw της περιοχής μελέτης.....</i>	<i>140</i>
<i>Χάρτης 48: : Σημειακές Πηγές ρύπανσης της περιοχής μελέτης.....</i>	<i>143</i>
<i>Χάρτης 49: : Αρχική Βαθμονόμηση Πυκνότητας Σημειακών Πηγών ρύπανσης ως προς την Διακινδύνευση Ρύπανσης υπόγειων υδροφορέων.....</i>	<i>144</i>

**Χάρτης 49: : Βαθμονόμηση Πυκνότητας Σημειακών Πηγών ρύπανσης ως προς την Διακινδύνευση Ρύπανσης υπόγειων υδροφορέων βάσει Μ.Ο συγκέντρωσης νιτρικών ιόντων..... 145**

**Χάρτης 49: : Κατανομή Διακινδύνευσης DRASTICLNrWP της περιοχής μελέτης... 148**

**Χάρτης 50: : Χωρική Συσχέτιση μεθόδου DRASTICLNrWP/συγκέντρωσης νιτρικών ιόντων..... 154**

## **Εικόνες**

**Εικόνα 1: Υδροληπτικά φρέατα δειγματοληψίας..... 184**

**Εικόνα 2: Υδροληπτικές Γεωτρήσεις δειγματοληψίας..... 184**

**Εικόνα 3: Γεωλογικοί σχηματισμοί περιοχής μελέτης ..... 185**

**Εικόνα 4: Μορφολογικές κλίσεις περιοχής μελέτης ..... 185**

**Εικόνα 5: Ακόρεστη ζώνη περιοχής μελέτης ..... 186**

## **Σχήματα**

**Σχήμα 1: Κύκλος αζώτου..... 10**

**Σχήμα 2: Διαγραμματική Απεικόνιση της εκτίμησης της εσωτερικής τρωτότητας του υπογείου νερού μέσω κίνησης, εξασθένισης ..... 72**

**Σχήμα 3: Παράμετροι μεθόδου DRASTIC..... 76**

**Σχήμα 4: Διαδικασία παραγωγής χάρτη τρωτότητας DRASTIC..... 78**

**Σχήμα 5: Θηκογράμματα παραμέτρων DRASTIC ..... 103**

**Σχήμα 6: Υδρολιθολογικές Τομές υδροληψιών I ..... 182**

**Σχήμα 7: Υδρολιθολογικές Τομές υδροληψιών II ..... 183**



## Συντομογραφίες

**Α.Δ.Α:** Αποκεντρωμένη Διοίκηση Αττικής

**Δ.Α.Α:** Διεθνής Αερολιμένας Αθηνών

**Ε.Α.Α:** Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών

**Ε.Α.Γ.Μ.Ε:** Ελληνική Αρχή Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών

**Ε.Γ.Υ:** Ειδική Γραμματεία Υδάτων

**ΕΛ.ΣΤΑΤ:** Ελληνική Στατιστική Αρχή

**Ι.Γ.Μ.Ε:** Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών

**ΙΝ.ΕΠ:** Ινστιτούτο Επιμόρφωσης

**Ο.Π.Ε.Κ.Ε.Π.Ε:** *Οργανισμός Πληρωμών και Ελέγχου Κοινοτικών Ενισχύσεων*

*Προσανατολισμού και Εγγυήσεων*

**Ο.Π.Υ:** Οργανισμός Παγκόσμιας Υγείας

**Υ.Π.ΕΝ:** Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας

# Κεφάλαιο 1<sup>ο</sup>

## Εισαγωγή

## 1. Εισαγωγή

Στην παρούσα μεταπτυχιακή εργασία επιχειρείται η διερεύνηση του κινδύνου νιτρορύπανσης των υπόγειων νερών του Υπόγειου Υδατικού Υποσυστήματος Μεσογαίας Β (κωδικός EL 0600152) μέσω τροποποίησης της κλασικής μεθοδολογίας DRASTIC, με την χρήση των Γεωγραφικών Πληροφοριακών Συστημάτων (ΓΠΣ) και στατιστικών εργαλείων. Το είδος της ρύπανσης που εξετάζεται είναι τα νιτρικά ιόντα ( $\text{NO}_3^-$ ) τα οποία βάσει μετρήσεων του Εθνικού Δικτύου Παρακολούθησης παρουσιάζουν αυξημένες τιμές στην εν λόγω περιοχή.

Η εν λόγω εργασία ανήκει σε μια γενικότερη προσπάθεια της διεθνούς επιστημονικής κοινότητας όσον αφορά την εύρεση κατάλληλων μεθόδων για την καλύτερη εκτίμηση της τρωτότητας - διακινδύνευσης των υπόγειων υδροφορέων στην εξωτερική ρύπανση.

Η μεθοδολογία DRASTIC ανήκει στις μεθόδους δεικτών/υπέρθεσης (Ρίζος Σ, 2013) και λαμβάνει υπόψη της τη χωρική μεταβολή διαφόρων παραμέτρων (υδρογεωλογικών, εδαφικών, μορφολογικών, κλιματολογικών). Σκοπός της εν λόγω εργασίας είναι η χρησιμοποίηση μιας μεθόδου πολυπαραμετρικής προσέγγισης και αξιολόγησης τόσο της ενδογενούς τρωτότητας όσο και του κινδύνου ρύπανσης ούτως ώστε να καταστεί εφικτή η χαρτογράφηση ζωνών τρωτότητας του υπόγειου νερού στην εξωτερική ρύπανση (νιτρικά ιόντα). Οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν αφορούν αφενός στοιχεία ενδογενούς τρωτότητας όπως είναι το βάθος του υδροφόρου ορίζοντα, η ενεργή κατείσδυση, το μέσο του υδροφορέα, το έδαφος, η κλίση αναγλύφου του εδάφους, η επίδραση της ακόρεστης ζώνης, η υδραυλική αγωγιμότητα του υδροφορέα καθώς επίσης και δεδομένα ρυπαντικού φορτίου όπως είναι οι χρήσεις γής και οι δυνητικές σημειακές πηγές ρύπανσης.

Στο πλαίσιο της εν λόγω εργασίας διερευνάται η επίδραση των αλλαγών των τιμών τόσο της σχετικής βαρύτητας μεταξύ των παραμέτρων όσο και της εσωτερικής βαθμονόμησης των στοιχείων της κάθε παραμέτρου, είτε μεμονωμένα είτε και σε συνδυασμό μεταξύ τους, έτσι ώστε μέσω κατάλληλων στατιστικών μεθόδων (έλεγχος συντελεστών συσχέτισης, μέσος όρος ομαδοποιημένων τιμών νιτρικών ιόντων) και παραμετρικών αλλαγών (προσθήκες ή αφαιρέσεις κριτηρίων, ομαδοποίηση παραμετρικών τιμών) να προκύψουν κάθε φορά βελτιωμένα αποτελέσματα μοντέλου που να επαληθεύονται σε ικανοποιητικό βαθμό μέσω κατάλληλων συντελεστών συσχέτισης συγκρινόμενα με μετρούμενες τιμές συγκέντρωσης νιτρικών ιόντων στην περιοχή μελέτης. Τα αποτελέσματα των υπολογισμών μέσω της δημιουργίας κατάλληλου χάρτη μπορούν να αποτελέσουν ένα βασικό εργαλείο διαχείρισης προς όλους τους αρμόδιους φορείς στο πλαίσιο άσκησης πολιτικής για την προστασία των υπόγειων υδροφορέων από την νιτρορύπανση.

Η διάρθρωση και δομή της παρούσας εργασίας αναπτύσσεται σε διεξοδικά κεφάλαια όπως περιγράφονται παρακάτω, με σκοπό την πληρέστερη κατανόηση της περιοχής, του επιστημονικού προβλήματος που καλείται να αντιμετωπίσει και των αναλυτικών βημάτων που χρησιμοποιήθηκαν στην κατεύθυνση αυτή.

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2ο:** Παρουσιάζεται αναλυτικά η μεθοδολογία υλοποίησης της παρούσας εργασίας (διαδικασία επιλογής περιοχής και υδροσημείων μελέτης, εργασίες υπαίθρου, πηγές πρωτογενών δεδομένων, ανάπτυξη δομής σε ψηφιακό γεωχωρικό περιβάλλον, βιβλιογραφική αναζήτηση)

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3ο:** Γίνεται μια προσπάθεια επισκόπησης των βασικών χαρακτηριστικών των νιτρικών ιόντων στους υδατικούς πόρους (προέλευση, νιτρορύπανση, μέτρα αποκατάστασης)

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4ο:** Αναλύονται τα φυσικά (γεωλογία, μορφολογία, υδρογεωλογία, κλιματολογία) και ανθρωπογενή χαρακτηριστικά της περιοχής μελέτης (χρήσεις γής, δημογραφική εξέλιξη, γεωργία – κτηνοτροφία)

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5ο:** Παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των Φυσικοχημικών - Υδροχημικών αναλύσεων επιλεγμένων υδροσημείων (θεωρητική ανάπτυξη παραμέτρων που εξετάστηκαν, στατιστικά στοιχεία μετρήσεων και χάρτες χωρικής κατανομής)

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6ο:** Περιγράφονται τα βασικά χαρακτηριστικά της μεθόδου DRASTIC (εννοιολογική προσέγγιση, ανάλυση παραμέτρων, βιβλιογραφική επισκόπηση της υπάρχουσας σχετικής διεθνούς γνώσης).

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7ο:** Στο παρόν κεφάλαιο που αποτελεί και το βασικό τμήμα της παρούσας εργασίας αναπτύσσεται η εφαρμογή της αρχικής μεθόδου DRASTIC, η διαδικασία βελτιστοποίησης της μέσω στατιστικών τεχνικών καθώς επίσης και η τροποποίηση της μέσω προσθήκης επιπλέον παραμέτρων ρυπαντικού φορτίου. Επίσης παρουσιάζονται τα αποτελέσματα σύγκρισης μεταξύ των μεθόδων εφαρμογής.

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8ο:** Δίνονται τα γενικά συμπεράσματα της παρούσας εργασίας και ανακεφαλαιώνονται τα κυριότερα σημεία, που χρήζουν περαιτέρω προβληματισμού, σκέψης και έρευνας.

Τέλος παρατίθενται (α) **Βιβλιογραφικές Αναφορές** (ελληνικές και διεθνείς), καλύπτοντας σε πολύ σημαντικό βαθμό όλο το φάσμα της μεθόδου που αναλύεται, καθώς επίσης και (β) **Παραρτήματα** δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία (φωτογραφίες, γεωλογικές τομές, αναλυτικοί πίνακες δεδομένων και αποτελεσμάτων υπολογισμών μοντέλων).

## Κεφάλαιο 2<sup>ο</sup>

# Μεθοδολογία Εργασίας

## 2. Μεθοδολογία Εργασίας

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζεται η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για την υλοποίηση της εν λόγω εργασίας. Πιο συγκεκριμένα περιγράφονται η διαδικασία επιλογής της περιοχής μελέτης και των υδροσημείων ανάλυσης, οι εργασίες υπαίθρου, η χρονική περίοδος μελέτης, οι πηγές προέλευσης πρωτογενών δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν, η ανάπτυξη δομής σε ψηφιακό - γεωχωρικό περιβάλλον καθώς επίσης και η μέθοδος βιβλιογραφικής αναζήτησης.

### 2.1 Γενικά Στοιχεία

Το πρώτο στάδιο υλοποίησης της παρούσας εργασίας αποτέλεσε η διαδικασία επιλογής κατάλληλης περιοχής για την εφαρμογή βελτιστοποίησης της μεθόδου Drastic. Τα βασικά κριτήρια που ελήφθησαν υπόψιν για την επιλογή της περιοχής μελέτης ήταν τα εξής:

- ✓ Διαθέσιμα πρωτογενή δεδομένα και μελέτες
- ✓ Ρυπαντικές δραστηριότητες (καλλιέργειες, βιομηχανίες, αστικές περιοχές με έλλειψη αποχετευτικού δικτύου, κτηνοτροφικές μονάδες)
- ✓ Διαπιστωμένα προβλήματα ποιοτικής κατάστασης υπογείων υδάτων κυρίως λόγω αυξημένων συγκεντρώσεων νιτρικών ιόντων
- ✓ Ύπαρξη ζωνών ευπρόσβλητων στην νιτρορύπανση λόγω γεωργικής δραστηριότητας
- ✓ Ύπαρξη διαφορετικού τύπου υπόγειων υδροφορέων
- ✓ Εγγύτητα περιοχής για την πραγματοποίηση δειγματοληψιών
- ✓ Ικανοποιητική καταγραφή υδροσημείων

Αναλύοντας τις ως άνω παραμέτρους επιλέχθηκε ως περιοχή μελέτης το **Υπόγειο Υδατικό Υποσύστημα Μεσογαίας Β (κωδικός EL 0600152)** (Χάρτης 1) σύμφωνα με τα εγκεκριμένα παραδοτέα της 1<sup>ης</sup> Αναθεώρησης του Σχεδίου Διαχείρισης Λεκανών Απορροής Ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος Αττικής ΥΔ 06, (πηγή: ΥΠΕΝ/ΕΓΥ) καθώς πληρούσε συνολικά τις ανωτέρω προϋποθέσεις.

Το εν λόγω υποσύστημα σύμφωνα με τα παραδοτέα της 1<sup>ης</sup> Αναθεώρησης Σχεδίου Διαχείρισης Λεκανών Απορροής Ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος Αττικής (ΥΔ 06), βρίσκεται σε καλή κατάσταση όσον αφορά την ποσοτική κατάσταση των υπόγειων υδροφορέων, ενώ η ποιότητα των υπόγειων υδροφορέων που παρακολουθούνται από το Εθνικό Πρόγραμμα Παρακολούθησης Υπόγειων Υδάτων της Ειδικής Γραμματείας Υδάτων θεωρείται ότι βρίσκεται σε κακή κατάσταση λόγω αυξημένων τιμών νιτρικών ιόντων

(λιπάσματα, αστικά απόβλητα, ζωικά απόβλητα) και βαρέων μετάλλων (βιομηχανική δραστηριότητα).



**Χάρτης 1: Υπόγεια Υδατικά Συστήματα ευρύτερης περιοχής μελέτης**

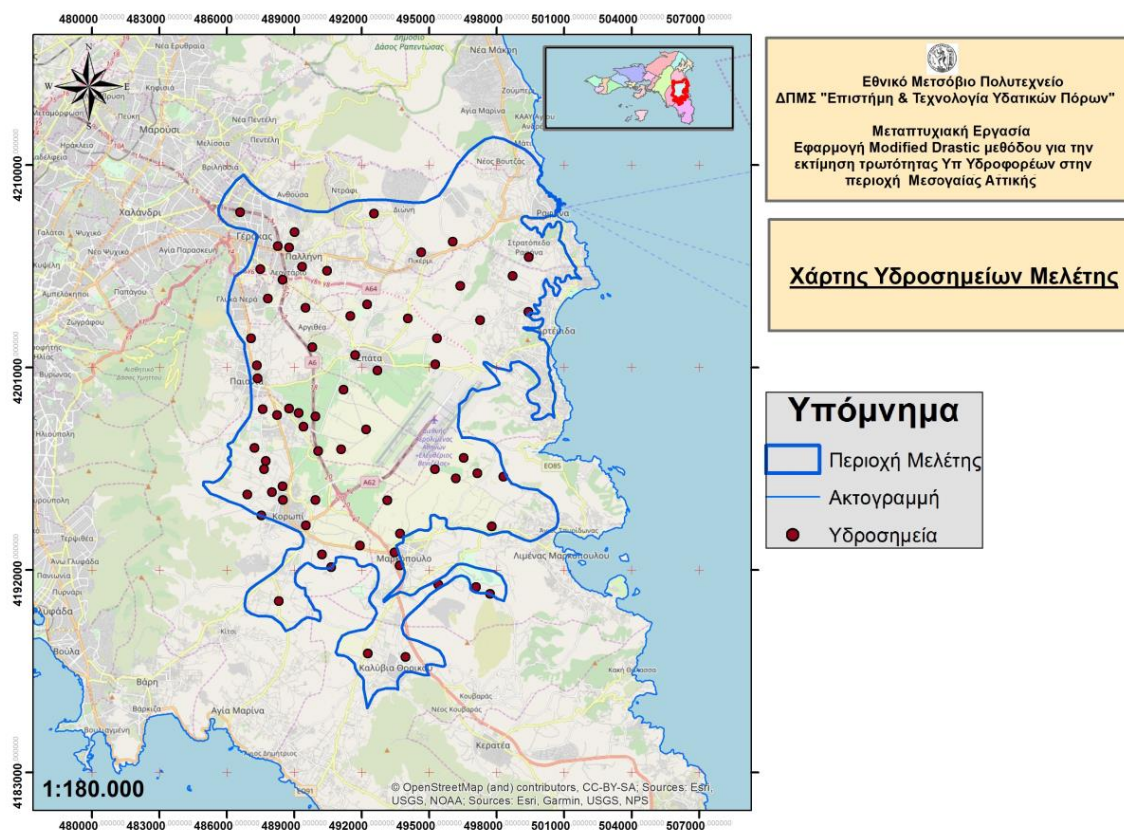
Η διαδικασία επιλογής των κατάλληλων υδροσημείων ανάλυσης αποτέλεσε την πιο χρονοβόρα διαδικασία καθώς τα εν λόγω υδροσημεία έπρεπε να πληρούν μια σειρά από κριτήρια ούτως ώστε να υπάρξουν όσο το δυνατόν περισσότερο αντιπροσωπευτικά αποτελέσματα κατά την διαδικασία εφαρμογής του μοντέλου στην περιοχή μελέτης. Τα κριτήρια που χρησιμοποιήθηκαν ήταν τα εξής:

- ✓ Κατάλληλη χωρική διασπορά ως προς την περιοχή μελέτης
- ✓ Ύπαρξη λιθολογικών τομών - δοκιμαστικών αντλήσεων
- ✓ Τεχνική δυνατότητα άντλησης νερού και πραγματοποίησης μετρήσεων στάθμης υδροφόρου
- ✓ Σύμφωνη γνώμη ιδιοκτητών για πραγματοποίηση μετρήσεων
- ✓ Αντιπροσωπευτικότητα ως προς τις χρήσεις γής και τους υπόγειους υδροφορείς της περιοχής μελέτης
- ✓ Ύπαρξη χημικών αναλύσεων και μετρήσεων στάθμης σε κοινή χρονική κλίμακα

**Βάσει όλων των παραπάνω επιλέχθηκαν συνολικά 68 υδροσημεία (Χάρτης 2) εκ των οποίων στα 45 από αυτά πραγματοποιήθηκαν προσωπικές δειγματοληψίες κατά την υγρή περίοδο 2018 – 2019 (Νοέμβριος 2018 – Μάρτιος 2019) ως εξής:**

- ✓ Επί τόπου μετρήσεις βάθους στάθμης υπόγειου νερού σε ελεύθερους υδροφορείς (φρέατα) με την χρήση ηλεκτρικού σταθμήμετρου
- ✓ Έλεγχος συντεταγμένων υδροσημείων με την χρήση gps (Garmin Etrex 20,  $\pm 3m$ )
- ✓ Πραγματοποίηση δειγματοληψιών νερού, μέτρηση φυσικοχημικών παραμέτρων με φορητό πολυπαραμετρικό όργανο και επί τόπου καταχώρηση αποτελεσμάτων σε ειδικό δελτίο (αναλυτική παρουσίαση στο κεφάλαιο υδροχημικές αναλύσεις)
- ✓ Λήψη αντιπροσωπευτικών φωτογραφιών
- ✓ Μεταφορά δειγμάτων για περαιτέρω αναλύσεις σε εργαστήρια του ΕΜΠ

Τα υπόλοιπα δεδομένα προήλθαν είτε από στοιχεία αναλύσεων 9 υδροσημείων (Υγρή περίοδος 2018-2019), του Εθνικού Δικτύου Παρακολούθησης Υπογείων Υδάτων με φορέα υλοποίησης την Ε.Γ.Υ και το Ε.Α.Γ.Μ.Ε (πρώην Ι.Γ.Μ.Ε) είτε από στοιχεία αναλύσεων 14 υδροσημείων (Υγρή περίοδος 2017-2019) με πηγή προέλευσης τους φακέλους αδειοδότησης των εν λόγω υδροσημείων σύμφωνα με το αρχείο τηρεί η Δνση Υδάτων Α.Δ.Α Αττικής. Βάσει του είδους υδροληψιών, επιλέχθησαν 32 πηγάδια και 36 γεωτρήσεις τα οποία και καλύπτουν αντιπροσωπευτικά την χωρική διάταξη των συνολικών υδροληψιών στην περιοχή μελέτης.



**Χάρτης 2: Υδροσημεία έρευνας**

Με σκοπό την αποτύπωση της υφιστάμενης κατάστασης και την ομοιογένεια ως προς τις υδρολογικές και αρδευτικές συνθήκες επιλέχθηκε συνολικά ως περίοδος μελέτης η Υγρή



Περίοδος 2017-2019 (Οκτώβριος – Μάρτιος) και βάσει αυτής της περιόδου συλλέχθηκαν τα απαιτούμενα δεδομένα υδροσημείων (μετρήσεις στάθμης νερού, χημικές αναλύσεις).

## 2.2 Συλλογή πρωτογενών δεδομένων

Το στάδιο συλλογής πρωτογενών δεδομένων αποτέλεσε μια πολύ σημαντική και χρονοβόρος διαδικασία. Πιο συγκεκριμένα αναζητήθηκαν στοιχεία για όλες τις παραμέτρους του μοντέλου DRASTIC όπως κλιματολογία, μορφολογία, γεωλογία, υδρογεωλογία, εδαφολογία, χρήσεις γής, σημειακές πηγές ρύπανσης, υδροληψίες κα. Οι μέθοδοι συλλογής δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν χωρίζονται σε 4 βασικές κατηγορίες:

- ✓ Αιτήματα παροχής στοιχείων σε ινστιτούτα, δημόσιους και ιδιωτικούς φορείς
- ✓ Αναζήτηση δεδομένων μέσω διαδικτύου
- ✓ Δεδομένα πεδίου
- ✓ Στοιχεία από οργανωμένες βάσεις δεδομένων της Δνσης Υδάτων της Αποκεντρωμένης Διοίκησης Αττικής

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται εκτενώς οι παράμετροι, τα δεδομένα και η αντίστοιχη πηγή προέλευσης τους ανάλογα με τις παραμέτρους του μοντέλου DRASTIC της παρούσας εργασίας.

**Πίνακας 1: Πηγές πρωτογενών δεδομένων μεθόδου DRASTIC**

Παράμετροι	Δεδομένα	Πηγές
Βάθος Υδροφόρου D	Βάθος στάθμης ηρεμίας (ελεύθεροι υδροφορείς), Βάθος οροφής υδροφορέων (υπό πίεση υδροφορείς)	Μετρήσεις πεδίου (Στάθμες φρεάτων) , Υδρογεωλογικές μελέτες υδροληψιών, λιθολογικές τομές υδροληψιών (αρχείο Δνσης Υδάτων Αττικής)
Ενεργή Κατείδυση R	Κλιματολογικά Δεδομένα (βροχόπτωση, θερμοκρασία, ταχύτητα ανέμου, σχετική υγρασία), Χρήσεις Γής, Υδρολιθολογικοί χάρτες, Χωρική Κατανομή υδροληψιών, Μορφολογικές Κλίσεις	Κλιματολογικά Δεδομένα (Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών, Διεθνές Αεροδρόμιο Αθηνών), Χρήσεις Γής (Land Cover Corine 2012), Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους (Εθνικό Κτηματολόγιο), Βάση Δεδομένων Υδροληψιών Δνσης Υδάτων Αττικής, Ψηφιακό αρχείο Γεωλογικών Υδρολιθολογικών Σχηματισμών ΕΑΓΜΕ 2004 (Φύλλο Κορωπί, Κηφισιά, Ραφήνα, Κλίμακα 1:50000)
Μέσο Υδροφόρα A	Λιθολογικές Τομές Γεωτρήσεων, Υδρογεωλογικές Μελέτες	Αρχείο Δνσης Υδάτων Αττικής, Ιδιοκτήτες υδροληψιών, Παρατηρήσεις πεδίου
Εδαφική Υφή S	Γεωχωρικά Δεδομένα Κοκκομετρίας και Υδρομορφίας Εδάφους (βάθος από 25cm έως 150cm) - shp	Ψηφιακός Εδαφολογικός Χάρτης της Ελλάδας (Ο.Π.Ε.Κ.Ε.Π.Ε 2015, Κλίμακα 1:30000)
Τοπογραφία T	Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους μορφής raster (ανάλυση 5*5 m)	Εθνικό Κτηματολόγιο
Ακόρεστη Ζώνη I	Λιθολογικές Τομές υδροληψιών, Λιθολογικές τομές ορυγμάτων-τάφρων	Αρχείο Δνσης Υδάτων Αττικής, Γεωτεχνικές Μελέτες, Μελέτες Επαναχρησιμοποίησης υγρών επεξεργασμένων αποβλήτων (δημόσιοι και ιδιωτικοί φορείς), Παρατηρήσεις πεδίου
Υδραυλική Αγωγιμότητα C	Δοκιμαστικές Αντλήσεις, Βιβλιογραφία	Υδρογεωλογικές Μελέτες αδειοδότησης νέων υδροληψιών (αρχείο Δνσης Υδάτων Αττικής), Διεθνή Βιβλιογραφία

Χρήσεις Γής L	Χρήσεις Γής, Καλλιεργούμενες εκτάσεις	Land Cover Corine 2012, Ψηφιακός χάρτης Δηλώσεων Αγροτικών Εκμεταλλεύσεων 2018 (Ο.Π.Ε.Κ.Ε.Π.Ε)
Σημειακές Πηγές Ρύπανσης P	Είδη σημειακών δυνητικών πηγών ρύπανσης	Παραδοτέα της 1ης Αναθεώρησης Σχεδίων Διαχείρισης Λεκανών Απορροής ΥΔ 06 (Αττικής) - ΥΠΕΝ Ειδική Γραμματεία Υδάτων, Προσωπική αναζήτηση και καταγραφή μέσω δορυφορικών εικόνων (Google maps)

### 2.3 Ανάπτυξη ψηφιακής – γεωχωρικής δομής

Στο πλαίσιο υλοποίησης της παρούσας εργασίας χρησιμοποιήθηκαν κατάλληλα λογισμικά μέσω των οποίων πραγματοποιήθηκαν οι απαραίτητες στατιστικές και γεωχωρικές αναλύσεις.

Μέσω του λογισμικού προγράμματος εφαρμογών **Ms Excel 2007** έγινε η ψηφιακή καταχώρηση δεδομένων και δημιουργία των παραμέτρων του μοντέλου DRASTIC σε μορφή πινάκων. Επίσης δημιουργήθηκαν τα κατάλληλα στατιστικά διαγράμματα (ιστογράμματα συχνοτήτων, διαγράμματα συντελεστών συσχέτισης) και οι απαραίτητοι αναλυτικοί υπολογισμοί (πχ μέθοδοι ανάλυσης ευαισθησίας, δημιουργία βημάτων πολυκριτηριακής ανάλυσης και έλεγχος συντελεστών συνέπειας, υπολογισμοί και πράξεις μεταξύ των παραμέτρων του μοντέλου). Επίσης μέσω του έτοιμου λογισμικού Vertex 42 (σε περιβάλλον excel 2007) δημιουργήθηκαν τα θηκογράμματα των τιμών των παραμέτρων της αρχικής μεθόδου DRASTIC AHP.

Με την χρήση του λογισμικού πακέτου **SPSS 13** έγινε προηγμένη στατιστική ανάλυση στα πρωτογενή δεδομένα όπως έλεγχος κανονικοποίησης τιμών αποτελεσμάτων νιτρικών ιόντων, υπολογισμός συντελεστών συσχέτισης Kendalls, Spearman's.

Με την χρήση του κυρίως του λογισμικού **Arc Gis 10.2** πραγματοποιήθηκε η γεωχωρική ανάλυση της παρούσας μελέτης με την χρήση εξειδικευμένων πακέτων (Arc Toolbox).

Οι βασικές εργασίες που επιτελέστηκαν ήταν οι εξής:

- ✓ Δημιουργία προσωπικής γεωβάσης για την διαχείριση των πρωτογενών και δευτερογενών γεωχωρικών δεδομένων (διανυσματικά & ψηφιδωτά αρχεία)
- ✓ Δημιουργία και ομαδοποίηση επιπέδων γεωχωρικής πληροφορίας (layers)
- ✓ Δημιουργία σημειακών διανυσματικών αρχείων από κατάλληλα αρχεία excel
- ✓ Μετατροπή διανυσματικών αρχείων σε ψηφιδωτά αρχεία (raster) σε ανάλυση 30\*30 m (Feature to Raster)
- ✓ Επαναξατινόμενη παραμετρικών τιμών (Reclassify)
- ✓ Αλγεβρικές πράξεις μεταξύ ψηφιδωτών αρχείων (Raster calculator)
- ✓ Υπολογισμός εκτάσεων ζωνών τρωτότητας (δημιουργία νέου πεδίου μέσω πολλαπλασιασμού αριθμού κελιών με συγκεκριμένη παραμετρική τιμή με το εμβαδό στοιχειώδους κελιού πχ 0,0009m)

- ✓ Εξαγωγή τιμών των κελιών ψηφιδωτών αρχείων στα υδροσημεία της μελέτης για μετέπειτα υπολογισμούς συσχέτισης (extract values to points)
- ✓ Μέθοδοι χωρικής ανάλυσης (clip, merge, union, extract by mask) για την δημιουργία γεωχωρικών αρχείων εντός της περιοχής μελέτης
- ✓ Μέθοδοι χωρικής παρεμβολής από σημειακές γεωχωρικές τιμές μέσω των μεθόδων IDW ή Kriging σε ανάλυση κελιού raster 30\*30 m. Η επιλογή της κατάλληλης μεθόδου αποτέλεσε συνάρτηση της ακρίβειας των τελικών αποτελεσμάτων σε σχέση με τις πραγματικές τιμές καθώς επίσης και του είδους των αρχικών παραμετρικών τιμών
- ✓ Μέθοδος χωρικής παρεμβολής πολυγώνων (area interpolation) όπου και δημιουργήθηκαν πολύγωνα εδαφολογικής πληροφορίας από γειτονικά πολύγωνα με γνωστές τιμές
- ✓ Χρήση εργαλείου 3D Analyst για την παραγωγή χαρτών κλίσεων και αναγλύφου
- ✓ Δημιουργία ταξινόμησης και παραγωγής κατάλληλων κλάσεων ψηφιδωτών αρχείων μέσω του εργαλείου symbology, classified, Natural Breaks
- ✓ Δημιουργία ψηφιδωτού αρχείου πυκνότητας από σημειακά αρχεία (kernel density tool)
- ✓ Χαρτογραφική απόδοση επιπέδων γεωχωρικής πληροφορίας (layout view) με χρήση του Google Street View ως κατάλληλου υποβάθρου και ενιαία κλίμακα 1:160000.

Τα γεωχωρικά στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν γεωαναφέρθηκαν με το προβολικό σύστημα **ΕΓΣΑ 87** και η ορθή απεικόνιση τους στο χαρτογραφικό υπόβαθρο (γεωγραφικό προβολικό σύστημα WGS84) έγινε με το εργαλείο Data Frame Properties.

Τέλος χρησιμοποιήθηκε και το λογισμικό QGIS 2.14.3 για την μετατροπή προβολικών συστημάτων και την αποτύπωση αρχικών σημείων σε υπόβαθρο δορυφορικής απεικόνισης (google satelite).

## 2.4 Βιβλιογραφική αναζήτηση

Πρώτο και καθοριστικό βήμα στο ξεκίνημα της παρούσας εργασίας αποτέλεσε η αναζήτηση και εύρεση κατάλληλης βιβλιογραφίας σχετικά με την μέθοδο DRASTIC. Οι βασικές πηγές που χρησιμοποιήθηκαν ήταν επιστημονικές δημοσιεύσεις (papers), προπτυχιακές - μεταπτυχιακές και διδακτορικές πανεπιστημιακές μελέτες, σημειώσεις εκπαιδευτικών ιδρυμάτων, τεχνικές μελέτες ινστιτούτων, νομοθεσία κ.α.

Για την εύρεση των ανωτέρω βιβλιογραφικών πηγών αναζητήθηκαν πληροφορίες σε ιστοτόπους επιστημονικής κοινωνικής δικτύωσης (πχ research gate, academia) καθώς

---

επίσης και σε portals που παρέχουν πρόσβαση σε μια μεγάλη βάση δεδομένων επιστημονικής εργασίας (science direct, springer, google scholar, scopus, semantic scholar). Επίσης χρησιμοποιήθηκε το Εθνικό Αρχείο Διδακτορικών Διατριβών και το ιδρυματικό αποθετήριο DSpace του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

## Κεφάλαιο 3<sup>ο</sup>

# Νιτρικά Ιόντα - Υδατικοί Πόροι

### 3. Νιτρικά Ιόντα – Υδατικοί Πόροι

Στο παρόν κεφάλαιο αναλύονται τα βασικά χαρακτηριστικά των νιτρικών ιόντων που αποτελούν την ρυπαντική ουσία που μελετάται στο πλαίσιο της μεθόδου DRASTIC, καθώς επίσης και αναφορά στην έννοια της νιτρορύπανσης και των υφιστάμενων μεθόδων αντιμετώπισης της.

#### 3.1. Νιτρικά Ιόντα

Τα νιτρικά ιόντα ( $\text{NO}_3^-$ ) αποτελούν προϊόν των διαδικασιών μετασχηματισμού του αζώτου και των ενώσεων του (Follett, 2008). Κύρια πηγή προέλευσης τους είναι η αζωτοδέσμευση, διαδικασία ενσωμάτωσης του αδρανούς αερίου αζώτου σε μια τέτοια χημική ένωση ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί από τα φυτά και τα ζώα. Βασικές κατηγορίες δέσμευσης αερίου αζώτου είναι η ατμοσφαιρική, βιολογική και βιομηχανική με τις αντίστοιχες παράγωγες ενώσεις τους:

- ✓ Ατμοσφαιρική  $\longrightarrow$   $\text{NH}_3$   $\longrightarrow$  Οργανικό Άζωτο
- ✓ Βιολογική (90%)  $\longrightarrow$  Νιτρικά  $\longrightarrow$  Οργανικό Άζωτο
- ✓ Βιομηχανική  $\longrightarrow$  Αμμωνιακά, Νιτρικά

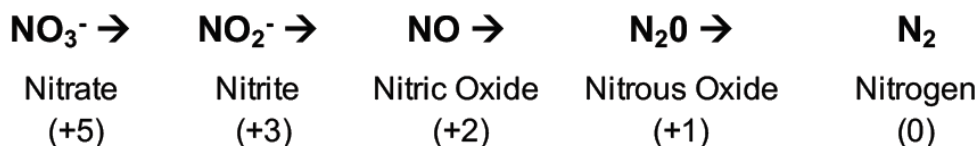
Βασικοί παράγοντες για την δημιουργία των ανωτέρω ενώσεων αποτελούν τα νιτροβακτήρια μια ομάδα αερόβιων βακτηρίων που χρησιμοποιούν ανόργανα χημικά ως πηγή ενέργειας. Αυτοί οι μικροοργανισμοί είναι σημαντικοί στον κύκλο του αζώτου ως μετατροπείς αμμωνίας εδάφους σε νιτρικά άλατα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν από τα φυτά (νιτροποίηση).

Η διαδικασία της νιτροποίησης απαιτεί τη μεσολάβηση των δύο διακριτών ομάδων βακτηριών:

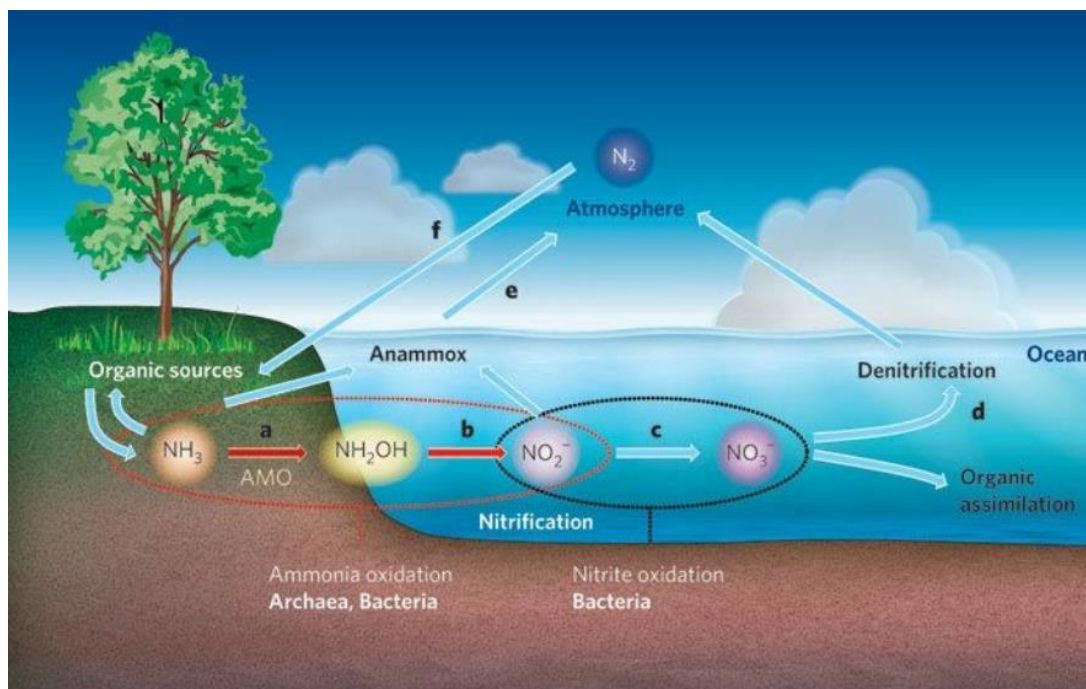
1) Μετατροπείς αμμωνίας σε νιτρώδη (Νιτροζομονάδα, Nitrosospira, Nitrosococcus και Nitrosolobus) και 2) Μετατροπείς νιτρωδών (τοξικά για τα φυτά) σε νιτρικά άλατα (Νιτροβακτηρίδιο, Nitrospina και Nitrococcus).

Η διαδικασία της νιτροποίησης συμβαίνει σε αερόβιες συνθήκες, παρουσία οξυγόνου.

Τελικό στάδιο του κύκλου του αζώτου (σχήμα 1) αποτελεί η απονιτροποίηση η οποία αποτελεί μικροβιακή οξειδοαναγωγική αντίδραση κατά την οποία τα νιτρικά ιόντα μετατρέπονται σε μοριακό άζωτο σύμφωνα με την εξής χημική αντίδραση:



Η απονιτροποίηση απαιτεί την παρουσία κατάλληλων βακτηρίων, δότη ηλεκτρονίων και παρουσία χαμηλής συγκέντρωσης  $O_2$ .



Σχήμα 1: Κύκλος αζώτου, Πηγή [www.enidrio.gr](http://www.enidrio.gr)

Οι κυριότερες μορφές του αζώτου στα νερά είναι οι εξής:

- ✓ μοριακό άζωτο ( $N_2$ )
- ✓ νιτρικά ιόντα ( $NO_3^-$ )
- ✓ νιτρώδη ιόντα ( $NO_2^-$ )
- ✓ αμμωνιακά ιόντα ( $NH_4^-$ )
- ✓ οργανικό άζωτο

Τα νιτρικά ιόντα τα οποία και αποτελούν προϊόντα βιολογικής οξείδωσης των νιτρικών ιόντων παρουσιάζουν σε κανονικές συνθήκες χαμηλές συγκεντρώσεις στα επιφανειακά νερά ενώ σε ορισμένες περιπτώσεις εμφανίζουν υψηλές συγκεντρώσεις στους υπόγειους υδροφορείς. Επίσης αποτελούν φυσιολογικό συστατικό τροφών (πχ λαχανικά).

### 3.2. Νιτρορύπανση

Ως νιτρορύπανση θεωρούμε την άμεση ή έμμεση απόρριψη στο υδάτινο περιβάλλον αζωτούχων ενώσεων, με σημαντικότερες επιπτώσεις την πρόκληση βλαβών στην ανθρώπινη υγεία και την υποβάθμιση των υδατικών οικοσυστημάτων (Ειδική Γραμματεία Υδάτων).

Οι κύριες πηγές νιτρορύπανσης προέρχονται κατά κύριο λόγο από ανθρωπογενείς δραστηριότητες. Οι αγροτικές δραστηριότητες, γεωργικές και κτηνοτροφικές, αποτελούν τις

σημαντικότερες αιτίες της νιτρορύπανσης. Υψηλές συγκεντρώσεις νιτρικών ενώσεων παρατηρούνται σε περιοχές με αυξημένη γεωργική δραστηριότητα, όπου γίνεται εντατική χρήση αζωτούχων λιπασμάτων καθώς και σε περιοχές με μεγάλη συγκέντρωση ζωικών αποβλήτων. Επίσης άλλες πηγές νιτρορύπανσης αποτελούν τα αστικά λύματα και βιομηχανικά απόβλητα σε μικρότερο βαθμό βέβαια σε σχέση με τις αγροτικές δραστηριότητες.

Στα επιφανειακά νερά και ιδίως στις λίμνες και στους κλειστούς κόλπους η παρουσία αυξημένων συγκεντρώσεων αζωτούχων αλλά και φωσφορικών ενώσεων, με τη συνδρομή και της ηλιακής ακτινοβολίας, ενισχύει, συχνά σε υπερβολικό βαθμό, την ανάπτυξη υδρόβιας βλάστησης και φυτικών μικροοργανισμών στο νερό (φυτοπλαγκτόν), δημιουργώντας με τον τρόπο αυτό το φαινόμενο του ευτροφισμού. Στις συνέπειες του ευτροφισμού περιλαμβάνονται η μείωση του διαλυμένου οξυγόνου στα βαθύτερα στρώματα του νερού, η δημιουργία τοξινών που σκοτώνουν τα ψάρια, η παραγωγή ενώσεων που προσδίδουν δυσάρεστη οσμή στο νερό και η εν γένει διαταραχή της οικολογικής ισορροπίας.

Στα υπόγεια ύδατα, η νιτρορύπανση εμφανίζεται κυρίως με τη μορφή αθροιστικής συσσώρευσης νιτρικών, τα οποία σε ορισμένες περιπτώσεις φθάνουν σε επίπεδα που είναι απαγορευτικά για τη χρήση του νερού για σκοπούς ύδρευσης.

Τα νιτρικά που προέρχονται από τα αζωτούχα λιπάσματα και από άλλες πηγές είναι πολύ ευκίνητα μέσα στο έδαφος. Διαλύονται εύκολα στο νερό και καθώς δεν συγκρατούνται από το έδαφος όπως συμβαίνει με άλλα θρεπτικά στοιχεία συμπαρασύρονται προς τα βαθύτερα στρώματα του εδάφους μέσω της ακόρεστης ζώνης και τελικά καταλήγουν στα υπόγεια νερά από τους οποίους μπορούν να αφαιρεθούν μόνο μέσω της άντλησης (Arpele and Postma, 2005), συμπεριλαμβανομένων και των στραγγιστικών έργων.

**Ως οριακή τιμή για το πόσιμο νερό έχει καθορισθεί από την Ελληνική και Διεθνή νομοθεσία η συγκέντρωση των 50 mg/l σε νιτρικά ιόντα**, ωστόσο ακόμα και σε μικρότερες συγκεντρώσεις (μεγαλύτερες από 25 mg/l) δημιουργείται προβληματισμός για μακροχρόνια χρήση του νερού για πόση.

Οι επιπτώσεις του φαινομένου είναι σημαντικές τόσο για τον άνθρωπο όσο και για το περιβάλλον. Οι σπουδαιότερες εξ' αυτών σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (Π.Ο.Υ.) είναι η **μεθαιμογλοβιναιμία** στα νεογνά και ο αυξημένος κίνδυνος καρκινογένεσης στους ενήλικες λόγω μετατροπής νιτρικών ιόντων σε νιτρώδη (**τοξικότητα**). Επιπλέον, οι αυξημένες συγκεντρώσεις νιτρικών ιόντων στα υπόγεια νερά δύνανται υπό προϋποθέσεις (υδραυλική επικοινωνία και τροφοδοσία μεταξύ υπόγειων και επιφανειακών υδατικών



σωμάτων) να επιφέρουν δευτερογενείς επιπτώσεις στους επιφανειακούς αποδέκτες, δημιουργώντας ή/και ενισχύοντας το φαινόμενο του ευτροφισμού.

Σημαντικές επίσης είναι και οι οικονομικές προεκτάσεις, καθώς η ποιοτική επιβάρυνση ελαχιστοποιεί τα συνολικά διαθέσιμα υδατικά αποθέματα που πληρούν τις ποιοτικές προδιαγραφές που θέτει η κείμενη νομοθεσία και τα διεθνή πρότυπα για τις διάφορες χρήσεις, ενώ παράλληλα η Ελλάδα υπόκειται σε σειρά νομικών και οικονομικών κυρώσεων για τη μη θέσπιση αποτελεσματικών μέτρων. Οι προαναφερθείσες επιπτώσεις αναμένεται να επηρεαστούν δυσμενώς από τη μεταβολή των υδρολογικών και εδαφολογικών συνθηκών λόγω της προβλεπόμενης κλιματικής αλλαγής τις επόμενες δεκαετίες, όπου με βάση τα επικρατούντα σενάρια εκτιμάται ότι θα έχει έντονες επιπτώσεις στις ελληνικές υδρολογικές λεκάνες. (Τσιρίτης, Ε Αραμπατζής, Γ 2015).

Σύμφωνα με την Έκθεση της Ειδικής Γραμματείας Υδάτων κατ' εφαρμογή της Οδηγίας 91/676/ΕΟΚ, την χρονική περίοδο 2012 – 2015 πραγματοποιήθηκαν σε εθνικό επίπεδο 1078 μετρήσεις σε σημεία παρακολούθησης ποιότητας υπογείων υδάτων. Σύμφωνα με τα στατιστικά στοιχεία (Πίνακας 1) το 23,42% τον υδροσημείων εμφανίζουν μέσες τιμές συγκέντρωσης νιτρικών ιόντων πάνω από το θεσμοθετημένο όριο γεγονός που αντικατοπτρίζει την ποιοτική επιβάρυνση σε διάφορα υπόγεια υδατικά συστήματα. Τα εν λόγω σημεία παρακολούθησης αφορούν αποκλειστικά φρεάτιους υδροφορείς γεγονός που σημαίνει ότι το δίκτυο θα πρέπει να επεκταθεί και σε άλλους τύπους υδροφορέων (υπο πίεση, μερικώς υπό πίεση) έτσι ώστε να υπάρχει μια ολοκληρωμένη εικόνα των υπόγειων υδροφορέων ανάλογη του είδους (καρστικός, ρωγματώδης) και της θέσης τους.

**Πίνακας 2: Κατάταξη μέσο όρου αναλύσεων υπόγειων υδάτων σε νιτρικά ιόντα βάσει μετρήσεων του εθνικού δικτύου παρακολούθησης της ΕΓΥ 2012 -2015, Πηγή [www.ypeka.gr](http://www.ypeka.gr)**

Κλάση (mg/l NO <sub>3</sub> )	Χρώμα	Πλήθος σημείων
0 - 24.99	ΠΡΑΣΙΝΟ	713
25 - 39.99	ΚΙΤΡΙΝΟ	133
40 - 50	ΠΟΡΤΟΚΑΛΙ	65
>50	ΚΟΚΚΙΝΟ	167
<b>Σύνολο</b>		<b>1078</b>

### 3.3. Μέτρα Αντιμετώπισης - Νομοθεσία

Η νιτρορύπανση αποτέλεσε σοβαρό περιβαλλοντικό πρόβλημα το οποίο και αναγνωρίστηκε από τα αρμόδια όργανα της Ευρωπαϊκής Ένωσης ως κύριο αίτιο αγροπεριβαλλοντικών ζητημάτων. Στο πλαίσιο αυτό καταρτίστηκε η Οδηγία 91/676/ΕΟΚ «για την προστασία των υδάτων από τη νιτρορύπανση γεωργικής προέλευσης» η οποία αποσκοπεί στην προστασία των υδάτων από τη ρύπανση που προκαλείται άμεσα ή έμμεσα από νιτρικά ιόντα

γεωργικής προέλευσης. Τα κράτη μέλη οφείλουν να λαμβάνουν συγκεκριμένα μέτρα όπως: παρακολούθηση των υδάτων (ως προς τη συγκέντρωση νιτρικών ιόντων και την τροφική κατάσταση), προσδιορισμός των υδάτων που έχουν ρυπανθεί ή διατρέχουν κίνδυνο ρύπανσης, χαρακτηρισμός ευπρόσβλητων ζωνών, θέσπιση κωδικών ορθής γεωργικής πρακτικής και κατάρτιση προγραμμάτων δράσης (σειρά μέτρων για την πρόληψη και τη μείωση της νιτρορύπανσης) καθώς και επανεξέταση, τουλάχιστον ανά τετραετία, του χαρακτηρισμού ευπρόσβλητων ζωνών και των προγραμμάτων δράσης (Ειδική Γραμματεία Υδάτων).

Η εν λόγω Οδηγία ενσωματώθηκε στο εθνικό θεσμικό πλαίσιο με την ΚΥΑ 161690/1335/1997 ([ΦΕΚ Β' 519/25-6-1997](#)) «Μέτρα και όροι για την προστασία των νερών από την νιτρορύπανση γεωργικής προέλευσης».

Σε συνέχεια της ενσωμάτωσης της Οδηγίας 91/676/ΕΟΚ «για την προστασία των υδάτων από τη νιτρορύπανση γεωργικής προέλευσης» (ΚΥΑ 16190/1335/1997) και αξιοποιώντας τα αποτελέσματα του Εθνικού Δικτύου Παρακολούθησης της κατάστασης των επιφανειακών και υπόγειων υδάτων, καθορίστηκαν από την Ειδική Γραμματεία Υδάτων Ζώνες ευπρόσβλητες από νιτρορύπανση (ZEN) γεωργικής προέλευσης.

Για όλες τις ευπρόσβλητες σε νιτρορύπανση ζώνες της χώρας (30 ευπρόσβλητες ζώνες) θεσμοθετήθηκαν (ΦΕΚ/1496/Β/03.05.2019) τα Προγράμματα Δράσης με την ΚΥΑ Αριθμ. ΥΠΕΝ/ΓρΕΓΥ/38552/265/25.04.2019 «Πρόγραμμα Δράσης περιοχών που έχουν χαρακτηριστεί ως ευπρόσβλητες ζώνες από τη νιτρορύπανση γεωργικής προέλευσης σύμφωνα με το άρθρο 2 της υπ. αρ. οικ. 19652/1906/1999 ΚΥΑ (Β' 1575), όπως ισχύει, σε συμμόρφωση με την Οδηγία 91/676/ΕΟΚ «για την προστασία των υδάτων από τη νιτρορύπανση γεωργικής προέλευσης» του Συμβουλίου της 12ης Δεκεμβρίου 1991 των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων, όπως τροποποιήθηκε και ισχύει».

Με την εφαρμογή των Προγραμμάτων Δράσης σε συνδυασμό με την παρακολούθηση των επιφανειακών και υπόγειων υδάτων της χώρας μέσω του Εθνικού Προγράμματος Παρακολούθησης της Κατάστασης των Υδάτων, οι ελληνικές αρχές μπορούν στο εξής να παρακολουθούν την πρόοδο εφαρμογής των Προγραμμάτων Δράσης ώστε να επιτευχθούν οι στόχοι της Οδηγίας 91/676/ΕΟΚ.

Σύμφωνα με το άρθρο 4 της Οδηγίας 91/676/ΕΟΚ, θεσπίστηκε με την ΥΑ 1420/82031/22.07.2015 (ΦΕΚ 1709/Β/17.08.2015) ο 'Κώδικας Ορθής Γεωργικής Πρακτικής για την Προστασία των Νερών από τη Νιτρορύπανση Γεωργικής Προέλευσης' όπως και τροποποιήθηκε με την ΥΑ 2001/30.10.2015 (ΦΕΚ 2359/Β/03.11.2015).

Ο σκοπός του Κώδικα σε ότι αφορά στα λιπάσματα και ειδικότερα τα αζωτούχα είναι να βοηθήσει τους γεωργούς να εφαρμόσουν πρακτικές φιλικές προς το περιβάλλον.

Ειδικότερα ο κώδικας στοχεύει:

- ✓ Στην αποτροπή της ρύπανσης των επιφανειακών και των υπόγειων υδάτων από τη συσσώρευση νιτρικών ιόντων λόγω βαθειάς διήθησης ή επιφανειακής απορροής
- ✓ Στην παροχή οδηγιών για τη σωστή διαχείριση των υδάτων (συστήματα άρδευσης, τρόποι εφαρμογής, εξοικονόμηση ύδατος, βελτιωμένη διαχείριση αζωτούχου λιπάσματος κ.λ.π.)
- ✓ Στο χειρισμό-διάθεση των κτηνοτροφικών αποβλήτων με στόχο πάντα την προστασία του περιβάλλοντος και της δημόσιας υγείας.

## Κεφάλαιο 4<sup>ο</sup>

### Περιοχή Μελέτης

## 4. Περιοχή Μελέτης

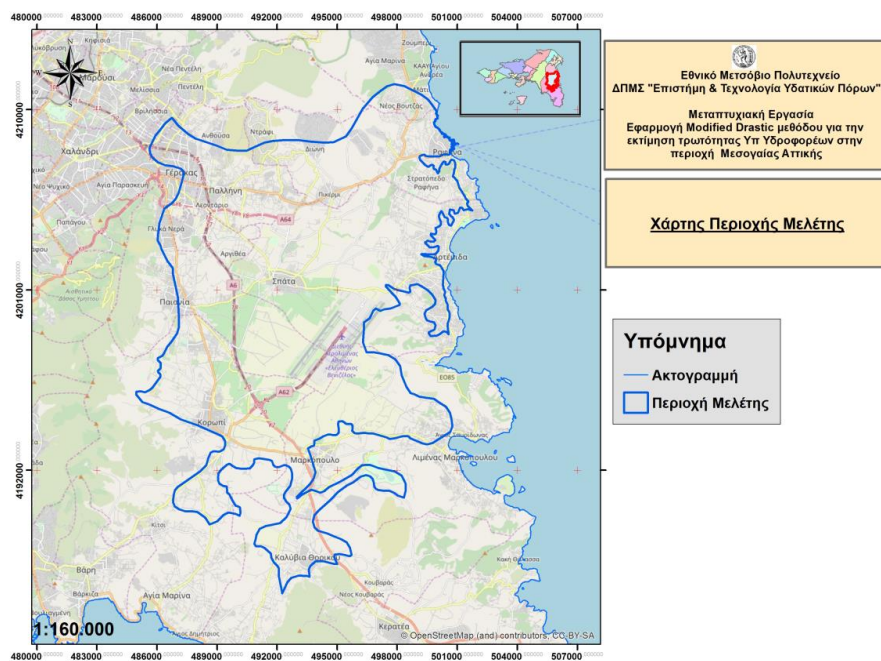
Στο παρόν κεφάλαιο γίνεται μια εκτενής περιγραφή της περιοχής μελέτης και αναλύονται οι φυσικοί (τοπογραφία, υδρογραφία, γεωλογία, τεκτονική, υδρογεωλογία), οι ανθρωπογενείς (χρήσεις γής, δημογραφία, γεωργία - κτηνοτροφία) καθώς επίσης και οι κλιματολογικοί (θερμοκρασία, σχετική υγρασία, βροχόπτωση, ταχύτητα ανέμου) παράγοντες, οι οποίοι επιδρούν αφενός στην γενικότερη τοπική φυσιογνωμία της περιοχής μελέτης και αφετέρου αποτελούν βασικούς παράγοντες στην ανάλυση της μεθόδου DRASTIC.

### 4.1 Φυσικό Περιβάλλον

Στο παρόν υποκεφάλαιο περιγράφονται τα στοιχεία φυσικού περιβάλλοντος της περιοχής μελέτης όπως γεωγραφία, μορφολογία, υδρογραφία, υδρογεωλογία, γεωλογία- τεκτονική με αναλυτικούς πίνακες, στατιστικά διαγράμματα και χάρτες.

#### 4.1.1 Γεωγραφία

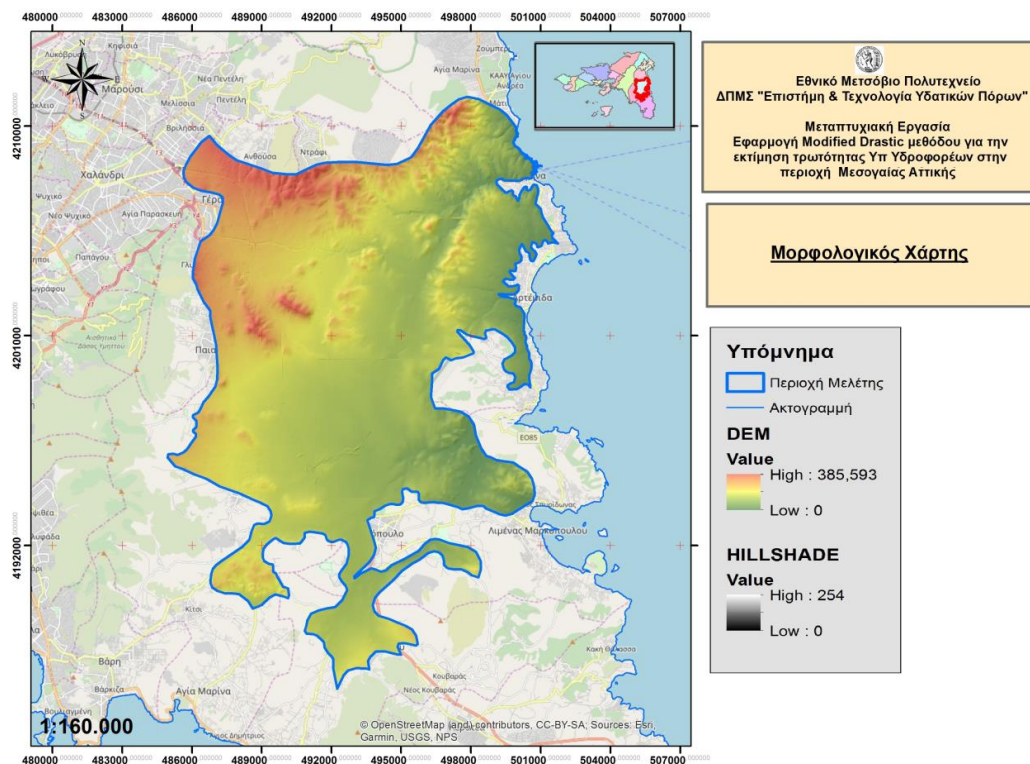
Η περιοχή μελέτης έχει έκταση **227 Km<sup>2</sup>**. Το μήκος της περιμέτρου είναι **139 km**, το μέγιστο μήκος **26 km (B-N)** και το μέγιστο πλάτος **16 km (A-Δ)**. Σχηματίζεται μεταξύ των ορεινών όγκων Πεντέλης (βόρεια), Υμηττού (δυτικά), Κερατέας - Μαρκόπουλου (νότια) και της παράκτιας περιοχής Αρτέμιδα - Πόρτο Ράφτη (ανατολικά). Η περιοχή ανάπτυξης εκτείνεται κατά το πλείστον στην πεδιάδα των Μεσογείων και καταλήγει με ανατολική έκθεση στην ακτή (Ευβοϊκός Κόλπος) στην περιοχή Ραφήνας και βορειοδυτικά στο Λεκανοπέδιο Αθηνών.



Χάρτης 3: Περιοχή Μελέτης

### 4.1.2 Μορφολογία

Σύμφωνα με την μορφολογική ανάλυση (Χάρτης 4) το μέσο υψόμετρο της περιοχής μελέτης ανέρχεται περίπου στα 113 μέτρα, το μέγιστο υψόμετρο είναι 385,6 μέτρα και το ελάχιστο 0 μέτρα στην παράκτια περιοχή της Ραφήνας. Το μεγαλύτερο μέρος της περιοχής χαρακτηρίζεται κυρίως ως πεδινό με λίγες λοφώδεις εξάρσεις (κεντρικό, ανατολικό και δυτικό τμήμα) ενώ το υπόλοιπο βόρειο τμήμα χαρακτηρίζεται ως ημιορεινό.

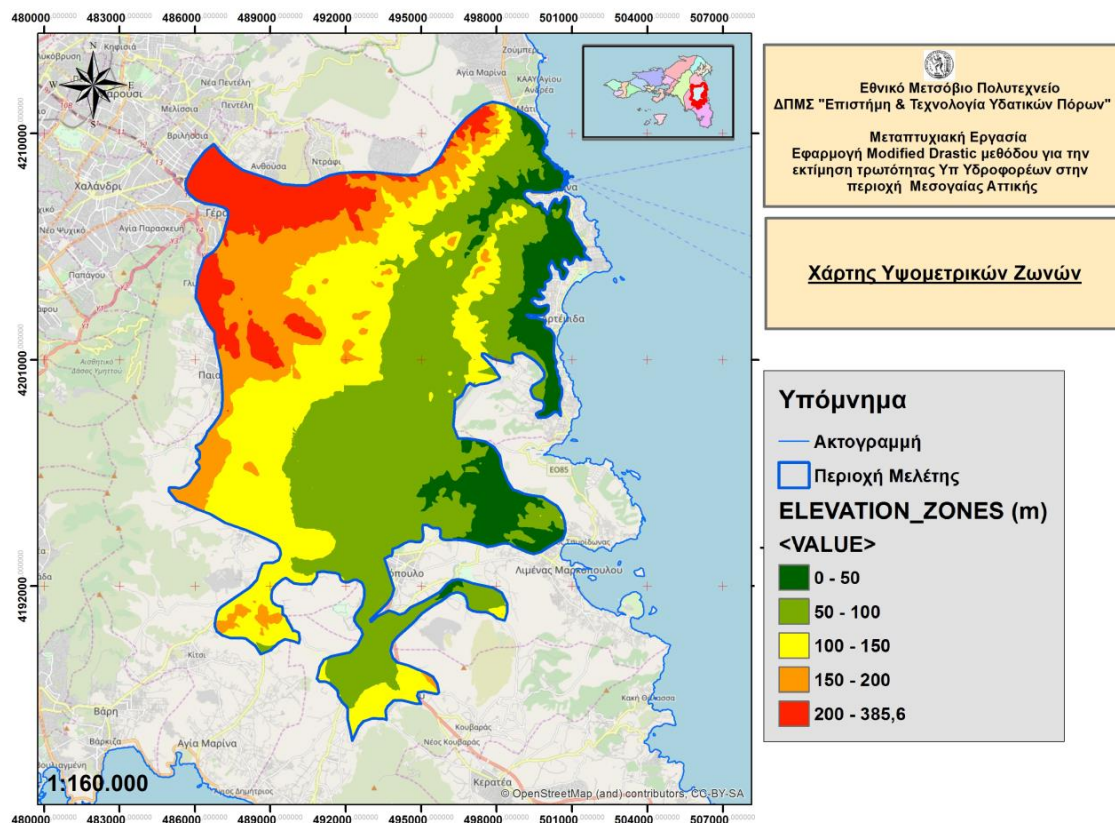


Χάρτης 4: Μορφολογικό ανάγλυφο

Σύμφωνα με την στατιστική ανάλυση των εκτάσεων των υψομετρικών ζωνών της περιοχής μελέτης (Πίνακας 3) το μεγαλύτερο ποσοστό 38,77% καταλαμβάνει η μορφολογική ζώνη με υψόμετρο 50-100 μέτρα και ακολουθεί η περιοχή με υψόμετρο 100-150 μέτρα με ποσοστό 26,87%. Το μικρότερο ποσοστό καταλαμβάνει η περιοχή με υψόμετρο από 0-50 μέτρα σε ποσοστό 10,57%. Η αύξηση τιμών των υψομετρικών ζωνών ακολουθεί μια κύρια διεύθυνση από Α – ΔΒΔ με μικρές εξαιρέσεις (Χάρτης 5).

Πίνακας 3: Στατιστικά στοιχεία υψομετρικών Ζωνών

Υψομετρικές Ζώνες (m)	Μεσο υψόμετρο	Έκταση (km <sup>2</sup> )	Έκταση %
0 - 50	25	24	10,57
50,1 - 100	75	88	38,77
100,1 - 150	125	61	26,87
150,1 - 200	175	32	14,10
200 - 385,6	293	33	14,54

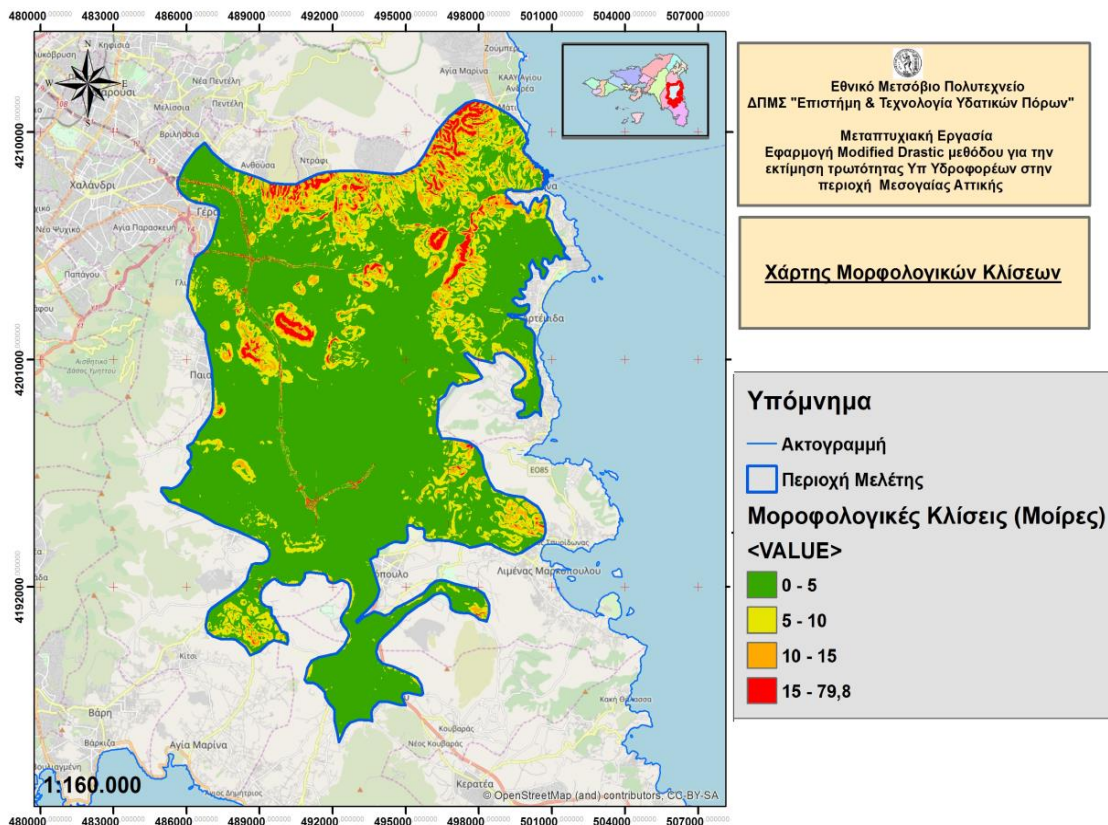


Χάρτης 5: Υψομετρικές Ζώνες

Μετά από γεωστατιστική ανάλυση όσον αφορά τις κλίσεις του εδάφους στην περιοχή μελέτης, οι μορφολογικές κλίσεις κυμαίνονται από 0 ως 79,8 μοίρες. Με βάση τον χάρτη των κλίσεων εδάφους (Χάρτης 6), οι επίπεδες κλίσεις (0-5 μοίρες) εμφανίζονται σε μεγάλη έκταση (170 Km<sup>2</sup>, ποσοστό 74,9%) και οι οποίες καταλαμβάνουν το κεντρικό, νότιο και δυτικό τμήμα της περιοχής μελέτης όπου στην ουσία αποτελούν και τις κύριες καλλιεργούμενες εκτάσεις.

Στις νότιες παρυφές του Πεντελικού όρους αλλά και στους πρόποδες των διάσπαρτων λόφων μικρού υψομέτρου παρατηρούνται μεγαλύτερες κλίσεις που διαμορφώνονται λόγω της διάβρωσης και εντοπίζονται κυρίως στον ορεινό όγκο της Πεντέλης, στους χαμηλούς λόφους της παράκτιας περιοχής Ραφήνας-Αρτέμιδας και στους λόφους Πετροκορφή - Μπούρα.

Πιο συγκεκριμένα οι κυματώδεις κλίσεις (5-10 μοίρες) καταλαμβάνουν έκταση 38 Km<sup>2</sup> σε ποσοστό 16,7%. Οι ήπιες λοφώδεις κλίσεις (10-15 μοίρες), καταλαμβάνουν έκταση 13 Km<sup>2</sup> σε ποσοστό 5,7%. Τέλος οι πιο έντονες λοφώδεις – επικλινείς κλίσεις (> 15 μοίρες) καταλαμβάνουν έκταση 6 Km<sup>2</sup> σε ποσοστό 2,6%.



Χάρτης 6: Μορφολογικές Κλίσεις

#### 4.1.3 Υδρογραφικό Δίκτυο

Το υδρογραφικό δίκτυο συνιστά το σύνολο διαφόρων ρεμάτων που συνδέονται μεταξύ τους και απολήγουν στο κεντρικό τμήμα. Η έκταση που αποστραγγίζεται από την περιοχή αυτή λέγεται λεκάνη απορροής.

Η περιοχή έρευνας σύμφωνα με την ανάλυση του υδρογραφικού δικτύου και το ψηφιακό μοντέλο εδάφους συνίσταται από δύο λεκάνες απορροής κυρίων ποταμών (Χάρτης 7):

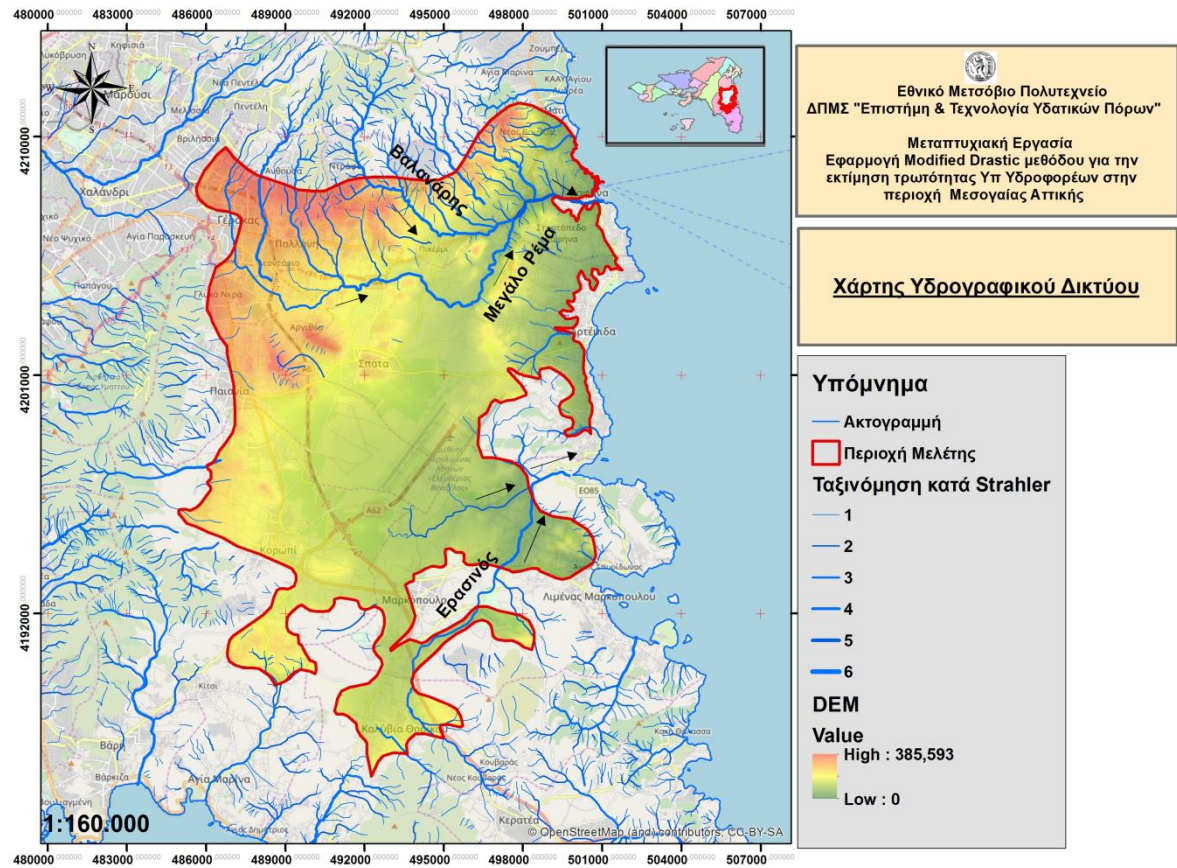
- ✓ Την Λεκάνη Απορροής του Μεγάλου Ρέματος Ραφήνας
- ✓ Την Λεκάνη Απορροής του Ερασίνου

Οι 2 Λεκάνες Απορροής οριοθετούνται ανατολικά από την γραμμή Ραφήνα – Πόρτο Ράφτη και από τον υδροκρίτη που τις περιβάλλει εντός της πεδιάδας της Μεσογαίας.

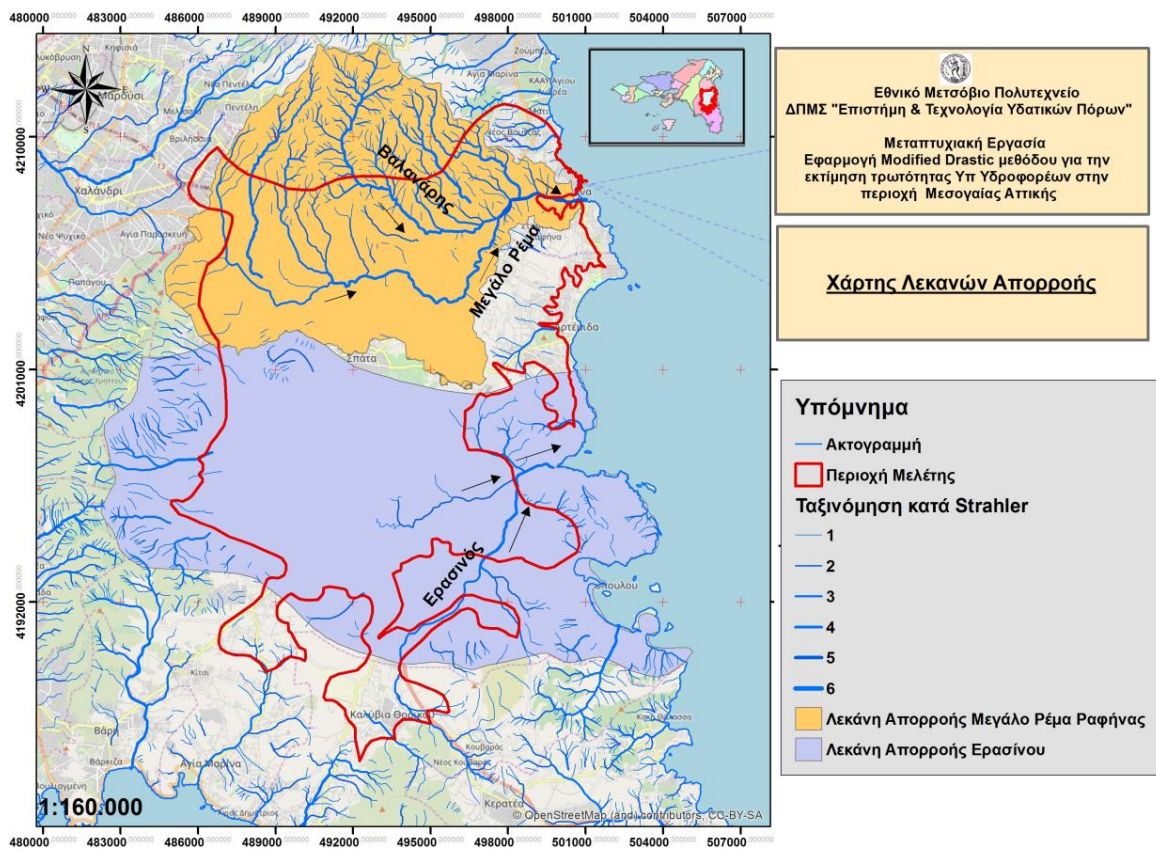
Σύμφωνα με την γεωστατιστική ανάλυση που πραγματοποιήθηκε η Λεκάνη Απορροής του Ερασίνου καταλαμβάνει έκταση **101 Km<sup>2</sup>** ενώ αντίστοιχα η Λεκάνη Απορροής του Μεγάλου Ρέματος της Ραφήνας καταλαμβάνει έκταση **82 Km<sup>2</sup>** εντός της περιοχής μελέτης.

Η Λεκάνη Απορροής του Μεγάλου Ρέματος Ραφήνας καταλαμβάνει το βόρειο τμήμα της περιοχής μελέτης ενώ η Λεκάνη Απορροής του Ερασίνου καταλαμβάνει το αντίστοιχο νότιο τμήμα.





Χάρτης 7: Υδρογραφικό Δίκτυο



Χάρτης 8: Λεκάνες Απορροής υδατορεμάτων

Ο Ερασίνοσ αποτελείται από έναν κύριο κλάδο ο οποίος παρουσιάζει σχεδόν μηδενική ροή τους θερινούς μήνες και εκβάλλει στον κόλπο της Βραυρώνας. Ο κύριος του κλάδος έχει μήκος 8,25 Km και διαρρέει κυρίως μέσω τεταρτογενών και νεογενών αποθέσεων. Το υδρογραφικό δίκτυο είναι μέτρια ανεπτυγμένο με μορφές γωνιώδεις, παράλληλες και δενδριτικές. Οι γεωλογικοί σχηματισμοί που καλύπτουν το μεγαλύτερο μέρος της περιοχής είναι χαλαρά και μαλακά ιζήματα. Η ανάπτυξη του υδρογραφικού δικτύου είναι ιδιαίτερα πτωχή, οι δε κλάδοι του, μονήρεις και απομονωμένοι σε αρκετά μεγάλες περιοχές. Οι περιοχές αυτές ταυτίζονται, παντού ή σχεδόν παντού, με την επιφανειακή εξάπλωση των πλειστοκαινικών σχηματισμών και των αντίστοιχων καλλιεργούμενων εκτάσεων. Στους πρόποδες του Υμηττού και των λόγων του Μαρκοπούλου παρουσιάζεται έντονα ανεπτυγμένο υδρογραφικό δίκτυο το οποίο αποτελείται κυρίως από χείμαρρους οι οποίοι καταλήγουν σε χαμηλότερα υψόμετρα (κυρίως του Υμηττού) όπου και εξαφανίζονται. Η επιφανειακή απορροή περιορίζεται σε μικρή απόσταση. Αυτό οφείλεται στην κατείδυση του νερού στους υδροφόρους ορίζοντες, κυρίως λόγω της υδροπερατότητας των πρόσφατων αποθέσεων και στη μικρή παροχή των υδρορεμάτων, ενώ καλύπτει μεγαλύτερες αποστάσεις μόνο κατά τη διάρκεια ραγδαίων και παρατεταμένων βροχοπτώσεων (Bouazza, I 2012).

Το Μεγάλο Ρέμα της Ραφήνας αποτελείται από δύο κυρίως κλάδους, έναν που πηγάζει από την Πεντέλη με διεύθυνση ροής Β-Ν και ονομάζεται «Βαλανάρης» και ένα που πηγάζει από τα βόρεια πρηνή του Υμηττού με διεύθυνση Α-Δ και ονομάζεται «Μεγάλο Ρέμα». Οι δύο αυτοί κλάδοι ενώνονται στο Πικέρμι και καταλήγουν σε έναν κεντρικό κλάδο που ονομάζεται επίσης Μεγάλο Ρέμα της Ραφήνας. Το Μεγάλο Ρέμα παρουσιάζει μόνιμη ροή, ενώ ο Βαλανάρης παρουσιάζει εποχικά κυμαινόμενη ροή με μηδενική ροή τους θερινούς μήνες. Ο Βαλανάρης συνολικού μήκους 6,5 Km, το Μεγάλο Ρέμα συνολικού μήκους 15,9 Km και ο κεντρικός κλάδος του Ρέματος Ραφήνας με συνολικό μήκος 3,9 Km διαρρέουν μέσω νεογενών και τεταρτογενών αποθέσεων. Η Λεκάνη του Μεγάλου Ρέματος οριοθετείται στα βόρεια και δυτικά από τον Υδροκρίτη της Πεντέλης και στα ανατολικά από την ακτογραμμή Ραφήνας – Άρτεμις.

Το υδρογραφικό δίκτυο είναι πιο ανεπτυγμένο στα βόρεια όπου και αναπτύσσεται ο ορεινός όγκος της Πεντέλης και πιο μέτρια ανεπτυγμένο στο κεντρικό και νότιο τμήμα. Η εμφάνιση της παράλληλης και γωνιώδους μορφής υδρογραφικού δικτύου σχετίζεται με την παρουσία των ανθρακικών πετρωμάτων (ασβεστολίθων, μαρμάρων). Στο νότιο τμήμα που επικρατούν οι νεογενείς και τεταρτογενείς αποθέσεις το υδρογραφικό δίκτυο είναι δενδριτικής μορφής.

#### 4.1.4 Γεωλογία - Τεκτονική

Η ανάλυση του γεωλογικού υποβάθρου της περιοχής μελέτης βασίστηκε αφενός στους γεωλογικούς σχηματισμούς σε μορφή διανυσματικού αρχείου (shp) (Χάρτης 9), το οποίο προέκυψε από την ψηφιοποίηση - συνένωση - γεωαναφορά των αναλογικών γεωλογικών φύλλων του Ι.Γ.Μ.Ε (Κορωπί, Κηφισιά, Ραφήνα) σε ενιαία κλίμακα 1:50000 και αφετέρου στην συγκέντρωση βιβλιογραφικών πηγών από σχετικές γεωλογικές - υδρογεωλογικές μελέτες.

Η περιοχή έρευνας από γεωτεκτονικής άποψης αποτελεί τμήμα της Αττικοκυκλαδικής μάζας (Μουντράκης 1985) που εντάσσεται στις Εσωτερικές Ελληνίδες.

Οι γεωλογικοί σχηματισμοί που δομούν την περιοχή μελέτης διακρίνονται σε αλπικούς και μεταλπικούς. Πιο αναλυτικά οι λιθοστρωματογραφικοί σχηματισμοί που συμμετέχουν στη γεωλογική της δομή, σύμφωνα με πρόσφατες (Λατσούδας, 2003) καθώς και παλαιότερες έρευνες (Lepsius, 1893) είναι οι ακόλουθοι:

##### **Μεταλπικοί Σχηματισμοί**

###### **Τεταρτογενές:**

**Ολόκαινο:** Διακρίνεται σε επιμέρους σχηματισμούς όπως σύγχρονοι παράκτιοι σχηματισμοί άμμων και θινών (περιοχή Ραφήνας), πρόσφατα ασύνδετα αργιλοαμμώδη υλικά με κροκάλες και λατύπες ποικίλης σύστασης (κοίτες χειμάρων) και μεγέθους καθώς επίσης παλαιοί και νέοι κώνοι κορημάτων και πλευρικά κορήματα.

**Πλειστόκαινο:** περιλαμβάνει καστανόχρωμες χερσαίες και ποταμοχερσαίες αποθέσεις από συνεκτικούς αργιλοπηλούς ποικίλης λιθολογικής σύστασης με κροκάλες και λατύπες που προέρχονται κυρίως από την αποσάθρωση των Νεογενών σχηματισμών και συνεκτικά κροκαλοπαγή από αλπικά πετρώματα. Παρουσιάζουν πάχος της τάξης των 20-25 μέτρων και αναπτύσσονται κυρίως στο πεδινό τμήμα Κορωπίου - Σπάτων - Μαρκοπούλου .

###### **Νεογενές:**

Στην ευρύτερη περιοχή ενδιαφέροντος αναπτύσσεται το τμήμα του Νεογενούς που αντιστοιχεί στο Αν. Μειόκαινο, γεωλογική περίοδο κατά την οποία είχαν δημιουργηθεί μικρές ή μεγάλες λεκάνες, κλειστές και μικρού βάθους, που δέχονταν ιζήματα διαφορετικών λιθολογικών φάσεων ανάλογα με το μέγεθος τους και τις τοπικές μορφολογικές συνθήκες.

Τα ιζηματογενή περιβάλλοντα είναι κυρίως λιμναίας ή ποταμοχειμάριας φάσης με σημαντική ποικιλία λιθολογικών φάσεων τόσο κατά την κατακόρυφη όσο και κατά την οριζόντια έννοια. Στην βάση των νεογενών αποθέσεων συναντάται το κροκαλοπαγές βάσης που άλλοτε χαρακτηρίζεται ως πολύ συνεκτικό κροκαλοπαγές, ερυθρωπού χρώματος με ανθρακικές κροκάλες και ανθρακικό συνδετικό υλικό και άλλοτε ως λίγο συνεκτικό,

καστανοκίτρινο έως κιτρινόλευκο με ψαμμιτομαργαϊκό συνδετικό υλικό, με κροκάλες και λατύπες από μάρμαρα και σχιστολίθους.

Οι νεογενείς σχηματισμοί αποτελούνται από εναλλασσόμενες αποθέσεις μαργών, αμιγών ή αμμούχων με αργίλους (σχηματισμοί συνήθως εύθρυπτοι, λευκότεφροι με μικρές ενδιάμεσες ενστρώσεις μαργαϊκών ασβεστολίθων και κροκαλοπαγών) καθώς επίσης και καστανέρυθρους πηλούς με παρεμβολές ψαμμιτών, κροκαλοπαγών (αργιλομαργαϊκό συνδετικό υλικό και κροκαλολατύπες από σχιστόλιθο, διαβάση, μάρμαρο), τραβερτινοειδών ασβεστολίθων, ερυθροχρωμάτων και μαργαϊκών ασβεστολίθων (λευκοκίτρινοι σε στρώσεις των 20-30cm με συχνή παρουσία αργιλομαργαϊκού υλικού).

Οι ως άνω σχηματισμοί κατά κανόνα παρουσιάζουν στρώση και είναι μέτριας συνεκτικότητας. Στις παρυφές των λιμναίων αποθέσεων απαντούν κυρίως πολύμεικτα κροκαλοπάγη, ψαμμίτες και μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι ενώ στο κέντρο των λεκανών κυρίως μάργες με παρεμβολές φακών ψαμμιτών και κροκαλοπαγών.

Το μέγιστο πάχος των νεογενών αποθέσεων ανέρχεται σε 150 μέτρα περίπου. Καταλαμβάνουν το βόρειο τμήμα της περιοχής μελέτης (σύμφωνα με τον Γεωλογικό Χάρτη Ι.Γ.Μ.Ε Φύλλο Κηφισιά: Λιμναίοι σχηματισμοί Καλογρέζας - Πικερμίου, Ποταμολιμναίοι σχηματισμοί Παρυφών Πάρνηθας & Πεντέλης) και μέρους του ανατολικού, κεντρικού και νότιου τμήματος της περιοχής μελέτης.

#### **Αλπικοί Σχηματισμοί:**

Ο κατώτερος γεωλογικός ορίζοντας αποτελεί την αυτόχθονη ενότητα αποτελούμενη από το κατώτερο μάρμαρο σημαντικού πάχους με ενστρώσεις σχιστολίθων. Επάνω στην αυτόχθονη ενότητα έχουν επωθηθεί οι σχηματισμοί οι σχηματισμοί του Άνω Κρητιδικού καλύμματος (νεοελληνικό τεκτονικό κάλυμμα). Αυτοί αποτελούνται από ασβεστόλιθους, σχιστόλιθους, οφιόλιθους και φυλλίτες. Διακρίνονται σε μια κατώτερη τεκτονική ενότητα Κάτω Κρητιδικού έως Άνω Κρητιδικού και μια ανώτερη τεκτονική ενότητα που αποτελείται κυρίως από ασβεστολίθους και ενδιαστρώσεις σχιστολίθων. Οι ως άνω σχηματισμοί του γεωλογικού υποβάθρου καλύπτονται από μεταλλικούς σχηματισμούς του νεογενούς και τεταρτογενούς.

Οι αλπικοί σχηματισμοί σύμφωνα την πρόσφατη γεωλογική χαρτογράφηση του Ι.Γ.Μ.Ε (Κατσιαβράς 1992) διακρίνονται σε τρεις τεκτονικές ενότητες, την ανώτερη, την κατώτερη και την αυτόχθονη ενότητα. Τα επιμέρους χαρακτηριστικά των ενοτήτων αυτών είναι τα ακόλουθα:

#### **Ανώτερη Τεκτονική ενότητα:**

Διακρίνεται σε δυο ενότητες Κρητιδικής ηλικίας:

**Ασβεστόλιθοι :** Πρόκειται για πλακώδεις ασβεστόλιθους συνολικού πάχους έως 200 μέτρα, με ενστρώσεις πυριτολίθων (ανατολικό τμήμα περιοχής στα υψώματα μεταξύ Βραυρώνα και Πόρτο Ράφτη καθώς και σε λόφους δυτικά της Αρτέμιδας).

**Σχιστόλιθοι - φυλλίτες :** Είναι τεφροί έως πρασινωποί χλωριτικοί σχιστόλιθοι και φυλλίτες με ενστρώσεις χαλαζιακών σχιστολίθων και χαλαζιτών και παρεμβολές κλαστικών ασβεστολίθων πάχους 5-50 μέτρων. Σποραδικά απαντούν μικρά σώματα μεταμορφωμένων βασικών πετρωμάτων ενώ κατά θέσεις έχει σημειωθεί η παρουσία γλαυκοφανούς. Το συνολικό πάχος του σχηματισμού είναι 200 μέτρα περίπου (ανατολικό και νότιο τμήμα).

#### **Κατώτερη Τεκτονική ενότητα**

Περιλαμβάνει τους ακόλουθους σχηματισμούς:

**Ασβεστόλιθοι Κρητιδικού :** Πολύχρωμοι, ανακρυσταλλωμένοι, πλακώδεις ασβεστόλιθοι συνολικού πάχους 100 μέτρων περίπου με πυριτόλιθους. Τα μεσαία μέλη τους είναι λεπτο-μεσο-παχυστρωματώδεις έως άστρωτοι, καρστικοί, δολομιτωμένοι, αγκεριτωμένοι ασβεστόλιθοι που κατά θέσεις περιέχουν ενστρώσεις ή κονδύλους πυριτολίθων. Είναι έντονα διαρρηγμένοι, διασχίζονται από πυκνό και χαώδες δίκτυο φλεβιδίων δευτερογενούς ασβεστίτη εμποτισμένων με οξείδια σιδήρου.

**Σχιστόλιθοι – Οφιόλιθοι Κατ. Κρητιδικό :** Περιλαμβάνει δύο επιμέρους ενότητες, σχιστόλιθους και οφιολίθους.

Οι σχιστόλιθοι, ορατού πάχους 50 μέτρων, είναι μαρμαρυγικοί και ασβεστιτικοί με ενστρώσεις έντονα ανακρυσταλλωμένων ασβεστολίθων.

Οι οφιόλιθοι απαντούν ως ακανόνιστα και συνήθως έντονα τεκτονισμένα σώματα βασικών και υπερβασικών πετρωμάτων, κυρίως σερπεντινιτών, στη βάση των ανωτέρω ασβεστολίθων καθώς επίσης και μέσα σε τεκτονισμένους σχιστολίθους (μικρές εμφανίσεις στην περιοχή της Παιανίας).

#### **Η Αυτόχθονη Τεκτονική ενότητα Αλμυροποτάμου Αττικής:**

Περιλαμβάνει τους ακόλουθους σχηματισμούς:

**Ανώτερο μάρμαρο :** Είναι μέσο έως παχυστρωματώδη καρστικά - δολομιτικά μάρμαρα, συνολικού πάχους 200 μέτρων περίπου, με κατά θέσεις ενστρώσεις μαρμαρυγικών σχιστολίθων μικρού πάχους (βορειοδυτικό τμήμα του Γέρακα).

**Σχιστόλιθοι Καισαριανής :** Είναι μαρμαρυγικοί, ασβεστιτικοί, γραφιτικοί σχιστόλιθοι με σώματα εξαλλοιωμένων οφιολίθων (σερπεντινιτών) και φακοειδείς ενστρώσεις μαρμάρων. Το συνολικό του πάχος είναι 250 μέτρα περίπου (μικρή εμφάνιση στην περιοχή των Γλυκών Νερών).

**Κατώτερο μάρμαρο :** Πρόκειται για μέσο ως παχυστρωματώδη και άστρωτα καρστικά μάρμαρα συνολικού πάχους έως 400 μέτρα. Κατά θέσεις παρεμβάλλονται ενστρώσεις

σχιστόλιθων. Οι ανωτέρω σχηματισμοί της Αυτόχθονης ενότητας έχουν πιθανόν Ιουρασική ηλικία.

**Δολομίτες Πιρνάρης (Νόριο – Λιάσιο):** Είναι μεσο ως παχυστρωματώδεις με ορατό πάχος έως 250 μέτρα περίπου και εναλλάσσονται με μαρμαρυγικούς σχιστόλιθους.

**Τριαδικοί ασβεστόλιθοι και σχιστόλιθοι:** Πρόκειται για πολύχρωμους ανακρυσταλλωμένους και εν μέρει δολομιτωμένους ασβεστόλιθους οι οποίοι εναλλάσσονται με ασβεστιτικούς σχιστόλιθους. Κατά θέσεις σε διάφορους στρωματογραφικούς ορίζοντες παρεμβάλλονται περιορισμένες εμφανίσεις παρινόχρωμων πυροκλαστικών υλικών.

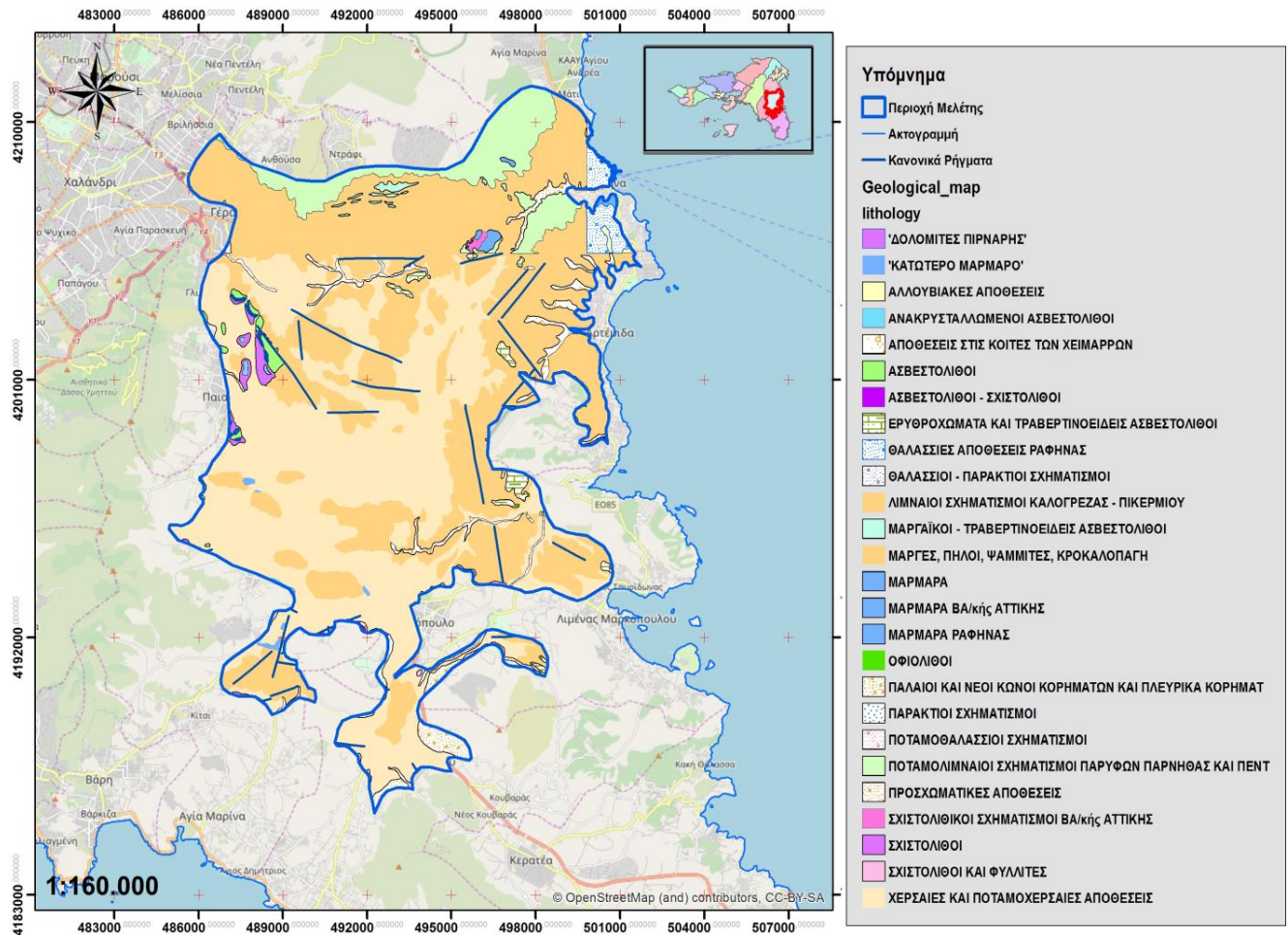
Όσον αφορά την τεκτονική ανάλυση της περιοχής μελέτης σύμφωνα με υπάρχουσες μελέτες οι νεότερες ρηματογόνες φάσεις ηλικίας Νεογενούς, δημιούργησαν κανονικά ρήγματα που διαμόρφωσαν τεκτονικά κέρατα και τάφρους, με αποτέλεσμα τη δημιουργία Νεογενών λεκανών. Στην περιοχή έρευνας και σε όλη τη λεκάνη των Μεσογείων απαντούν τρία κύρια συστήματα ρημάτων των οποίων οι διευθύνσεις είναι κυρίως ΒΑ-ΝΔ, οι ΒΒΑ-ΝΝΔ έως ΒΑ-ΝΔ και Α-Δ. Η ευρύτερη περιοχή της Αττικής και του Σαρωνικού Κόλπου, υφίστανται από το Πλειο-Τεταρτογενές μια έντονη τεκτονική δραστηριότητα η οποία εκφράζεται σε κανονικά ρήγματα (Aubouin, J.1973). Στην ανατολική Αττική αναφέρεται, ότι έλαβε χώρα εφελκυσμός υπό κανονικών ρημάτων κατά το Μειόκαινο, εποχή κατά την οποία σχηματισθήκαν οι ηπειρωτικές λεκάνες, ύστερα από φαινόμενα συμπίεσης (Angelier, J. & Tsoflias, P.1979).

Στην περιοχή της Μεσογαίας Αττικής τα ανωμειοκαινικά ιζήματα έχουν υποστεί την επίδραση δύο συστημάτων ρημάτων, ΔΒΔ και ΒΒΑ διεύθυνσης, σε αντίθεση με τα ανωπλειοκαινικά θαλάσσια ιζήματα που φαίνεται να μην έχουν υποστεί την επίδραση τεκτονικών διαταραχών. Η τεκτονική του προνεογενούς υποβάθρου της περιοχής χαρακτηρίζεται από έντονη πολυφασική πτύχωση των σχηματισμών του, καθώς επίσης και την κατάτμησή τους από διαρρήξεις, που επακολούθησαν τις παραπάνω πτυχώσεις. Αντίθετα, οι μεταλικοί σχηματισμοί της περιοχής χαρακτηρίζονται κυρίως από έντονο ρηξιγενή τεκτονισμό (Μέττος, 1992). Η υπό έρευνα περιοχή βρίσκεται ανατολικά του Υμηττού, ο οποίος αποτελεί ένα μεγάλο αντίκλινο με άξονα διεύθυνσης ΒΒΑ-ΝΝΔ.

Η γεωλογική της δομή έχει υποστεί την επίδραση δύο παραμορφωτικών φάσεων, με αποτέλεσμα τη δημιουργία μεγάλου αριθμού ρημάτων κυρίως στο νότιο τμήμα, αν και τα περισσότερα καλύπτονται από τα μεταλικά ιζήματα, γεγονός που δυσκολεύει την άμεση παρατήρησή τους.

Τα κυριότερα ρήγματα της περιοχής έρευνας είναι κανονικά. Χαρακτηριστικό των ρημάτων αυτών είναι, ότι το ορατό μήκος τους είναι σχετικά μικρό και δυσανάλογα προς το μεγάλο

μέγεθος του άλματος τους. Πρόκειται γενικά για περιφερειακά ρήγματα που σχηματίζουν τους λόφους της περιοχής (Bouazza I, 2012).



Χάρτης 9: Γεωλογικοί Σχηματισμοί - Τεκτονική

#### 4.1.5 Υδρογεωλογία

Οι γεωλογικοί σχηματισμοί που παρουσιάστηκαν στην προηγούμενη παράγραφο, σε ότι αφορά στα υδρολιθολογικά τους χαρακτηριστικά, ταξινομούνται στις ακόλουθες ενότητες (Λέκκας Σ, 1993):

##### 1. Τεταρτογενή. Διακρίνονται σε Ολοκαινικά και Πλειστοκαινικά ιζήματα:

**Ολόκαινο :** Περιλαμβάνει αλλουβιακούς σχηματισμούς, αποθέσεις στις κοίτες των ρεμάτων και ασύνδετα πλευρικά κορήματα. Χαρακτηρίζονται ως περατοί – μακροπερατοί σχηματισμοί με πρωτογενές πορώδες λόγω κοκκώδους υδροφορίας (αδρόκοκκα ασύνδετα υλικά αποτελούμενα από αργιλώδεις άμμους με κροκάλες και λατύπες). Εμφανίζουν υψηλή διαπερατότητα αλλά λόγω του περιορισμένου πάχους τους δεν διαμορφώνουν αξιόλογους υδροφόρους ορίζοντες.

**Πλειστόκαινο:** Διακρίνεται στο Ανώτερο και στο μέσο - κατώτερο Πλειστόκαινο.

**Ανώτερο Πλειστόκαινο:** Περιλαμβάνει τα πλευρικά κορήματα που αναπτύσσονται στις παρυφές του Υμηττού και του λόφου Μερέντα καθώς και τις ερυθρές αργίλους και χαλίκια που αναπτύσσονται στις πεδινές εκτάσεις. Χαρακτηρίζονται ως περατοί – μακροπερατοί σχηματισμοί με πρωτογενές πορώδες λόγω κοκκώδους υδροφορίας (άμμοι με χάλικες, λατύπες και διάσπαρτους ογκόλιθους). Εμφανίζουν υψηλή υδροπερατότητα, υψηλότερη από αυτή των ιζημάτων του κατώτερου Πλειστοκαινικού ορίζοντα αλλά, λόγω του περιορισμένου πάχους τους δεν ευνοούν την ανάπτυξη αξιόλογης υδροφορίας (Γιαννουλόπουλος Π, 2006). Στις πεδινές εκτάσεις το πάχος των ερυθρών αργίλων και των χαλικιών είναι μεγαλύτερο. Εντός των ιζημάτων αυτών διαμορφώνεται ενιαίος υδροφόρος ορίζοντας ο οποίος εκτείνεται και εντός των υποκείμενων σχηματισμών οι οποίοι διαφοροποιούνται κατά θέση σε σχηματισμούς του κατωτέρου Πλειστοκαινού, σε Νεογενή ιζήματα ή σε Αθηναϊκούς σχιστόλιθους.

**Μέσο – Κατώτερο Πλειστόκαινο (ποταμοχειμάρια αποθέσεις):** Διακρίνεται σε δύο ενότητες, στα συνεκτικά λατυποκροκαλοπαγή που αναπτύσσονται κυρίως στις ανατολικές παρυφές του Υμηττού και στα χερσαία Τεταρτογενή ιζήματα ερυθρών αργίλων και κροκαλοπαγών που αναπτύσσονται κυρίως στο πεδινό τμήμα στην ευρύτερη περιοχή του Διεθνούς αεροδρομίου. Τα τελευταία, στις ανώτερες στρώσεις αποτελούνται από ερυθρές αργίλους ενώ στα κατώτερα από κροκαλοπαγή. Το πάχος των συνεκτικών λατυποκροκαλοπαγών υπερβαίνει κατά θέσεις τα 25 μέτρα ενώ των ερυθρών αργίλων τα 80 μέτρα. Σημειώνεται ότι οι κροκάλες του πεδινού τμήματος είναι πολύμικτες και αποτελούνται από χαλαζίτες, μάρμαρα και περιδοτίτες. Τα συνεκτικά λατυποκροκαλοπαγή χαρακτηρίζονται ως μακροπερατοί σχηματισμοί και παρουσιάζουν φαινόμενα καρστικοποίησης.

Στην πεδιάδα των Μεσογείων, όπου απαντούν τα πολύμικτα κροκαλοπαγή, σχηματίζεται ένας ελεύθερος και σχεδόν ενιαίος υδροφόρος που εκφορτίζει στο ρέμα της Βραυρώνας με κοιλαδογενείς κυρίως πηγές οι οποίες αναβλύζουν στην επαφή μεταξύ των αδρομερών Τεταρτογενών και των υποκείμενων αργιλικών Νεογενών ιζημάτων (Γιαννουλόπουλος Π, 2006).

## **2. Νεογενή:**

Λιθολογικά αποτελούνται κυρίως από μάργες που εναλλάσσονται με ψαμμίτες, μαργαϊκούς ασβεστολίθους και πολύμικτα κροκαλοπαγή, με κροκάλες από μάρμαρα, κερατόλιθους και οφιόλιθους. Φιλοξενούν ασθενείς υδροφόρους ορίζοντες οι οποίοι αναπτύσσονται στα ανώτερα κυρίως στρώματα όπου επικρατούν οι μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι, οι ψαμμίτες και τα κροκαλοπαγή. Οι υδροφόροι αυτοί συμπεριφέρονται περισσότερο ως μακροπερατοί



σηματισμοί λόγω της καρστικοποίησης των Νεογενών ασβεστολίθων και των συνεκτικών ψαμμιτοκροκαλοπαγών.

### **3. Αλλόχθονο σύστημα (Νεοελληνικό Τεκτονικό Κάλυμμα):**

Από τους σχηματισμούς του αλλόχθονου συστήματος (τεκτονικό κάλυμμα) στην περιοχή επικρατούν οι Αθηναϊκοί σχιστόλιθοι. Λιθολογικά αποτελούνται κυρίως από φυλλίτες, στους οποίους κατά θέσεις παρεμβάλλονται ασβεστόλιθοι, πρασινίτες (μεταμορφωμένα βασικά πυριγενή πετρώματα), μεταψαμμίτες, πράσινοι σχιστόλιθοι και χαλαζίτες.

Στο συγκεκριμένο σχηματισμό και στο ανώτερο ρωγματομένο - αποσαθρωμένο του τμήμα παρουσιάζεται, κατά θέσεις, επιδερμική επιφανειακή υδροφορία έως βάθους 10-12 μέτρων (Bouazza I, 2012). Ο σχηματισμός αυτός στις μη υδροπερατές του θέσεις οριοθετεί ουσιαστικά υπόγειες υδροφορίες άλλων παρακείμενων ή εκατέρωθεν υδροφόρων οριζόντων.

### **4. Αυτόχθονο σύστημα:**

**Ανώτερο Μάρμαρο:** Παρουσιάζει περιορισμένη ανάπτυξη στην περιοχή και βρίσκεται σε υδραυλική επικοινωνία με το κατώτερο μάρμαρο με το οποίο αποτελεί ενιαίο υδρολιθολογικό σχηματισμό.

**Σχιστόλιθοι Καισαριανής:** Παρεμβάλλονται μεταξύ του ανώτερου και του κατώτερου μαρμάρου και παρουσιάζουν στην περιοχή περιορισμένη ανάπτυξη είτε ως αυτόνομος σχηματισμός είτε ως φακοειδείς παρεμβολές ή ενδιαστρώσεις εντός του κατωτέρου μαρμάρου.

Σε γενικές γραμμές είναι πρακτικά αδιαπέρατος σχηματισμός. Ανάλογα όμως με την λιθολογική ανομοιογένεια και τις εκάστοτε παρεμβολές - ενδιαστρώσεις μαρμάρων, και σε συνάρτηση με τον τεκτονισμό τους, αποδίδουν τοπικά εκμεταλλεύσιμες ποσότητες νερού με παροχές υδρογεωτρήσεων που φτάνουν και τα 20 m<sup>3</sup>/h. Σε ανάλογες περιπτώσεις σχηματίζονται ακόμη και ενιαίες υδροφορίες με το κατώτερο μάρμαρο (Λέκκας Σ, 1993).

**Κατώτερο Μάρμαρο – Δολομίτες Πιρναρής:** Το κατώτερο μάρμαρο είναι έντονα καρστικοποιημένος σχηματισμός και παρουσιάζει σημαντική ανάπτυξη στην περιοχή. Σε συνδυασμό με τους δολομίτες Πιρναρής αποτελεί έναν ενιαίο και ισχυρό υδροφόρο σχηματισμό υψηλής υδροπερατότητας. Ο καρστικός αυτός υδροφόρος είναι σε υδραυλική επικοινωνία με τη θάλασσα με συνέπεια η στάθμη του νερού να απαντά σε υψόμετρα που βρίσκονται ελάχιστα μέτρα πάνω από τη στάθμη της θάλασσας. Τα καρστικό επίπεδο βάσης στο σχηματισμό αυτό απαντά σε απόλυτα υψόμετρα που κυμαίνονται από -20 έως -130 μέτρα.

**Σχιστόλιθοι Βάρης:** Αποτελούν έναν πρακτικά αδιαπέρατο σχηματισμό ο οποίος συνήθως δεν αποδίδει εκμεταλλεύσιμες ποσότητες νερού. Οι σχιστόλιθοι αυτοί αποτελούν ένα

φυσικό εμπόδιο στη ροή του υπόγειου νερού λειτουργώντας τις περισσότερες φορές ως υπόγειος υδροκρίτης. Παρόλα αυτά οι ασβεστολιθικές ενστρώσεις που παρεμβάλλονται στο σχηματισμό αυτό επιτρέπουν την ανάπτυξη αξιόλογων τοπικών καρστικών υδροφόρων. Όσον αφορά την ανάπτυξη υδροφορέων στην περιοχή μελέτης μπορούμε να αναφέρουμε ότι στο σύγκλινο της Μεσογαίας δεσπόζουν δυο κατηγορίες υδροφόρων οριζόντων (Bouazza I, 2012). Ο βαθύτερος που ονομάζεται καρστικός σχηματίζεται μέσα στα μάρμαρα και τους δολομίτες της περιοχής (σχηματισμοί Υμηττού και Πεντελικού Όρους). Τα πετρώματα αυτά έχουν υδραυλική επικοινωνία μεταξύ τους και αποτελούν το υπόβαθρο ολόκληρης σχεδόν της περιοχής ανατολικής Αττικής. Ο δεύτερος υδροφόρος που ονομάζεται αβαθής ή υπερκείμενος, σχηματίζεται στους υπερκείμενους σχηματισμούς των ανθρακικών πετρωμάτων και αποτελείται από εξαλλιωμένα - κατακερματισμένα τμήματα των σχιστολίθων, τα νεογενή και τεταρτογενή ιζημάτα. Παρακάτω αναλύονται τα βασικά χαρακτηριστικά των ως άνω υδροφορέων.

#### **1. Ελεύθερος Υδροφορέας τεταρτογενών αποθέσεων:**

Είναι ένας ελεύθερος κοκκώδης υδροφόρος ορίζοντας που αναπτύσσεται εντός των Πλειστοκαινικών αποθέσεων της ευρύτερης περιοχής Κορωπίου - Μαρκοπούλου - Παιανίας - Σπάτων και υπέρκειται των σχιστόλιθων, των Νεογενών και των ανθρακικών σχηματισμών (Κούνης 1979, Παπαδέας 2002).

Η φυσική του τροφοδοσία προέρχεται αφενός από τα κατεισδύοντα νερά της βροχής και αφετέρου από τις πλευρικές μεταγγίσεις γειτονικών υδροφορέων ενώ η εκφόρτιση του λαμβάνει χώρα ανατολικά στο ρέμα της Βραυρώνας με κοιλαδογενείς κυρίως πηγές οι οποίες αναβλύζουν στην επαφή μεταξύ των αδρομερών Τεταρτογενών και των υποκείμενων αργιλικών Νεογενών ιζημάτων.

Η στάθμη του υπόγειου νερού απαντά σε βάθη που συνήθως κυμαίνονται από 4-5 μέτρα έως και βαθύτερα των 30 μέτρων ανατολικότερα (Γιαννουλόπουλος Π, 2006).

Η απόδοσή των υδροληπτικών έργων κυμαίνεται ανάλογα με την κοκκομετρική σύσταση των σχηματισμών. Νοτιοδυτικά του αεροδρομίου των Σπάτων υπερβαίνει τα 40 m<sup>3</sup>/h ενώ, εντός αυτού τα 90 m<sup>3</sup>/h (Γιαννουλόπουλος Π, 2006).

Λόγω του μικρού πάχους και της χαμηλής υδραυλικής αγωγιμότητας των σχηματισμών αλλά και της παρουσίας πηλού, ο οποίος δυσχαιρένει ακόμα περισσότερο την κίνηση του νερού, ο υδροφόρος έχει μέτρια δυναμικότητα.

#### **2. Υδροφορείς Νεογενών ιζημάτων:**

Πρόκειται για επάλληλους, υπό πίεση, μερικώς υπό πίεση ή κατά θέσεις ημιελεύθερους υδροφόρους οριζόντες πρωτογενούς (κοκκώδης) και δευτερογενούς (εξαλλιώσεις, τεκτονισμός) περατότητας που αναπτύσσονται μέσα στα Νεογενή ιζημάτα σε εναλλαγή

μεταξύ υδροπερατών και αδιαπέρατων σχηματισμών (μάργες, ψαμμίτες, κροκαλοπαγή, μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι, άργιλοι). Οι ορίζοντες αυτοί εμφανίζουν περιορισμένη δυναμικότητα, και εκφορτίζονται μέσω μικρών πηγών επαφής, με μικρές παροχές προς την παράκτια περιοχή της λεκάνης του Ρέματος της Ραφήνας. Η απόδοση των υδροληπτικών έργων είναι συνήθως της τάξης των 5 m<sup>3</sup>/h ενώ σε μεμονωμένες περιπτώσεις οι μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι αποδίδουν παροχές που υπερβαίνουν και τα 40 m<sup>3</sup>/h (Γιαννουλόπουλος Π, 2006). Στο υπόβαθρο του συστήματος των Νεογενών βρίσκονται αδιαπέρατοι μεταμορφωμένοι σχηματισμοί (σχιστόλιθοι) οριοθετώντας την κίνηση του υπογείου νερού.

### **3. Υδροφορείς Αποσαθρωμένων - Τεκτονισμένων Σχιστολίθων:**

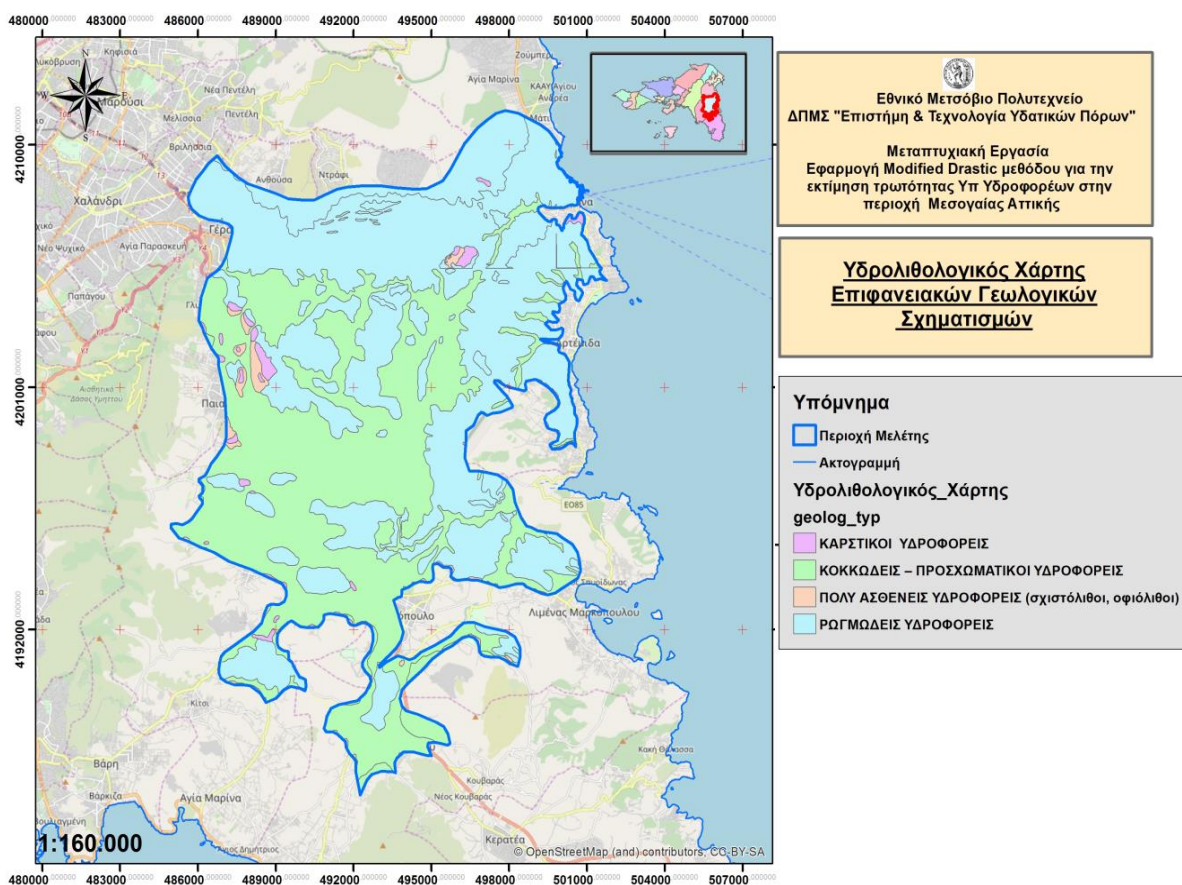
Πρόκειται για υπό πίεση και πολύ μικρής δυναμικότητας υδροφόρους ορίζοντες που δημιουργήθηκαν είτε λόγω της εξαλλοίωσης τμημάτων υγιών σχιστολίθων είτε λόγω ανάπτυξης ρωγματώσεων - διακλάσεων λόγω τεκτονισμού (δευτερογενούς περατότητα). Αρκετά συχνά φιλοξενούν ασβεστιτικές ενδιστρώσεις αυξάνοντας την υδροφορία των υδροληπτικών έργων που τις εκμεταλλεύονται. Απαντώνται ως υδροφορείς σε περιοχές όπως ο Γέρακας η Παλλήνη και η Ραφήνα και αποδίδουν παροχές μέχρι 8 m<sup>3</sup>/h.

### **4. Καρστικός υδροφορέας**

Ο καρστικός υδροφόρος σχηματίζεται μέσα στα καρστικοποιημένα μάρμαρα, ασβεστόλιθους και δολομίτες του αλπικού υπόβαθρου. Αποθηκεύει μεγάλες ποσότητες νερού, μέσα στις ασυνέχειες και στα καρστικά έγκοιλα. Οι σχηματισμοί του καρστικού συστήματος παρουσιάζουν έντονη καρστικοποίηση. Η κίνηση του υπόγειου νερού στο καρστικό σύστημα γίνεται μέσα από διευρυμένες ασυνέχειες, καρστικά έγκοιλα και σπήλαια. Η ταχύτητα της υπόγειας ροής είναι πολύ μεγάλη συγκρινόμενη με την ταχύτητα ροής στους κοκκώδεις υδροφόρους ορίζοντες (Bouazza I, 2012). Η στάθμη του υπόγειου νερού στον καρστικό υδροφόρο ορίζοντα βρίσκεται στο επίπεδο της επιφάνειας της θάλασσας ή λίγο πάνω από αυτήν. Η φυσική του εκφόρτιση γίνεται από παράκτιες και υποθαλάσσιες, υφάλμυρες πηγές με σπουδαιότερες της Βουλιαγμένης και της Λουμπάρδας. Παρόλα αυτά εκτιμάται ότι, ανάλογα με την περιοχή του υδροφόρου εκφορτίζεται και ανατολικότερα στην περιοχή Βράωνας - Λαυρίου (Γιαννουλόπουλος Π, 2006).

Στον παρακάτω υδρολιθολογικό χάρτη (Χάρτης 10) αποτυπώνονται οι επιφανειακοί υδρολιθολογικοί σχηματισμοί της περιοχής μελέτης, ανάλογα με το είδος του υδροφόρου, σύμφωνα με το διανυσματικό αρχείο (shp) των υδρολιθολογικών σχηματισμών του Ε.Α.Γ.Μ.Ε (πρώην Ι.Γ.Μ.Ε). Παρατηρούμε ότι επικρατούν οι προσχωματικοί (προσχώσεις πεδιάδας Μεσογαίας, πλευρικά κορρήματα, αποθέσεις στις όχθες χειμάρων,) και οι ρωγμώδεις υδροφορείς (ιζηματογενείς σχηματισμοί νεογενούς). Σε μικρότερες εκτάσεις

που απαντώνται σε λοφώδεις περιοχές βρίσκονται οι καρστικοί υδροφορείς (μάρμαρα, δολομίτες, ασβεστόλιθοι) καθώς επίσης και σχεδόν αδιαπέρατοι υδρολιθολογικοί σχηματισμοί με πολύ μικρή τιμή υδραυλικής αγωγιμότητας (σχιστόλιθοι, οφιόλιθοι).



**Χάρτης 10:Υδρολιθολογικοί σχηματισμοί**

## 4.2 Ανθρωπογενές Περιβάλλον

Στον παρόν κεφάλαιο αναλύονται οι ανθρωπογενείς παράγοντες που επιδρούν στην περιοχή μελέτης όπως δημογραφική εξέλιξη, τομείς απασχόλησης, γεωργία - κτηνοτροφία και χρήσεις γής.

### 4.2.1 Διοικητικά Στοιχεία

Σύμφωνα με τον νέο Αυτοδιοικητικό Νόμο «Καλλικράτης» (Ν 3852/2010 ΦΕΚ Α'/87/2010), η διοικητική διαίρεση της Ελλάδας μεταρρυθμίστηκε και επανακαθορίστηκαν τα όρια των αυτοδιοικητικών μονάδων (ΟΤΑ), ο τρόπος εκλογής των οργάνων και οι αρμοδιότητές τους. Σύμφωνα με το πρόγραμμα Καλλικράτης οι νέες αποκεντρωμένες και αυτοδιοικητικές μονάδες του Ελληνικού κράτους είναι οι εξής:

- ✓ Αποκεντρωμένες Διοικήσεις
- ✓ Περιφέρειες, οι οποίες αποτελούνται από Περιφερειακές Ενότητες

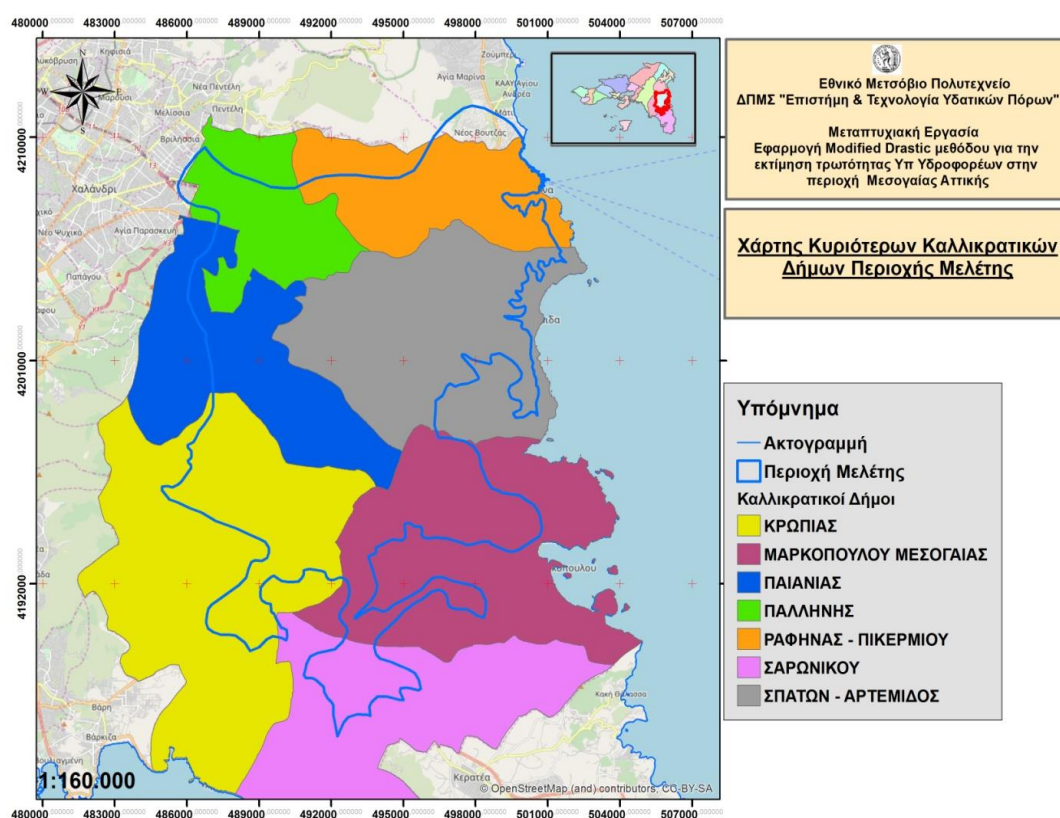
- ✓ Δήμοι, οι οποίοι εφόσον προήλθαν από συνένωση Καποδιστριακών Δήμων αποτελούνται από Δημοτικές Ενότητες οι οποίες με την σειρά υποδιαιρούνται σε Δημοτικές Κοινότητες ή Τοπικές Κοινότητες ανάλογα με τις πληθυσμιακές συγκεντρώσεις.

Η περιοχή μελέτης εμπίπτει χωρικά σχεδόν εξ' ολοκλήρου εντός της Περιφερειακής Ενότητας Ανατολικής Αττικής της Περιφέρειας Αττικής.

Σύμφωνα με τον Χάρτη 11 οι Καλλικρατικοί Δήμοι που βρίσκονται εντός της περιοχής μελέτης καταλαμβάνοντας σημαντικές εκτάσεις είναι οι εξής:

- ✓ Δήμος Σπάτων – Αρτέμιδας
- ✓ Δήμος Παιανίας
- ✓ Δήμος Παλλήνης
- ✓ Δήμος Ραφήνας – Πικερμίου
- ✓ Δήμος Μαρκοπούλου Μεσογαίας
- ✓ Δήμος Κρωπίας
- ✓ Δήμος Σαρωνικού

Μικρότερες εκτάσεις καταλαμβάνουν οι Δήμοι Αγίας Παρασκευής, Χαλανδρίου, Μαραθώνα και Πεντέλης.



Χάρτης 11: Καλλικρατικοί Δήμοι Περιοχής Μελέτης

### 4.2.2 Δημογραφική εξέλιξη

Στους παρακάτω πίνακες παρουσιάζεται η πληθυσμιακή εξέλιξη των Δημοτικών Ενοτήτων (Πίνακας 4) και του συνόλου των Δήμων της περιοχής μελέτης (Πίνακας 5) από το 1971 ως το 2011. Τα στοιχεία των απογραφών ελήφθησαν από την ΕΛ.ΣΤΑΤ (Ελληνική Στατιστική Αρχή). Εκτός από τον πληθυσμό της εκάστοτε Δημοτικής Ενότητας, φαίνεται και η ποσοστιαία μεταβολή του πληθυσμού ανά εικοσαετία.

Πίνακας 4: Μεταβολή πληθυσμού 1971-2011 Δημοτικών Ενοτήτων

ΔΙΑΧΡΟΝΙΚΗ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΠΛΗΘΥΣΜΟΥ 1971 - 2011 ΕΛΣΤΑΤ (ΔΗΜΟΤΙΚΕΣ ΕΝΟΤΗΤΕΣ)							
ΔΗΜΟΣ/ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ	1971	1981	1991	Μεταβολή % 1991- 1971	2001	2011	Μεταβολή % 2011 1991
ΠΑΙΑΝΙΑ	11827	7174	9727	-17,76	13013	15435	18,61
ΠΑΛΛΗΝΗ	3190	5660	10908	241,94	16679	22083	32,40
ΓΕΡΑΚΑΣ		6726	8512	26,55	13921	29544	112,23
ΑΝΘΟΥΣΑ			3020		3024	2132	-29,50
ΣΠΑΤΑ	6425	6593	7796	21,34	10203	12557	23,07
ΓΛΥΚΑ ΝΕΡΑ	1233	3406	5803	370,64	6623	10893	64,47
ΠΙΚΕΡΜΙ	262	508	1293	393,51	2931	7054	140,67
ΡΑΦΗΝΑ	2674	5405	8611	222,03	11909	12990	9,08
ΜΑΡΚΟΠΟΥΛΟ	5954	9388	10499	76,34	13143	19938	51,70
ΚΟΡΩΠΙ	9708	12893	16813	73,19	25325	30072	18,74
ΑΡΤΕΜΙΔΑ	564	4249	9485	1581,74	17391	21286	22,40
ΚΑΛΥΒΙΑ	2624	4860	7357	180,37	12202	14188	16,28
ΣΥΝΟΛΟ	44461	66862	99824	124,52	146364	198172	35,40

Πίνακας 5: Μεταβολή πληθυσμού 2001-2011 Καλλικρατικών Δήμων

ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΠΛΗΘΥΣΜΟΥ 2001 - 2011 ΕΛΣΤΑΤ			
ΔΗΜΟΙ (ΚΑΛΛΙΚΡΑΤΗΣ)	2001	2011	Μεταβολή %
ΠΑΙΑΝΙΑ ΓΛΥΚΑ ΝΕΡΑ	19636	26328	34,08
ΠΑΛΛΗΝΗ ΓΕΡΑΚΑΣ ΑΝΘΟΥΣΑ	33624	55735	65,76
ΣΠΑΤΩΝ ΑΡΤΕΜΙΔΑΣ	27594	33843	22,65
ΚΟΡΩΠΙ	25325	30072	18,74
ΜΑΡΚΟΠΟΥΛΟ	13143	19938	51,70
ΣΑΡΩΝΙΚΟΣ	26320	29002	10,19
ΡΑΦΗΝΑ ΠΙΚΕΡΜΙ	14840	20044	35,07
ΣΥΝΟΛΟ	160482	214962	33,95

Σύμφωνα με τα ανωτέρω στοιχεία και όπως προκύπτει και από τα σχετικά διαγράμματα διαχρονικής εξέλιξης του πληθυσμού (Γράφημα 1 & 2) στην περιοχή της Μεσογαίας Αττικής παρατηρείται μια σημαντική και συνεχής αύξηση του πληθυσμού την χρονική περίοδο 1971-2011. Αυτό οφείλεται κυρίως στους εξής λόγους:

- ✓ Μείωση του ρυθμού αστυφιλίας που παρατηρήθηκε στο Λεκανοπέδιο Αθηνών περί τα μέσα της δεκαετίας του 70 λόγω περιβαλλοντικής υποβάθμισης, έλλειψης χώρων πρασίνου, άναρχης δόμησης και κυκλοφοριακών προβλημάτων
- ✓ Εγγύτητα της περιοχής στην περιοχή του Λεκανοπεδίου
- ✓ Κατασκευή μεγάλων έργων υποδομής (Αττική Οδός, Αεροδρόμιο Αθηνών, Προαστιακός Σιδηρόδρομος)
- ✓ Δυνατότητα ανάπτυξης σύγχρονου χωροταξικού, ρυμοτομικού σχεδιασμού

- ✓ Δημιουργία νέων θέσεων εργασίας μέσω της μετεγκατάστασης βιομηχανιών, εταιριών

Την 20ετία 1971-1991 παρατηρούμε πολύ σημαντικές ποσοστιαίες αυξήσεις στις Δημοτικές Ενότητες Αρτέμιδα (1581%), Πικέρμι (393,51%) και Γλυκά Νερά (370,64%).

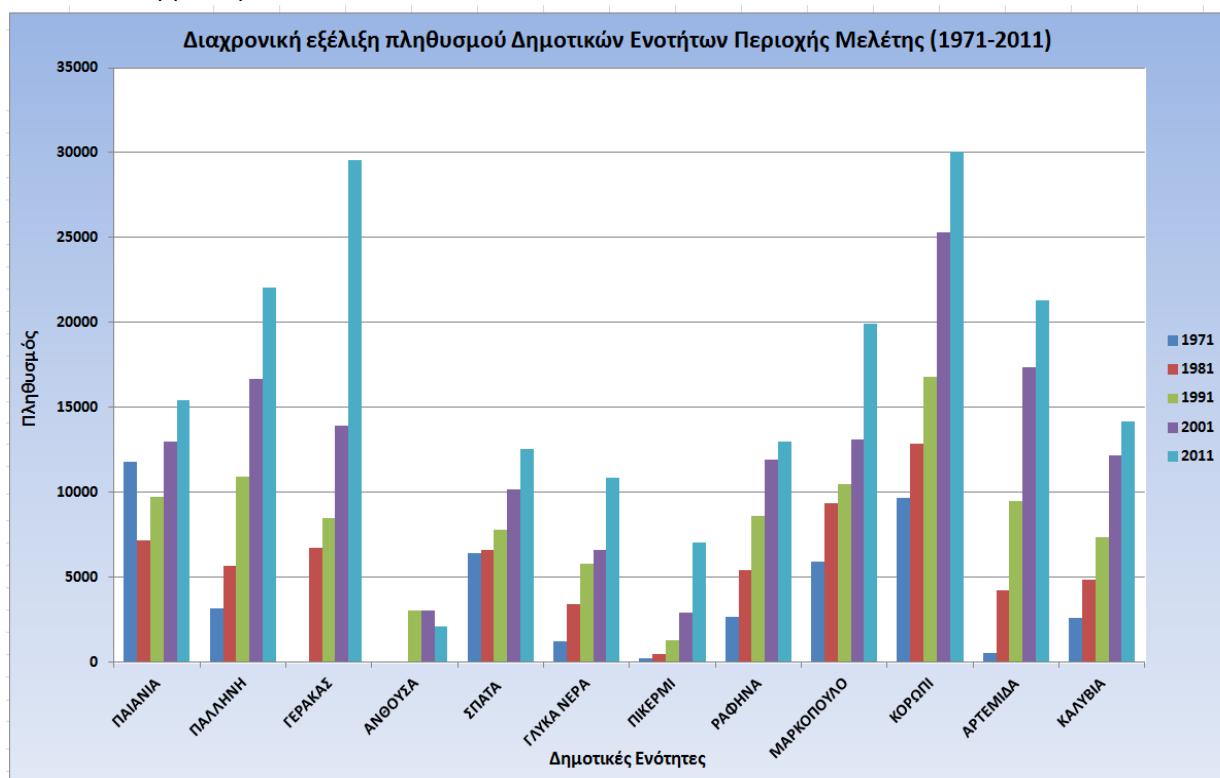
Τις μεγαλύτερες ποσοστιαίες αυξήσεις την 20ετία 1991 – 2011 παρατηρούμε στην Δημοτική Ενότητα Γέρακα όπου ο πληθυσμός αυξήθηκε κατά 112,23% και στην Δημοτική Ενότητα Πικερμίου όπου ο πληθυσμός αυξήθηκε κατά 140,67%. Στις υπόλοιπες Δημοτικές Ενότητες η ποσοστιαία αύξηση μειώθηκε σε σχέση με την προηγούμενη εικοσαετία (1971-2001) με εξαίρεση τα Σπάτα (πολύ μικρή αύξηση) και το Μαρκόπουλο (πολύ μικρή μείωση).

Η Δημοτική Ενότητα Παιανίας αποτελεί την μοναδική περίπτωση όπου παρατηρήθηκε μείωση του πληθυσμού την 20ετία 1971-1991 λόγω απόσπασης της περιοχής του Γέρακα από τον εν λόγω Δήμο ως ξεχωριστή Κοινότητα το 1980.

Επίσης στην Δημοτική Ενότητα Ανθούσας παρατηρήθηκε μείωση την 20ετία 1991-2011 κατά 29,50%.

Ο Δήμος Κρωπίας εξακολουθεί και αποτελεί τον Δήμο με τον μεγαλύτερο πληθυσμό στην περιοχή έρευνας με πληθυσμό περί τις 30000 κατοίκους (2011), ενώ η Ανθούσα καταλαμβάνει την τελευταία θέση με πληθυσμό περί τους 2132 κατοίκους (2011).

Ο συνολικός πληθυσμός των Δημοτικών Ενοτήτων της περιοχής κυμαίνεται στους 198.172 κατοίκους (2011).



Γράφημα 1: Ιστογράμματα εξέλιξης πληθυσμού Δημοτικών Ενοτήτων



Γράφημα 2: Ιστόγραμμα εξέλιξης συνολικού πληθυσμού

#### 4.2.3 Γεωργία - Κτηνοτροφία

Τα πιο πρόσφατα στοιχεία για τις δραστηριότητες του πρωτογενούς τομέα στην περιοχή έρευνας, ελήφθησαν από την απογραφή για την γεωργία και την κτηνοτροφία της ΕΛ.ΣΤΑΤ για τα έτη 2009-2010 και παρουσιάζονται παρακάτω αναλυτικά.

Σύμφωνα με τον Πίνακα 6 παρουσιάζεται η κατανομή των γεωργικών και κτηνοτροφικών εκμεταλλεύσεων και εκτάσεων ανά τύπο καλλιέργειας και Δημοτική Ενότητα.

**Πίνακας 6: Κατανομή Γεωργικών – Κτηνοτροφικών Εκτάσεων ανά τύπο καλλιέργειας 2009-2010**

ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΓΕΩΡΓΙΚΩΝ ΚΑΙ ΚΤΗΝΟΤΡΟΦΙΚΩΝ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΕΩΝ ΚΑΙ ΕΚΤΑΣΕΩΝ ΚΑΤΑ ΤΥΠΟ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗΝ ΑΠΟΓΡΑΦΗ 2009 - 2010 (ΕΛΣΤΑΤ)										
ΔΗΜΟΤΙΚΕΣ ΕΝΟΤΗΤΕΣ	ΕΤΗΣΙΕΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ		ΔΕΝΔΡΩΔΕΙΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ		ΑΜΠΕΛΙΑ		ΜΟΝΙΜΑ ΛΙΒΑΔΙΑ ΚΑΙ ΒΟΣΚΟΤΟΠΟΙ		ΛΟΙΠΑ ΚΑΙ ΑΓΡΑΝΑΠΑΥΣΕΙΣ	
	ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΕΙΣ	ΕΚΤΑΣΕΙΣ	ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΕΙΣ	ΕΚΤΑΣΕΙΣ	ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΕΙΣ	ΕΚΤΑΣΕΙΣ	ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΕΙΣ	ΕΚΤΑΣΕΙΣ	ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΕΙΣ	ΕΚΤΑΣΕΙΣ
ΠΑΛΛΗΝΗ	3,0	73,6	126,0	966,0	59,0	469,9	0,0	0,0	17,0	172,2
ΓΕΡΑΚΑΣ	4,0	28,0	64,0	566,5	18,0	98,2	0,0	0,0	3,0	8,0
ΑΝΘΟΥΣΑ	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
ΠΑΙΑΝΙΑ	15,0	114,5	712,0	7130,0	485,0	6767,0	0,0	0,0	29,0	24,0
ΡΑΦΗΝΑ	6,0	231,5	91,0	984,7	34,0	192,2	0,0	0,0	6,0	103,2
ΣΠΑΤΑ - ΛΟΥΤΣΑ	16,0	169,5	723,0	6630,0	538,0	8429,0	x	x	16,0	23,0
ΓΛΥΚΑ ΝΕΡΑ	3,0	10,5	29,0	364,0	11,0	71,4	0,0	0,0	3,0	8,5
ΠΙΚΕΡΜΙ	x	x	27,0	411,0	18,0	147,0	0,0	0,0	3,0	6,0
ΜΑΡΚΟΠΟΥΛΟ	14,0	121,1	637,0	5057,2	531,0	5072,4	3,0	21,0	20,0	183,9
ΚΟΡΩΠΙ	116	1190,2	1284	11713	720	5950,1	7	580	41	144
ΑΡΤΕΜΙΔΑ	0,0	0,0	11	111,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
ΚΑΛΥΒΙΑ ΘΟΡΙΚΟΥ	5	40	245	2247,1	95	532,9	0,0	0,0	21	22,1
ΣΥΝΟΛΟ	182,0	1978,9	3949,0	36180,7	2509,0	27730,1	10,0	601,0	159,0	694,9

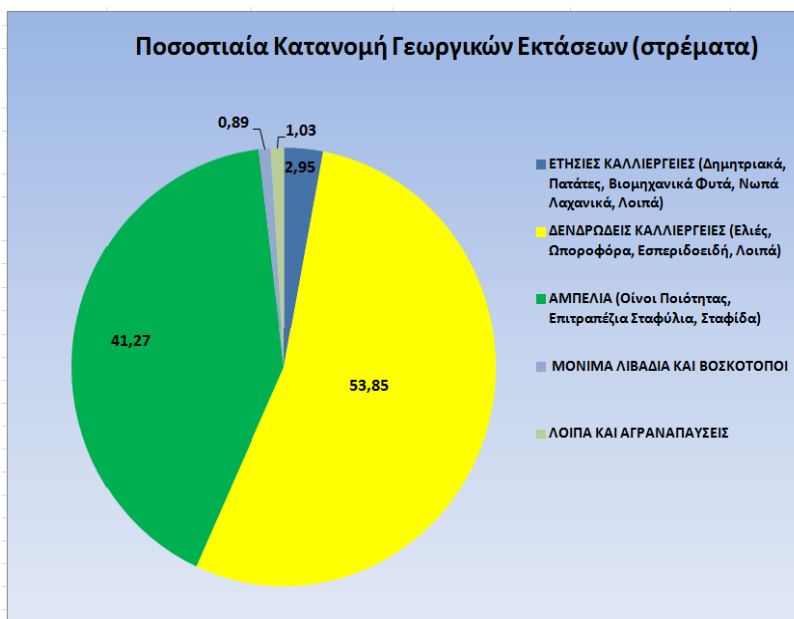
Με βάση τα ανωτέρω στοιχεία απογραφής η περιοχή έρευνας αποτελείται από 66.584,6 στρέμματα καλλιεργήσιμης γης και 601 στρέμματα κτηνοτροφικών εκμεταλλεύσεων.

Στην γεωργία κυριαρχούν οι δενδρώδεις καλλιέργειες (ελιές, σπυροφόρα, εσπεριδοειδή) με ποσοστό 53,85%, ακολουθούν τα αμπέλια (οίνοι ποιότητας, επιτραπέζια σταφύλια, σταφίδα) με ποσοστό 41,27%, οι ετήσιες καλλιέργειες (δημητριακά, πατάτες, νωπά



λαχανικά, βιομηχανικά φυτά) με ποσοστό 2,95%, λοιπές εκτάσεις και αγραναπαύσεις με ποσοστό 1,03% και τέλος μόνιμα λιβάδια και βοσκότοποι με ποσοστό 0,89%.

Ο Δήμος Κρωπίας καταλαμβάνει την 1<sup>η</sup> θέση γεωργικών - κτηνοτροφικών δραστηριοτήτων με συνολικό αριθμό 2168 εκμεταλλεύσεων. Σημαντικές εκμεταλλεύσεις παρουσιάζονται στις Δημοτικές Ενότητες Παιανίας, Μαρκοπούλου και Σπάτων - Λούτσας. Οι υπόλοιπες Δημοτικές Ενότητες εμφανίζουν πολύ χαμηλά απόλυτα νούμερα αντίστοιχων εκμεταλλεύσεων.



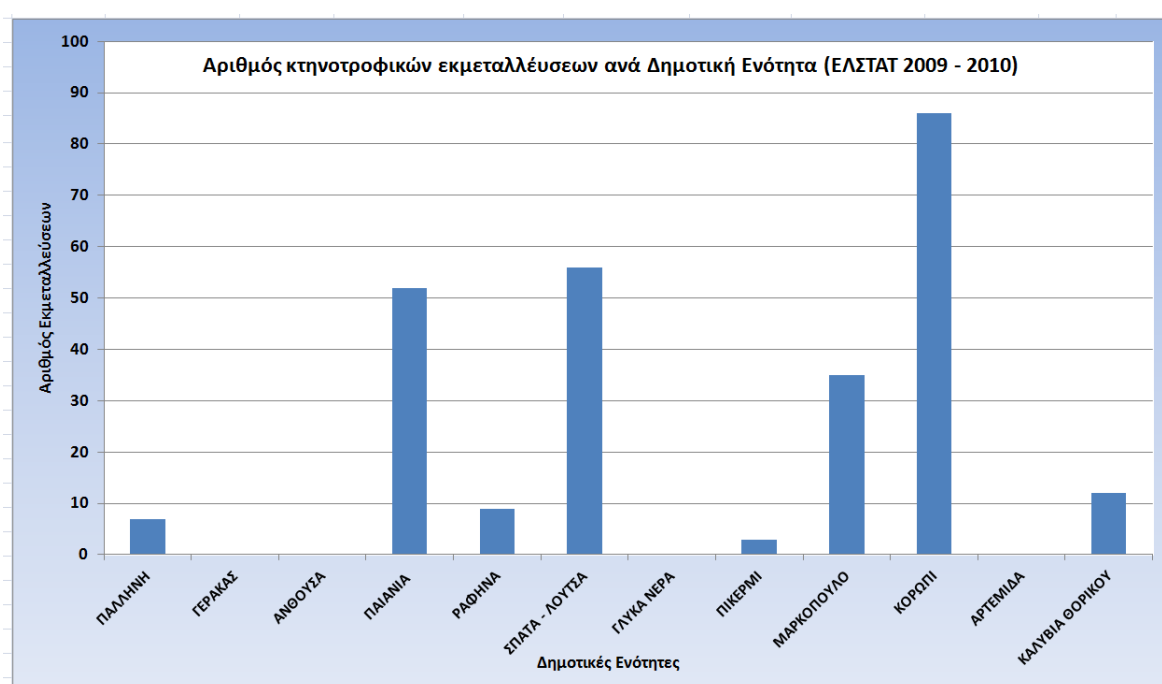
**Γράφημα 3: Ποσοστιαία Κατανομή Γεωργικών – Κτηνοτροφικών Εκτάσεων ανά τύπο καλλιέργειας 2009-2010**

Όσον αφορά την κτηνοτροφική δραστηριότητα σύμφωνα με τα στατιστικά στοιχεία της ΕΛ.ΣΤΑΤ για την χρονική περίοδο 2009-2010 (Πίνακα 7), τα πουλερικά αντιπροσωπεύουν το μεγαλύτερο αριθμό ζώων με συνολικό αριθμό κεφαλών 1.517.036, ενώ έπονται τα πρισματοειδή με 11.413 κεφαλές, τα αιγοειδή 1.587 κεφαλές, μέλισσες 1.540 κεφαλές και τα χοριοειδή 447 κεφαλές.

Η περιοχή με τον μεγαλύτερο αριθμό κτηνοτροφικών εκμεταλλεύσεων όπως αποτυπώνεται στο Γράφημα 4 είναι το Κορωπί με συνολικό αριθμό 86 εκμεταλλεύσεις (κυρίως πουλερικά) και έπονται με σχεδόν παρόμοιους απόλυτους αριθμούς η Παιανία και η Δ.Ε Σπάτων – Λούτσας.

Πίνακας 7: Κατανομή Κτηνοτροφικών Εκμεταλλεύσεων 2009-2010

ΚΤΗΝΟΤΡΟΦΙΚΕΣ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΕΙΣ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗΝ ΑΠΟΓΡΑΦΗ 2009 - 2010 (ΕΛΣΤΑΤ)												
ΔΗΜΟΤΙΚΕΣ ΕΝΟΤΗΤΕΣ	ΒΟΟΕΙΔΗ		ΧΟΙΡΟΕΙΔΗ		ΠΡΟΒΑΤΟΕΙΔΗ		ΑΙΓΟΕΙΔΗ		ΠΟΥΛΕΡΙΚΑ		ΜΕΛΙΣΣΕΣ	
	ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΕΙΣ	ΑΡ ΚΕΦΑΛΩΝ	ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΕΙΣ	ΑΡ ΚΕΦΑΛΩΝ	ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΕΙΣ	ΑΡ ΚΕΦΑΛΩΝ	ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΕΙΣ	ΑΡ ΚΕΦΑΛΩΝ	ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΕΙΣ	ΑΡ ΚΕΦΑΛΩΝ	ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΕΙΣ	ΑΡ ΚΕΦΑΛΩΝ
ΠΑΛΛΗΝΗ	0	0	0	0	4	529	3	52	0	0	0	0
ΓΕΡΑΚΑΣ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ΑΝΘΟΥΣΑ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ΠΑΙΑΝΙΑ	0	0	0	0	12	1256	5	43	30	1455859	5	129
ΡΑΦΗΝΑ	0	0	0	0	6	227	3	8	0	0	0	0
ΣΠΑΤΑ - ΛΟΥΤΣΑ	0	0	0	0	25	2034	6	252	19	51307	6	244
ΓΛΥΚΑ ΝΕΡΑ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ΠΙΚΕΡΜΙ	0	0	0	0	3	479	0	0	0	0	0	0
ΜΑΡΚΟΠΟΥΛΟ	0	0	0	0	18	2195	6	457	11	2981	0	0
ΚΟΡΩΠΙ	0	0	4	447	34	3243	9	158	30	6889	9	1167
ΑΡΤΕΜΙΔΑ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ΚΑΛΥΒΙΑ ΘΟΡΙΚΟΥ	0	0	0	0	9	1450	3	617	0	0	0	0
ΣΥΝΟΛΟ	0	0	4	447	111	11413	35	1587	90	1517036	20	1540



Γράφημα 4: Ιστόγραμμα κτηνοτροφικών εκμεταλλεύσεων ανά Δημοτική Ενότητα 2009-2010

#### 4.2.4 Τομείς Απασχόλησης

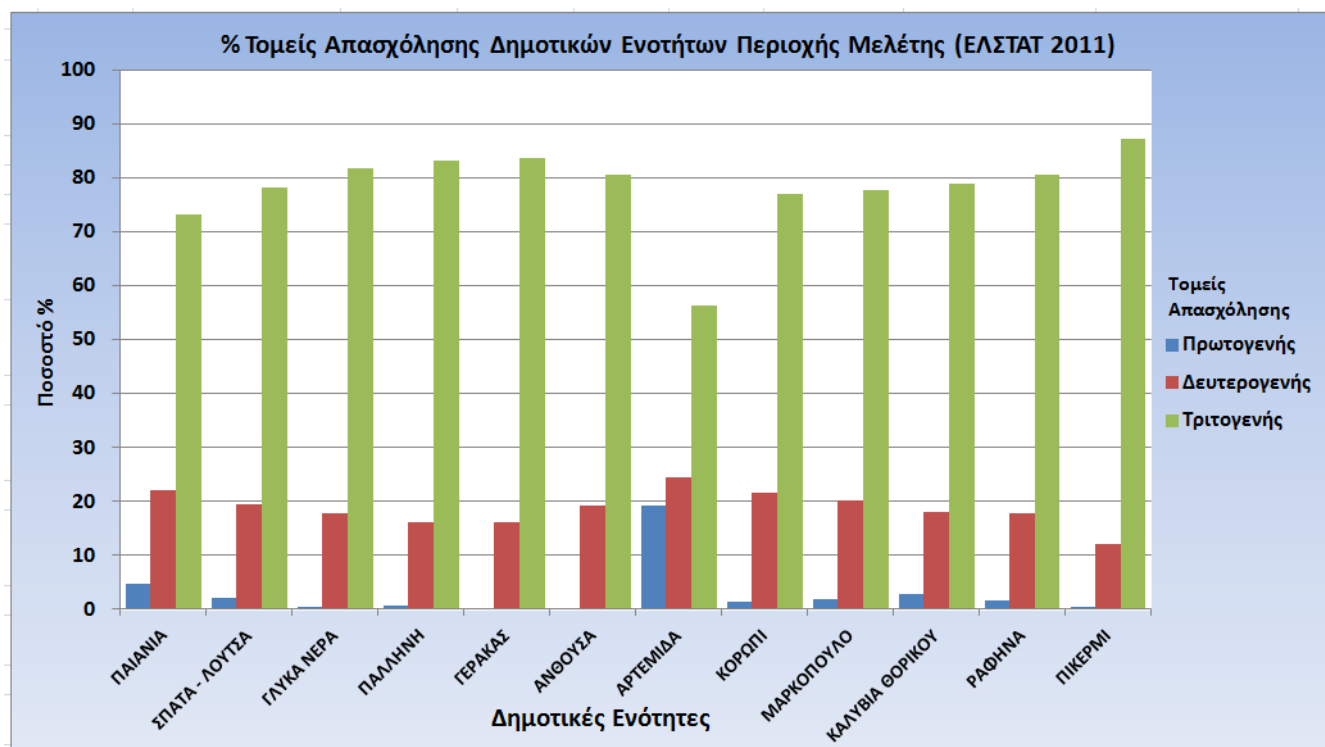
Σύμφωνα με τα στατιστικά στοιχεία της ΕΛ.ΣΤΑΤ για τους τομείς απασχόλησης για το έτος 2011 παρατηρούμε ότι το τριτογενής τομέας απασχόλησης καταλαμβάνει περίπου το 80% του συνολικού τομέα απασχόλησης στις Δημοτικές Ενότητες της Περιοχής Μελέτης (Γράφημα 5) και ακολουθούν ο Δευτερογενής Τομέας Απασχόλησης με ποσοστό 18,56% και ο πρωτογενής τομέας με ποσοστό 1,76%. Σε αυτό συνέβαλαν τα έργα υποδομής που κατασκευάστηκαν μέσα στην δεκαετία 2000 – 2010, όπως το Αεροδρόμιο και η επέκταση της Αττικής οδού με συνέπεια την δημιουργία νέων θέσεων εργασίας είτε στον Αερολιμένα, είτε σε επιχειρήσεις εστίασης, τουρισμού και εμπορίου.

Σύμφωνα με τον πίνακα 8 τα μεγαλύτερα ποσοστά απασχόλησης στον τριτογενή τομέα παρουσιάζονται στην Δ.Ε Πικερμίου (87%), Δ.Ε Γέρακα (83,66%) και στην Δ.Ε Παλλήνης (83,22%). Τα υψηλότερα ποσοστά στον δευτερογενή τομέα απασχόλησης παρουσιάζονται στην Δ.Ε Αρτέμιδας (24,52%) και στην Δ.Ε Παιανίας (22,11%) και Κρωπίας (21,56%).

Υψηλότερα ποσοστά απασχόλησης στον πρωτογενή τομέα εμφανίζονται στην Δ.Ε Αρτέμιδας με ποσοστό 19,24% κυρίως λόγω της αλιευτικής δραστηριότητας.

Πίνακας 8: Απασχόληση Πληθυσμού ανά τομέα Παραγωγής 2011

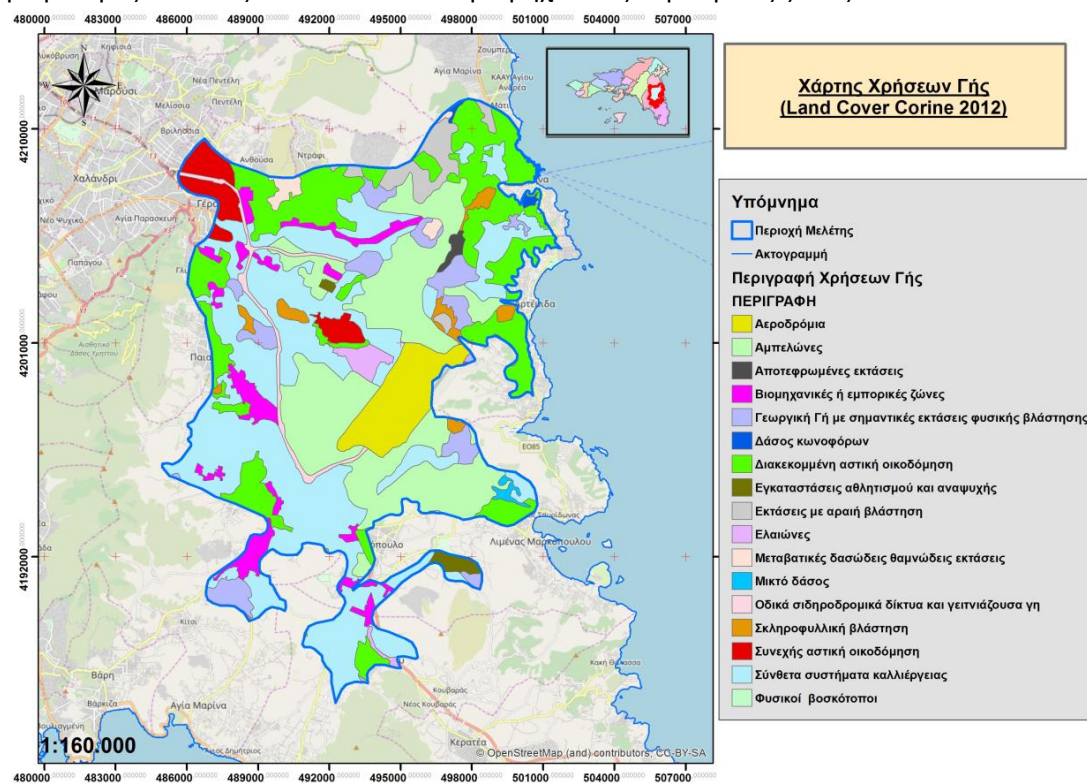
ΑΠΑΣΧΟΛΗΣΗ ΠΛΗΘΥΣΜΟΥ ΑΝΑ ΤΟΜΕΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ 2011 ΕΛΣΤΑΤ							
2011	ΔΗΜΟΤΙΚΕΣ ΕΝΟΤΗΤΕΣ	ΠΡΩΤΟΓΕΝΗΣ ΤΟΜΕΑΣ	%	ΔΕΥΤΕΡΟΓΕΝΗΣ ΤΟΜΕΑΣ	%	ΤΡΙΤΟΓΕΝΗΣ ΤΟΜΕΑΣ	%
		ΠΑΙΑΝΙΑ	547	4,66	2598	22,11	8604
	ΣΠΑΤΑ - ΛΟΥΤΣΑ	181	2,09	1696	19,58	6787	78,34
	ΓΛΥΚΑ ΝΕΡΑ	33	0,36	1642	17,83	7535	81,81
	ΠΑΛΛΗΝΗ	136	0,74	2941	16,04	15263	83,22
	ΓΕΡΑΚΑΣ	61	0,23	4268	16,11	22162	83,66
	ΑΝΘΟΥΣΑ	3	0,20	284	19,11	1199	80,69
	ΑΡΤΕΜΙΔΑ	438	19,24	558	24,52	1280	56,24
	ΚΟΡΩΠΙ	387	1,47	5657	21,56	20196	76,97
	ΜΑΡΚΟΠΟΥΛΟ	273	1,92	2874	20,24	11054	77,84
	ΚΑΛΥΒΙΑ ΘΟΡΙΚΟΥ	285	2,91	1774	18,09	7747	79,00
	ΡΑΦΗΝΑ	149	1,59	1671	17,88	7524	80,52
	ΠΙΚΕΡΜΙ	32	0,54	711	12,09	5139	87,37
	ΣΥΝΟΛΟ	2525	1,76	26674	18,56	114490	79,68



Γράφημα 5: Ιστόγραμμα ποσοστιαίας απασχόλησης πληθυσμού ανά τομέα παραγωγής ανά Δημοτική Ενότητα

### 4.2.5 Χρήσεις Γής

Σύμφωνα με τα γεωχωρικά δεδομένα χρήσεων γής του προγράμματος Land Cover Corine για το έτος 2012 (Χάρτης 12), η περιοχή μελέτης αποτελεί ένα συνδυασμό αστικής, βιομηχανικής και γεωργικής χρήσης με μικρό ποσοστό δασικών - φυσικών εκτάσεων. Σύμφωνα με τον Χάρτη Χρήσεων Γής η αστική δόμηση (συνεχής ή διακεκομμένη) καλύπτει το βόρειο, ανατολικό και τμήμα της δυτικής πλευράς της περιοχής μελέτης. Οι γεωργικές χρήσεις (σύνθετα συστήματα καλλιέργειας, ελαιώνες, αμπελώνες) καταλαμβάνουν το κεντρικό, νότιο τμήμα της περιοχής μελέτης καθώς επίσης και σημαντική έκταση του δυτικού τμήματος. Σημαντική έκταση καλύπτει επίσης το Διεθνές Αεροδρόμιο Αθηνών ενώ μικρότερες εκτάσεις καλύπτονται από βιομηχανικές - εμπορικές ζώνες.



Χάρτης 12: Χάρτης Χρήσεων Γής, Land Cover Corine 2012

Από την εμβαδομέτρηση των χρήσεων γης προέκυψαν οι αντίστοιχες εκτάσεις και ποσοστά κάλυψης των αστικών, δασικών, γεωργικών και βιομηχανικών περιοχών όπως παρουσιάζονται παρακάτω (Πίνακας 9, Γράφημα 6).

Οι αστικές περιοχές μαζί με τους χώρους οικοδόμησης, καταλαμβάνουν έκταση 51 km<sup>2</sup> και καλύπτουν το 22,5% επί της συνολικής έκτασης της περιοχής μελέτης. Οι περισσότεροι οικισμοί με διακεκομμένη αστική δόμηση συγκεντρώνονται γύρω από τις κεντρικές πόλεις Κορωπί, Παιανία, Παλλήνη, Γλυκά Νερά, Μαρκόπουλο, Ραφήνα, Πικέρμι, Αρτέμιδα ενώ με συνεχή αστική δόμηση συγκεντρώνονται στην περιοχή του Γέρακα και των Σπατών.

Οι γεωργικές χρήσεις καταλαμβάνουν ένα σημαντικό ποσοστό κάλυψης της περιοχής μελέτης. Πιο συγκεκριμένα τα σύνθετα συστήματα καλλιέργειας (κηπευτικά, δενδρώδεις καλλιέργειες κα) καλύπτουν μια έκταση 75 km<sup>2</sup> (33% συνολικής έκτασης), οι αμπελώνες 49 km<sup>2</sup> (21,6% συνολικής έκτασης) και οι ελαιώνες 2 km<sup>2</sup> (0,9% συνολικής έκτασης).

Ο συνδυασμός γεωργικών εκτάσεων με φυσική βλάστηση καλύπτει μια έκταση 12 km<sup>2</sup> (5,3% συνολικής έκτασης).

Οι δασώδεις εκτάσεις και οι μεταβατικές δασώδεις και θαμνώδεις εκτάσεις καταλαμβάνουν 3 km<sup>2</sup> και αποτελούν το 1,3% επί της συνολικής έκτασης της περιοχής μελέτης. Εντοπίζονται κυρίως παρυφές του Πεντελικού Όρους και περιλαμβάνει κυρίως πεύκα, πλατάνια, λεύκες, αγριοελιές, δάφνες, σχίνα, δενδρολίβανο και θυμάρι.

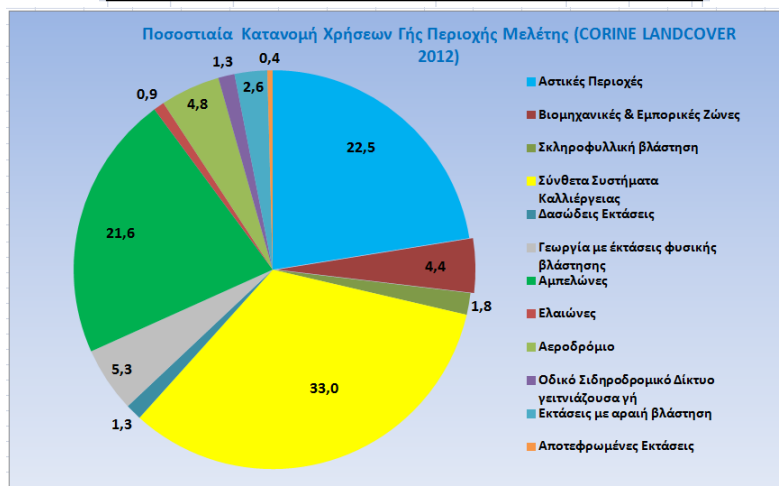
Οι βιομηχανικές - εμπορικές περιοχές καλύπτουν μια έκταση 10 km<sup>2</sup> (4,4% συνολικής έκτασης) και βρίσκονται κυρίως στο δυτικό τμήμα της περιοχής μελέτης (Κορωπί, Παιανία, Γλυκά Νερά) καθώς επίσης και κατά μήκος της Λεωφόρου Μαραθώνος (Γέρακας, Παλλήνη). Σημαντικό τμήμα καταλαμβάνει και το Αεροδρόμιο με συνολική έκταση 11 km<sup>2</sup> (4,8% συνολικής έκτασης).

Η κατασκευή σύγχρονων μεταφορικών έργων με την αντίστοιχη γειτνιάζουσα γη (Αττική Οδός, Προαστιακός) αποτυπώνονται σε μια έκταση κάλυψης γής 3 km<sup>2</sup> (1,3% συνολικής έκτασης).

Τέλος οι αποτεφρωμένες εκτάσεις καλύπτουν μια έκταση 1 km<sup>2</sup> (0,4% συνολικής έκτασης).

**Πίνακας 9: Εκτάσεις Χρήσεων Γής περιοχής μελέτης 2012**

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΧΡΗΣΗΣ ΓΗΣ	Έκταση (Km <sup>2</sup> )	% Κατανομή
Αστικές Περιοχές	51	22,5
Βιομηχανικές & Εμπορικές Ζώνες	10	4,4
Σκληροφυλλική βλάστηση	4	1,8
Σύνθετα Συστήματα Καλλιέργειας	75	33,0
Δασώδεις Εκτάσεις	3	1,3
Γεωργία με εκτάσεις φυσικής βλάστησης	12	5,3
Αμπελώνες	49	21,6
Ελαιώνες	2	0,9
Αεροδρόμιο	11	4,8
Οδικό Σιδηροδρομικό Δίκτυο γειτνιάζουσα γή	3	1,3
Εκτάσεις με αραιή βλάστηση	6	2,6
Αποτεφρωμένες Εκτάσεις	1	0,4



**Γράφημα 6: Ποσοστιαία Κατανομή Χρήσεων Γής περιοχής μελέτης**

### 4.3 Μετεωρολογία - Κλιματολογία

Η ευρύτερη περιοχή της Αττικής, εντάσσεται στον Μεσογειακό τύπο κλίματος, που χαρακτηρίζεται από μια θερινή περίοδο ξηρασίας και μια σύντομη χειμερινή περίοδο ψύχους (Μητράκος 1980). Η μέση ετήσια θερμοκρασία διαφοροποιείται ανάλογα με το υψόμετρο και την απόσταση από την θάλασσα και κυμαίνεται από 16 ° C ως 18 ° C, ενώ το ετήσιο θερμοκρασιακό εύρος είναι της τάξης των 16 ° C. Το μέσο ετήσιο ύψος βροχής είναι της τάξης των 350 mm μέσα στο λεκανοπέδιο της Αττικής, ενώ στα ορεινά τμήματα αυξάνεται στα 1000 mm (Αγόρογλου Ο, 2017). Η χιονόπτωση παρατηρείται κυρίως στο εσωτερικό της Αττικής και στα ορεινά ενώ είναι σπάνια στις παράκτιες περιοχές.

Το κλίμα μεταξύ άλλων διαμορφώνεται από δυναμικούς παράγοντες όπως είναι η γενική κυκλοφορία της ατμόσφαιρας, οι άνεμοι, η κίνηση των αερίων μαζών και οι ατμοσφαιρικές διαταραχές. Συγκεκριμένα, στο κλίμα της Αττικής, επιδρά κυρίως ο Αζορικός και ο Σιβηρικός Αντικυκλώνας (συστήματα υψηλών πιέσεων) και οι υφέσεις του Ατλαντικού και της Δυτικής Μεσογείου (συστήματα χαμηλών πιέσεων) κατά την χειμερινή περίοδο. Κατά την θερινή περίοδο επιδρούν κυρίως ο Αζορικός αντικυκλώνας, το θερμικό χαμηλό των Ινδιών αλλά και τα ετήσια μελτέμια (Αγόρογλου Ο, 2017).

Επίσης, σημαντικό ρόλο στην διαμόρφωση του κλίματος παίζουν οι γεωγραφικοί παράγοντες όπως το ανάγλυφο, το υψόμετρο, το γεωγραφικό πλάτος και ο προσανατολισμός αλλά και η απόσταση της περιοχής από την θάλασσα (Παυλόπουλος 1992, Λιώσης 2013).

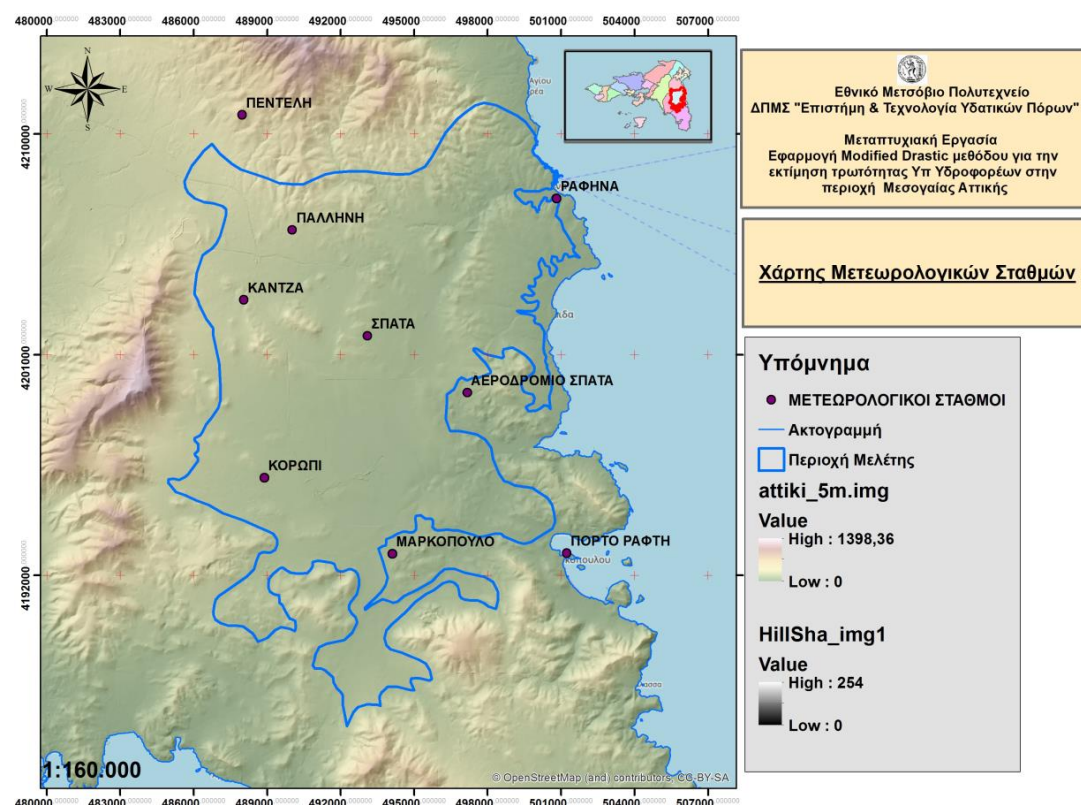
#### 4.3.1 Κλιματολογικά Δεδομένα

Στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας συλλέχθηκαν πρωτογενή κλιματολογικά δεδομένα από **9 μετεωρολογικούς σταθμούς** (Πεντέλη, Ραφήνα, Πόρτο Ράφτη, Σπάτα, Διεθνές Αεροδρόμιο Αθηνών, Κορωπί, Μαρκόπουλο, Κάντζα, Παλλήνη). Οι επιλογή των εν λόγω μετεωρολογικών σταθμών όπως αυτοί αποτυπώνονται στον σχετικό χάρτη (Χάρτης 13) και στον σχετικό πίνακα (Πίνακας 10) έγινε με κριτήριο αφενός την κατάλληλη χωρική διασπορά σε σχέση με την περιοχή μελέτης και αφετέρου την αντιπροσωπευτικότητα τους ως προς την μορφολογία με αντικειμενικό στόχο την συλλογή ασφαλέστερων συμπερασμάτων ως προς την εκτίμηση των κλιματολογικών παραμέτρων της περιοχής μελέτης. Τα εν λόγω δεδομένα αφορούν την **χρονική περίοδο 2013-2017**. Η επιλογή της εν λόγω χρονικής περιόδου έγινε με κριτήριο αφενός την ανάγκη αποτύπωσης πρόσφατων κλιματολογικών δεδομένων σε σχέση με την περίοδο συλλογής μετρήσεων της παρούσας εργασίας (υγρή περίοδος 2017-2019) και αφετέρου την ύπαρξη ενιαίων δεδομένων από το σύνολο των μετεωρολογικών σταθμών που χρησιμοποιήθηκαν (2014-2017). Εξαίρεση αποτελεί το έτος 2013 το οποίο και χρησιμοποιήθηκε ως έτος έναρξης μελέτης της 1<sup>ης</sup>

Αναθεώρησης των Σχεδίων Διαχείρισης Λεκανών Απορροής Υδατικού Διαμερίσματος Αττικής. Οι φορείς λειτουργίας των μετεωρολογικών σταθμών είναι το Διεθνές Αεροδρόμιο Αθηνών (Δ.Α.Α) και το Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών (Ε.Α.Α).

**Πίνακας 10: Στοιχεία Μετεωρολογικών Σταθμών ευρύτερης περιοχής μελέτης**

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΩΝ ΣΤΑΘΜΩΝ					
ΣΤΑΘΜΟΣ	ΦΟΡΕΑΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ	ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΠΛΗΡΟΥΣ ΕΤΗΣΙΑΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ	ΓΕΩΓ ΠΛΑΤΟΣ (ΕΓΣΑ87)	ΓΕΩΓ ΜΗΚΟΣ (ΕΓΣΑ87)	ΥΨΟΜΕΤΡΟ
ΜΑΡΚΟΠΟΥΛΟ	(Δ.Α.Α)	2001 - 2018	494111	4192893	100
ΠΑΛΛΗΝΗ	(Δ.Α.Α)	2002 - 2018	490023	4206088	180
ΑΕΡΟΔΡΟΜΙΟ ΣΠΑΤΑ	(Δ.Α.Α)	2011 - 2018	497166	4199456	89
ΠΕΝΤΕΛΗ	(Ε.Α.Α)	2014 - 2018	487979	4210773	495
ΠΟΡΤΟ ΡΑΦΤΗ	(Ε.Α.Α)	2014 - 2018	501228	4192915	11
ΚΟΡΩΠΙ	(Δ.Α.Α)	2001 - 2018	488889	4195990	110
ΚΑΝΤΖΑ	(Ε.Α.Α)	2008 - 2018	488047	4203239	221
ΡΑΦΗΝΑ	(Ε.Α.Α)	2015 - 2018	500813	4207372	25
ΣΠΑΤΑ	(Δ.Α.Α)	2001 - 2018	493092	4201770	155



**Χάρτης 13: Μετεωρολογικοί Σταθμοί ευρύτερης περιοχής μελέτης**

### 4.3.2 Θερμοκρασία

Η θερμοκρασία είναι ακριβώς το μέτρο εκείνο με το οποίο προσδιορίζεται η "θερμική κατάσταση" των διαφόρων σωμάτων, είναι δηλαδή ένα φυσικό μέγεθος που συνδέεται με την μέση κινητική ενέργεια των σωματιδίων ενός συστατικού, το οποίο και χαρακτηρίζει πόσο θερμό ή πόσο ψυχρό είναι αυτό. Η θερμοκρασία μετριέται με ειδικά όργανα που λέγονται θερμόμετρα, η λειτουργία των οποίων βασίζεται στο φαινόμενο της διαστολής ή συστολής ως αποτέλεσμα παροχής ή αφαίρεσης της θερμότητας.

Για την επεξεργασία αυτής της κλιματικής παραμέτρου χρησιμοποιήθηκαν στοιχεία από όλους τους μετεωρολογικούς σταθμούς για το χρονικό διάστημα 2013 - 2017.

#### 4.3.2.1 Ετήσια Πορεία Θερμοκρασίας

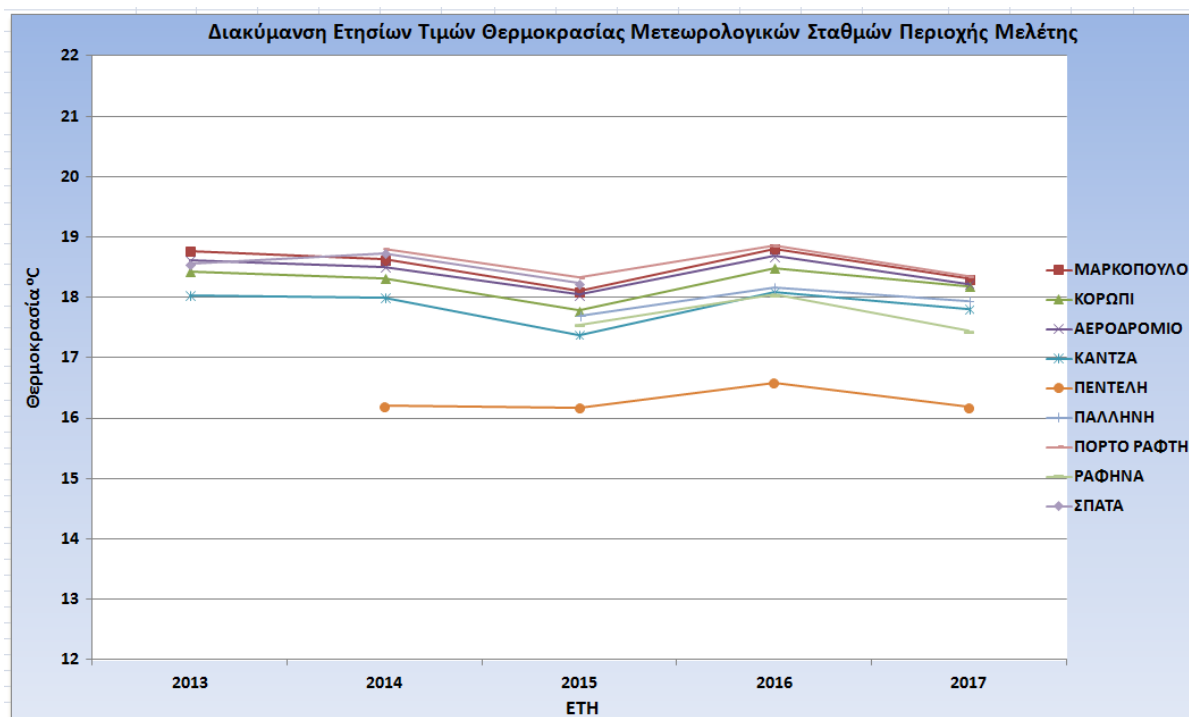
Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 11) παρουσιάζονται οι μέσες ετήσιες τιμές θερμοκρασίας για το σύνολο των μετεωρολογικών σταθμών παρατήρησης. Στις περιπτώσεις κατά τις οποίες έλειπαν ορισμένες μηνιαίες τιμές οι αντίστοιχες μέσες ετήσιες τιμές δεν υπολογίστηκαν ούτως ώστε να υπάρχει συνέπεια και αξιοπιστία στην σύγκριση των δεδομένων μεταξύ τους.

Με βάση το παρακάτω Γράφημα διακύμανσης ετήσιων τιμών θερμοκρασίας (Γράφημα 7) διαπιστώνεται πως οι μέσες ετήσιες θερμοκρασίες παρουσιάζουν ομοιογενή ετήσια πορεία για τους περισσότερους σταθμούς. Το πιο θερμό έτος είναι το 2016 και το πιο ψυχρό είναι το 2015. Η τιμή της μέσης ετήσιας θερμοκρασίας κυμαίνεται περίπου από 18°C ως 19°C για τους μετεωρολογικούς σταθμούς (Μαρκόπουλο, Κορωπί, Αεροδρόμιο, Πόρτο Ράφτη και Σπάτα). Ο σταθμός της Πεντέλης εμφανίζει χαμηλότερες τιμές μεταξύ 16,2°C έως 16,59°C. Η υψηλότερη μέση ετήσια τιμή από όλους τους σταθμούς σημειώνεται στο σταθμό Πόρτο Ράφτη (18,86°C), καθώς βρίσκεται σε χαμηλότερο υψόμετρο από τους υπόλοιπους μετεωρολογικούς σταθμούς. Αυτό οφείλεται στην γραμμική σχέση υψόμετρου-θερμοκρασίας και στην επίδραση της θάλασσας. Η μέση ετήσια τιμή θερμοκρασίας για το σύνολο των μετεωρολογικών σταθμών είναι 18,36°C.

**Πίνακας 11: Μέσες ετήσιες τιμές θερμοκρασίας μετεωρολογικών σταθμών**

ΜΕΣΕΣ ΕΤΗΣΙΕΣ ΤΙΜΕΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΩΝ ΣΤΑΘΜΩΝ					
ΣΤΑΘΜΟΙ	2013	2014	2015	2016	2017
ΜΑΡΚΟΠΟΥΛΟ	18,77	18,63	18,10	18,81	18,31
ΚΟΡΩΠΙ	18,43	18,32	17,78	18,49	18,18
ΑΕΡΟΔΡΟΜΙΟ	18,62	18,50	18,04	18,68	18,22
ΚΑΝΤΖΑ	18,03	17,99	17,38	18,09	17,81
ΠΕΝΤΕΛΗ		16,20	16,17	16,59	16,18
ΠΑΛΛΗΝΗ			17,69	18,17	17,94
ΠΟΡΤΟ ΡΑΦΤΗ		18,80	18,33	18,86	18,35
ΡΑΦΗΝΑ			17,54	18,04	17,44
ΣΠΑΤΑ	18,55	18,73	18,23		





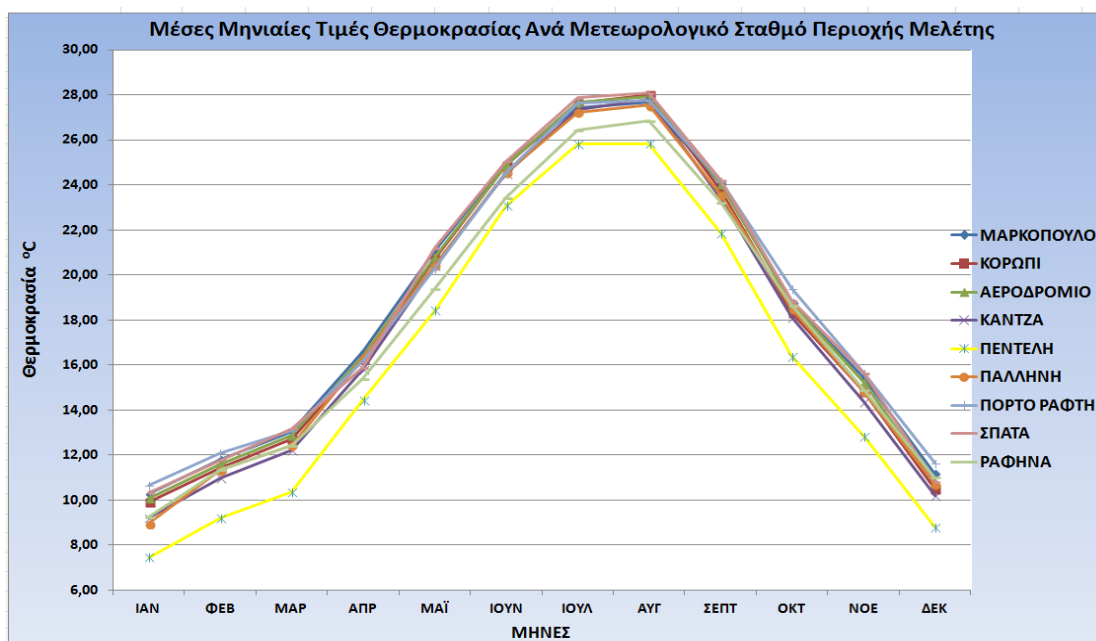
Γράφημα 7: Διακύμανση ετήσιων τιμών θερμοκρασίας συνόλου μετεωρολογικών σταθμών

#### 4.3.2.2 Μηνιαία Πορεία Θερμοκρασίας

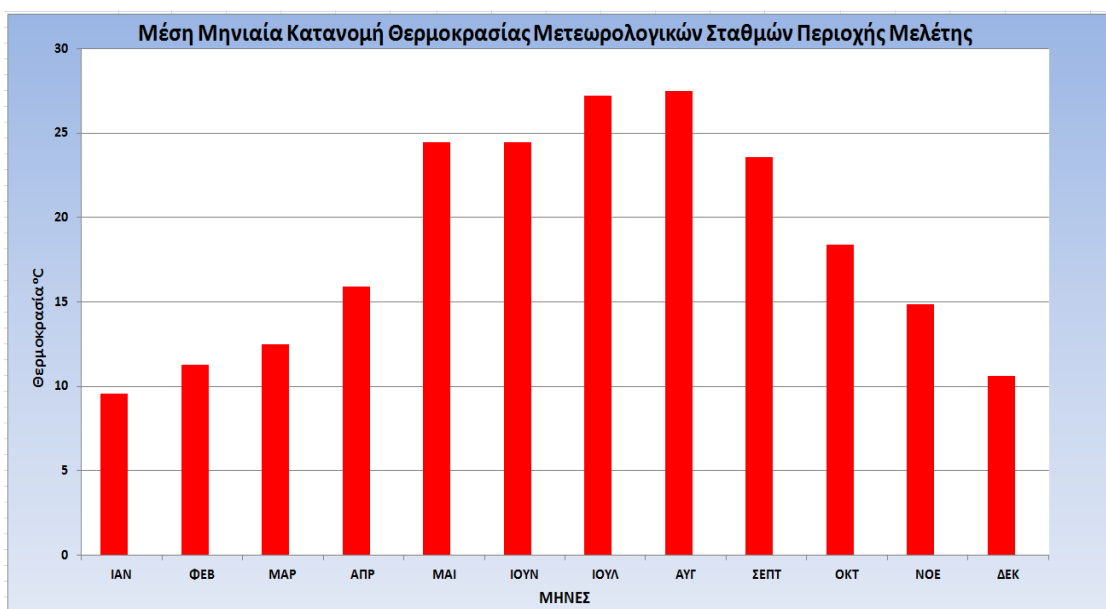
Στον πίνακα 12 παρουσιάζονται οι μέσες μηνιαίες τιμές θερμοκρασίας για κάθε μετεωρολογικό σταθμό ξεχωριστά. Όπως παρατηρούμε από τις τιμές του πίνακα 12 καθώς επίσης και από το Γράφημα 8, οι μέσες μηνιαίες τιμές θερμοκρασιών ακολουθούν ομοιόμορφη πορεία η οποία και τείνει προς την κανονική κατανομή με μικρές αποκλίσεις προς χαμηλότερες θερμοκρασίες (Σταθμός Πεντέλης και Ραφήνας τους καλοκαιρινούς μήνες). Τέλος σύμφωνα με το Γράφημα 9 οι μέσες μηνιαίες τιμές θερμοκρασίας του συνόλου των μετεωρολογικών σταθμών ακολουθούν σχεδόν κανονική κατανομή με μέγιστη τιμή τον Αύγουστο (27,49°C), ελάχιστη τον Ιανουάριο (9,56°C) και μέση τιμή 18,36°C.

Πίνακας 12: Μέσες μηνιαίες τιμές θερμοκρασίας μετεωρολογικών σταθμών

ΜΕΣΕΣ ΜΗΝΙΑΙΕΣ ΤΙΜΕΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΩΝ ΣΤΑΘΜΩΝ													
ΣΤΑΘΜΟΙ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΪ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠΤ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ
ΜΑΡΚΟΠΟΥΛΟ	10,28	11,80	13,06	16,58	21,06	24,98	27,44	27,68	24,06	18,74	15,42	11,16	18,52
ΚΟΡΩΠΙ	9,9	11,42	12,72	16,24	20,72	24,86	27,64	28,02	23,74	18,3	14,8	10,48	18,24
ΑΕΡΟΔΡΟΜΙΟ	10,08	11,58	12,88	16,38	20,78	24,86	27,66	27,9	24,06	18,74	15,24	10,76	18,41
ΚΑΝΤΖΑ	9,22	10,96	12,20	15,82	20,40	24,50	27,36	27,78	23,38	18,12	14,36	10,20	17,86
ΠΕΝΤΕΛΗ	7,45	9,20	10,35	14,43	18,40	23,08	25,80	25,83	21,85	16,38	12,83	8,78	16,20
ΠΑΛΛΗΝΗ	8,95	11,34	12,44	16,30	20,42	24,54	27,22	27,54	23,56	18,50	14,82	10,70	18,03
ΠΟΡΤΟ ΡΑΦΤΗ	10,65	12,10	13,08	16,18	20,30	24,53	27,63	27,75	24,15	19,40	15,65	11,63	18,59
ΡΑΦΗΝΑ	9,23	11,37	12,43	15,40	19,40	23,43	26,45	26,85	23,23	18,65	14,90	11,00	17,69
ΣΠΑΤΑ	10,32	11,78	13,18	15,88	21,20	25,05	27,86	28,08	24,22	18,84	15,63	10,83	18,57



Γράφημα 8: Διακύμανση μέσω μηνιαίων τιμών θερμοκρασίας ανά μετεωρολογικό σταθμό



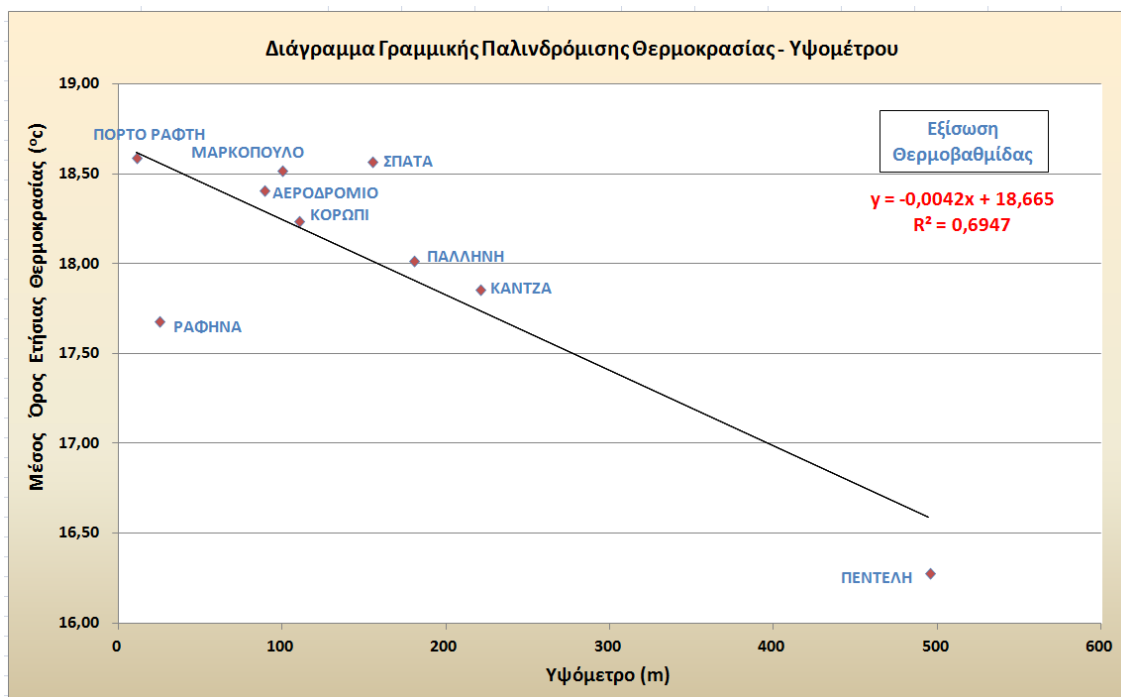
Γράφημα 9: Ιστόγραμμα Μέσης μηνιαίας κατανομής θερμοκρασίας συνόλου μετεωρολογικών σταθμών

#### 4.3.2.3 Σχέση Υψόμετρου - Θερμοκρασίας

Ο ρυθμός ελάττωσης της μέσης ετήσιας θερμοκρασίας με το υψόμετρο ονομάζεται **θερμοβαθμίδα**. Η θερμοβαθμίδα μιας περιοχής υπολογίζεται από μια εξίσωση πρώτου βαθμού της μορφής  $y=ax+b$ , όπου  $y$  η μέση ετήσια θερμοκρασία και  $x$  το απόλυτο υψόμετρο των σταθμών. Ο υπολογισμός γίνεται με την χρήση ελαχίστων τετραγώνων και ο έλεγχος της αξιοπιστίας της εξίσωσης γίνεται από τον συντελεστή προσαρμογής  $R^2$ . Στον πίνακα 6 που ακολουθεί παρουσιάζονται οι μετεωρολογικοί σταθμοί της περιοχής έρευνας με τα αντίστοιχα υψόμετρα με τις μέσες ετήσιες τιμές θερμοκρασίας.

Πίνακας 13: Μέσες ετήσιες τιμές θερμοκρασίας - υψόμετρα μετεωρολογικών σταθμών

ΣΧΕΣΗ ΥΨΟΜΕΤΡΟΥ - ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ		
ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΟΙ ΣΤΑΘΜΟΙ	ΥΨΟΜΕΤΡΟ	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ ΕΤΗΣΙΑΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ °C
ΜΑΡΚΟΠΟΥΛΟ	100	18,52
ΠΑΛΛΗΝΗ	180	18,02
ΑΕΡΟΔΡΟΜΙΟ ΣΠΑΤΑ	89	18,41
ΠΕΝΤΕΛΗ	495	16,28
ΠΟΡΤΟ ΡΑΦΤΗ	11	18,59
ΚΟΡΩΠΙ	110	18,24
ΚΑΝΤΖΑ	221	17,86
ΡΑΦΗΝΑ	25	17,68
ΣΠΑΤΑ	155	18,57



**Γράφημα 10: Γραμμική παλινδρόμηση μεταξύ θερμοκρασίας και υψόμετρου στους μετεωρολογικούς σταθμούς της ευρύτερης περιοχής μελέτης**

Η εξίσωση της θερμοβαθμίδας είναι η εξής:  $y = -0,0042x + 18,665$  (1) και έχει συντελεστή προσαρμογής  $R^2 = 0,6947$ . Από αυτήν προκύπτει πως για αύξηση του υψόμετρου κατά 100 m σημειώνεται παράλληλη μείωση της θερμοκρασίας κατά 0,42°C ενώ για μηδενικό υψόμετρο η θερμοκρασία έχει τιμή 18,665°C . Η συσχέτιση μεταξύ υψόμετρου και θερμοκρασίας χαρακτηρίζεται ως ισχυρά αρνητική με τιμή -0,83.

### 4.3.3 Σχετική Υγρασία

Ως ατμοσφαιρική υγρασία ορίζεται η ποσότητα του νερού που απορροφάται υπό την μορφή υδρατμών από τον ατμοσφαιρικό αέρα. Προέρχεται από την εξάτμιση του νερού των επιφανειακών υδάτινων σωμάτων (ποτάμια, λίμνες, θάλασσες) και του επιφανειακού νερού του εδάφους και αποτελεί την πηγή όλων των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων (Αγόρογλου Ο, 2017). Εξαρτάται από την θερμοκρασία του αέρα και του νερού

(Νικολακόπουλος, Κατσάνου, Λαμπράκης, 2015). Ως σχετική υγρασία Hr (%) ορίζεται η εκατοστιαία αναλογία της ποσότητας των υδρατμών της ατμόσφαιρας προς την ποσότητα των υδρατμών που υπάρχουν στην ατμόσφαιρα σε κατάσταση κορεσμού (Καραπάνος Ε, 2009).

Για την επεξεργασία αυτής της κλιματικής παραμέτρου χρησιμοποιήθηκαν στοιχεία από όλους τους μετεωρολογικούς σταθμούς (9) για το χρονικό διάστημα 2013 - 2017.

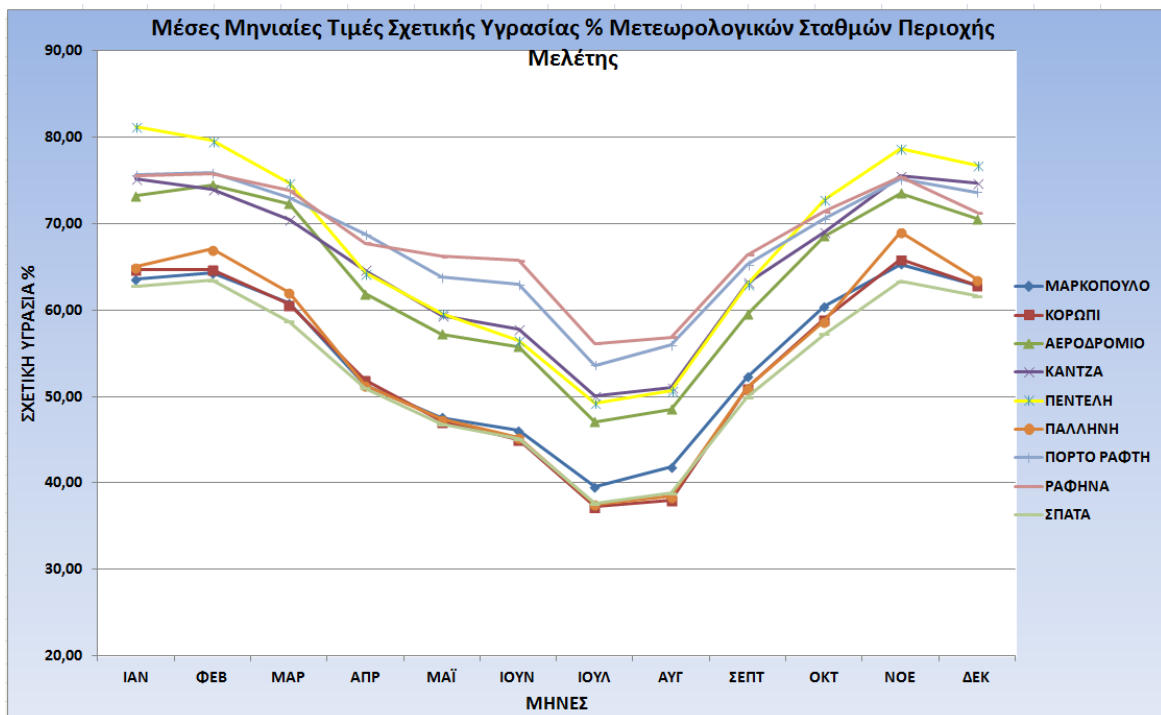
#### 4.3.3.1 Μηνιαία Πορεία Σχετικής Υγρασίας

Στον πίνακα 14 παρουσιάζονται οι μέσες μηνιαίες τιμές σχετικής υγρασίας από το σύνολο των μετεωρολογικών σταθμών. Όπως παρατηρούμε από τις τιμές του πίνακα 14 καθώς επίσης και από το Γράφημα 11, οι μέσες μηνιαίες τιμές σχετικής υγρασίας ακολουθούν μια σχετική ομοιόμορφη πορεία. Οι υψηλότερες τιμές εμφανίζονται στους Σταθμούς της Πεντέλης κατά τους χειμερινούς μήνες και της Ραφήνας κατά τους εαρινούς – θερινούς ενώ οι χαμηλότερες εμφανίζονται στους Σταθμούς Σπάτα κατά τους χειμερινούς μήνες και Κορωπί κατά τους εαρινούς - θερινούς μήνες.

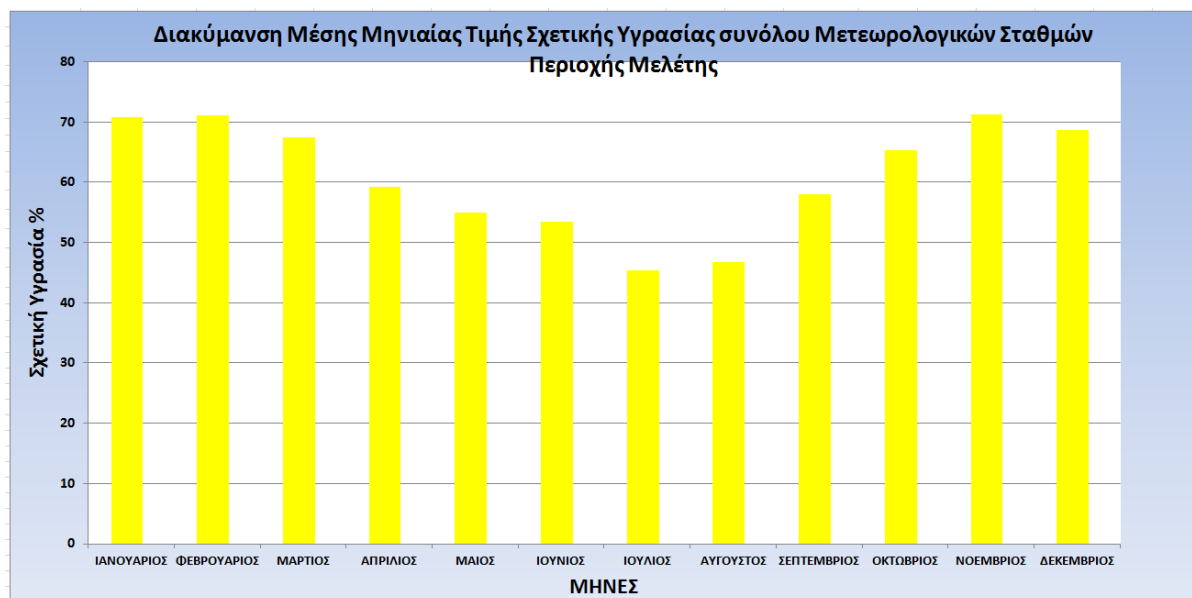
Πίνακας 14: Μέσες ετήσιες τιμές Σχετικής Υγρασίας μετεωρολογικών σταθμών

ΜΕΣΕΣ ΜΗΝΙΑΙΕΣ ΤΙΜΕΣ ΣΧΕΤΙΚΗΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΩΝ ΣΤΑΘΜΩΝ													
ΣΤΑΘΜΟΙ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΪ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠΤ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ
ΜΑΡΚΟΠΟΥΛΟ	63,62	64,32	60,78	51,32	47,60	46,14	39,54	41,82	52,30	60,48	65,34	62,88	54,68
ΚΟΡΩΠΙ	64,68	64,70	60,66	51,90	47,14	45,04	37,24	38,00	51,00	58,96	65,88	62,92	54,01
ΑΕΡΟΔΡΟΜΙΟ	73,26	74,48	72,32	61,86	57,24	55,78	47,10	48,56	59,54	68,60	73,54	70,60	63,57
ΚΑΝΤΖΑ	75,20	73,98	70,48	64,63	59,38	57,78	50,08	51,00	63,18	69,03	75,50	74,70	65,41
ΠΕΝΤΕΛΗ	81,20	79,60	74,75	64,28	59,63	56,53	49,25	50,68	63,03	72,80	78,68	76,75	67,26
ΠΑΛΛΗΝΗ	65,00	67,08	62,02	51,30	47,38	45,28	37,56	38,44	51,02	58,74	69,02	63,58	54,70
ΠΟΡΤΟ ΡΑΦΤΗ	75,63	75,88	73,08	68,78	63,83	62,98	53,60	56,00	65,28	70,58	75,20	73,65	67,87
ΡΑΦΗΝΑ	75,60	75,77	73,83	67,73	66,27	65,77	56,13	56,87	66,40	71,43	75,40	71,30	68,54
ΣΠΑΤΑ	62,78	63,44	58,68	50,96	46,80	45,13	37,60	38,84	49,90	57,22	63,34	61,65	53,03

Σύμφωνα με το Γράφημα 12 οι μέσες μηνιαίες τιμές σχετικής υγρασίας του συνόλου των μετεωρολογικών σταθμών ακολουθούν σχεδόν κανονική κατανομή με μέγιστη τιμή τον Νοέμβριο (71,32 %), ελάχιστη τον Ιούλιο (45,34 %) και μέση τιμή 61,01 %. Οι χαμηλές τιμές σχετικής υγρασίας για τους μήνες Ιούλιο-Αύγουστο, δικαιολογούνται από τον κλιματικό τύπο της περιοχής που χαρακτηρίζεται από ξηρά και θερμά καλοκαίρια ενώ οι μέγιστες τιμές κατά τους μήνες Νοέμβριο, Δεκέμβριο, Ιανουάριο και Φεβρουάριο δικαιολογούνται από τον κλιματικό τύπο της περιοχής που χαρακτηρίζεται από υγρούς χειμώνες.



Γράφημα 11: Διακύμανση μέσων μηνιαίων τιμών Σχετικής Υγρασίας ανά μετεωρολογικό σταθμό



Γράφημα 12: Ιστόγραμμα μέσων μηνιαίων τιμών σχετικής Υγρασίας συνόλου μετεωρολογικών σταθμών

#### 4.3.4 Βροχόπτωση

Ως υετός ορίζεται οποιαδήποτε μορφή νερού υγρή ή στερεή που πέφτει στην επιφάνεια του εδάφους. Τέτοιες μορφές νερού είναι η βροχή, το χιόνι, το χαλάζι, η δρόσος και η πάχνη, οι οποίες και συνιστούν τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα.

Η μέτρηση των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων επιτυγχάνεται μετρώντας το ύψος νερού σε mm που φθάνει και παραμένει στην επιφάνεια της γης αν δεν υπάρχουν απώλειες. Τα όργανα μέτρησης που χρησιμοποιούνται είναι τα βροχόμετρα που μετρούν το συνολικό ύψος των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων και οι βροχογράφοι που καταγράφουν συνεχώς το ύψος βροχής σε συνάρτηση με τον χρόνο. Οι μετρήσεις ξεκινούν με την αρχή της υγρής περιόδου (Οκτώβριος) και ολοκληρώνονται με την λήξη της ξηρής περιόδου (Σεπτέμβριος) του επόμενου έτους. Διαρκούν δηλαδή ένα υδρολογικό έτος.

Γενικότερα η ετήσια πορεία της βροχόπτωσης διαφοροποιείται ως προς τις μέγιστες και ελάχιστες τιμές ανάλογα με την γειτνίαση με τη θάλασσα, το υψόμετρο και το γεωγραφικό πλάτος. Επίσης, η γεωγραφική κατανομή του ετήσιου ύψους βροχής όσο και του ύψους βροχής της υγρής περιόδου διαμορφώνεται από το ανάγλυφο της περιοχής (Αγόρογλου Ο, 2017).

Για την επεξεργασία της παραμέτρου της βροχόπτωσης χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από τους 8 μετεωρολογικούς σταθμούς Σπάτα, Παλλήνη, Μαρκόπουλο, Πεντέλη, Κάντζα, Πόρτο Ράφτη, Διεθνές Αεροδρόμιο Αθηνών και Κορωπί για την χρονική περίοδο 2013-2017. Δεν χρησιμοποιήθηκε ο μετεωρολογικός σταθμός της Ραφήνας, καθώς δεν υπάρχουν πλήρη δεδομένα για το έτος 2015.

#### 4.3.4.1 Ετήσια Πορεία Βροχόπτωσης

Στον ακόλουθο πίνακα (Πίνακας 15) παρουσιάζονται οι ετήσιες τιμές βροχόπτωσης των μετεωρολογικών σταθμών που χρησιμοποιήθηκαν. Με βάση το παρακάτω Γράφημα διακύμανσης ετήσιων τιμών βροχόπτωσης (Γράφημα 13) διαπιστώνεται πως οι ετήσιες τιμές υετού παρουσιάζουν μια σχετικά ομοιογενή ετήσια πορεία με κάποιες εξαιρέσεις όπως αυτές περιγράφονται παρακάτω.

- ✓ Στον μετεωρολογικό σταθμό της Παλλήνης παρατηρούμε μια ιδιαίτερα αυξημένη τιμή το έτος 2013 σε αντίθεση με τους υπόλοιπους μετεωρολογικούς σταθμούς. Αυτό το αποτέλεσμα προκύπτει καθώς τον Ιανουάριο 2013 μετρήθηκαν 394,6 mm υετού στον εν λόγω σταθμό γεγονός που αποδίδεται ως ένα ιδιαίτερα τοπικό, έντονο και σπάνιο φαινόμενο. Για τα υπόλοιπα έτη ο εν λόγω σταθμός εμφανίζει τις χαμηλότερες τιμές υετού σε σχέση με τους υπόλοιπους σταθμούς.
- ✓ Οι μετεωρολογικοί σταθμοί του Αεροδρομίου Αθηνών και ιδιαίτερα της Κάντζας εμφανίζουν μια αντίστροφη πορεία για το έτος 2016, καθώς ενώ στους περισσότερους μετεωρολογικούς σταθμούς παρατηρείται μια μείωση υετού σε σχέση με το 2015, στους εν λόγω σταθμούς παρατηρείται αύξηση.

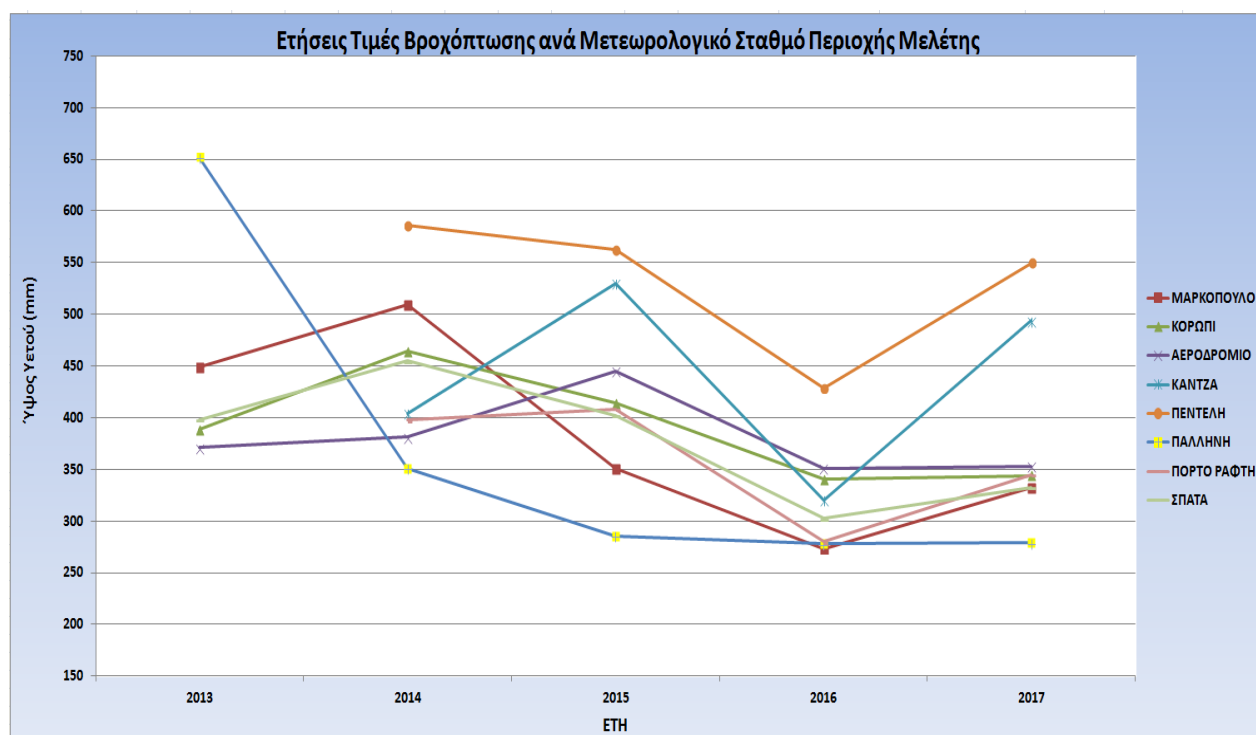
- ✓ Οι μετεωρολογικοί σταθμοί Παλλήνη, Κορωπί και Διεθνές Αεροδρόμιο Αθηνών μεταξύ σταθερές τιμές μεταξύ των ετών 2016 και 2017 ενώ στους υπόλοιπους σταθμούς παρατηρείται αύξηση.

Το πιο υγρό έτος είναι το 2013 με μέσο όρο ύψους υετού τα 446,8 mm ενώ το πιο ξηρό είναι το 2016 με 350,1 mm υετού. Ο σταθμός της Πεντέλης εμφανίζει υψηλότερες τιμές υετού σε όλο το ενιαίο χρονικό διάστημα παρατήρησης, ενώ ο μετεωρολογικός σταθμός της Παλλήνης εμφανίζει αντίστοιχα τις χαμηλότερες ετήσιες τιμές για το ίδιο χρονικό διάστημα (2014-2017).

Η μέση ετήσια τιμή του ύψους υετού των μετεωρολογικών σταθμών είναι 406 mm.

Πίνακας 15: Μέσες ετήσιες τιμές Βροχόπτωσης μετεωρολογικών σταθμών

ΜΕΣΕΣ ΕΤΗΣΙΕΣ ΤΙΜΕΣ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΩΝ ΣΤΑΘΜΩΝ	2013	2014	2015	2016	2017
ΜΑΡΚΟΠΟΥΛΟ	448,8	509,9	351	273,4	332,1
ΚΟΡΩΠΙ	388,3	464,5	414	340,2	344,2
ΑΕΡΟΔΡΟΜΙΟ	370,9	381,2	444,8	350,7	353,0
ΚΑΝΤΖΑ		404	529,6	320	493,6
ΠΕΝΤΕΛΗ		586,4	562,6	428,6	549,8
ΠΑΛΛΗΝΗ	652,1	351,2	285,6	278,1	278,9
ΠΟΡΤΟ ΡΑΦΤΗ		397,6	408,6	280	344,6
ΣΠΑΤΑ	398,4	454,8	402,4	302,5	332,6



Γράφημα 13: Διακύμανση ετήσιων τιμών ύψους υετού μετεωρολογικών σταθμών

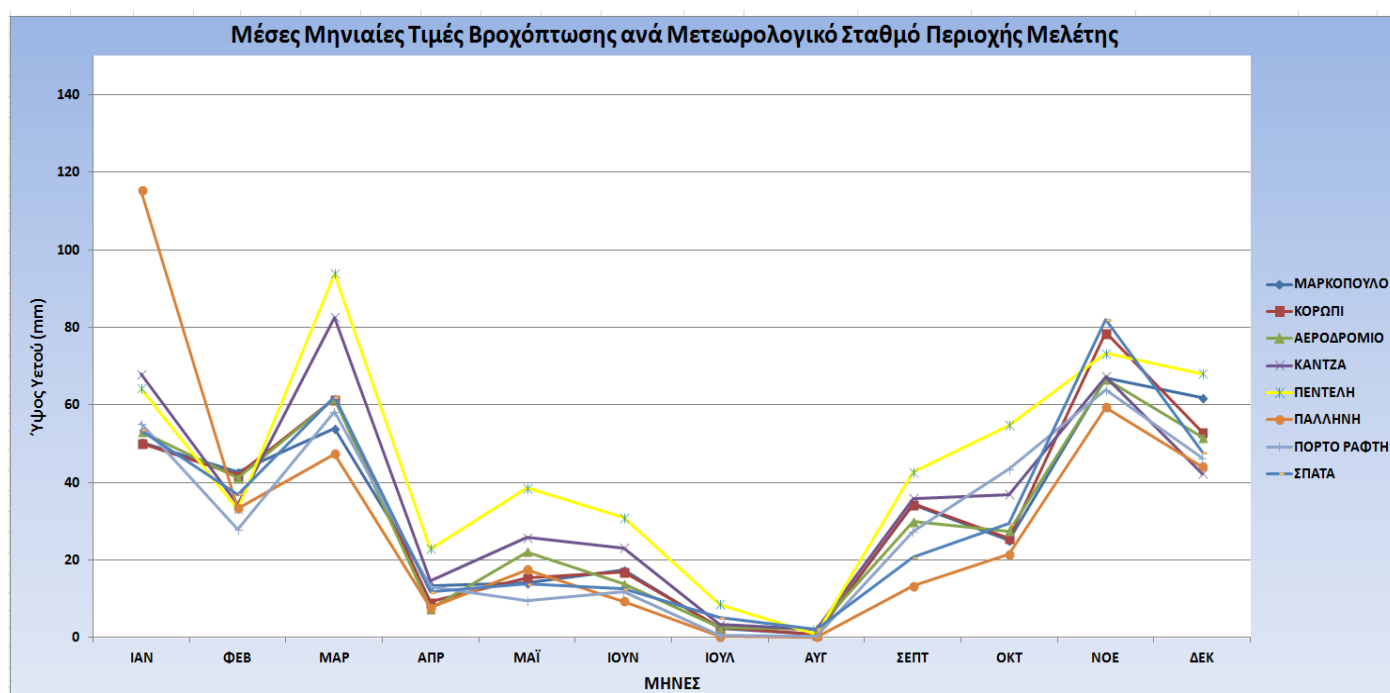
#### 4.3.4.2 Μηνιαία Πορεία Βροχόπτωσης

Στον πίνακα 16 παρουσιάζονται οι μέσες μηνιαίες τιμές ύψους υετού από τους μετεωρολογικούς σταθμούς μελέτης. Όπως παρατηρούμε από τις τιμές του πίνακα 16 καθώς επίσης και από το Γράφημα 14, επικρατεί μια σχετικά ομοιόμορφη μηνιαία πορεία

του υετού για όλους τους σταθμούς. Ο μετεωρολογικός σταθμός της Πεντέλης εμφανίζει υψηλότερες τιμές υετού σε σχέση με τους υπόλοιπους σταθμούς για τους περισσότερους μήνες με εξαίρεση τον Νοέμβριο και τον Ιανουάριο. Αντίστοιχα υψηλές τιμές εμφανίζονται στον μετεωρολογικό σταθμό Κάντζας. Τα χαμηλότερα ύψη βροχής παρατηρούνται στους περισσότερους μήνες στον σταθμό Κορωπί με εξαίρεση τον Ιανουάριο που λόγω της υψηλής τιμής βροχόπτωσης το 2013 εμφανίζει μεγάλες τιμές. Αντίστοιχα χαμηλές τιμές εμφανίζονται στον μετεωρολογικό σταθμό Πόρτο Ράφτη.

**Πίνακας 16: Μέσες μηνιαίες τιμές Βροχόπτωσης μετεωρολογικών σταθμών**

ΜΕΣΕΣ ΜΗΝΙΑΙΕΣ ΤΙΜΕΣ ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΗΣ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΩΝ ΣΤΑΘΜΩΝ												
ΣΤΑΘΜΟΙ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΪ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠΤ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ
ΜΑΡΚΟΠΟΥΛΟ	50,28	42,74	53,98	13,26	14,24	17,38	2,3	0,74	34,28	25,16	66,86	61,82
ΚΟΡΩΠΙ	50,16	41,86	61,56	9,18	15,42	17,02	2,58	0,76	34,44	25,6	78,7	52,96
ΑΕΡΟΔΡΟΜΙΟ	53,16	41,18	61,54	7,52	22,12	13,9	2,7	2,22	29,9	27,5	66,8	51,58
ΚΑΝΤΖΑ	68	34,4	82,65	14,65	25,9	23,15	3,35	2,15	35,95	36,95	67,35	42,3
ΠΕΝΤΕΛΗ	64,25	33,1	93,85	22,9	38,55	30,9	8,6	0,9	42,65	54,8	73,3	68,05
ΠΑΛΛΗΝΗ	115,28	33,36	47,36	7,7	17,54	9,32	0,3	0,14	13,3	21,44	59,36	44,08
ΠΟΡΤΟ ΡΑΦΤΗ	55,25	27,8	58,4	13	9,55	11,8	0,5	0,2	27,5	43,4	63,9	46,4
ΣΠΑΤΑ	53,56	36,94	62,16	11,86	13,74	12,62	5,2	2,22	20,64	29,4	82	47,8



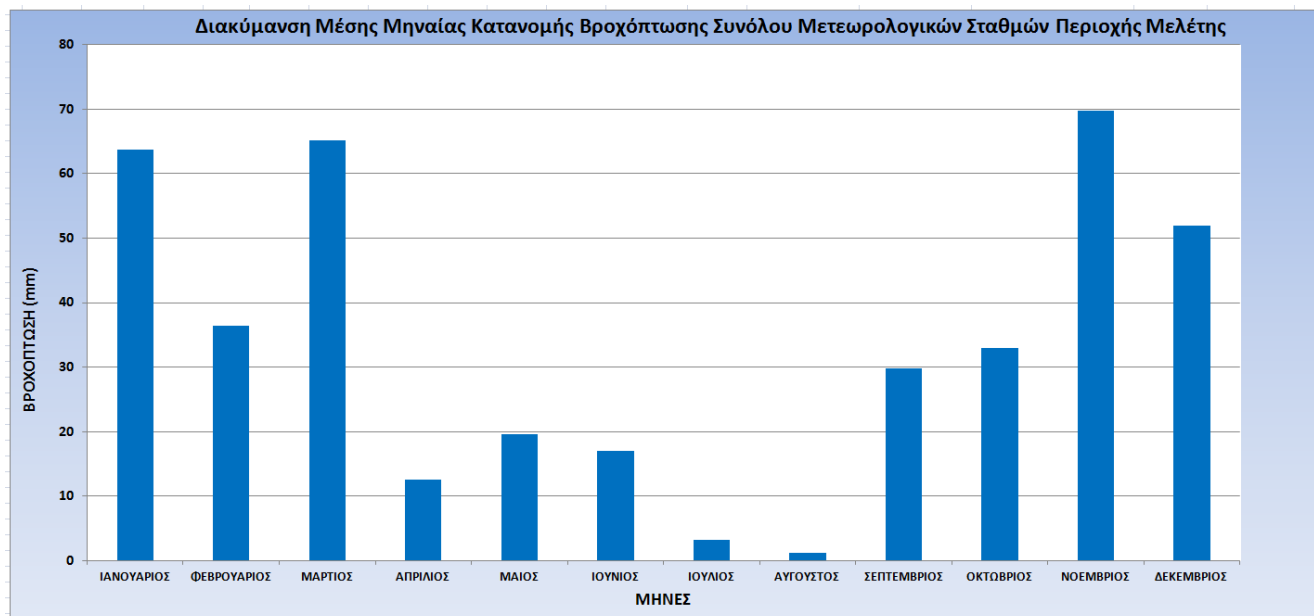
**Γράφημα 14: Διακύμανση μέσω μηνιαίων τιμών βροχόπτωσης ανά μετεωρολογικό σταθμό**

Σύμφωνα με το Γράφημα 15, ο μήνας με την υψηλότερη τιμή μέσης μηνιαίας βροχόπτωσης είναι ο Νοέμβριος με τιμή 69,78 mm. Αντίστοιχα χαμηλότερη τιμή εμφανίζει ο μήνας Αύγουστος με μέση τιμή μέσης βροχόπτωσης 1,17 mm. Αντίστοιχα υψηλές τιμές καταγράφονται τους μήνες Ιανουάριο και Μάρτιο με αντίστοιχες τιμές 63,74 mm και 65,19 mm. Πολύ χαμηλές τιμές παρατηρούνται επίσης τον μήνα Ιούλιο με τιμή υετού 3,19 mm.

Οι μηνιαίες τιμές του συνόλου των μετεωρολογικών σταθμών δείχνουν μια τάση μείωσης από τον Μάιο μέχρι και τον Αύγουστο, ενώ αντίθετα εμφανίζουν τάση αύξησης από τον



Σεπτέμβριο μέχρι και τον Νοέμβριο. Από τον Δεκέμβρη μέχρι και τον Μάρτιο οι τιμές αυξομειώνονται με χαμηλότερη τιμή τον Φεβρουάριο (36,42 mm) και μέγιστη τον Μάρτιο (65,19 mm). Τον Απρίλιο η τιμή εμφανίζεται ιδιαίτερα χαμηλή (12,51 mm) ενώ τον Μάιο η τιμή του ύψους του υετού εμφανίζεται ελαφρώς αυξημένη (19,63 mm).



**Γράφημα 15: Ιστογράμμα μέσω μηνιαίων τιμών βροχόπτωσης συνόλου μετεωρολογικών σταθμών**

Στο παρακάτω Γράφημα παρουσιάζεται η ποσοστιαία συμμετοχή, του μηνιαίου ύψους υετού επί του ετήσιου ύψους υετού για το σύνολο των μετεωρολογικών σταθμών παρατήρησης. Τα υψηλότερα ποσοστά συμμετοχής στον ετήσιο υετό καταγράφονται κατά τους μήνες Νοέμβριο (17,30%), Ιανουάριο (15,80%) και Φεβρουάριο (16,16%), ενώ τα χαμηλότερα ποσοστά καταγράφονται του Μήνες Αύγουστος (0,29%) και Ιούλιος (0,79%).

Τους μήνες Φεβρουάριο, Οκτώβριο και Σεπτέμβριο οι % τιμές της βροχόπτωσης χαρακτηρίζονται ως μέτριες με αντίστοιχα ποσοστά 9,03%, 8,19% και 7,40%.

Οι μήνες Μάιος και Ιούνιος οι % τιμές της βροχόπτωσης χαρακτηρίζονται ως μικρές με αντίστοιχα ποσοστά 4,87% και 4,22%.



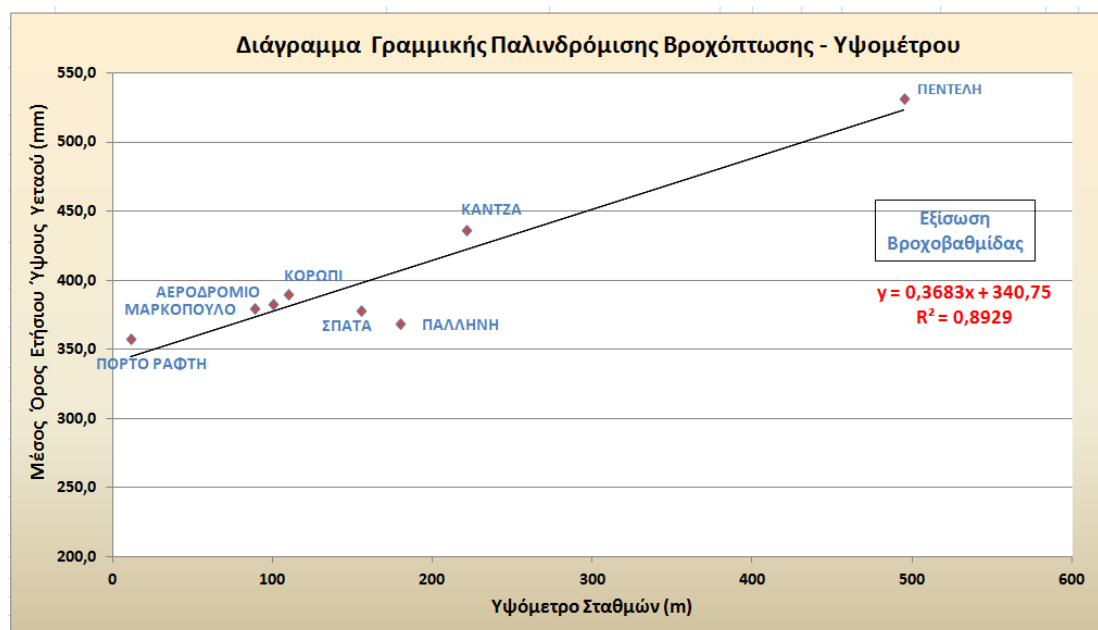
Γράφημα 16: % Ποσοστό μέσων μηνιαίων τιμών βροχόπτωσης συνόλου μετεωρολογικών σταθμών

#### 4.3.4.3 Σχέση Υψομέτρου - Θερμοκρασίας

Οι παράγοντες που επηρεάζουν το ετήσιο ύψος υετού είναι το υψόμετρο, η κυκλοφορία των αερίων μαζών, η ανύψωση και ο προσανατολισμός του σταθμού (Spreeen 1947, Καλλέργης 1970). Από τους παραπάνω παράγοντες ο πιο σημαντικός είναι το υψόμετρο, ο οποίος συνδέεται με το ετήσιο ύψος βροχής με την εξίσωση της βροχοβαθμίδας. Η εξίσωση αυτή είναι πρώτου βαθμού  $y=ax+b$ , όπου  $y$  είναι το μέσο ετήσιο ύψος υετού και  $x$  το απόλυτο υψόμετρο του σταθμού και βασίζεται στην μέθοδο ελαχίστων τετραγώνων. Παρακάτω παρουσιάζονται οι μετεωρολογικοί σταθμοί της περιοχής έρευνας με τα αντίστοιχα υψόμετρα και τις μέσες ετήσιες τιμές ύψους υετού. Επίσης στο Γράφημα 17 αποτυπώνεται το διάγραμμα της Γραμμικής παλινδρόμησης μεταξύ βροχής και υψομέτρου στους βροχομετρικούς σταθμούς της ευρύτερης περιοχής μελέτης με την αντίστοιχη εξίσωση βροχοβαθμίδας.

Πίνακας 17: Μέσες ετήσιες τιμές ύψους υετού - υψόμετρα μετεωρολογικών σταθμών

ΣΧΕΣΗ ΥΨΟΜΕΤΡΟΥ - ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ		
ΣΤΑΘΜΟΣ	ΥΨΟΜΕΤΡΟ	Μ.Ο Ετήσιου Ύψους Υετού (mm)
ΜΑΡΚΟΠΟΥΛΟ	100	383,0
ΠΑΛΛΗΝΗ	180	369,2
ΚΟΡΩΠΙ	110	390,2
ΠΕΝΤΕΛΗ	495	531,8
ΠΟΡΤΟ ΡΑΦΤΗ	11	357,7
ΑΕΡΟΔΡΟΜΙΟ ΣΠΑΤΑ	89	380,1
ΚΑΝΤΖΑ	221	436,8
ΣΠΑΤΑ	155	378,4



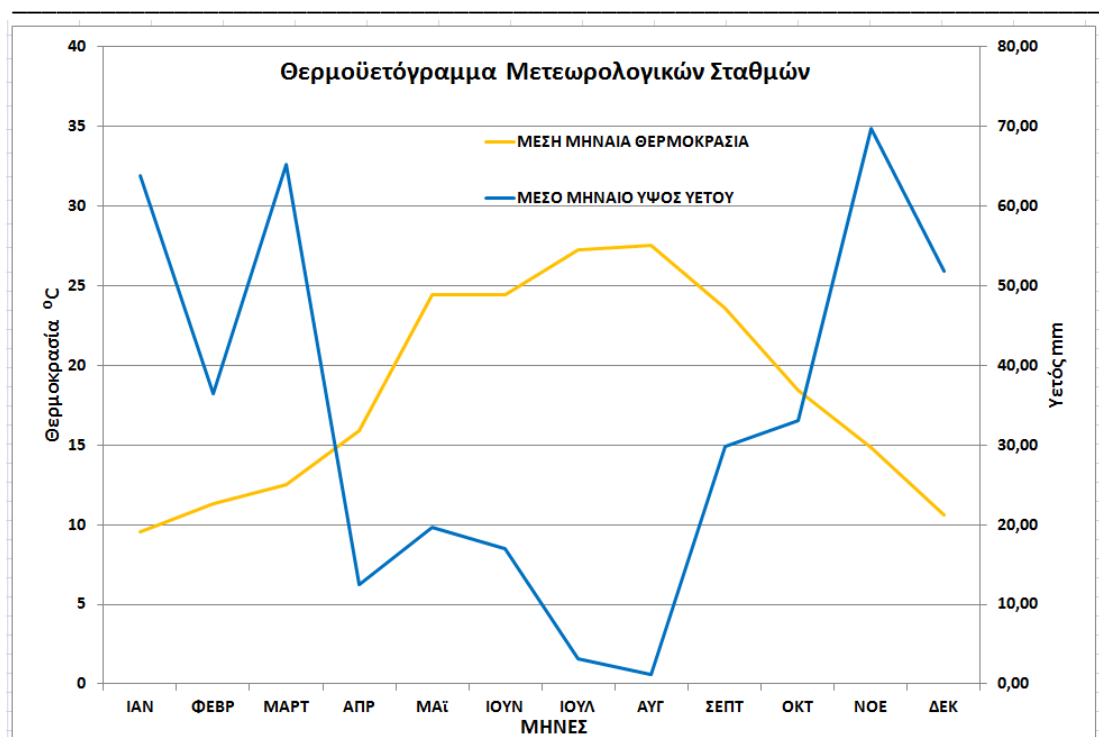
Γράφημα 17: Γραμμική παλινδρόμηση βροχόπτωσης - υψομέτρου μετεωρολογικών σταθμών

Η εξίσωση της βροχοβαθμίδας είναι:  $y = 0,3683x + 340,75$  (2) και έχει συντελεστή προσαρμογής  $R^2 = 0,8329$ . Από αυτήν προκύπτει πως για αύξηση του υψομέτρου κατά 100 m σημειώνεται παράλληλη αύξηση της βροχόπτωσης κατά 36,83 mm ενώ για μηδενικό υψόμετρο το ύψος υετού έχει τιμή 340,75 mm. Η συσχέτιση μεταξύ υψομέτρου και βροχόπτωσης χαρακτηρίζεται ως ισχυρά θετική με τιμή 0,94..

#### 4.3.5 Θερμοϋετόγραμμα

Για την κατάρτιση του θερμοϋετογράμματος, για το χρονικό διάστημα 2013-2017 χρησιμοποιήθηκαν οι μέσοι όροι μέσων μηνιαίων τιμών θερμοκρασίας και ύψους υετού, που συλλέχθηκαν από τους μετεωρολογικούς σταθμούς Σπάτα, Παλλήνη, Κάντζα, Πεντέλη, Μαρκόπουλο, Κορωπί, Πόρτο Ράφτη και Διεθνές Αεροδρόμιο Αθηνών (Γράφημα 12).

Στο παραπάνω θερμοϋετόγραμμα διακρίνεται μια ξηρή περίοδος, που ξεκινάει από τις αρχές του μήνα Απριλίου και ολοκληρώνεται μέσα Οκτωβρίου. Σε αυτό το διάστημα, οι μέσες μηνιαίες τιμές του ύψους υετού είναι μικρότερες από τις μέσες μηνιαίες τιμές της θερμοκρασίας, και δεν ξεπερνούν τα 40 mm. Η υγρή περίοδος διαρκεί από τέλος Οκτωβρίου ως τα τέλη Μαρτίου, με ύψη υετού που κυμαίνονται από 38 ως 70 mm. Το κύριο χαρακτηριστικό του μεσογειακού τύπου κλίματος που διακρίνεται σε υγρό χειμώνα και θερινή ανομβρία, είναι εμφανές στο παραπάνω Γράφημα.



Γράφημα 18: Θερμοϋετόγραμμα μετεωρολογικών σταθμών

#### 4.3.6 Ένταση Ανέμου

Άνεμος ονομάζεται η όποια αισθητή «οριζόντια κίνηση» του αέρα. Αιτία του ανέμου είναι ότι ο αέρας (οι αέριες μάζες της ατμόσφαιρας), που περιβάλλει την Γη βρίσκεται σε συνεχή «οριζόντια» και «κατακόρυφη» κίνηση. Πρωταρχική γενεσιουργός αιτία του ανέμου είναι η διαφορά της θερμοκρασίας του αέρος που με τη σειρά της δημιουργεί υπό ορισμένες προϋποθέσεις, διαφορές βαρομετρικής πίεσης μεταξύ παρακείμενων τόπων.

Η ένταση του ανέμου εκφράζεται είτε με την πίεση την οποία ασκεί στην επιφάνεια των διαφόρων σωμάτων, είτε με την ταχύτητα με την οποία αυτός κινείται. Στην Μετεωρολογία η ένταση του ανέμου εκφράζεται συνήθως με την ταχύτητά του, οπότε δίδεται σε μέτρα ανά δευτερόλεπτο ή σε χιλιόμετρα ή μίλια ανά ώρα ή σε κόμβους.

Για την επεξεργασία της παραμέτρου της έντασης ανέμου χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από τους 9 μετεωρολογικούς σταθμούς Σπάτα, Παλλήνη, Μαρκόπουλο, Πεντέλη, Κάντζα, Πόρτο Ράφτη, Διεθνές Αεροδρόμιο Αθηνών, Κορωπί και Ραφήνα για την χρονική περίοδο 2013-2017.

##### 4.3.6.1 Ετήσια Πορεία Έντασης Ανέμου

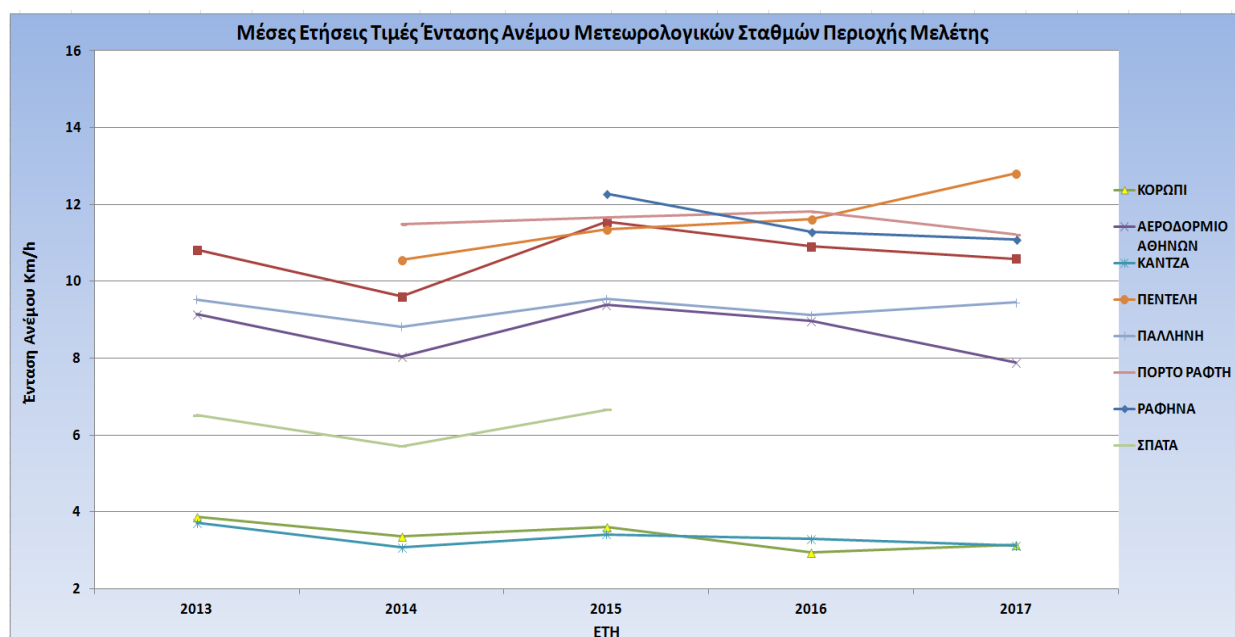
Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 18) παρουσιάζονται οι μέσες ετήσιες τιμές έντασης ανέμου (km/h) για το σύνολο των μετεωρολογικών σταθμών παρατήρησης. Στις περιπτώσεις κατά τις οποίες έλειπαν ορισμένες μηνιαίες τιμές οι αντίστοιχες μέσες ετήσιες τιμές δεν υπολογίστηκαν ούτως ώστε να υπάρχει συνέπεια και αξιοπιστία στην σύγκριση των δεδομένων μεταξύ τους.

Με βάση το παρακάτω Γράφημα διακύμανσης ετήσιων τιμών έντασης ανέμου (Γράφημα 19) διαπιστώνεται πως οι μέσες ετήσιες τιμές παρουσιάζουν σχετικές αυξομειώσεις. Το έτος 2014 παρουσιάζει μια πτωτική τάση σε όλους τους σταθμούς σε σχέση με το 2013 ενώ το 2015 παρατηρείται μια αυξητική τάση σε όλους τους σταθμούς. Το 2016 παρατηρείται μια μικρή πτώση τιμών ενώ το 2017 παρατηρείται μια ανομοιογένεια ως προς τις τιμές. Οι σταθμοί Κορωπί και Κάντζα παρουσιάζουν τις χαμηλότερες τιμές έντασης ανέμου καθ' όλη την διάρκεια των ετών παρατήρησης ενώ οι σταθμοί Πεντέλη, Ραφήνα και Πόρτο Ράφτη εμφανίζουν τις μεγαλύτερες τιμές. Την μεγαλύτερη μέση ετήσια τιμή εμφανίζει ο σταθμός Πεντέλης το 2017 με τιμή 12,81 km/h ενώ την μικρότερη εμφανίζει ο σταθμός Κάντζας το 2014 με τιμή 3,07 km/h. Παρατηρούμε ότι οι αποκλίσεις των σταθμών είναι μεγάλες και οι σταθμοί ανάλογα με τις τιμές τους χωρίζονται σε 4 κατηγορίες:

- ✓ Ασθενείς Άνεμοι: Κορωπί, Κάντζα
- ✓ Μέτριοι Ασθενείς Άνεμοι: Σπάτα
- ✓ Μέτριας Έντασης Άνεμοι: Αεροδρόμιο Αθηνών, Παλλήνη
- ✓ Σχετικά Υψηλής Έντασης Άνεμοι: Πεντέλη, Ραφήνα, Κάντζα, Μαρκόπουλο

**Πίνακας 18: Μέσες ετήσιες τιμές έντασης ανέμου μετεωρολογικών σταθμών**

ΜΕΣΕΣ ΕΤΗΣΕΙΣ ΤΙΜΕΣ ΕΝΤΑΣΗΣ ΑΝΕΜΟΥ					
ΣΤΑΘΜΟΙ	2013	2014	2015	2016	2017
ΜΑΡΚΟΠΟΥΛΟ	10,83	9,60	11,55	10,92	10,59
ΚΟΡΩΠΙ	3,87	3,36	3,60	2,94	3,15
ΑΕΡΟΔΡΟΜΙΟ	9,15	8,04	9,39	8,96	7,89
ΚΑΝΤΖΑ	3,71	3,07	3,41	3,29	3,12
ΠΕΝΤΕΛΗ		10,55	11,36	11,63	12,81
ΠΑΛΛΗΝΗ	9,52	8,82	9,54	9,12	9,45
ΠΟΡΤΟ ΡΑΦΤΗ		11,48	11,67	11,81	11,22
ΡΑΦΗΝΑ			12,28	11,28	11,08
ΣΠΑΤΑ	6,51	5,70	6,66		



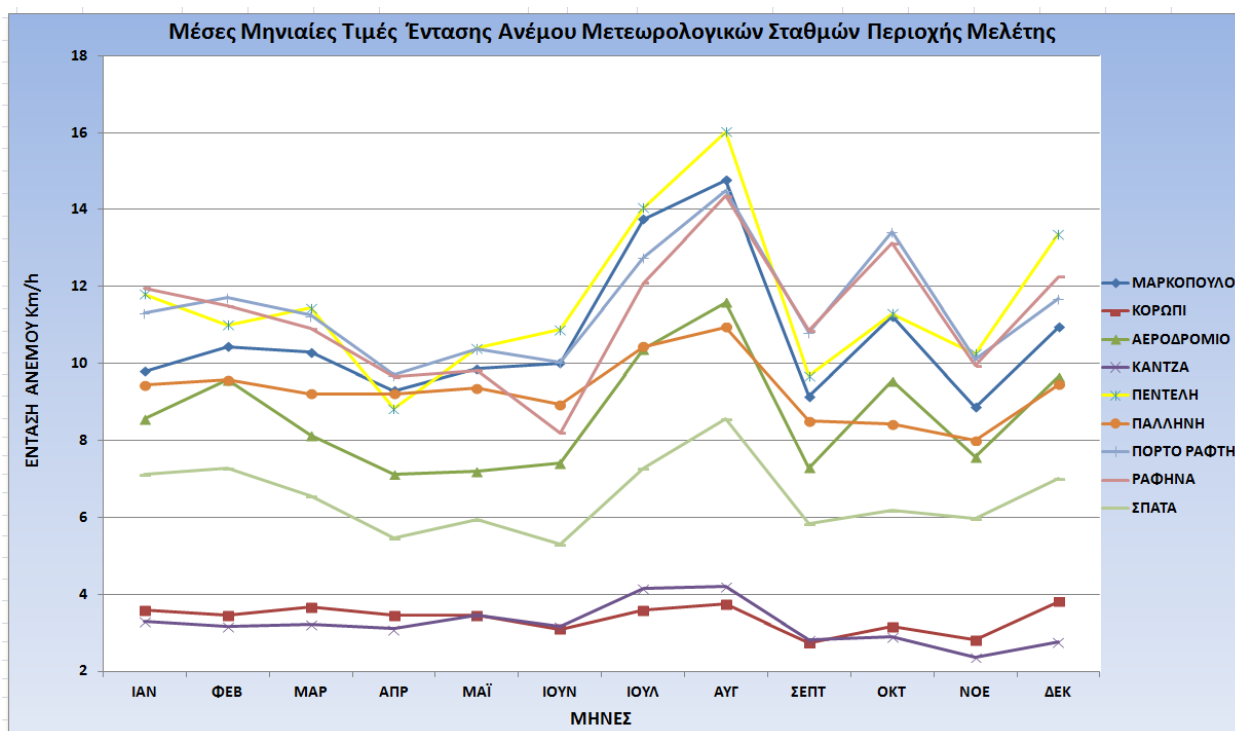
**Γράφημα 19: Διακύμανση μέσω ετήσιων τιμών έντασης ανέμου**

#### 4.3.6.2 Μηνιαία Πορεία Έντασης Ανέμου

Στον πίνακα 19 παρουσιάζονται οι μέσες μηνιαίες τιμές έντασης ανέμου από τους μετεωρολογικούς σταθμούς της ευρύτερης περιοχής μελέτης. Όπως παρατηρούμε από τις τιμές του πίνακα 19 καθώς επίσης και από το Γράφημα 20 ο μετεωρολογικός σταθμός της Πεντέλης εμφανίζει υψηλότερες τιμές έντασης ανέμου σε σχέση με τους υπόλοιπους σταθμούς για τους περισσότερους μήνες (Δεκέμβριος, Μάρτιος, Μάιος μέχρι Αύγουστος). Αντίστοιχα υψηλές τιμές εμφανίζονται στον μετεωρολογικό σταθμό Πόρτο Ράφτη. Οι χαμηλότερες τιμές έντασης ανέμου παρατηρούνται στους σταθμούς Κορωπί και Κάντζα. Οι σταθμοί γενικότερα εμφανίζουν ομοιόμορφη τάση ως προς την αυξομείωση τιμών έντασης ανέμου καθ' όλη την διάρκεια του έτους.

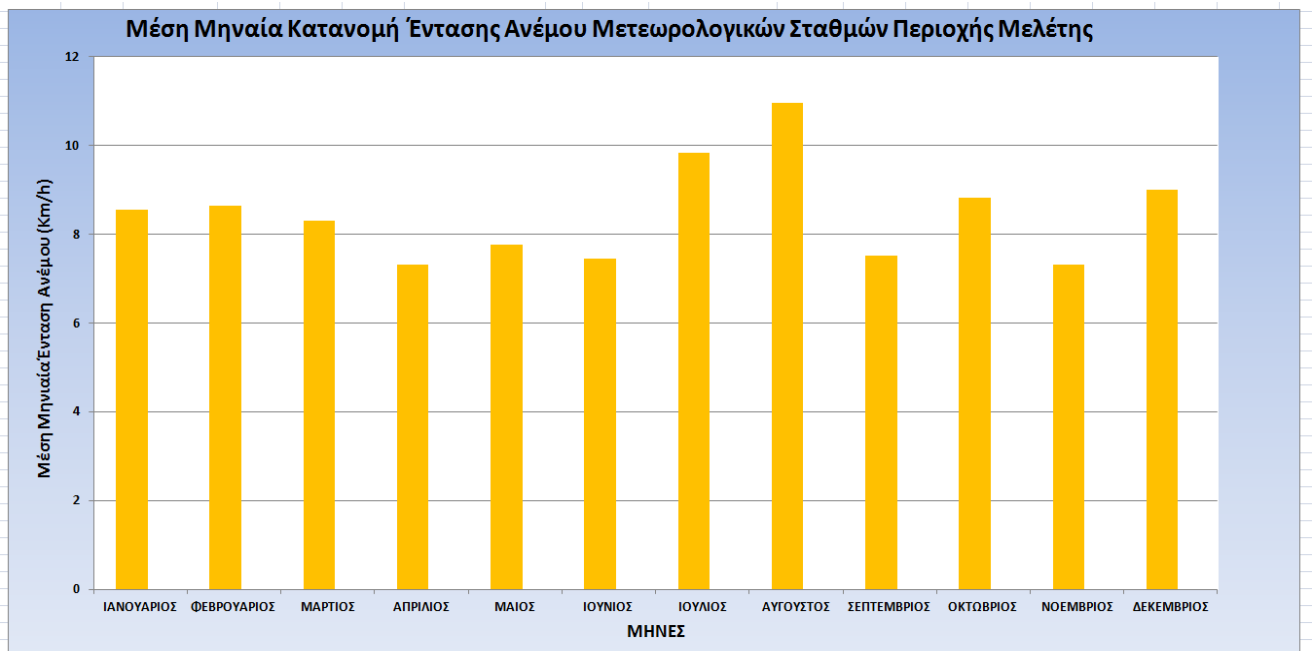
Πίνακας 19: Μέσες μηνιαίες τιμές έντασης ανέμου μετεωρολογικών σταθμών

ΜΕΣΕΣ ΜΗΝΙΑΙΕΣ ΤΙΜΕΣ ΕΝΤΑΣΗΣ ΑΝΕΜΟΥ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΩΝ ΣΤΑΘΜΩΝ												
ΣΤΑΘΜΟΙ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΪ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠΤ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ
ΜΑΡΚΟΠΟΥΛΟ	9,79	10,44	10,30	9,29	9,86	10,01	13,75	14,76	9,14	11,23	8,86	10,94
ΚΟΡΩΠΙ	3,60	3,46	3,67	3,46	3,46	3,10	3,60	3,74	2,74	3,17	2,81	3,82
ΑΕΡΟΔΡΟΜΙΟ	8,57	9,58	8,14	7,13	7,20	7,42	10,37	11,59	7,29	9,54	7,56	9,65
ΚΑΝΤΖΑ	3,30	3,18	3,23	3,10	3,45	3,18	4,15	4,20	2,83	2,90	2,38	2,78
ΠΕΝΤΕΛΗ	11,8	11	11,45	8,825	10,4	10,875	14,05	16,025	9,675	11,3	10,25	13,375
ΠΑΛΛΗΝΗ	9,432	9,576	9,216	9,216	9,36	8,928	10,44	10,944	8,496	8,424	7,992	9,45
ΠΟΡΤΟ ΡΑΦΤΗ	11,325	11,725	11,25	9,7	10,375	10,025	12,75	14,5	10,8	13,425	10,125	11,7
ΡΑΦΗΝΑ	11,97	11,50	10,90	9,65	9,83	8,20	12,10	14,35	10,85	13,13	9,95	12,25
ΣΠΑΤΑ	7,13	7,27	6,55	5,47	5,94	5,31	7,27	8,57	5,83	6,19	5,98	7,02



Γράφημα 20: Διακύμανση μέσων μηνιαίων τιμών έντασης ανέμου ανά μετεωρολογικό σταθμό

Σύμφωνα με το Γράφημα 21 οι μέσες μηνιαίες τιμές έντασης ανέμου του συνόλου των μετεωρολογικών σταθμών ακολουθούν μια σχετικά ενιαία τάση με μέγιστη τιμή τον Αύγουστο (10,96 km/h), ελάχιστη τον Νοέμβρη (7,32 Km/h) και μέση τιμή 8,45 km/h.



**Γράφημα 21: Ιστόγραμμα μέσων μηνιαίων τιμών έντασης ανέμου συνόλου μετεωρολογικών σταθμών**

## Κεφάλαιο 5<sup>ο</sup>

# Υδροχημεία



## 5. Υδροχημεία

Η υδροχημική έρευνα στοχεύει στην καλύτερη κατανόηση του υδρογεωλογικού καθεστώτος της περιοχής αλλά και στην ανάδειξη της ποιοτικής κατάστασης των υπόγειων και επιφανειακών υδάτων, με σκοπό τον εντοπισμό πιθανής υποβάθμισης αυτών. Η υποβάθμιση αυτή μπορεί να οφείλεται είτε σε φυσικά αίτια όπως η χημική σύσταση των γεωλογικών σχηματισμών της περιοχής και ο χρόνος παραμονής του νερού στον υδροφόρο, είτε σε ανθρωπογενή αίτια (Αγόρογλου Ο, 2017). Τέλος, η ανάλυση των ποιοτικών χαρακτηριστικών των υδάτων μπορεί να συμβάλλει καθοριστικά στην ορθολογική διαχείριση των υδατικών πόρων.

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται οι έννοιες των φυσικών παραμέτρων των υπογείων υδάτων που αναλύθηκαν, η διαδικασία συλλογής των πρωτογενών δεδομένων των αναλύσεων (δειγματοληψίες, αναλύσεις, συλλογή λοιπών πρωτογενών δεδομένων), η στατιστική επεξεργασία των υδροχημικών αναλύσεων καθώς επίσης και η παρουσίαση των αντίστοιχων υδροχημικών χαρτών.

Τέλος για τα νιτρικά ιόντα των οποίων οι μετρήσεις αποτελούν την βασική παράμετρο ελέγχου αξιοπιστίας της μεθόδου DRASTIC της παρούσας εργασίας, έγινε μια πιο λεπτομερής στατιστική ανάλυση και έλεγχος κανονικοποίησης τιμών.

### 5.1 Φυσικά χαρακτηριστικά υπογείων υδάτων

Τα φυσικά νερά περιέχουν διάφορα διαλυμένα ή αιωρούμενα σωματίδια, τα οποία προέρχονται είτε από το γήινο υπόβαθρο, είτε από την ατμόσφαιρα, είτε από γεωργικές και βιομηχανικές δραστηριότητες είτε τέλος από τους ζωικούς και φυτικούς οργανισμούς του νερού (Αγόρογλου Ο, 2017). Το είδος αυτών και η περιεκτικότητά τους καθορίζουν την ποιότητα των υδάτων. Παρακάτω περιγράφονται τα βασικά χαρακτηριστικά των παραμέτρων που αναλύθηκαν στην παρούσα εργασία.

#### Θερμοκρασία T

Η θερμοκρασία των υπόγειων νερών διαμορφώνεται από την θερμοκρασία των περιβαλλόντων πετρωμάτων αλλά και από την πιεζομετρική επιφάνεια του υδροφόρου ορίζοντα. Τα υπόγεια νερά, ειδικά αυτά που βρίσκονται σε μεγάλο βάθος, δεν επηρεάζονται από τις διακυμάνσεις της θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας. όπως τα επιφανειακά (Βουδούρης Κ, 2006). Η θερμοκρασία των υπόγειων νερών κυμαίνεται μεταξύ 10 και 20°C. (Σούλιος Γ, 2006) Για το πόσιμο νερό η θερμοκρασία πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ 5 και 12°C (ΦΕΚ 53/20.02.1986, τεύχος Β').

### Οξύτητα pH

Οξύτητα ή ενεργός οξύτητα ορίζεται ο αρνητικός δεκαδικός λογάριθμος της συγκέντρωσης των κατιόντων υδρογόνου ( $H^+$ ), που προκύπτουν από την εξίσωση ιονισμού του καθαρού νερού. Η τιμή του pH κυμαίνεται από 0 ως 14. Για τιμή 7, το διάλυμα θεωρείται ουδέτερο, για τιμή μεγαλύτερη του 7 θεωρείται αλκαλικό και για τιμή μικρότερη του 7 θεωρείται όξινο. Το pH του υπόγειου νερού καθορίζεται από διάφορες χημικές αντιδράσεις μεταξύ των διαλυμένων ιόντων μέσα σε αυτό αλλά και από την χημική σύσταση των σχηματισμών μέσα στους οποίους αποθηκεύεται (Βουδούρης Κ, 2006). Στα ανθρακικά πετρώματα και τις αλλουβιακές αποθέσεις απαντώνται κυρίως όξινα νερά, ενώ στους οφιόλιθους απαντώνται αλκαλικά νερά (Σούλιος Γ, 2006).

### Ηλεκτρική Αγωγιμότητα (E.C)

Πρόκειται για την ικανότητα ενός υλικού να είναι καλός αγωγός του ηλεκτρικού ρεύματος. Η αγωγιμότητα για ένα  $cm^3$  νερού και σε θερμοκρασία  $25^{\circ}C$ , αποτελεί την ειδική ηλεκτρική αγωγιμότητα. Η παράμετρος αυτή επηρεάζεται άμεσα από την συγκέντρωση και το είδος των διαλυμένων ιόντων στο νερό και από την θερμοκρασία. Συνήθως, οι αυξημένες ποσότητες διαλυμένων αλάτων και αυξημένες τιμές θερμοκρασίας, συνεπάγονται αύξηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας. Αύξηση της θερμοκρασίας κατά  $1^{\circ}$ , μπορεί να προκαλέσει αύξηση της αγωγιμότητας κατά περίπου 2%. Στο πόσιμο νερό οι τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας δεν πρέπει να ξεπερνούν τα  $400 \mu S/cm$  (Βουδούρης Κ 2006, Κελεπερτζής Ε, 2007). Στα υπόγεια νερά η ηλεκτρική αγωγιμότητα κυμαίνεται μεταξύ 140 ως  $1100 \mu S/cm$ . Νερά με ηλεκτρικές αγωγιμότητες από 2000-3000 ως και  $10.000 \mu S/cm$  χαρακτηρίζονται ως υφάλμυρα. Νερά με αγωγιμότητες από 10.000 ως  $35.000 \mu S/cm$  χαρακτηρίζονται ως αλμυρά (ενδεικτικά το θαλασσινό νερό έχει αγωγιμότητα περίπου  $34.000 \mu S/cm$ ). Τέλος, νερά με αγωγιμότητες που υπερβαίνουν τα  $100.000 \mu S/cm$  χαρακτηρίζονται ως υπεράλμυρα νερά ή σαλαμούρες (Σούλιος Γ, 2006).

### Διαλυμένο Οξυγόνο (DO)

Η παρουσία οξυγόνου σε διαλυμένη μοριακή μορφή στο νερό υποδηλώνει την πρόσφατη έκθεση του στην επίδραση της ατμόσφαιρας. Η ποσότητα του διαλυμένου οξυγόνου στο υπόγειο νερό εξαρτάται από την θερμοκρασία, την παρουσία οργανικής ύλης, την παρουσία ή απουσία φυτών και τον βαθμό διείσδυσης του φωτός. Νερά τα οποία δεν ανανεώνονται (παλαιά νερά) εμφανίζουν χαμηλές συγκεντρώσεις D.O ενώ νερά τα οποία ανανεώνονται συνεχώς εμφανίζουν υψηλές συγκεντρώσεις D.O.

Χαμηλές τιμές D.O εμφανίζονται και σε θερμά νερά γεγονός που υποδηλώνει την ύπαρξη παθογόνων μικροοργανισμών (Βουδούρης, 2006). Γενικά, όταν η μέση συγκέντρωση του D.O κυμαίνεται μεταξύ 9 και  $10 mg/l$ , τα νερά χαρακτηρίζονται ως μη ρυπασμένα και όταν

κυμαίνεται μεταξύ 5 και 6 mg/l τα νερά μπορούν να συντηρήσουν ζωή. Τιμές D.O μικρότερες από 4 mg/l υποδηλώνουν ανοξικές συνθήκες και ρυπασμένα νερά.

## 5.2 Διαδικασία υδροχημικών αναλύσεων

Η διαδικασία συλλογής των πρωτογενών δεδομένων χωρίζεται σε 2 διακριτές φάσεις. Η 1<sup>η</sup> φάση αφορά την διαδικασία προσωπικών δειγματοληψιών - αναλύσεων (όπως περιγράφεται στην αμέσως επόμενη παράγραφο) και η 2<sup>η</sup> φάση αφορά την διαδικασία συλλογής εξωτερικών δεδομένων από διάφορες πηγές.

### Διαδικασία προσωπικών δειγματοληψιών - αναλύσεων

Στα πλαίσια της παρούσας υδροχημικής έρευνας, πραγματοποιήθηκαν 45 προσωπικές δειγματοληψίες από υπόγεια ύδατα της περιοχής μελέτης (ΥΥΣ Μεσογαίας Β) την χρονική περίοδο Νοέμβριος 2018 – Μάρτιος 2019. **Οι φυσικοχημικές παράμετροι που μετρήθηκαν επί τόπου είναι η θερμοκρασία (Τ), η ηλεκτρική αγωγιμότητα E.C, το διαλυμένο οξυγόνο D.O και το pH με την χρήση ειδικών φορητών οργάνων του οίκου WTW.**

Στην συνέχεια της έρευνας τα δείγματα νερού που συλλέχθηκαν μεταφέρθηκαν στο Εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας και Υδρογεωλογίας της σχολής Μηχανικών Μεταλλείων - Μεταλλουργών του Ε.Μ.Π. και αναλύθηκαν υδροχημικά ως προς τα βασικά ιόντα (χλωριόντα, νιτρικά).

Οι μεθοδολογίες που ακολουθήθηκαν ήταν οι εξής:

- ✓ Τα ιόντα χλωρίου, μετρήθηκαν με την μέθοδο της τιτλοδότησης σε 100 ml δείγματος χρησιμοποιώντας ως τιτλοδότη  $\text{AgNO}_3$  0,1N της HACH.
- ✓ Τα νιτρικά ιόντα, μετρήθηκαν με το Φασματοφωτόμετρο 2010 του οίκου HACH, σε δείγμα 25 ml χρησιμοποιώντας τα αντιδραστήρια NitraVer 5.

### Διαδικασία συλλογής δεδομένων από εξωτερικές πηγές

Επίσης συγκεντρώθηκαν δεδομένα φυσικοχημικών και υδροχημικών αναλύσεων τόσο από το Εθνικό Δίκτυο Παρακολούθησης της Ε.Γ.Υ με φορέα υλοποίησης το Ε.Α.Γ.Μ.Ε (πρώην Ι.Γ.Μ.Ε) για την υγρή περίοδο 2017-2018 (9 υδροσημεία) όσο και από πιστοποιημένα εργαστήρια για την υγρή περίοδο 2017-2019 (14 υδροσημεία) όπως αυτά κατατέθηκαν στην Διεύθυνση Υδάτων Α.Δ.Α στο πλαίσιο αδειοδότησης των εν λόγω υδροσημείων.

Το σύνολο των υπό εξέταση υδροληψιών αφορά 36 γεωτρήσεις και 32 πηγάδια (68 υδροσημεία) τα οποία και επιλέχθηκαν με βάση την αντιπροσωπευτικά τους ως προς το είδος υδροληψίας και την αντίστοιχη θέση μέρους του συνόλου των αδειοδοτημένων υδροληψιών.

Στον παρακάτω χάρτη (14) αποτυπώνονται χωρικά τα υδροσημεία μελέτης ανάλογα με την πηγή προέλευσης των εν λόγω δεδομένων.



Χάρτης 14: Πηγή Δεδομένων Υδροχημείων Μελέτης

### 5.3 Στατιστική επεξεργασία μετρήσεων

Για την καλύτερη κατανόηση των αποτελεσμάτων των υδροχημικών αναλύσεων πραγματοποιήθηκε στατιστική επεξεργασία αυτών, χρησιμοποιώντας τις εξής παραμέτρους: μέση τιμή, τυπική απόκλιση, Διάμεσος, μέγιστη τιμή, ελάχιστη τιμή και συντελεστής μεταβλητότητας. Τα αποτελέσματα της επεξεργασίας παρατίθενται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 20).

Πίνακας 20: Στατιστικά στοιχεία φυσικοχημικών αναλύσεων υδροχημείων έρευνας

ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ									
Παράμετροι	Μονάδες	Μετρήσεις	Ελάχιστο	Μέγιστο	Μέση Τιμή	Διάμεσος	Τυπική Απόκλιση	Συντ Μεταβλητότητας	Τιμές Άνω των ορίων
pH		68	6,40	8,58	7,12	7,13	0,34	5%	
T	(°C)	54	14,4	24,6	18,99	18,85	1,73	9%	54
EC (25° C)	(μS/cm)	68	901	5194	2074	1820	905,19	44%	68
DO	(mg/l)	41	1,8	9,59	6,70	7,3	2,24	33%	
CL	(mg/l)	67	24	1115	208,03	124	208,01	100%	18
NO <sub>3</sub>	(mg/l)	68	1,23	360	64,99	53,9	58,71	90%	38

Με βάση τα παραπάνω αποτελέσματα διαπιστώνουμε τα εξής:

- ✓ Με βάση τον συντελεστή μεταβλητότητας το pH και η θερμοκρασία παρουσιάζουν τις χαμηλότερες τιμές, η ηλεκτρική αγωγιμότητα και το διαλυμένο οξυγόνο μέτριες τιμές ενώ τις υψηλότερες τιμές παρουσιάζουν κυρίως τα χλωριόντα και τα νιτρικά

ιόντα γεγονός που συνδέεται με μεγάλες αποκλίσεις των τιμών γύρω από την μέση τιμή.

- ✓ Η θερμοκρασία των υπόγειων υδάτων κυμαίνεται μεταξύ 14,4 ° C και 24,6 ° C με μέση τιμή 18,99 ° C. Το σύνολο των δειγμάτων (100%) υπερβαίνουν ξεπερνούν το επιτρεπτό πεδίο τιμών για τα πόσιμα νερά το οποίο κυμαίνεται μεταξύ 5 ° C και 12 ° C (ΦΕΚ 53/20-2-86, τεύχος Β').
- ✓ Το pH κυμαίνεται μεταξύ 6,4 και 8,58 με μέση τιμή 7,12. Τα 47 (69,1%) δείγματα εμφάνισαν τιμές  $\geq 7$  συνεπώς τα υπόγεια νερά στις θέσεις δειγματοληψίας χαρακτηρίζονται κυρίως ως αλκαλικά.
- ✓ Η ηλεκτρική αγωγιμότητα κυμαίνεται μεταξύ 901  $\mu\text{s}/\text{cm}$  και 5194  $\mu\text{s}/\text{cm}$  με μέση τιμή 2074  $\mu\text{s}/\text{cm}$ . Το σύνολο των δειγμάτων (100%) υπερβαίνουν ξεπερνούν το επιτρεπτό πεδίο τιμών για τα πόσιμα νερά το οποίο είναι 400  $\mu\text{s}/\text{cm}$  (ΦΕΚ 53/Β'/20-2-86, τεύχος Β'). Η αναγωγή τιμών έγινε σε θερμοκρασία 25 ° C.
- ✓ Το Διαλυμένο οξυγόνο κυμαίνεται μεταξύ 1,8 mg/l και 9,59 mg/l με μέση τιμή 6,70 mg/l. Στο σύνολο των δειγμάτων που εξετάστηκαν τα 29 (70%) εμφάνισαν τιμές συγκέντρωσης D.O μεγαλύτερες από 6 mg/l γεγονός που καταδεικνύει ότι τα περισσότερα υπόγεια νερά των θέσεων υδροληψίας χαρακτηρίζονται ως μη ρυπασμένα με ικανοποιητικό βαθμό ανανέωσης. Χαμηλές τιμές συγκέντρωσης Διαλυμένου Οξυγόνου  $\leq 6$  mg/l μπορεί να συνδέονται με φυσικά αίτια όπως είναι οι υψηλές τιμές θερμοκρασίας και αγωγιμότητας, η ποσότητα της οργανικής ύλης, ο βαθμός διεύσδυσης του φωτός, το βάθος του υδροφορέα, καθώς επίσης και σε ανθρωπογενή αίτια όπως είναι η ρύπανση των υπόγειων υδροφορέων.
- ✓ Η συγκέντρωση των χλωριόντων κυμαίνεται μεταξύ 24 mg/l και 1115 mg/l με μέση τιμή 208,03 mg/l. Στο σύνολο των δειγμάτων τα 18 (26,8%) εμφανίζουν τιμές μεγαλύτερες του ανώτατου επιπέδου τιμών για τα πόσιμα νερά το οποίο είναι 250 mg/l (ΦΕΚ 53/20-2-86, τεύχος Β').
- ✓ Η συγκέντρωση των νιτρικών ιόντων κυμαίνεται μεταξύ 1,23 mg/l και 360 mg/l με μέση τιμή 64,99 mg/l. Στο σύνολο των δειγμάτων τα 38 (55,8%) εμφανίζουν τιμές μεγαλύτερες του ανώτατου επιπέδου τιμών για τα πόσιμα νερά το οποίο είναι 50 mg/l (ΦΕΚ 53/20-2-86, τεύχος Β'). Σύμφωνα με τον Πίνακα 20 η διάμεσος έχει τιμή 54 mg/l, το 1° τεταρτημόριο 31 mg/l και το 3° τεταρτημόριο 79 mg/l. Επίσης το εύρος τιμών χαρακτηρίζεται ως μεγάλο με τιμή 359.

Σύμφωνα με το ιστόγραμμα συχνοτήτων της συγκέντρωσης των νιτρικών ιόντων (Πίνακας και Γράφημα 22) το μεγαλύτερο πλήθος των τιμών βρίσκεται μέχρι το διάστημα των 75 mg/l. Αυτό προκύπτει και αριθμητικά από τον συντελεστή

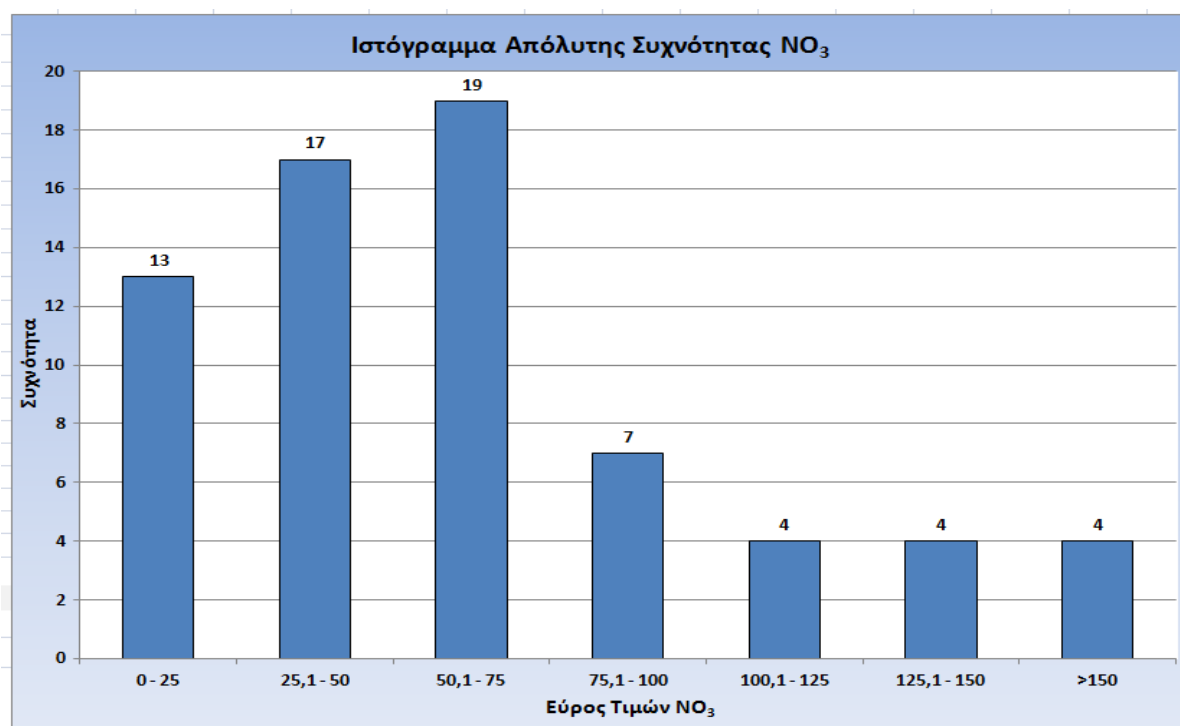
ασυμμετρίας ο οποίος έχει υψηλή τιμή (θετική ασυμμετρία) το οποίο και σημαίνει ότι οι περισσότερες τιμές, η διάμεσος και η μέση τιμή βρίσκονται στο δεξιό τμήμα της κορυφής. Επίσης ο συντελεστής κύρτωσης εμφανίζει υψηλή τιμή γεγονός που καταδεικνύει ότι η κατανομή εμφανίζει μεγάλη συγκέντρωση τιμών γύρω από την μέση τιμή.

**Πίνακας 21: Στατιστικά στοιχεία μετρήσεων νιτρικών ιόντων**

ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ NO <sub>3</sub> (ng/l)	
ΜΕΓΙΣΤΗ ΤΙΜΗ	360
ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΤΙΜΗ	1
ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	65
ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ	3447
ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ	59
ΔΙΑΜΕΣΟΣ	54
Q 25%	31
Q 75%	79
ΣΥΝΤ ΜΕΤΑΒΛΗΤΟΤΗΤΑΣ CV	90%
ΕΥΡΟΣ ΤΙΜΩΝ	359
ΕΝΔΟΤΕΤΑΡΤΟΜΟΡΙΑΚΟ ΕΥΡΟΣ	48
ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΚΥΡΤΩΣΗΣ	11
ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΣΥΜΜΕΤΡΙΑΣ	2

**Πίνακας 22: Κατανομή συχνοτήτων νιτρικών ιόντων**

Κατανομή Συχνοτήτων NO <sub>3</sub>		
Τιμές NO <sub>3</sub> mg/l	Συχνότητα	Αθροιστική Συχνότητα
0 - 25	13	13
25,1 - 50	17	30
50,1 - 75	19	49
75,1 - 100	7	56
100,1 - 125	4	60
125,1 - 150	4	64
>150	4	68



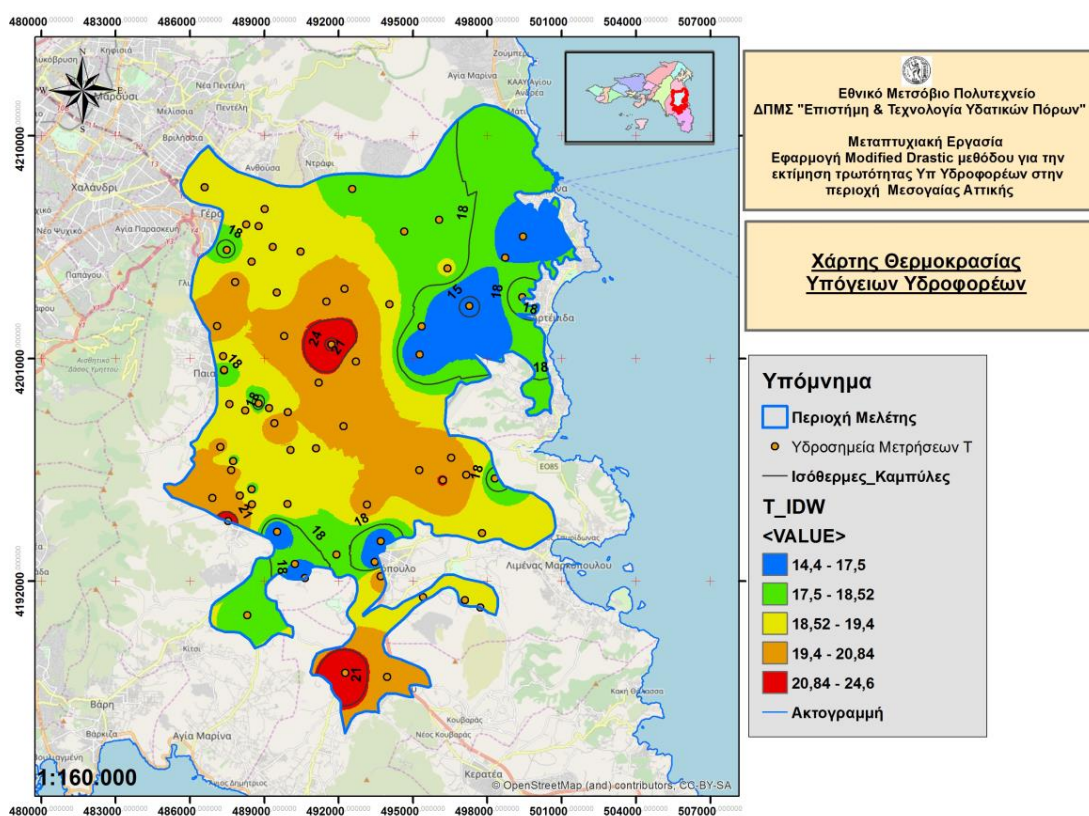
**Γράφημα 22: Ιστόγραμμα συχνοτήτων νιτρικών ιόντων**

## 5.4 Υδροχημικοί Χάρτες

Για την παρουσίαση της χωρικής κατανομής των ποιοτικών χαρακτηριστικών του υπόγειου νερού, χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα ArcMap 10.2.2, μέσω του οποίου παρήχθησαν καμπύλες ίσης κατανομής των παραμέτρων καθώς επίσης και κατηγοριοποίηση ανά περιοχές βάσει τιμών φυσικής διακύμανσης ή χειροκίνητα, χρησιμοποιώντας την κατάλληλη μέθοδο χωρικής παρεμβολής (IDW, Kriging).

### 5.4.1 Θερμοκρασία

Σύμφωνα με τον Χάρτη 15, η χωρική κατανομή θερμοκρασίας των υπογείων νερών εμφανίζει υψηλές τιμές στο κεντρικό, νότιο και νοτιοδυτικό τμήμα της περιοχής μελέτης. Οι χαμηλότερες τιμές εμφανίζονται στο ανατολικό τμήμα της περιοχής μελέτης. Η υψηλότερη τιμή καταγράφηκε σε Δημοτική Υδροληψία (πηγάδι) στο κέντρο των Σπάτων (κωδικός Π4, 24,6 °C) ενώ η χαμηλότερη τιμή καταγράφηκε σε γεώτρηση (κωδικός Γ5, 14,4 °C) στην περιοχή μεταξύ Σπάτων και Αρτέμιδας.



Χάρτης 15: Κατανομή θερμοκρασίας υπόγειων υδροφορέων περιοχής μελέτης

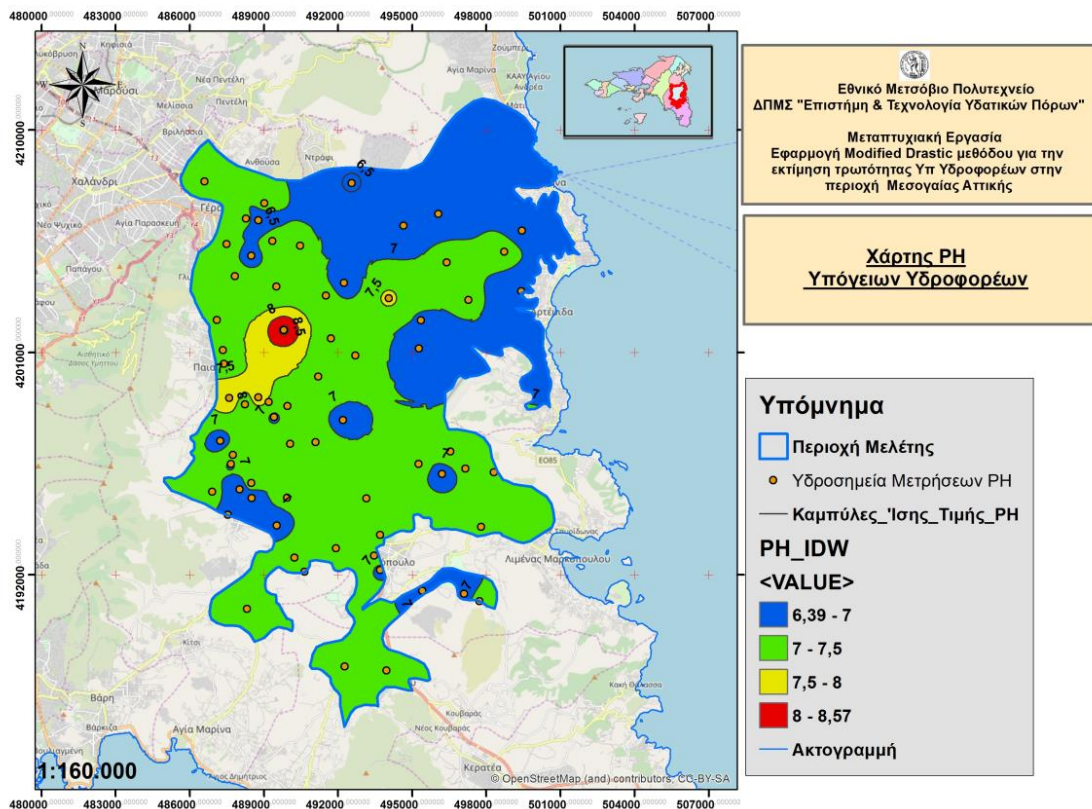
Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η Δημοτική Γεώτρηση του Δήμου Κρωπίας (κωδικός Γ9, 22,8 °C) η υψηλή θερμοκρασία σύμφωνα με τα λεγόμενα υπαλλήλων του Δήμου έχει παρατηρηθεί και σε άλλες μετρήσεις, γεγονός που πιθανώς συνδέεται με την ύπαρξη γεωθερμικών ρευστών σε μεγάλο βάθος (καρστικός υδροφόρος).

### 5.4.2 pH

Σύμφωνα με τον Χάρτη 16, η χωρική κατανομή του pH των υπογείων νερών, εμφανίζει της χαμηλότερες τιμές κυρίως στο βόρειο, και ανατολικό τμήμα της περιοχής μελέτης (όξινο περιβάλλον) με χαμηλότερη τιμή σε Δημοτική γεώτρηση στην περιοχή της Παλλήνης (6,38).

Οι υψηλότερες τιμές εμφανίζονται στο δυτικό τμήμα της περιοχής μελέτης όπως αποτυπώνεται σε ιδιωτική γεώτρηση στην περιοχής της Παιανίας - Γλυκών Νερών (κωδικός Γ4, 8,58).

Σύμφωνα με την κατηγοριοποίηση των φυσικών τιμών, οι ενδιάμεσες τιμές pH (7 - 7,5) εμφανίζονται στο μεγαλύτερο μέρος της περιοχής έρευνας (κεντρικό, νότιο, βορειοδυτικό).

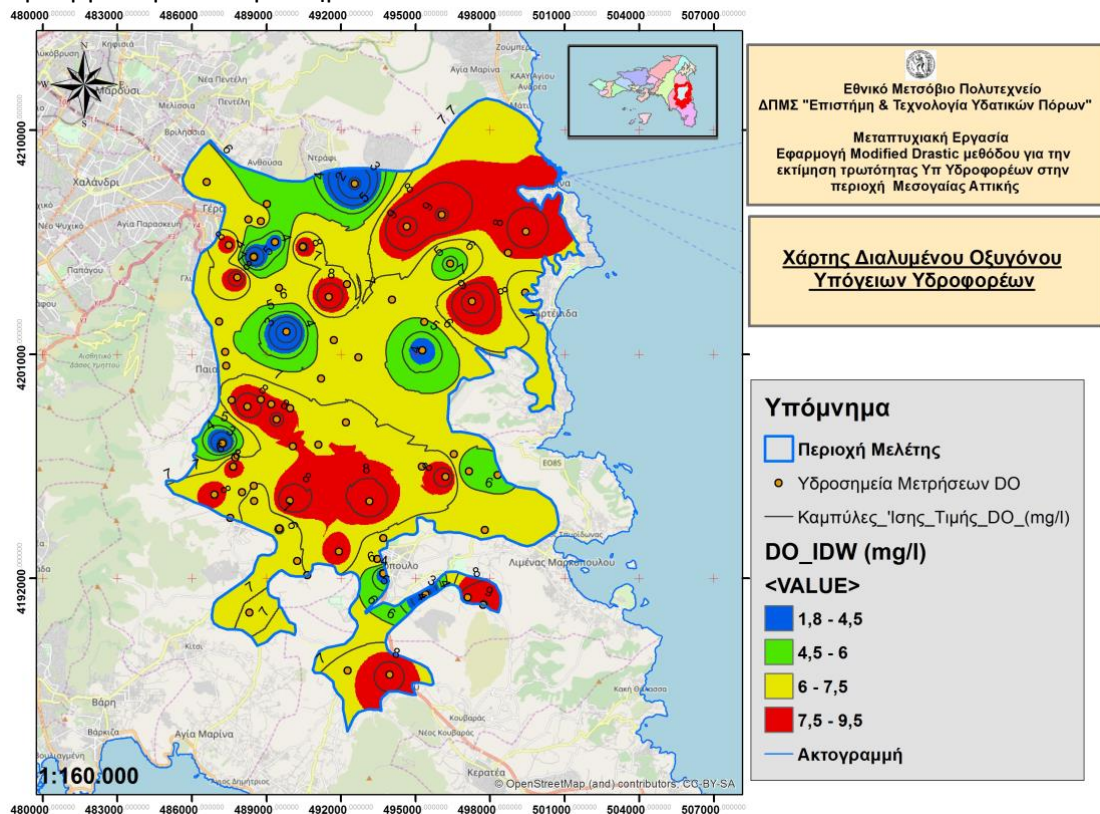


Χάρτης 16: Κατανομή pH υπόγειων υδροφορέων περιοχής μελέτης



### 5.4.3 Διαλυμένο Οξυγόνο

Σύμφωνα με τον χάρτη 17, οι υψηλότερες τιμές Διαλυμένου Οξυγόνου των υπογείων νερών μετρήθηκαν στο βορειοανατολικό, νότιο και κεντρικό τμήμα της περιοχής μελέτης με υψηλότερη τιμή σε ιδιωτική γεώτρηση στην περιοχή Σπάτα - Αρτέμιδα (κωδικός Γ15, τιμή 9,59 mg/l). Χαμηλότερες τιμές παρατηρούνται κυρίως στο βόρειο τμήμα και σε κάποιες περιοχές του κεντρικού τμήματος. Η χαμηλότερη τιμή μετρήθηκε σε ιδιωτική γεώτρηση στην περιοχή του Ντράφι (κωδικός Γ17, 1,8 mg/l και υποδηλώνει ή παλαιά νερά που δεν ανανεώνονται ή την ύπαρξη ανοξικών συνθηκών που επιταχύνουν την αύξηση μικροοργανισμών και βακτηριδίων.

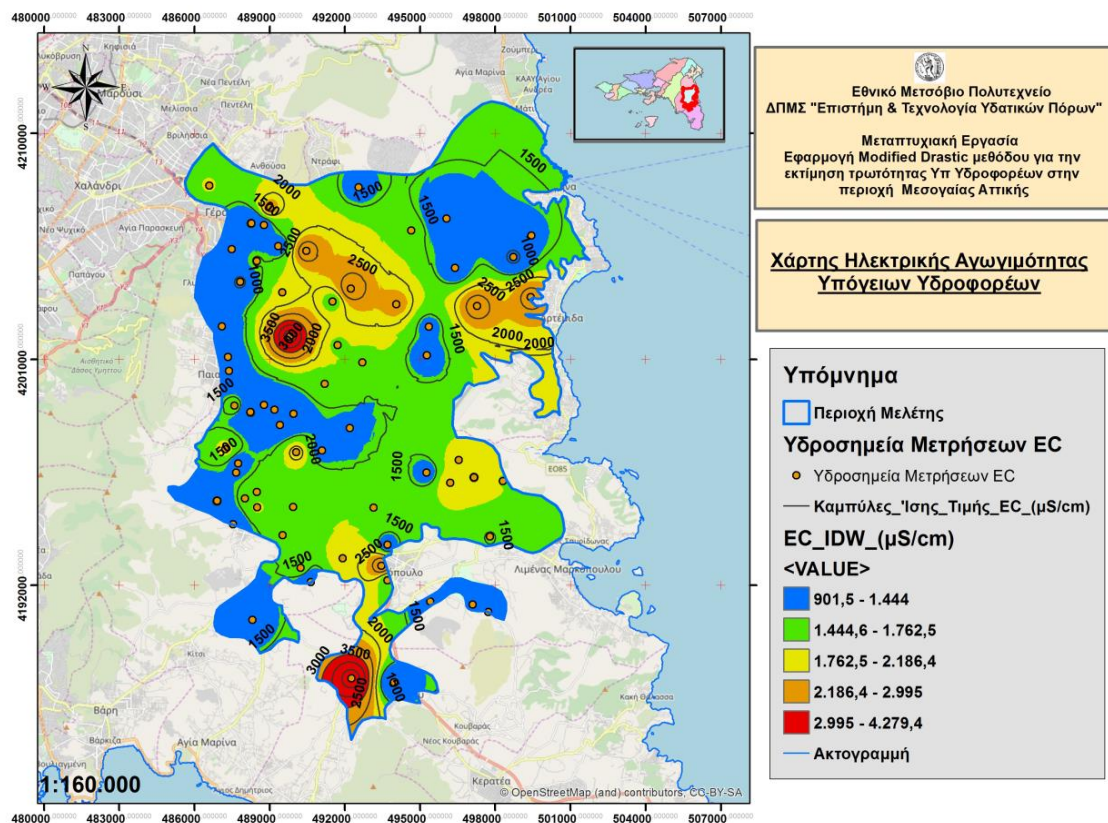


Χάρτης 17: Κατανομή Διαλυμένου Οξυγόνου υπόγειων υδροφορέων περιοχής μελέτης

#### 5.4.4 Ηλεκτρική Αγωγιμότητα

Σύμφωνα με τον χάρτη 18, οι υψηλότερες τιμές ηλεκτρικής αγωγιμότητας των υπογείων νερών, μετρήθηκαν σε τμήματα του κεντρικού, νότιου και ανατολικού τομέα της περιοχής μελέτης με υψηλότερη τιμή σε ιδιωτική γεώτρηση στην περιοχή μεταξύ Σπατών - Παιανίας (κωδικός Γ4, τιμή 5194  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ). Οι υψηλές τιμές στην κεντρική περιοχή πιθανόν να συνδέονται με υψηλές τιμές συγκέντρωσης χλωριόντων λόγω γεωλογικών παραγόντων (διάλυση εβαποριτών, ιζηματογενή πετρώματα που περιέχουν αργίλους θαλάσσιας προέλευσης). Οι υψηλές τιμές στον ανατολικό και νότιο τομέα πιθανόν συνδέονται με την θαλάσσια διείσδυση.

Χαμηλότερες τιμές παρατηρούνται κυρίως στο δυτικό τμήμα και σε κάποιες περιοχές του βορειανατολικού και νοτιανατολικού τμήματος. Η χαμηλότερη τιμή μετρήθηκε σε ιδιωτική γεώτρηση στην περιοχή του Κορωπίου (κωδικός Γ28, 901  $\text{mg}/\text{l}$ ).



Χάρτης 18: Κατανομή Ηλεκτρικής Αγωγιμότητας υπόγειων υδροφορέων περιοχής μελέτης

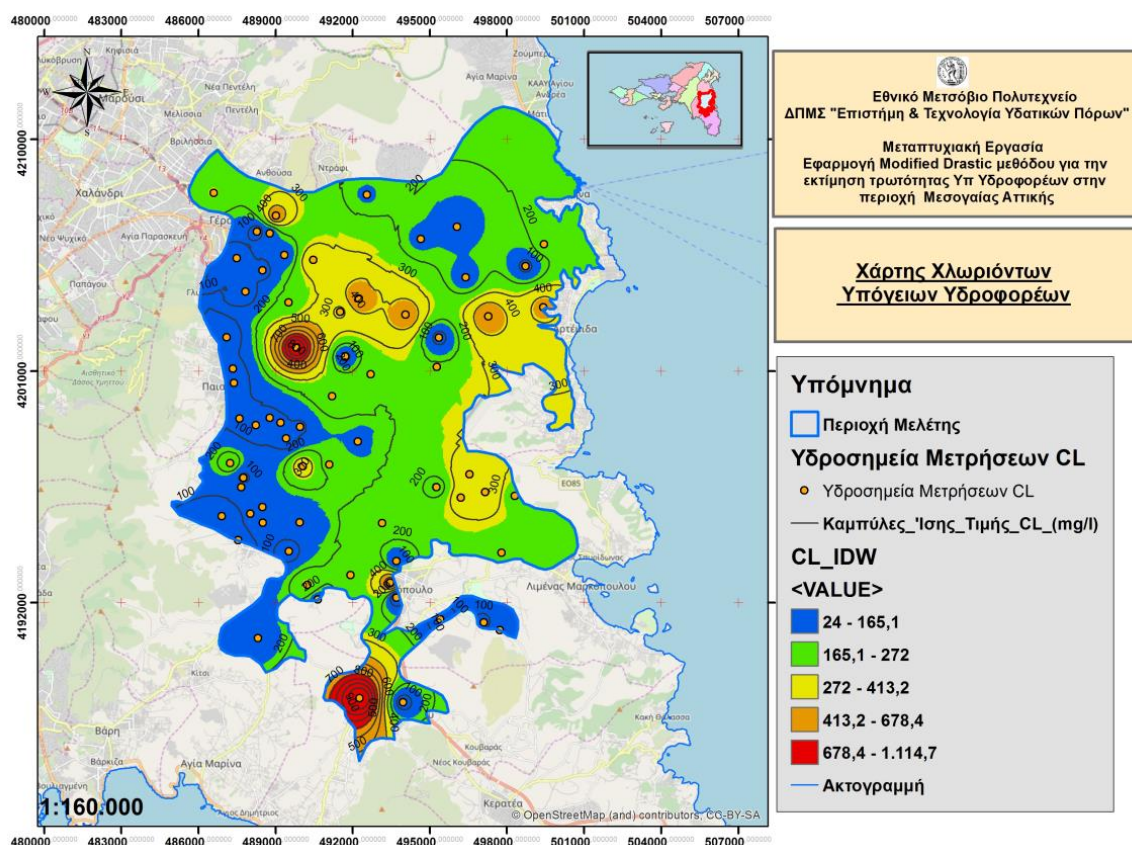
### 5.4.5 Χλωριόντα

Σύμφωνα με τον Χάρτη 19, οι υψηλότερες τιμές χλωριόντων των υπογείων νερών μετρήθηκαν σε τμήματα του κεντρικού, νότιου και ανατολικού τομέα της περιοχής μελέτης με υψηλότερη τιμή σε ιδιωτικό πηγάδι στην περιοχή Καλυβίων (κωδικός Π32, τιμή 1115 mg/l). Οι υψηλές τιμές είτε συνδέονται με γεωλογικούς παράγοντες στην κεντρική περιοχή (διάλυση εβαποριτών, ιζηματογενή πετρώματα που περιέχουν αργίλους θαλάσσιας προέλευσης), είτε με θαλάσσια διείσδυση στον ανατολικό και νότιο τομέα.

Επίσης υψηλές τιμές συγκέντρωσης χλωριόντων απαντώνται σε περιπτώσεις βιομηχανικών, αστικών ή και γεωργικών αποβλήτων.

Οι χαμηλότερες τιμές παρατηρούνται κυρίως στο δυτικό και σε κάποιες περιοχές του βορειανατολικού και νοτιανατολικού τμήματος. Η χαμηλότερη τιμή μετρήθηκε σε δημοτικό πηγάδι στην περιοχή του της Παλλήνης (κωδικός Π2, 24 mg/l).

Αξιοσημείωτο πάντως είναι η πολύ καλή χωρική ταύτιση μεταξύ του χάρτη ηλεκτρικής αγωγιμότητας και του αντίστοιχου χάρτη των χλωριόντων, γεγονός που δείχνει τον υψηλό βαθμό συσχέτισης ανάμεσα στις 2 αυτές παραμέτρους.



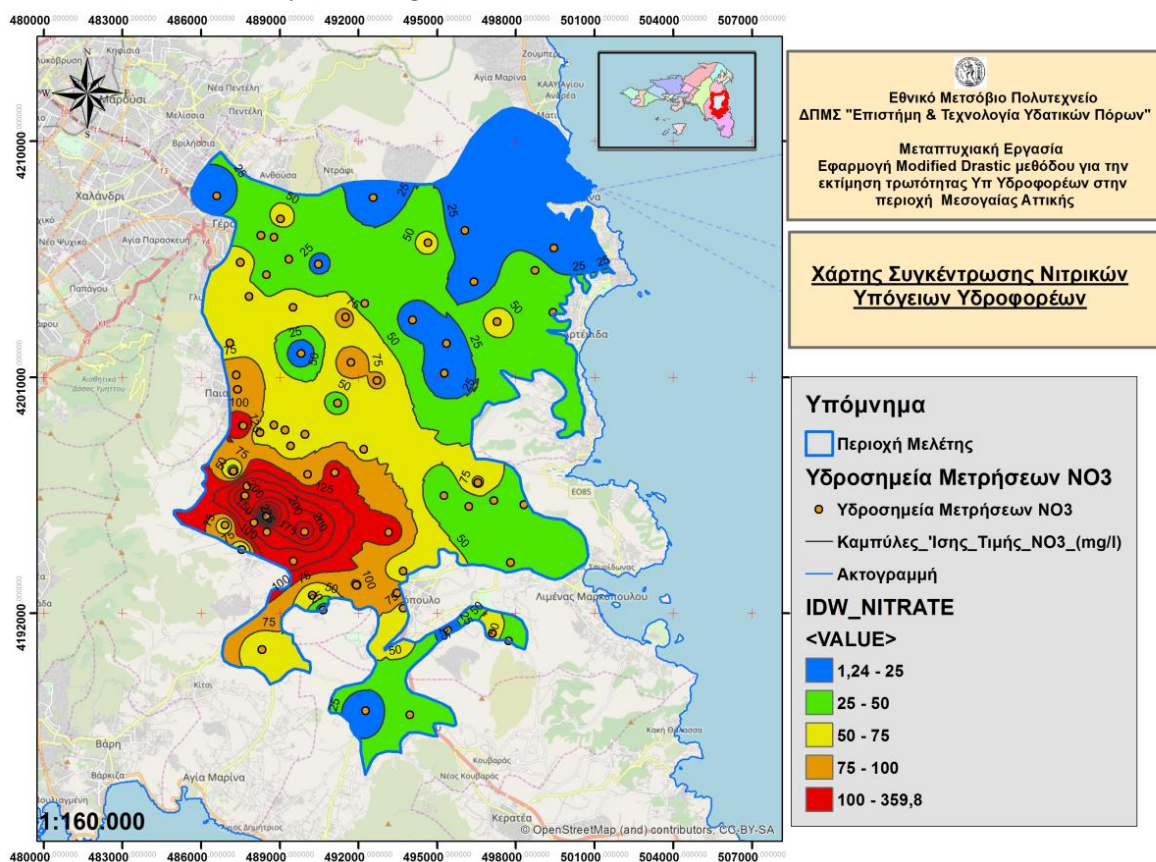
Χάρτης 19: Κατανομή συγκέντρωσης χλωριόντων υπόγειων υδροφορέων περιοχής μελέτης

### 5.4.6 Νιτρικά Ιόντα

Σύμφωνα με τον Χάρτη 20, οι υψηλότερες τιμές νιτρικών ιόντων των υπογείων νερών παρατηρούνται στο νοτιοδυτικό - δυτικό τμήμα της περιοχής μελέτης. Η υψηλότερη τιμή καταγράφηκε σε ιδιωτικό πηγάδι στην περιοχή του Κορωπίου (κωδικός Π29, τιμή 360 mg/l). Σχετικά υψηλές τιμές παρουσιάζονται σε όλο σχεδόν το κεντρικό τμήμα της περιοχής μελέτης.

Οι χαμηλότερες τιμές παρουσιάζονται κυρίως στο βορειανατολικό τμήμα της περιοχής μελέτης και σε συγκεκριμένα τμήματα του βορειοδυτικού, νότιου και ανατολικού τομέα.

Η χαμηλότερη τιμή καταγράφηκε σε ιδιωτική γεώτρηση στην περιοχή μεταξύ Παιανίας - Σπάτων (κωδικός Γ4, τιμή 1,23 mg/l).



Χάρτης 20: Κατανομή συγκέντρωσης νιτρικών ιόντων υπόγειων υδροφορέων περιοχής μελέτης

Στα επόμενα κεφάλαια της παρούσας εργασίας αναλύεται διεξοδικά η μέθοδος DRASTIC και οι αντίστοιχες βελτιστοποιήσεις – τροποποιήσεις αυτής, ούτως ώστε να αξιολογηθούν όλοι οι φυσικοί και ανθρωπογενείς παράγοντες που επηρεάζουν την **χωρική κατανομή τιμών των Νιτρικών Ιόντων** στην περιοχή μελέτης ούτως ώστε να δημιουργηθεί ένα αξιόπιστο μοντέλο εκτίμησης της εξωτερικής ρύπανσης των υπόγειων υδροφορέων.

## Κεφάλαιο 6<sup>ο</sup>

# Τρωτότητα Υπόγειων Υδροφορέων

## 6. Τρωτότητα Υπόγειων Υδροφορέων

Στο παρόν κεφάλαιο της εργασίας αναλύεται η έννοια της τρωτότητας και της ευαισθησίας των υπόγειων υδροφορέων, ακολουθεί η βιβλιογραφική επισκόπηση των κυριότερων μεθόδων που τις αποτελούν και τέλος περιγράφονται οι βασικές αρχές της μεθόδου DRASTIC.

### 6.1 Εννοιολογική προσέγγιση

Η ρύπανση του υπόγειου νερού αποτελεί τα τελευταία χρόνια ένα σημαντικό περιβαλλοντικό πρόβλημα και αφορά στην υψηλή συγκέντρωση ανόργανων και οργανικών χημικών ουσιών καθώς επίσης και μικροοργανισμών. Προκαλείται κυρίως από ανθρωπογενείς δραστηριότητες (γεωργία, κτηνοτροφία, αστικά λύματα, βιομηχανία) και οι πηγές ρύπανσης μπορεί να είναι σημειακές ή διάχυτες.

Τα τελευταία χρόνια η εκτίμηση της τρωτότητας των υπόγειων υδροφορέων αποτελεί αντικείμενο εκτεταμένης έρευνας στον ελληνικό χώρο (Panagoroulos et al., 2006, Voudouris et al., 2010), επειδή με αυτό τον τρόπο εντοπίζονται περιοχές για τις οποίες οφείλει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή όσον αφορά στην προστασία των υπόγειων υδροφορέων από την εξωτερική ρύπανση (Λάμπας Ι, 2017).

Η έννοια της τρωτότητας εισήχθηκε αρχικά από τον Margat (1968) και βασίζεται στη θεώρηση ότι το φυσικό περιβάλλον είναι σε θέση να παρέχει ένα είδος φυσικής προστασίας στο υπόγειο νερό απέναντι στις ανθρωπογενείς πιέσεις και ειδικότερα στους ρύπους, που εισέρχονται στο υποεπιφανειακό περιβάλλον (Vrba & Zaporozec, 1994, Zabet, 2002).

Έτσι, η τρωτότητα του υπόγειου νερού είναι συνάρτηση τόσο των χαρακτηριστικών του υδροφόρου συστήματος, όσο και της απόστασης από την πηγή ρύπανσης, των χαρακτηριστικών του ρύπου και άλλων παραγόντων, που δυνητικά αυξάνουν το ρυπαντικό φορτίο του συγκεκριμένου ρυπαντή.

Ως **ενδογενής τρωτότητα** (intrinsic vulnerability) ενός υδροφορέα ορίζεται η ευκολία, με την οποία ένας ρύπος, που εισάγεται στην επιφάνεια του εδάφους, μπορεί να φτάσει και να διαχυθεί στον υδροφόρο ορίζοντα (Margat, 1968, Vrba & Zaporotec, 1994). Πρόκειται για μια ιδιότητα, που εξαρτάται τόσο από τα χαρακτηριστικά του υπόγειου υδατικού συστήματος όσο και από τα χαρακτηριστικά του ευρύτερου γεωλογικού και υδρογεωλογικού περιβάλλοντος (ακόρεστη ζώνη, εδαφικός ορίζοντας, ανάγλυφο, τοπογραφία, τροφοδοσία κ.ά.). Πρόκειται για μια αδιάστατη ποσότητα που εξαρτάται από μία σειρά φυσικές παραμέτρους, οι οποίες περιγράφουν τα χαρακτηριστικά του

υδροφορέα, όπως το βάθος του νερού, η τροφοδοσία, το υλικό του υδροφορέα, το είδος της ακόρεστης ζώνης χωρίς εξειδίκευση σε κάποιον ρυπαντή ή πηγές ρύπανσης.

Ως **ειδική τρωτότητα** (specific vulnerability) ενός υδροφόρου ορίζοντα ορίζεται η πιθανότητα ρύπανσης του υδροφορέα ορίζοντα από ρύπο/ρύπους, που εισάγονται στην επιφάνεια του εδάφους και εκτιμάται με βάση την ενδογενή τρωτότητα, το ρυπαντικό φορτίο και το είδος του ρύπου που εφαρμόζεται σε μία συγκεκριμένη θέση ή σε μία ευρύτερη περιοχή.

Αντίθετα, ευαισθησία του υδροφορέα (aquifer sensitivity) είναι η ευκολία, με την οποία ένας ρύπος μεταναστεύει από την επιφάνεια του εδάφους στον υδροφορέα και είναι χαρακτηριστικό των γεωλογικών συνθηκών, της ακόρεστης και κορεσμένης ζώνης και ανεξάρτητη των χρήσεων γης και των χαρακτηριστικών του ρύπου.

Με βάση τους παραπάνω ορισμούς προκύπτει ότι η γενική τρωτότητα δεν ταυτίζεται με την ευαισθησία αν και έχουν διατυπωθεί και διαφορετικές απόψεις (Rao και Allen 1996).

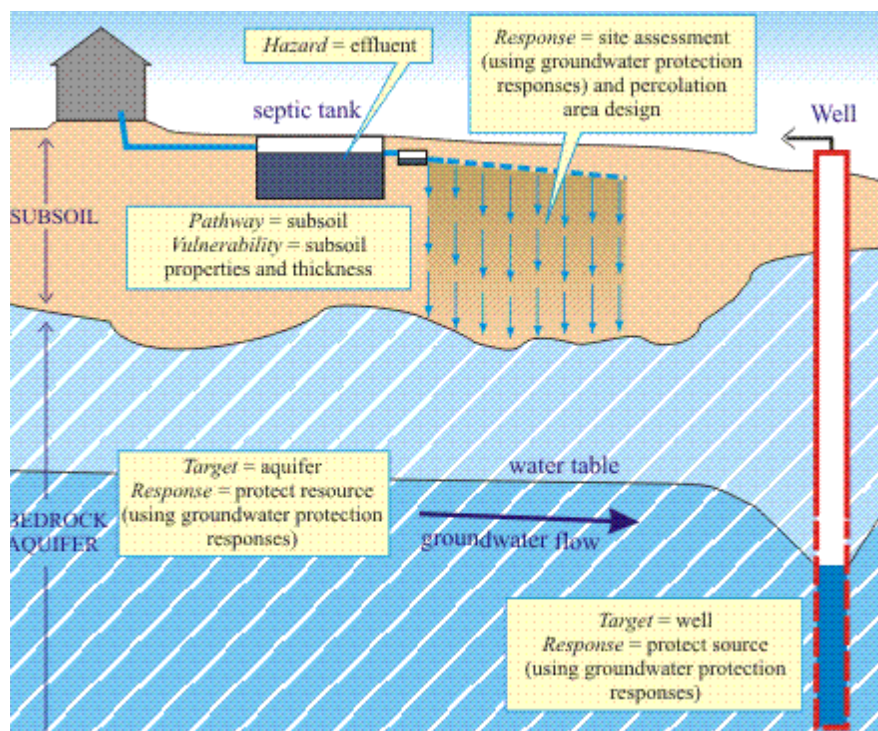
Η ακόρεστη ζώνη παίζει σημαντικό ρόλο στη μείωση της ρύπανσης, λόγω της βραδείας κίνησης του νερού και λόγω διαφόρων διαδικασιών, που λαμβάνουν χώρα σε αυτήν, όπως η προσρόφηση και η ανταλλαγή κατιόντων, οι χημικές αντιδράσεις, η μείωση των παθογόνων μικροοργανισμών κ.ά. Ο βαθμός εξασθένησης των ρύπων στην ακόρεστη ζώνη εξαρτάται από τη λιθολογία της, την κοκκομετρία, το πάχος, τα χαρακτηριστικά του ρύπου, τη συγκέντρωσή του κλπ.

Η έννοια της τρωτότητας πρέπει να αντιμετωπίζεται σε τρία στάδια (source-pathway-receptor):

- (1) το στάδιο της δυνητικής εισόδου του ρύπου στο υδατικό σύστημα, που συνδέεται με τις υδρογεωλογικές συνθήκες και τη συμπεριφορά του ρύπου,
- (2) το στάδιο της παραμονής του ρύπου στο υδατικό σύστημα, που συνδέεται με τις φυσικοχημικές ιδιότητες του ρύπου και τις υδρογεωλογικές και υδραυλικές συνθήκες του υδροφορέα και
- (3) το στάδιο της άφιξης του ρύπου στο υδροληπτικό έργο, στην περίπτωση που γίνεται εκμετάλλευση του υδροφορέα ορίζοντα.

Για την ποσοτικοποίηση της τρωτότητας έχουν εισαχθεί διάφορα πρότυπα, που βασίζονται σε διάφορα φυσικά κριτήρια, όπως το είδος των υδροφορέων, το πάχος της ακόρεστης ζώνης, η ταχύτητα ροής του υπόγειου νερού, η κοκκομετρία, ο συντελεστής υδροπερατότητας και η τοπογραφία.

Συνέπεια των ανωτέρω είναι η ανάπτυξη ενός Δείκτη Δραστηκότητας, η τιμή του οποίου καθορίζει το δυναμικό ρύπανσης για τον εξεταζόμενο υδροφόρο ορίζοντα.



Σχήμα 2: Διαγραμματική Απεικόνιση της εκτίμησης της εσωτερικής τρωτότητας του υπογείου νερού μέσω κίνησης, εξασθένισης – διάχυσης και συγκέντρωσης ρύπου, Πηγή: Λάμπας Ι 2017

Τέλος μια σχετική με τις ανωτέρω έννοιες είναι και η **διακινδύνευση ενός υδροφορέα** (Risk pollution)  $R$  στη ρύπανση το οποίο και αποτελεί συνάρτηση της τρωτότητας του (Vulnerability) και της πιθανότητας (Hazard) εκδήλωσης ενός επεισοδίου ρύπανσης σε μια περιοχή. Η συνάρτηση υπολογισμού της διακινδύνευσης είναι η παρακάτω:

$$R = V * H$$

όπου  $R$  η διακινδύνευση,  $V$  η τρωτότητα του υδροφορέα και  $H$  η πιθανότητα να συμβεί ένα επιβλαβές επεισόδιο σε μια περιοχή σε κάποια χρονική περίοδο.

## 6.2 Μέθοδοι εκτίμησης Τρωτότητας – Βιβλιογραφική επισκόπηση

Για τη διερεύνηση τόσο της ενδογενούς όσο και της ειδικής τρωτότητας έχουν αναπτυχθεί διάφορες μέθοδοι. Οι πιο απλές στην εφαρμογή είναι οι μέθοδοι των Μοντέλων Κατάταξης (Rating Models). Οι μέθοδοι αυτές κατατάσσουν κάθε παράμετρο, που θεωρητικά επηρεάζει την πιθανότητα ρύπανσης του υδροφορέα, σε μια κλίμακα και καταλήγουν σε μία αθροιστική τιμή (score), η οποία χαρακτηρίζει την τρωτότητα του υδροφορέα. Εξέλιξη των μεθόδων αυτών αποτελούν τα Μοντέλα Συστήματος Σημειακής Εκτίμησης (Point Count System Models) ή αλλιώς Βαρύτητας των Παραμέτρων (Parameter Weighting), οι οποίες



εκτός της κατάταξης των διαφόρων παραμέτρων εισάγουν και συντελεστές σχετικού βάρους για κάθε παράγοντα. Περιλαμβάνουν μεθόδους δεικτών (Index Methods) και υβριδικές μεθόδους (Hybrid Methods), που συνδυάζουν μεθόδους δεικτών με στατιστικές μεθόδους. Παράλληλα με τις μεθόδους Σημειακής Εκτίμησης - Βαρύτητας των στοιχείων, αναπτύχθηκαν και μέθοδοι προσδιορισμού της τρωτότητας με τη χρήση στατιστικών και στοχαστικών μεθόδων (Mueller et al., 1997). Οι στατιστικές μέθοδοι περιλαμβάνουν απλή περιγραφική στατιστική των συγκεντρώσεων διαφόρων επιλεγμένων ρυπαντών (νιτρικά, αρσενικό), καθώς και ανάλυση συσχέτισης (π.χ. συγκέντρωση νιτρικών ιόντων με το βάθος). Μπορεί επίσης να εφαρμοστεί σύνθετη ανάλυση συσχέτισης (λογιστική ανάλυση συσχέτισης - logistic regression analysis), που ενσωματώνει τα αποτελέσματα μερικών παραμέτρων και προβλέπει τις πιθανότητες εμφάνισης της ρύπανσης.

Μία από τις πιο διαδομένες μεθόδους Σημειακής εκτίμησης ή Βαρύτητας των Παραμέτρων και ίσως η πιο διαδεδομένη εν γένει μέθοδος προσδιορισμού της τρωτότητας είναι η μέθοδος **DRASTIC** (Aller et al. 1987). Για τον προσδιορισμό της ενδογενούς (intrinsic) τρωτότητας των υδροφόρων, η μέθοδος DRASTIC λαμβάνει υπ' όψη της επτά παραμέτρους του γεωλογικού και υδρολογικού περιβάλλοντος. Η μεθοδολογία εφαρμόζεται σε συνδυασμό με τα Γεωγραφικά Πληροφοριακά Συστήματα (ΓΠΣ), η χρήση των οποίων κατέστησε τη μεθοδολογία εύχρηστη και αξιόπιστη. Αρκετοί ερευνητές που ασχολήθηκαν με την τρωτότητα των υπόγειων νερών σε διάφορες περιοχές, έχουν χρησιμοποιήσει την αρχική μεθοδολογία DRASTIC κυρίως για την αξιολόγηση της τρωτότητας των υδροφορέων στη ρύπανση **από νιτρικά ιόντα ή φυτοφάρμακα** (Aminreza Neshat & Biswajeet Pradhan & Helmi Zulhaidi Mohd Shafri, 2014, Ilhem Abdeslam, Chemseddine Fehdi, Larbi Djabri, 2017, K Voudouris, N Kazakis, M Polemio, K Kareklas, 2010, Halima Elfarrak, Mustapha Hakdaoui, Ahmed Fikri, 2013, Adel Zghibi, Amira Merzougui, Ismail Chenini, Karim Ergaieg, Lahcen Zouhri, 2016, Said Baki, Mohamed Hilali, Ilias Kacimi, Nadia Kassou, Nordine Nouiyti, Abdellah Bahassi, 2017, R.A.N. Al-Adamat, I.D.L. Foster, S.M.J. Baban, 2003) ή **από βαρέα μέταλλα** (Ambiga K, Annadural R, 2016, Ashwani Kumar Tiwari, Prasoon Kumar Singh, Marina De Maio, 2015).

Η μεθοδολογία έχει χρησιμοποιηθεί στην εξέταση διάφορων περιπτώσεων, όπως σε άγονες ή ημίξηρες περιοχές, σε γεωργικές ζώνες, σε βιομηχανικές ζώνες, αστικές περιοχές, σε περιοχές δεξαμενών αποβλήτων και σε χώρους υγειονομικής ταφής απορριμμάτων.

Όσον αφορά το υδρογεωλογικό μέσο η μέθοδος έχει χρησιμοποιηθεί κυρίως σε προσχωματικούς υδροφόρους ωστόσο υπάρχουν και μελέτες όπου και εφαρμόστηκε αποκλειστικά σε καρστικούς υδροφόρους (Ziad M, Nidal M and Maher A, 2012)

Εκτός από τις παραπάνω περιπτώσεις η μεθοδολογία DRASTIC έχει χρησιμοποιηθεί και σε παράκτιες περιοχές. Στην περίπτωση αυτή για την εκτίμηση της τρωτότητας των υπόγειων νερών εκτός των δεδομένων που αναφέρθηκαν παραπάνω, λήφθηκαν υπόψη ανθρωπογενείς δραστηριότητες και η διείσδυση του θαλάσσιου νερού που αποτέλεσαν τους πρωταρχικούς παράγοντες τρωτότητας των υπόγειων υδάτων (Junjor Silva and Pizani, 2003).

**Ανάλυση ευαισθησίας** για την εκτίμηση της τρωτότητας του υπόγειου νερού με τη μεθοδολογία DRASTIC έχει γίνει από πολλούς ερευνητές (Napolitano P, and Fabbri A 1996, Issoufou O, Pierre D and Marnik V 2016, R. Krishna, J. Iqbal, A. K. Gorai, G. Pathak, F. Tuluri, and Tchounwou P 2014, Saman J, Neda K, Kourosch M, Khodadadi A and Kahawita R 2011, Sidibe A M, Xueyu L, 2018, Saidi S, Bouri S and Dhia H B2011, Rizos S 2013). Για την ανάλυση ευαισθησίας, χρησιμοποιούνται συνήθως δύο μέθοδοι ανάλυσης. Η πρώτη αφορά στο αποτέλεσμα του τελικού χάρτη των ζωνών τρωτότητας των υπόγειων νερών, μετά την αφαίρεση μιας ή περισσότερων παραμέτρων και καταδεικνύει την επίδραση της κάθε παραμέτρου στο τελικό αποτέλεσμα, ενώ η δεύτερη αφορά στην επίδραση της βαθμονόμησης της κάθε παραμέτρου και εξετάζει τη σχέση μεταξύ της ενεργού και της θεωρητικής βαρύτητάς. Από τα αποτελέσματα της ανάλυσης ευαισθησίας γίνεται αντιληπτό αν η σχετική βαρύτητα των παραμέτρων μεταξύ τους και η σχετική βαρύτητα της βαθμονόμησης της κάθε παραμέτρου εκτιμήθηκαν σωστά.

Για τον υπολογισμό του ύψους του νερού κατείδυσης (εμπλουτισμός του υδροφόρου) έχουν χρησιμοποιηθεί διάφορες εξισώσεις και προσεγγίσεις. Οι προσεγγίσεις αυτές χρησιμοποιούν τη γεωλογία, την υδρογεωλογία, την υδρολογία, τη λιθολογία, την κάλυψη γης, την κλίση του εδάφους και τις κλιματικές και άλλες συνθήκες για την εκτίμηση του νερού κατείδυσης (Valverde J, Blank C, Roidt M, Schneider L and Stefan C 2016, Buyukdemirci H 2012, Yeh H, Cheng Y, Hung-I and Lee C, 2016, Jayasekera 2011).

Τροποποιήσεις στις βασικές παραμέτρους που περιλαμβάνονται στον υπολογισμό του δείκτη DRASTIC, έγιναν από διάφορους ερευνητές με την προσθήκη, αφαίρεση ή τροποποίηση της βαρύτητας των παραμέτρων. Ο τροποποιημένος δείκτης DRASTIC (CDIComposite DRASTIC- Extensive Land use Index) που προτάθηκε από τους Secunda et al., (1998), περιλαμβάνει την εκτίμηση για την επίδραση της κάλυψης γης και της εντατικότητας των γεωργικών και λοιπών δραστηριοτήτων και την εισάγει ως όγδοο παράγοντα (Imran H, Akib S, Yusop Z and Harum Z 2013, Seleem A, Kaiser M and Athelib M 2018, Ahmed I, Nazzal Y and Zaidi F 2018, Sadat M and Ebrahimi K 2016).

Λοιποί παράγοντες που έχουν προστεθεί στο μοντέλο DRASTIC είναι η τεκτονική (Abdulla M. Al-Rawabdeh, Nadhir A. Al-Ansari, Ahmed A. Al-Taani, Fadi L. Al-Khateeb and Knutsson S

2014, Awawdeh M, Obeidat M and Zaiter G 2015) η ηλεκτρική αγωγιμότητα (Rao D Anantha, Pradeep K Naik, Sunil K Jain, Kumar K Vinod and Rao E N Dhanamjaya 2017) και η γεωλογία της περιοχής (Sultana S 2017).

Πολλοί ερευνητές μέσω απλών στατιστικών μεθόδων όπως ο έλεγχος συσχέτισης τιμών μοντέλου και δεικτών ρύπανσης μέσω κατάλληλων συντελεστών (Lappas I 2018, Elzi A 2010, Panagoroulos G and Antonakos A 2006, Aminreza N and Biswajeet P 2014) ή μέσω προχωρημένων μεθόδων όπως είναι η ασαφής λογική, αλγόριθμοι μηχανικής εκμάθησης, γενετικοί αλγόριθμοι, τα νευρωνικά δίκτυα, η πολλαπλή λογιστική παλλινδρόμηση και μέθοδος βαρύτητας των στοιχείων (Antonakos A 2012, Ata Allah Nadiri and Sedghi Z, Khatibi R and Gharekhani M 2017, Bagharour M A, Nobandegani A F, Talebbeydokhti N, Bagherzadeh S, Nadiri A , Gharekhani M and Chitsazan N 2016, Yang J and Jiao T 2017) έχουν βελτιστοποιήσει την μέθοδο DRASTIC μέσω τροποποίησης είτε των παραμετρικών τιμών των κριτηρίων είτε των τιμών βαρών των κριτηρίων του μοντέλου είτε σε συνδυασμό μεταξύ τους.

Για την βαθμονόμηση των συντελεστών βαρύτητας του μοντέλου έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως από διάφορους ερευνητές η μέθοδος της ιεραρχικής ανάλυσης αποφάσεων (AHP) η οποία και δίνει την ευκαιρία στον κάθε επιστήμονα να κρίνει την σπουδαιότητα μεταξύ των κριτηρίων του μοντέλου και μέσω κατάλληλων μετασχηματισμών να αποδώσει την τελική βαθμονόμηση των κριτηρίων (Neshat A, Pradhan B and Dadras M 2014, Iqbal J and Gorai A 2013, Yang J and Akhtar M 2017, Ziaei M and Hajizadeh Najmed 2011).

Εκτός της μεθοδολογίας DRASTIC, άλλες μέθοδοι υπέρθεσης και δεικτών είναι οι: **SINTACS** (Busico G, Kazakis N, Colombani N, Mastrocicco M, Voudouris K and Tedesco D 2017), **GOD** (Foster, 1987), **AVI** (Van Stempvoort et al., 1993), **EPIK** (Doerfliger and Zwahlen, 1998, Doerfliger et al., 1999), **COP** (Vias J. M., Andreo B, Perles M, Carrasco F, Vadillo I and Jimenez P 2006), **COST Action 620** και **DRISTPI** (Madrid A and Gogu R 2013). Οι μεθοδολογίες EPIK, PI, COP και COST Action 620 αφορούν στην εκτίμηση της τρωτότητας των καρστικών υδροφόρων.

Τέλος πολλές έρευνες έχουν ασχοληθεί με την σύγκριση των μεθόδων εκτίμησης της τρωτότητας των υπογείων υδροφορέων σε διάφορες περιοχές (Michalopoulos D 2016, Kazakis N and Voudouris K 2011, Twana O, Salahalddin S. Ali, Nadhir A and Knutsson S 2016).

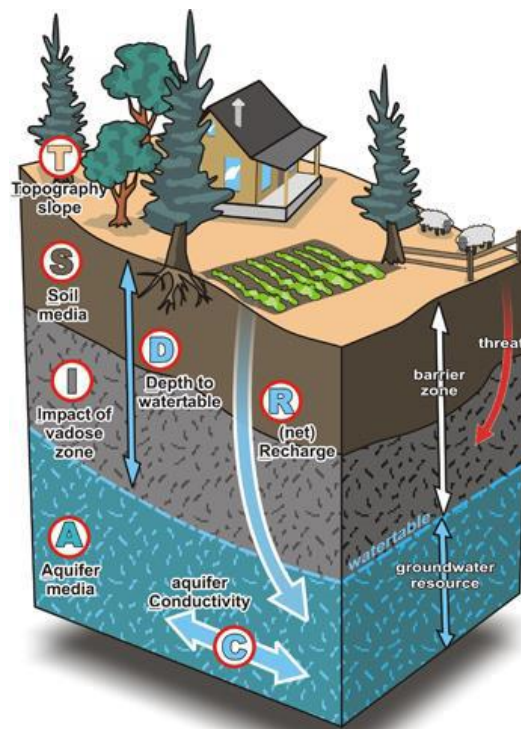
### 6.3 Μεθοδολογία DRASTIC

Μία από τις πιο διαδομένες μεθόδους Σημειακής εκτίμησης – κατάταξης ή Βαρύτητας Παραμέτρων είναι η μέθοδος DRASTIC (Καζάκης, 2013, Aller et al., 1987, Javadi et al., 2011, Kazakis et al., 2015, Lappas & Matiatos, 2014). Η μεθοδολογία DRASTIC ανήκει στις

μεθόδους δεικτών και χρησιμοποιείται ευρύτατα για την εκτίμηση του κινδύνου ρύπανσης των υπόγειων νερών με βάση υδρογεωλογικές παραμέτρους. Το μοντέλο DRASTIC θεωρεί ότι:

- ✓ κάθε ρύπος εισάγεται από την επιφάνεια του εδάφους
- ✓ ο ρύπος εισάγεται στο υπόγειο νερό από την κατείσδυση του νερού της βροχόπτωσης και
- ✓ ο ρύπος έχει την ταχύτητα του νερού (αδρανής ρύπος).

Η μέθοδος DRASTIC λαμβάνει υπόψη της επτά παραμέτρους, από τα αρχικά γράμματα των οποίων προκύπτει το ακρωνύμιο (Σχήμα 3): **Βάθος του υδροφορέα ορίζοντα** (Depth to groundwater), **Ενεργή Κατείσδυση** (Recharge), **Τύπος των υλικών του υδροφορέα** (Aquifer type media), **Εδαφικός τύπος** (Soil media), **Τοπογραφία** (Topography), **Επίδραση των υλικών της ακόρεστης ζώνης** (Impact of the vadose zone media), **Υδραυλική αγωγιμότητα** (hydraulic Conductivity).



Σχήμα 3: Παράμετροι μεθόδου DRASTIC, Aller et al, 1987, Πηγή: Sener, E., Davraz, A., 2012

Παρακάτω αναλύονται οι βασικές ιδιότητες των παραμέτρων του μοντέλου:

### Βάθος (D)

Το βάθος του υπόγειου νερού αποτελεί μία σημαντική παράμετρο στην εκτίμηση της τρωτότητας, διότι καθορίζει το πάχος της ακόρεστης ζώνης που πρέπει να διανύσει ένας πιθανός ρύπος για να φτάσει τον υδροφόρο ορίζοντα. Όσο μικρότερη είναι η διαδρομή που διανύει το υπόγειο νερό από την επιφάνεια του εδάφους έως και τον υδροφόρο ορίζοντα

τόσο λιγότερα εδαφικά υλικά ενεργούν ως φίλτρα και προσροφητές και τόσο λιγότερο ευνοούνται οι αβιοτικές και βιοτικές χημικές διεργασίες

### **Εμπλουτισμός υδροφορέα (Ενεργή Κατείσδυση R)**

Η ενεργή κατείσδυση (εμπλουτισμός) είναι η συνολική ποσότητα του νερού, η οποία διηθείται στην επιφάνεια του εδάφους και μέσω της ακόρεστης ζώνης καταλήγει στο υπόγειο νερό και αποτελεί βασικό «όχημα» μεταφοράς του ρύπου από την ακόρεστη στην κορεσμένη ζώνη. Οι υπολογισμοί του εμπλουτισμού του υπόγειου νερού πρέπει να λαμβάνουν υπόψη τους όλες τις εισροές νερού στο υδροφόρο σύστημα (βροχόπτωση, άρδευση, τεχνητός εμπλουτισμός και πλευρική τροφοδοσία) και όλες τις εκροές από αυτό (επιφανειακή - επιδερμική και υπόγεια απορροή, εξατμισοδιαπνοή).

### **Είδος Υδροφόρου (A)**

Το υλικό του υδροφορέα αποτελεί σημαντική παράμετρο για την εκτίμηση της τρωτότητας, όσον αφορά στην ικανότητά του να συμμετέχει στην εξασθένιση του ρυπαντικού φορτίου. Όταν το υπόγειο νερό φιλοξενείται σε πετρώματα που χαρακτηρίζονται από έντονο ενεργό δευτερογενές (καρστικά δίκτυα ρωών, διακλάσεις, ρωγμές) ή πρωτογενές πορώδες (πορώδεις σχηματισμοί), τότε το νερό καθίσταται πιο επιρρεπές σε μόλυνση και ρύπανση σε σχέση με πετρώματα, που διακρίνονται για τον χαμηλό ενεργό πορώδη χαρακτήρα τους.

### **Εδαφικός Τύπος (S)**

Το εδαφικό υλικό συμμετέχει στις διαδικασίες εξασθένισης των ρύπων βάσει της κοκκομετρίας του και ανάλογα με τη δράση της οργανικής ύλης, των αργιλικών υλικών και των οξειδίων Fe και Mn που πιθανά περιέχει. Επίσης εξαρτάται από την ικανότητα του εδάφους να στραγγίζει το νερό που δέχεται στην επιφάνεια του.

### **Τοπογραφία (T)**

Η παράμετρος της τοπογραφίας στην εκτίμηση της τρωτότητας σχετίζεται με την ικανότητα του ρύπου να κατεισδύει ευκολότερα σε περιοχές με ομαλή τοπογραφική κλίση και να απορρέει επιφανειακά αντίστοιχα σε περιοχές με μεγάλη κλίση.

### **Επίδραση της Ακόρεστης Ζώνης (I)**

Το υλικό της ακόρεστης ζώνης παίζει σημαντικό ρόλο στην επιδεκτικότητα του υδροφορέα προς ρύπανση, διότι η κοκκομετρία του υλικού που την αποτελεί, η ορυκτολογία των εδαφικών υλικών (περιεκτικότητα σε αργιλικά ορυκτά), καθώς και η περιεκτικότητά της σε οργανική ύλη αποτελούν παραμέτρους που καθορίζουν την ικανότητά της να προστατεύει τον υπόγειο υδροφορέα από τους επιφανειακούς ρυπαντές. Για τους περισσότερους υδροφορείς η ταχύτητα του υπόγειου νερού στην ακόρεστη ζώνη είναι μικρότερη από αυτήν στην κορεσμένη, συνεπώς οι διάφοροι ρυπαντές κινούνται με βραδύτερο ρυθμό

συγκριτικά με την κορεσμένη ζώνη έχοντας μεγαλύτερη δυνατότητα να συγκρατηθούν από αυτήν.

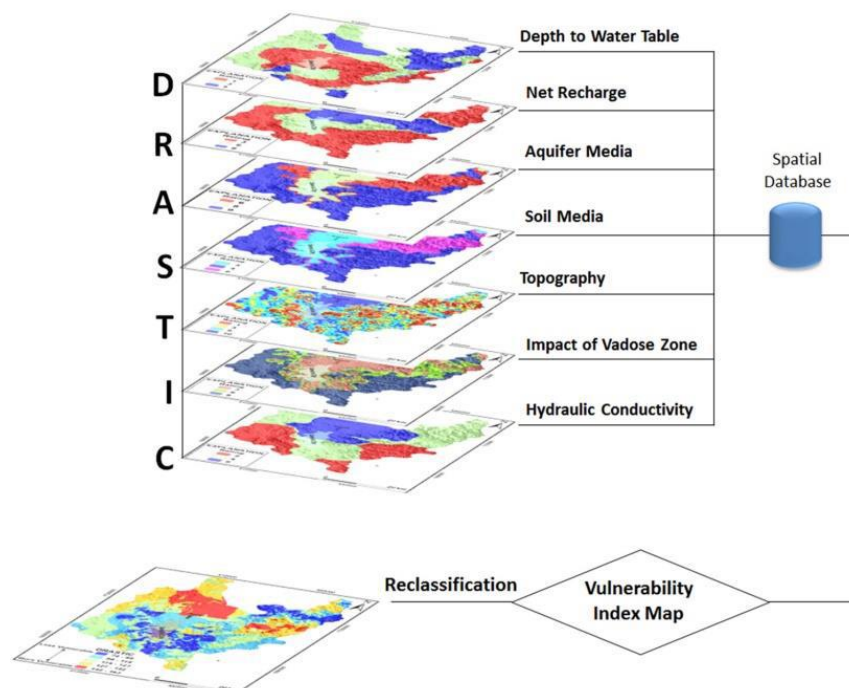
### Υδραυλική Αγωγιμότητα (C)

Η χωρική κατανομή της υδραυλικής αγωγιμότητας τόσο κατά την οριζόντια όσο και κατά την κατακόρυφη έννοια αποτελεί καθοριστική παράμετρο σε ό,τι αφορά στην ικανότητα του υπόγειου νερού να μεταφέρει τους ρυπαντές.

Οι ως άνω παράμετροι εισάγονται σε μια απλή γραμμική εξίσωση, αφού αναχθούν από τη φυσική κλίμακα διακύμανσής τους σε μια δεκαβάθμια σχετική κλίμακα. Κάθε μία από τις παραμέτρους αυτές πολλαπλασιάζεται με ένα συντελεστή βαρύτητας (5βάθμια κλίμακα), ο οποίος έχει καθοριστεί με ποιοτικά και όχι ποσοτικά κριτήρια, βασισμένα στην κρίση των δημιουργών της μεθόδου. Η γραμμική εξίσωση υπολογισμού του δείκτη DRASTIC έχει την εξής μορφή (Aller *et al.*, 1987):

$$DI = \sum_{i=1}^7 W_i R_i = D_w D_r + R_w R_r + A_w A_r + S_w S_r + T_w T_r + I_w I_r + C_w C_r$$

όπου ο δείκτης  $r$  εκφράζει την τιμή της παραμέτρου και ο δείκτης  $w$  τη βαρύτητα κάθε μίας από αυτές. Κατόπιν μέσω εργαλείων γεωχωρικής ανάλυσης με την χρήση GIS παράγονται οι τελικοί χάρτες τρωτότητας σύμφωνα με το Σχήμα 4.



Σχήμα 4: Διαδικασία παραγωγής χάρτη τρωτότητας DRASTIC, Πηγή: Yahia, A., Bouabid, M., 2011

## Κεφάλαιο 7<sup>ο</sup>

# Εφαρμογή Μεθόδου DRASTIC

## 7. Εφαρμογή Μεθόδου DRASTIC

Στην παρούσα μεταπτυχιακή εργασία επιχειρείται η εφαρμογή της μεθόδου DRASTIC στο Υπόγειο Υδατικό Υποσύστημα Μεσογαίας (B), με απώτερο σκοπό να πιστοποιηθεί, εάν η μέθοδος μπορεί να εφαρμόζεται εν γένει ή τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της περιοχής λόγω της πολυπλοκότητας της τόσο σε φυσικές (υδρογεωλογία, εδαφολογία, κλιματολογία) όσο και σε ανθρωπογενείς συνθήκες (χρήσεις γής) την επηρεάζουν σε τέτοιο βαθμό που να μην μπορεί να εφαρμοστεί με απόλυτη επιτυχία. Πέρα από την υλοποίηση της πρότυπης μεθόδου ενδογενούς τρωτότητας DRASTIC, επιχειρήθηκε η βελτιστοποίηση του αρχικού μοντέλου μέσω της εφαρμογής 3 διακριτών κατά σειρά σταδίων ως εξής:

1. Αναθεώρηση της κλίμακας μετατροπής της κάθε παραμέτρου (DRASTIC<sub>r</sub>)
2. Αναθεώρηση των συντελεστών βαρύτητας - Αφαίρεση παραμέτρων, βάσει των αρχικών παραμετρικών τιμών της μεθόδου DRASTIC (DRASTIC<sub>Nw</sub>)
3. Αναθεώρηση των συντελεστών βαρύτητας βάσει των τροποποιημένων παραμετρικών τιμών της μεθόδου DRASTIC<sub>r</sub> (DRASTIC<sub>Nrw</sub>)

Σε κάθε στάδιο ελέγχεται η αξιοπιστία του μοντέλου μέσω συσχέτισης των τιμών της εκάστοτε βελτιστοποιημένης μεθόδου DRASTIC με τις λογαριθμικές τιμές συγκέντρωσης των νιτρικών ιόντων. Εφόσον ο συντελεστής συσχέτισης βελτιώνεται σε σχέση με την προηγούμενη μέθοδο η νέα μέθοδος γινόταν και αποδεκτή.

Για τον προσδιορισμό της ειδικής τρωτότητας/Διακινδύνευσης προστέθηκαν με την σειρά στο ήδη βελτιωμένο αρχικό μοντέλο 2 νέες παράμετροι ως εξής:

- ✓ Χρήσεις γής (DRASTIC<sub>NLrw</sub>)
- ✓ Σημειακές πηγές ρύπανσης (DRASTIC<sub>NLrwP</sub>)

Με αυτόν τον τρόπο διαμορφώθηκε το τελικό μοντέλο (DRASTIC<sub>NLrwP</sub>) με συνολικά 9 παραμέτρους.

Σε κάθε στάδιο της διαδικασίας εφαρμόστηκε ανάλυση ευαισθησίας ενώ στα μοντέλα DRASTIC<sub>Nrw</sub>, DRASTIC<sub>NLrw</sub> και DRASTIC<sub>NLrwP</sub> εφαρμόστηκε και έλεγχος βαθμονόμησης.

Ο τελικός στόχος είναι η ανάπτυξη μιας ολοκληρωμένης μεθόδου, η οποία θα μπορεί να προβλέπει επιτυχώς την ειδική (specific) τρωτότητα ή/και το δυναμικό ρύπανσης (Pollution Risk) ενός υδροφορέα ορίζοντα, που βρίσκεται υπό το καθεστώς έντονης περιβαλλοντικής πίεσης.



## 7.1 Αρχική Μέθοδος DRASTIC

Στο παρόν υποκεφάλαιο αναλύεται η διαδικασία ανάπτυξης της αρχικής μεθόδου DRASTIC στην περιοχή μελέτης η οποία και αποτελεί μια αρχική προσπάθεια δημιουργίας μοντέλου εκτίμησης ενδογενούς τρωτότητας. Πιο συγκεκριμένα περιγράφονται τα βασικά στοιχεία της μεθοδολογίας που ακολουθήθηκε όπως βαθμονόμηση παραμετρικών τιμών, διαδικασία επιλογής βαρών κριτηρίων μέσω της πολυκριτηριακής ανάλυσης, ανάλυση ευαισθησίας μοντέλου, στατιστικά στοιχεία τιμών μοντέλου και ζωνών τρωτότητας, θηκογράμματα παραμέτρων μεθόδου DRASTIC, έλεγχος κανονικής κατανομής συγκέντρωσης δείκτη ρύπανσης, συσχέτιση τιμών μοντέλου και τιμών νιτρικών ιόντων.

Για την παραγωγή των τελικών χαρτών χρησιμοποιήθηκαν διάφορες μέθοδοι χωρικής παρεμβολής (Kriging, IDW) κατόπιν ελέγχου συνέπειας μέσω του Arc Gis 10.2.

### 7.1.1 Ανάλυση Παραμέτρων

#### 7.1.1.1 Βάθος (D)

Το βάθος του υπόγειου υδροφόρου αποτελεί μια πολύ σημαντική παράμετρος της μεθόδου DRASTIC καθώς συμβολίζει την κατακόρυφη απόσταση που διανύει ο ρύπος μέχρι να φτάσει στον υδροφόρο ορίζοντα. Για τους ελεύθερους υδροφορείς το βάθος συμπίπτει με την στάθμη ηρεμίας του υπόγειου υδροφορέα ενώ για τους υπό πίεση ή μερικώς υπό πίεση υδροφορείς το βάθος συμπίπτει με το βάθος της οροφής του υδροφόρου ορίζοντα από την επιφάνεια του εδάφους.

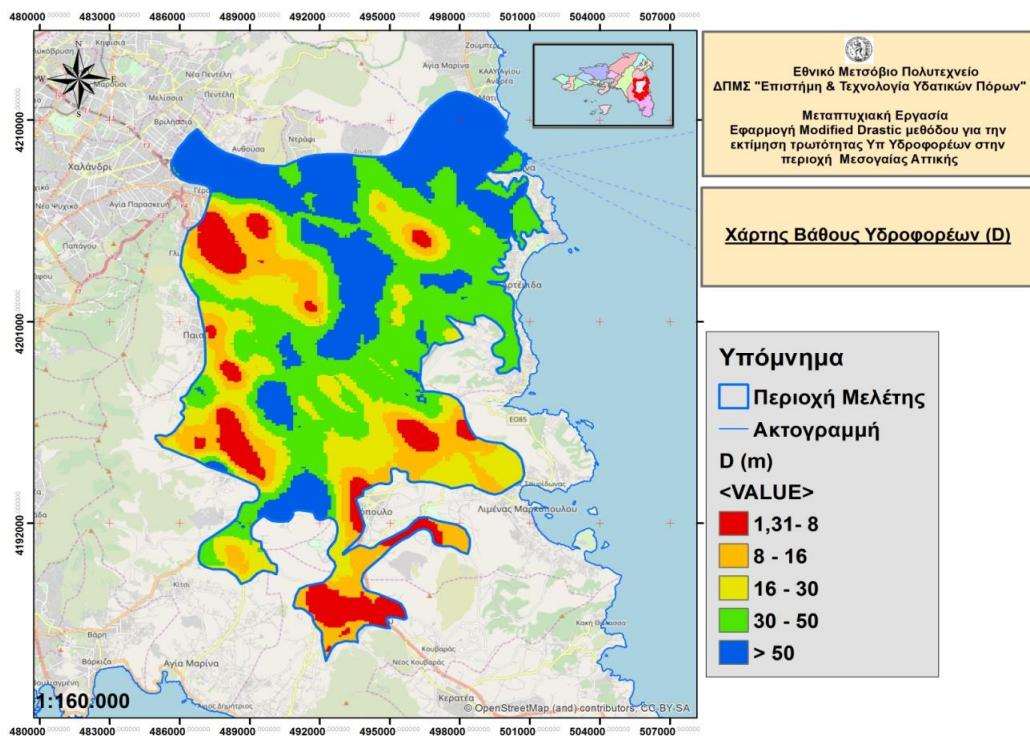
Οι τιμές του Βάθους προέκυψαν είτε από μετρήσεις στάθμης ηρεμίας για τους ελεύθερους υδροφορείς είτε βάσει λιθολογικών τομών υδρογεωτρήσεων για τους υπό πίεση ή μερικώς υπό πίεση υδροφορείς.

Σύμφωνα με τον Πίνακα 23 οι τιμές της παραμέτρου σε μέτρα, ταξινομήθηκαν σε 5 κλάσεις όπου και βαθμονομήθηκαν σε κλίμακα από το 1 έως το 9 ανάλογα την τρωτότητα ως προς την εξωτερική ρύπανση.

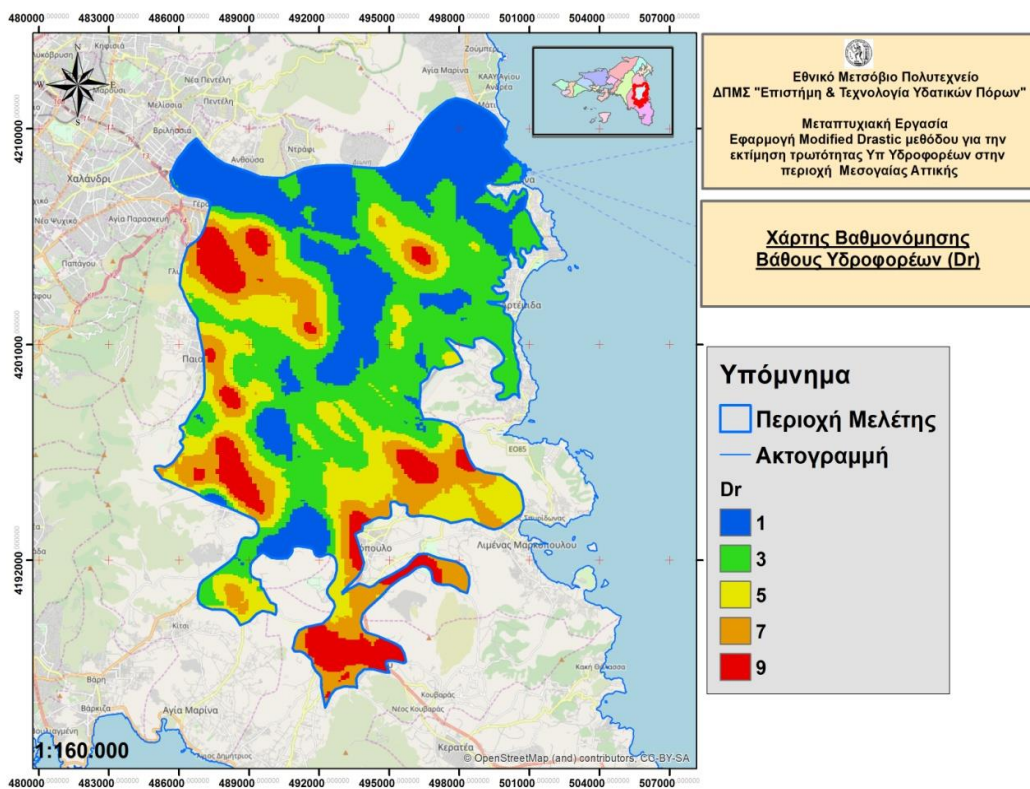
Πίνακας 23: Βαθμονόμηση τιμών παραμέτρου Βάθους D

Πίνακας Βαθμονόμησης Παραμέτρου Βάθους Dr		
Τιμές (m)	Βαθμονόμηση	Τρωτότητα
1 - 8	9	Πολύ υψηλή
8,1 - 16	7	Υψηλή
16,1 - 30	5	Μέτρια
30,1 - 50	3	Χαμηλή
> 50	1	Πολύ χαμηλή

Στους παρακάτω χάρτες απεικονίζεται η χωρική κατανομή του βάθους του υπόγειου υδροφορέα και της τρωτότητας του σύμφωνα με την σχετική παράμετρο.



Χάρτης 21: Βάθος υπόγειων υδροφορέων περιοχής μελέτης



Χάρτης 22: Βαθμονόμηση Βάθους υπόγειων υδροφορέων Dr ως προς την Τρωτότητα

### 7.1.1.2 Ενεργή Κατείσδυση (R)

Η ενεργή κατείσδυση (εμπλουτισμός) είναι η συνολική ποσότητα του νερού, η οποία διηθείται στην επιφάνεια του εδάφους και μέσω της ακόρεστης ζώνης καταλήγει στο υπόγειο νερό. Συνεπώς αυξημένες τιμές οδηγούν σε ευκολία κίνησης του ρύπου προς τους υδροφορείς.

Για τον υπολογισμό της εν λόγω παραμέτρου χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα που συμμετέχουν στην εξίσωση του υδρολογικού κύκλου (επιφανειακή απορροή, εξατμισοδιαπνοή, κατείσδυση) και συντελούν στη αύξηση ή μη της ενεργούς κατείσδυσης (κλιματολογικά δεδομένα, χρήσεις γής, μορφολογία, επιφανειακή υδρολιθολογία, πυκνότητα υδροληψιών).

Παρακάτω περιγράφονται τα βασικά στοιχεία των δεδομένων αυτών και παρουσιάζονται σχετικοί χάρτες βαθμονόμησης ως προς την ενεργή κατείσδυση.

#### Θερμοκρασία

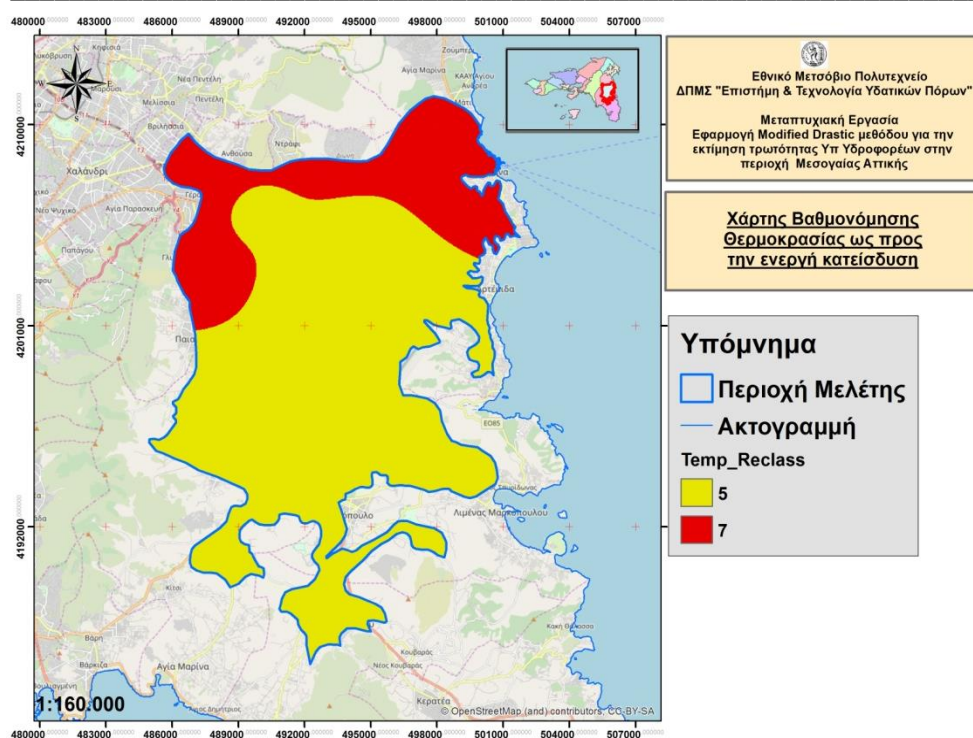
Ο παράγοντας της επιφανειακής θερμοκρασίας λειτουργεί αντιστρόφως ανάλογα με την κατείσδυση του νερού που πέφτει στην επιφάνεια του εδάφους καθώς συντελεί στην επιστροφή του νερού στην ατμόσφαιρα μέσω της εξατμισοδιαπνοής.

Σύμφωνα με τα κλιματολογικά δεδομένα της παρούσας εργασίας, οι μέσες ετήσιες τιμές θερμοκρασίας για τους μετεωρολογικούς σταθμούς που αναφέρονται σε προηγούμενο κεφάλαιο και αφορούν την περίοδο 2013-2017 ταξινομήθηκαν σε 2 κλάσεις όπου και βαθμονομήθηκαν ανάλογα με τον βαθμό συσχέτισης τους με την ενεργή κατείσδυση (Πίνακας 24).

**Πίνακας 24: Βαθμονόμηση τιμών Θερμοκρασίας ως προς την ενεργή κατείσδυση**

Συσχέτιση Θερμοκρασίας / ενεργού κατείσδυσης		
Εύρος Τιμών °C	Βαθμονόμηση	Συσχέτιση
< 18	7	Υψηλή
>18	5	Μέτρια

Στον παρακάτω χάρτη (Χάρτης 23) αποτυπώνεται χωρικά η βαθμονόμηση της μέσης ετήσιας θερμοκρασίας ως προς την ενεργή κατείσδυση.



Χάρτης 23: : Βαθμονόμηση Μέσης Ετήσιας Θερμοκρασίας ως προς την ενεργή κατείδυση

### Βροχόπτωση

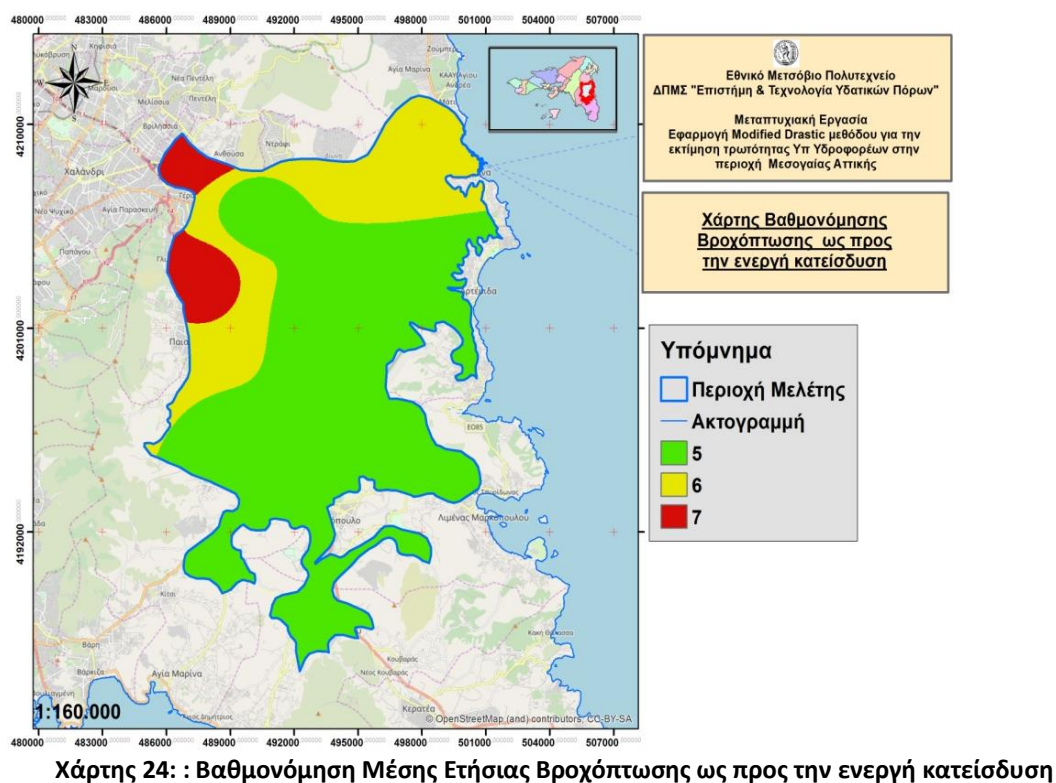
Ο παράγοντας της βροχόπτωσης λειτουργεί θετικά προς την κατείδυση του νερού που πέφτει στην επιφάνεια του εδάφους, καθώς συντελεί στην αύξηση της προσφερόμενης ποσότητας επιφανειακού νερού προς τον εμπλουτισμό των υπόγειων υδροφορέων.

Σύμφωνα με τα κλιματολογικά δεδομένα της παρούσας εργασίας, οι μέσες ετήσιες τιμές Βροχόπτωσης για τους μετεωρολογικούς σταθμούς που αναφέρονται σε προηγούμενο κεφάλαιο και αφορούν την περίοδο 2013-2017 ταξινομήθηκαν σε 3 κλάσεις όπου και βαθμονομήθηκαν ανάλογα με τον βαθμό συσχέτισης τους με την ενεργή κατείδυση (Πίνακας 25).

Πίνακας 25: Βαθμονόμηση τιμών Βροχόπτωσης ως προς την ενεργή κατείδυση

Συσχέτιση Βροχόπτωσης / ενεργού κατείδυσης		
Εύρος Τιμών (mm)	Βαθμονόμηση	Συσχέτιση
> 420	7	Υψηλή
395 - 420	6	Μέτρια
< 395	5	Χαμηλή

Στον παρακάτω χάρτη (Χάρτης 24) αποτυπώνεται χωρικά η βαθμονόμηση της μέσης ετήσιας βροχόπτωσης ως προς την ενεργή κατείδυση.



### Ένταση Ανέμου

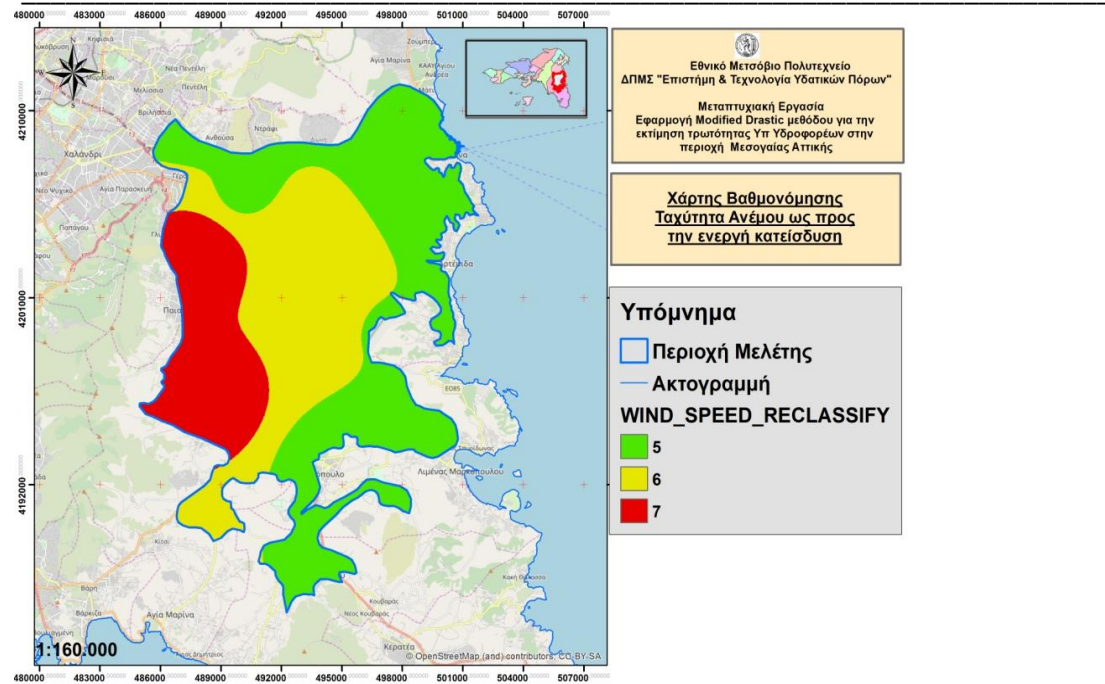
Ο παράγοντας της έντασης του ανέμου λειτουργεί αντιστρόφως ανάλογα με την κατείδυση του νερού που πέφτει στην επιφάνεια του εδάφους καθώς συντελεί στην επιστροφή στην ατμόσφαιρα μέσω της εξατμισοδιαπνοής.

Σύμφωνα με τα κλιματολογικά δεδομένα της παρούσας εργασίας, οι μέσες ετήσιες τιμές της Έντασης Ανέμου για τους μετεωρολογικούς σταθμούς που αναφέρονται σε προηγούμενο κεφάλαιο και αφορούν την περίοδο 2013-2017 ταξινομήθηκαν σε 3 κλάσεις όπου και βαθμονομήθηκαν ανάλογα με τον βαθμό συσχέτισης τους με την ενεργή κατείδυση (Πίνακας 26).

**Πίνακας 26: Βαθμονόμηση τιμών Έντασης Ανέμου ως προς την ενεργή κατείδυση**

Συσχέτιση Έντασης Ανέμου / ενεργού κατείδυσης		
Εύρος Τιμών Km/h	Βαθμονόμηση	Συσχέτιση
< 6	7	Υψηλή
6 - 8,5	6	Μέτρια
> 8,5	5	Χαμηλή

Στον παρακάτω χάρτη (Χάρτης 25) αποτυπώνεται χωρικά η βαθμονόμηση της μέσης ετήσιας έντασης του ανέμου ως προς την ενεργή κατείδυση.



**Χάρτης 25: : Βαθμονόμηση Μέσης Ετήσιας Έντασης Ανέμου ως προς την ενεργή κατείσδυση**

**Σχετική Υγρασία**

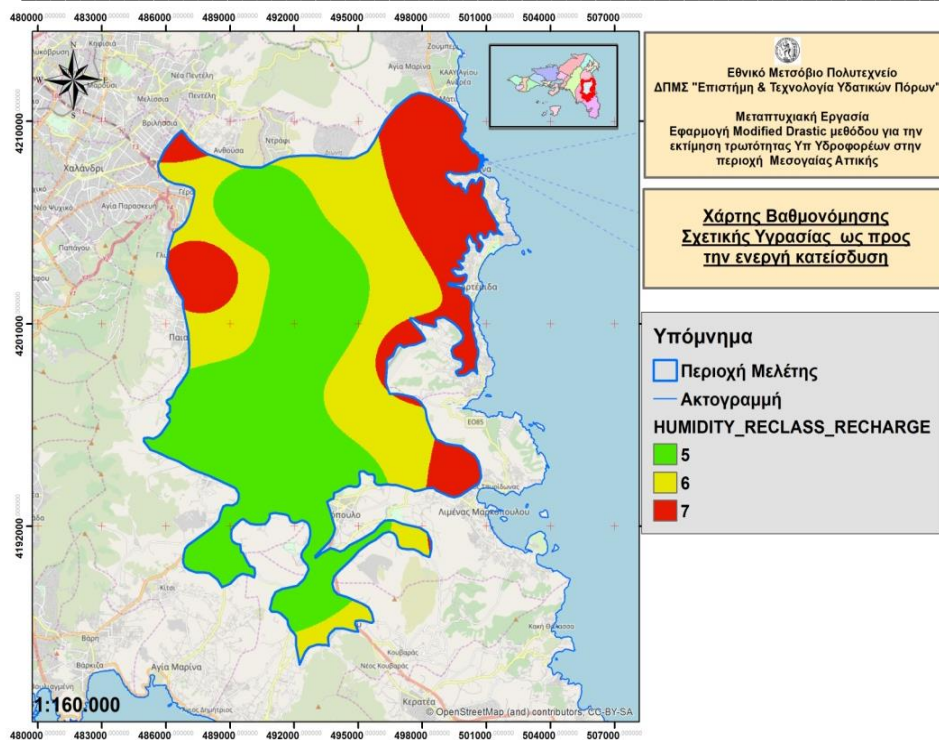
Ο κλιματικός παράγοντας της Σχετικής Υγρασίας λειτουργεί θετικά ως προς την κατείσδυση του νερού που πέφτει στην επιφάνεια του εδάφους, καθώς συντελεί στην μη επιστροφή του νερού στην ατμόσφαιρα μέσω της εξατμισοδιαπνοής.

Σύμφωνα με τα κλιματολογικά δεδομένα της παρούσας εργασίας, οι μέσες ετήσιες τιμές της Σχετικής Υγρασίας για τους μετεωρολογικούς σταθμούς που αναφέρονται σε προηγούμενο κεφάλαιο και αφορούν την περίοδο 2013-2017 ταξινομήθηκαν σε 3 κλάσεις όπου και βαθμονομήθηκαν ανάλογα με τον βαθμό συσχέτισης τους με την ενεργή κατείσδυση (Πίνακας 27).

**Πίνακας 27: Βαθμονόμηση τιμών Σχετικής Υγρασίας ως προς την ενεργή κατείσδυση**

Συσχέτιση Σχετικής Υγρασίας / ενεργού κατείσδυσης		
Εύρος Τιμών %	Βαθμονόμηση	Συσχέτιση
> 62	7	Υψηλή
58 - 62	6	Μέτρια
< 58	5	Χαμηλή

Στον παρακάτω χάρτη (Χάρτης 26) αποτυπώνεται χωρικά η βαθμονόμηση της μέσης σχετικής υγρασίας ως προς την ενεργή κατείσδυση.



**Χάρτης 26: : Βαθμονόμηση Μέσης Ετήσιας Σχετικής Υγρασίας ως προς την ενεργή κατείσδυση**

### Μορφολογία

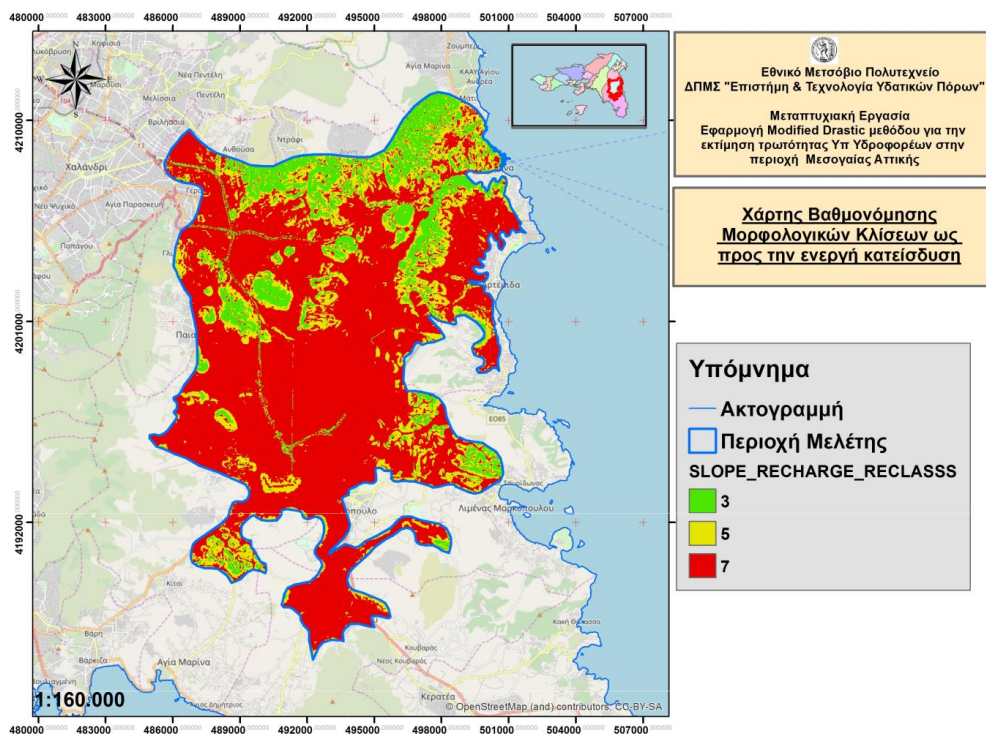
Η Μορφολογία μιας περιοχής επιδρά στην ενεργή κατείσδυση καθώς σε περιοχές με ήπιες μορφολογικές κλίσεις ευνοείται η κατείσδυση του επιφανειακού νερού άρα και ο εμπλουτισμός των υπόγειων υδροφορέων. Το αντίθετο συμβαίνει σε περιοχές με απότομες κλίσεις όπου και ευνοείται η επιφανειακή απορροή.

Με βάση το ψηφιακό μοντέλο εδάφους της περιοχής μελέτης και μετά από τις σχετικές διορθώσεις τυχόν μορφολογικών βυθισμάτων (fill sinks) δημιουργήθηκε ο χάρτης μορφολογικών κλίσεων όπου και οι σχετικές τιμές βαθμονομήθηκαν σε 3 κλάσεις ανάλογα με τον βαθμό συσχέτισης τους με την ενεργή κατείσδυση (Πίνακας 28).

**Πίνακας 28: Βαθμονόμηση τιμών Μορφολογικών Κλίσεων ως προς την ενεργή κατείσδυση**

Συσχέτιση μορφολογικών κλίσεων / ενεργού κατείσδυσης		
Τιμές Κλίσεων (μοίρες)	Βαθμονόμηση	Συσχέτιση
< 4	7	Υψηλή
4 - 8	5	Μέτρια
> 8	3	Χαμηλή

Στον παρακάτω χάρτη (Χάρτης 27) αποτυπώνεται χωρικά η βαθμονόμηση των μορφολογικών κλίσεων ως προς την ενεργή κατείσδυση.



Χάρτης 27: : Βαθμονόμηση Μορφολογικών Κλίσεων ως προς την ενεργή κατείσδυση

### Υδρολιθολογία

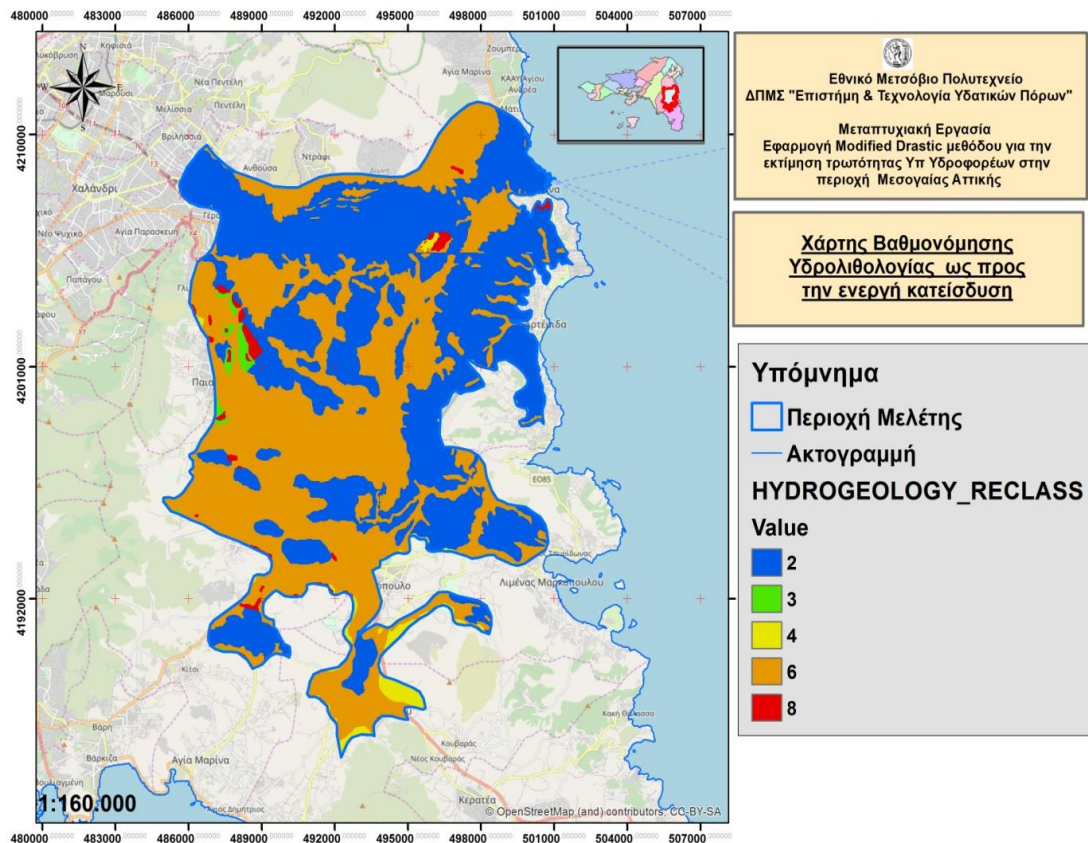
Η υδρολιθολογία αποτελεί ένα σημαντικό παράγοντα στον καθορισμό της πορείας του εδαφικού νερού. Σύμφωνα με τον υδρολιθολογικό χαρακτήρα των επιφανειακών γεωλογικών σχηματισμών, η υπόγεια κατείσδυση ευνοείται σε γεωλογικούς σχηματισμούς με αυξημένη περατότητα, η οποία και υποδηλώνει την ευκολία κίνησης υπογείου νερού εντός των γεωλογικών μαζών. Η αυξημένη τιμή περατότητας συνδέεται είτε με το πρωτογενές ενεργό πορώδες το οποίο συμβαίνει σε μεσόκκοκους έως χονδρόκοκκους γεωλογικούς σχηματισμούς (πχ ψαμμίτες, κροκαλοπαγή, χολικές) είτε με το δευτερογενές πορώδες που καθορίζεται είτε από την τεκτονική (ρωγμές- διακλάσεις) ή φαινόμενα χημικής - μηχανικής αποσάθρωσης (καρστικοποίηση).

Με βάση τις τιμές της υδραυλικής αγωγιμότητας, όπως αυτές προκύπτουν από τα στοιχεία των ψηφιακών πολυγωνικών αρχείων υδρολιθολογίας (shp) του Ι.Γ.Μ.Ε., δημιουργήθηκε ο χάρτης βαθμονόμησης υδρολιθολογίας (Χάρτης 27) όπου και οι σχετικές τιμές βαθμονομήθηκαν σε 5 κλάσεις ανάλογα με τον βαθμό συσχέτισης τους με την ενεργή κατείσδυση (Πίνακας 29).

Πίνακας 29: Βαθμονόμηση τιμών Υδρολιθολογίας ως προς την ενεργή κατείσδυση

Συσχέτιση Υδρολιθολογίας / ενεργού κατείσδυσης			
Υδροπερατότητα	K (m/sec)	Βαθμονόμηση	Συσχέτιση
Υδροπερατοί (Υψηλό K)	$10^{-1} - 10^{-3}$	8	Υψηλή
Υδροπερατοί (Μέτριο K)	$10^{-4} - 10^{-6}$	6	Μέτρια
Ημπερατοί (Χαμηλό K)	$10^{-5} - 10^{-7}$	4	Χαμηλή
Υδροστεγανοί (Πολύ χαμηλό K)	$10^{-6} - 10^{-8}$	3	Πολύ Χαμηλή
Υδροστεγανοί (Πάρα πολύ χαμηλό K)	$<10^{-7}$	2	Πάρα Πολύ χαμηλή





Χάρτης 27: : Χαρακτηρισμός επιφανειακής υδρολιθολογίας ως προς την ενεργή κατείδυση

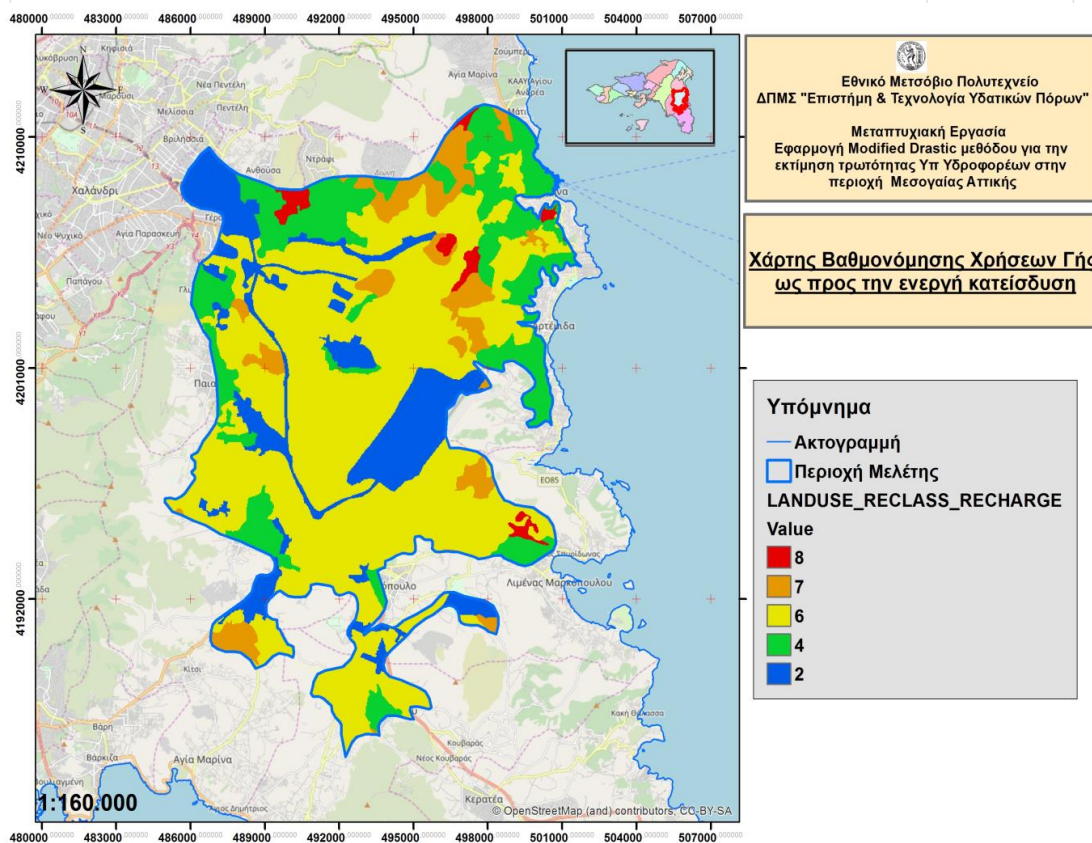
### Χρήσεις Γής

Οι χρήσεις γής αποτελούν ένα βασικό παράγοντα στην εξίσωση του υδρολογικού ισοζυγίου καθώς επιδρούν ανάλογα με το είδος τους στην ενίσχυση της επιφανειακής απορροής είτε στην υπόγεια κατείδυση. Η υπόγεια κατείδυση ευνοείται σε περιοχές με έντονη φυσική βλάστηση, κυρίως δασώδεις εκτάσεις καθώς το επιφανειακό νερό δεν περιορίζεται από κάποιο μέσο να κινηθεί μέσω του εδάφους προς βαθύτερα στρώματα. Οι καλλιεργούμενες εκτάσεις ευνοούν λιγότερο την υπεδάφια κίνηση του επιφανειακού νερού καθώς δημιουργούν εδαφικές παρεμβάσεις που ευνοούν λίγο περισσότερο την επιφανειακή απορροή. Τα τεχνικά έργα και γενικότερα οι αστικές δομές ευνοούν την επιφανειακή απορροή καθώς δημιουργούν αδιαπέρατες επιφάνειες (δρόμοι, πεζοδρόμια, κτήρια, αεροδρόμιο) που δεν βοηθούν το νερό να κινηθεί υπόγεια αλλά αντίθετα επιφανειακά.

Με βάση τις τιμές των χρήσεων γής όπως αυτές προκύπτουν από τον χάρτη **Land cover corine 2012**, δημιουργήθηκε ο χάρτης βαθμονόμησης χρήσεων γής (Χάρτης 28) όπου και οι σχετικές τιμές βαθμονομήθηκαν σε 5 κλάσεις ανάλογα με τον βαθμό συσχέτισης τους με την ενεργή κατείδυση (Πίνακας 30).

Πίνακας 30: Βαθμολόγηση τιμών Χρήσεων Γής ως προς την ενεργή κατείσδυση

Συσχέτιση Χρήσεων Γής / ενεργού κατείσδυσης		
Είδος Χρήσεων Γής	Βαθμολόγηση	Συσχέτιση
Δάσος κωνοφόρων, Φυσικοί Βοσκότοποι, Μεταβατικές θαμνώδεις Εκτάσεις, Αποτεφρωμένες εκτάσεις	8	Πολύ Υψηλή
Γεωργία με σημαντικές εκτάσεις φυσικής βλάστησης	7	Υψηλή
Σύνθετα Συστήματα Καλλιέργειας, Αμπελώνες, Ελαιώνες, Σκληροφυλική βλάστηση	6	Μέτρια
Διακεκομμένη Αστική Δόμηση	4	Χαμηλή
Συνεχής Αστική Δόμηση, Βιομηχανικές Περιοχές, Οδικό Δίκτυο, Αεροδρόμιο, Αθλητικές Εγκαταστάσεις	2	Πολύ χαμηλή



Χάρτης 28: : Βαθμολόγηση Χρήσεων Γής ως προς την ενεργή κατείσδυση

### Πυκνότητα Υδροληψιών

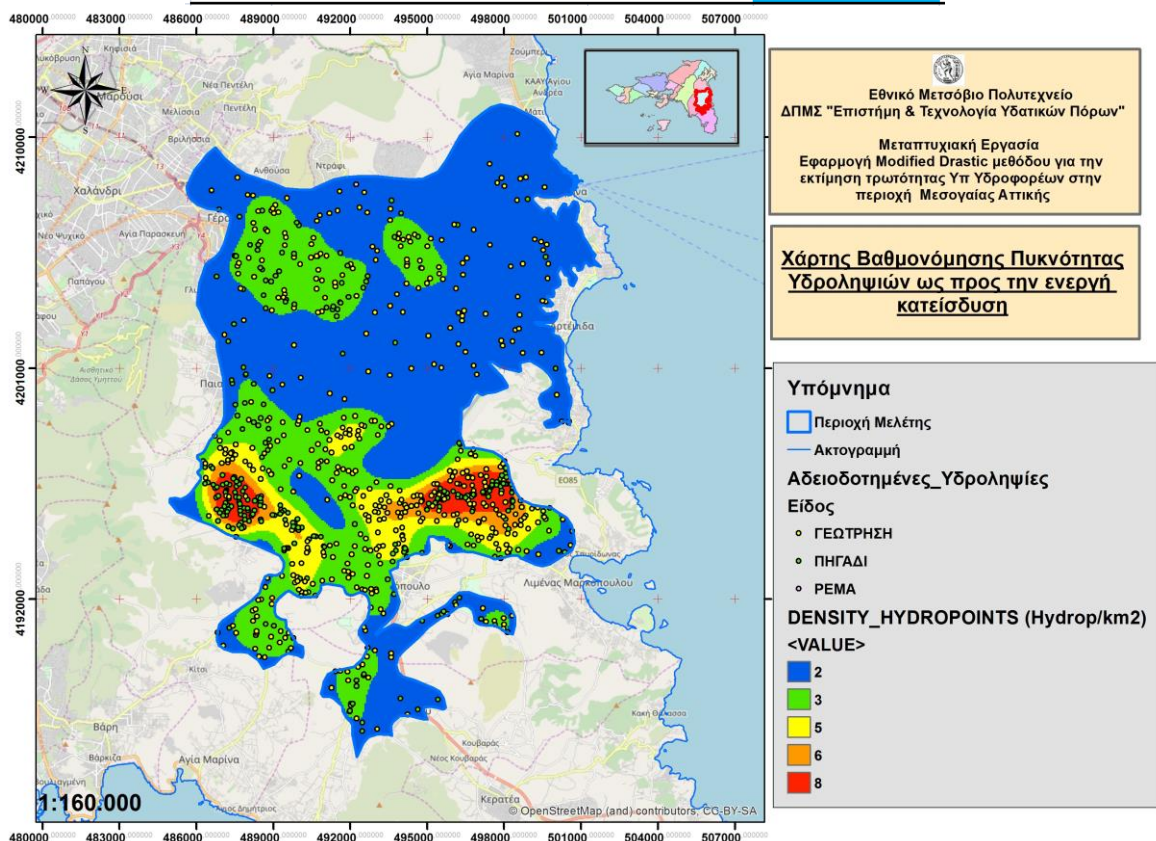
Ένας παράγοντας ο οποίος δύναται να επιδράσει στην ενεργή κατείσδυση είναι το πλήθος των υδροληψιών σε μια περιοχή. Και αυτό γιατί έστω μια μικρή ποσότητα του υπόγειου νερού που αντλείται και χρησιμοποιείται για διάφορες χρήσεις (κυρίως άρδευση και ύδρευση κοινόχρηστων χώρων, κήπων), κινείται υπόγεια συνεισφέροντας με αυτόν τον τρόπο τόσο στον εμπλουτισμό της ακόρεστης ζώνης (υγροσκοπικό νερό) όσο και της κορεσμένης ζώνης (υδροφορείς). Ιδιαίτερα στις περιπτώσεις όπου τα υδροληπτικά έργα αντλούν νερό από βαθύτερους υδροφορείς, βοηθούν στον εμπλουτισμό των ανώτερων υδροφορέων χωρίς να έχουν αντλήσει νερό από αυτούς.

Με βάση γεωχωρικά στοιχεία από την βάση Δεδομένων Αδειοδοτημένων Υδροληψιών της Διεύθυνσης Υδάτων της Αποκεντρωμένης Διοίκησης Αττικής, **επιλέγησαν συνολικά 813 υδροληψίες εντός της περιοχής μελέτης**. Κατόπιν δημιουργήθηκε μέσω κατάλληλου εργαλείου στο ArcGis (kernel density), ο χάρτης πυκνότητας υδροληψιών σε μορφή raster

αρχείου ο οποίος και επαναταξινομήθηκε (βαθμονομήθηκε) σε 5 κλάσεις ανάλογα με τον βαθμό συσχέτισης τους με την ενεργή κατείδυση. Οι περιοχές που εμφανίζουν μεγάλη πυκνότητα υδροληψιών εμφανίζουν μεγαλύτερη συσχέτιση με τον εμπλουτισμό των υπόγειων υδροφορέων από τις επιστροφές του αρδευτικού νερού σε σχέση με τις περιοχές με αραιή πυκνότητα υδροληψιών (Πίνακας 31).

**Πίνακας 31: Βαθμονόμηση τιμών Πυκνότητας Υδροληψιών ως προς την ενεργή κατείδυση**

Συσχέτιση πυκνότητας υδροληψιών / ενεργού κατείδυσης		
Τιμές Πυκνότητας (υδροσημεία/Km <sup>2</sup> )	Βαθμονόμηση	Συσχέτιση
>12	8	Πολύ υψηλή
9 - 12	6	Υψηλή
6 - 9	5	Μέτρια
3 - 6	3	Χαμηλή
0 - 3	2	Πολύ χαμηλή



**(Χάρτης 29: : Βαθμονόμηση Πυκνότητας Υδροληψιών ως προς την ενεργή κατείδυση)**

Για τον τελικό υπολογισμό της ενεργής κατείδυσης αποδόθηκαν βάρη στις σχετικές παραμέτρους ανάλογα με την υποκειμενική σπουδαιότητά τους. Η εξίσωση υπολογισμού της ενεργής κατείδυσης είναι η εξής:

$$\text{Ενεργή κατείδυση } R \text{ (εμπλουτισμός)} = 2 \cdot R_r + T_r + R_{Hr} + W_r + L_{U_r} + S_r + H_r + 2 \cdot D_{Hr}, \quad (3)$$

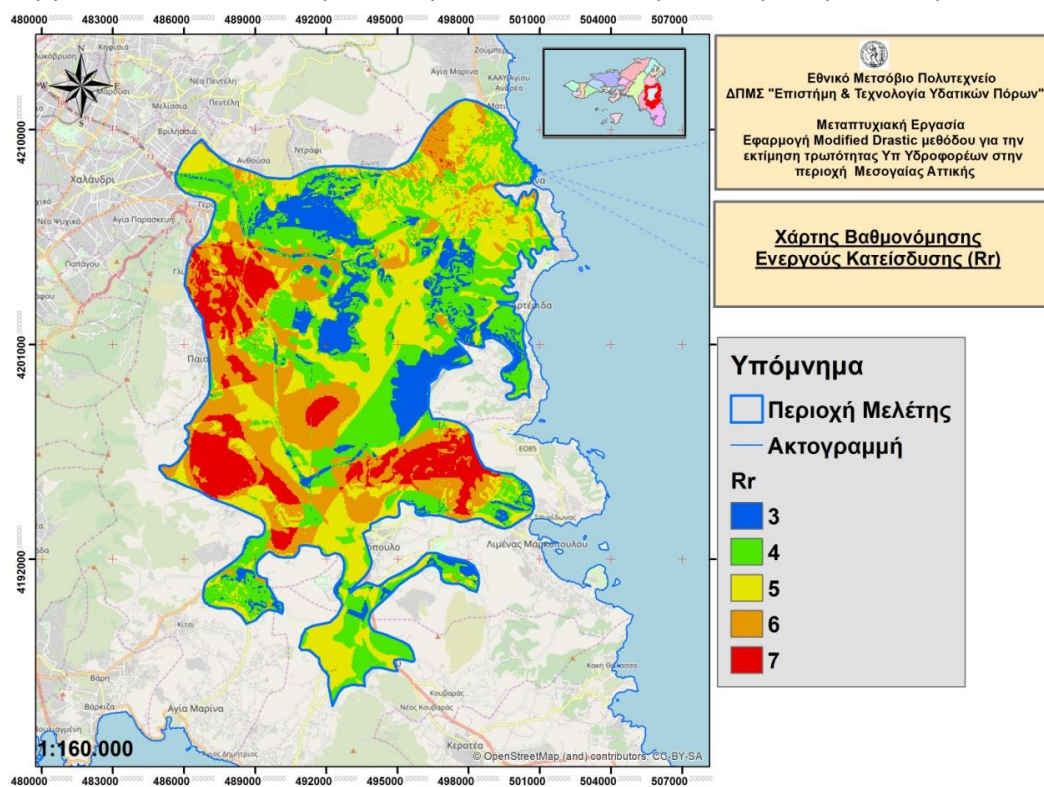
όπου οι εξής βαθμονομημένες τιμές των παραμέτρων,  $R_r$ = Βροχόπτωση,  $T_r$ = Θερμοκρασία,  $R_{Hr}$ = Σχετική Υγρασία,  $W_r$ = Ένταση Ανέμου,  $L_{U_r}$ = Χρήσεις Γής,  $S_r$ = Μορφολογικές Κλίσεις,  $H_r$ = Επιφανειακή Υδρολιθολογία και  $D_{Hr}$ = Πυκνότητα Υδροληψιών.

Σύμφωνα με την ανωτέρω εξίσωση δημιουργήθηκε μέσω του εργαλείου raster calculator ένα καινούργιο ψηφιδωτό αρχείο του οποίου οι τιμές βαθμονομήθηκαν (επαναταξινομήθηκαν) σε 5 κλάσεις από το 3 έως το 7 ανάλογα με τον βαθμό συσχέτισης τους με την τρωτότητα των υπόγειων υδροφορέων (Πίνακας 32).

**Πίνακας 32: Βαθμονόμηση τιμών μοντέλου ως προς την ενεργή κατείσδυση**

Πίνακας Βαθμονόμησης παραμέτρου Ενεργού Κατείσδυσης $R_r$		
Τιμές Recharge	Βαθμονόμηση	Τρωτότητα
> 54	7	Πολύ υψηλή
50,1 - 54	6	Υψηλή
47,1 - 50	5	Μέτρια
43,1 - 47	4	Χαμηλή
<= 43	3	Πολύ χαμηλή

Σύμφωνα με τις τιμές του Πίνακα 32, δημιουργήθηκε ο τελικός χάρτης βαθμονόμησης ενεργού κατείσδυσης ως προς την τρωτότητα των υπόγειων υδροφορέων (Χάρτης 30).



**Χάρτης 30: Βαθμονόμηση ενεργού κατείσδυσης  $R_r$  ως προς την Τρωτότητα**

### 7.1.1.3 Μέσο Υδροφορέα (A)

Το μέσο του υδροφορέα (A) αποτελεί σημαντική παράμετρο για την εκτίμηση της τρωτότητας, καθώς καθορίζει την ικανότητά του υδροφόρου μέσου να συμμετάσχει στην εξασθένιση του ρυπαντικού φορτίου.

Σύμφωνα με τα στοιχεία λιθολογικών τομών των υδροσημείων της παρούσας εργασίας (σε περίπτωση πολλαπλών νεογενών υδροφορέων επιλέχθηκε ο ανώτερος στην κατακόρυφη έννοια υδροφορέας) καθώς επίσης σε περίπτωση ελλείψεως αυτών σε στοιχεία

υδρογεωλογικών μελετών γειτονικών υδροληπτικών έργων, καταρτίστηκε ο πίνακας κωδικοποίησης τιμών της εν λόγω παραμέτρου (Πίνακας 33) ούτως ώστε να μπορέσει να δημιουργηθεί το σχετικό αρχείο raster. Οι εν λόγω τιμές ταξινομήθηκαν σε 6 κλάσεις όπου και βαθμονομήθηκαν σε κλίμακα από το 2 έως το 9 ανάλογα την συμβολή τους στην τρωτότητα ως προς την εξωτερική ρύπανση (Πίνακας 34).

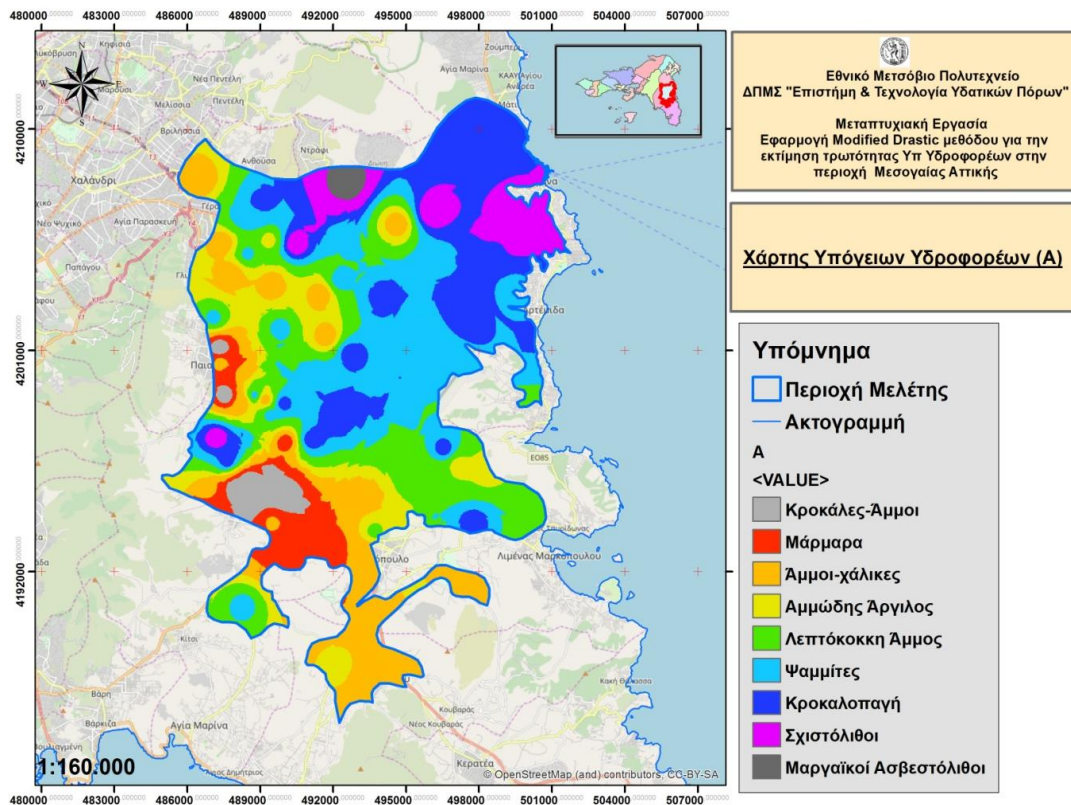
**Πίνακας 33: Κωδικοποίηση υπόγειων υδροφορέων περιοχής μελέτης**

Κωδικοποίηση Μέσου Υδροφορέα	
Υδροφόρο στρώμα	Κωδικοί
Κροκάλες-Άμμοι	1
Μάρμαρα	2
Άμμοι-χάλικες	3
Αμμώδης Άργιλος	4
Λεπτόκοκκη Άμμος	5
Ψαμμίτες	6
Κροκαλοπαγή	7
Σχιστόλιθοι	8
Μαργαϊκοί Ασβεστόλιθοι	9

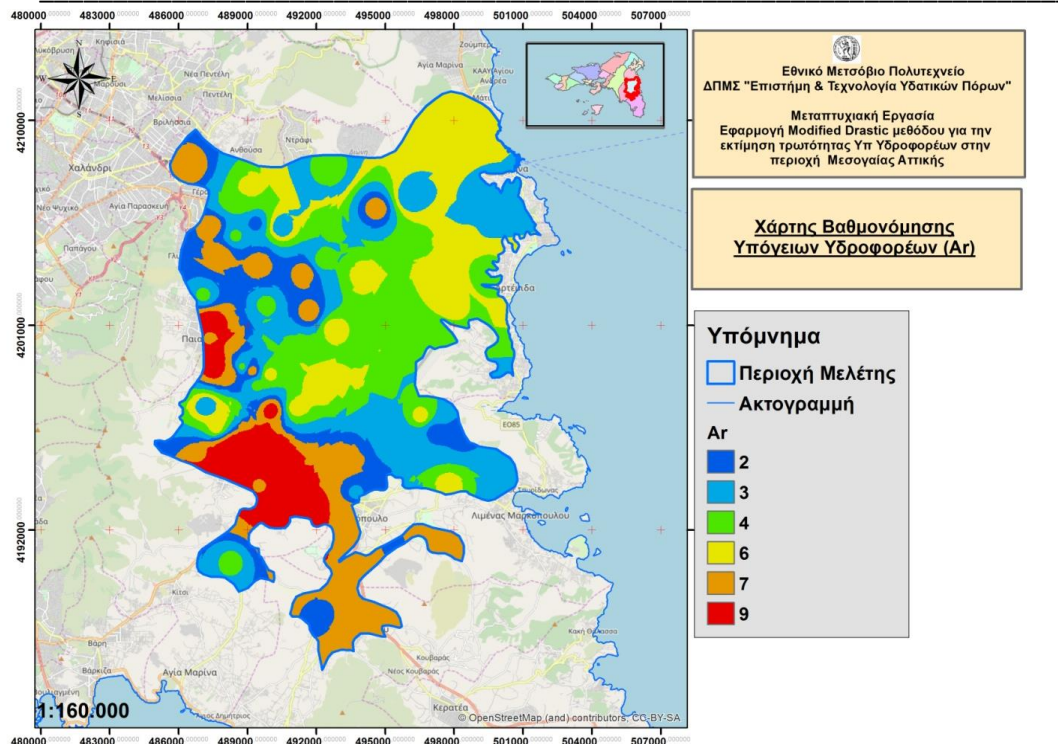
**Πίνακας 34: Βαθμονόμηση τιμών παραμέτρου μέσου Υδροφορέα Ατ**

Πίνακας Βαθμονόμησης παραμέτρου Υδροφορέα Ατ		
Υδροφόρο στρώμα	Βαθμονόμηση	Τρωτότητα
Κροκάλες-Άμμοι, Μάρμαρα	9	Πολύ Υψηλή
Άμμοι-χάλικες	7	Υψηλή
Κροκαλοπαγή	6	Μέτρια
Μαργαϊκοί Ασβεστόλιθοι, Ψαμμίτες	4	Χαμηλή
Λεπτόκοκκη Άμμος, Σχιστόλιθοι	3	Πολύ χαμηλή
Αμμώδης Άργιλος	2	Πάρα πολύ χαμηλή

Στους παρακάτω χάρτες απεικονίζεται η χωρική κατανομή των υπόγειων υδροφορέων και της βαθμονόμησης της εν λόγω παραμέτρου στην εξωτερική ρύπανση.



**Χάρτης 31: : Μέσο Υπόγειων Υδροφορέων περιοχής μελέτης Α**



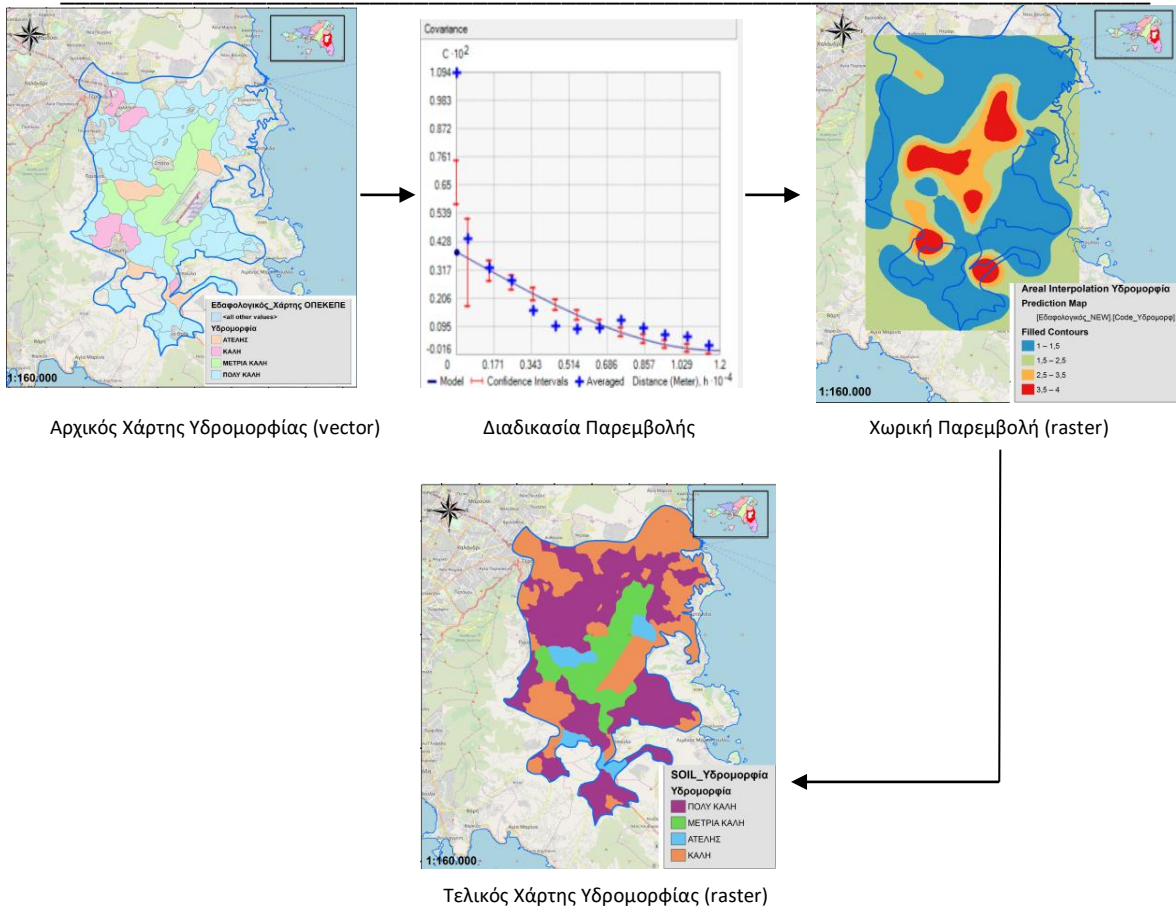
#### 7.1.1.4 Εδαφική Υφή (S)

Το εδαφικό υλικό συμμετέχει στις διαδικασίες εξασθένισης των ρύπων βάση της κοκκομετρίας του και ανάλογα με τη δράση της οργανικής ύλης και των αργιλικών υλικών που πιθανά περιέχει.

Για τον υπολογισμό της εν λόγω παραμέτρου χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα που σχετίζονται με την εδαφική υφή όπως είναι η κοκκομετρία και η υδρομορφία σύμφωνα με τον ψηφιακό εδαφολογικό χάρτη του Ο.Π.Ε.Κ.Ε.Π.Ε (2015) σε κλίμακα 1/30000 (vector αρχείο).

Ωστόσο υπήρχαν τμήματα της περιοχής μελέτης στις οποίες δεν υπήρχαν τιμές λόγω εδαφικής κάλυψης (αστικές περιοχές, οδικό δίκτυο, αεροδρόμιο). Για να μπορέσουμε να λύσουμε το εν λόγω πρόβλημα αρχικά μετατρέψαμε το διανυσματικό αρχείο σε ψηφιδωτό (κωδικοποίηση) και κατόπιν χρησιμοποιήθηκε το εργαλείο χωρικής παρεμβολής **Area Interpolation** μέσω του οποίου δίνονται τιμές σε κενά πολύγωνα από τα αντίστοιχα γειτονικά τους. Οι κενές περιοχές της περιοχής μελέτης θεωρήθηκαν ως ενιαίο πολύγωνο και η αντίστοιχη παραμετρική τιμή προέκυψε ανάλογα με τις τιμές γειτονικών πολυγώνων βάσει απόστασης. Με αυτόν τον τρόπο δημιουργήθηκαν τα αντίστοιχα αρχεία raster.

Παρακάτω αναλύεται διαγραμματικά η παραγωγή των σχετικών χαρτών υδρομορφίας.



### Κοκκομετρία

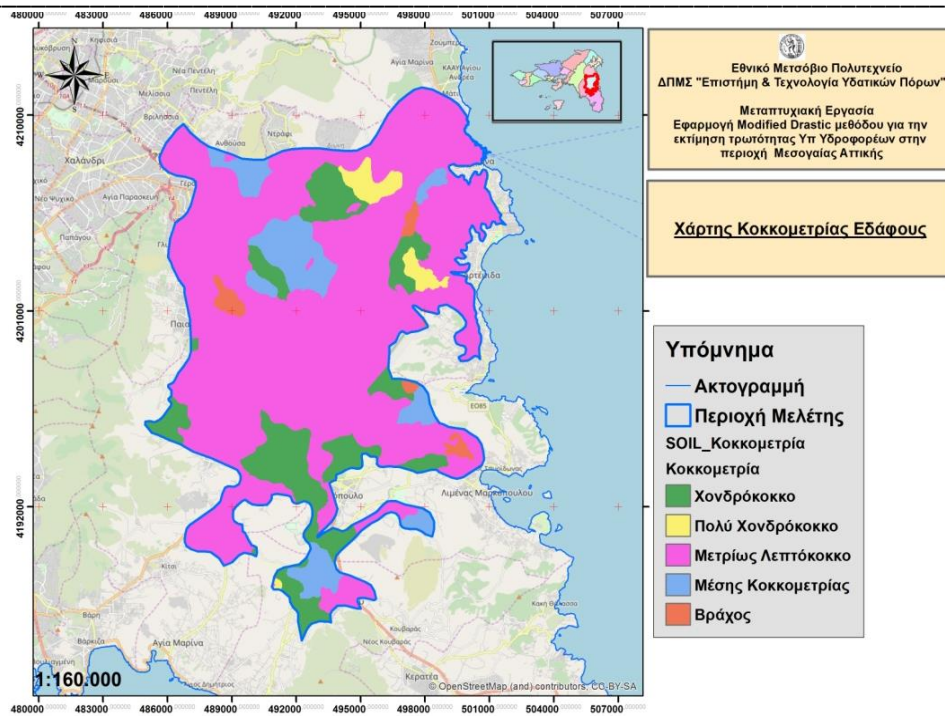
Η κοκκομετρία αποτελεί μια σημαντική εδαφική παράμετρος καθώς ανάλογα με την τιμή της συντελεί ή όχι στην εξασθένιση της κίνησης ρύπων προς τα βαθύτερα στρώματα. Έτσι λεπτόκοκκα υλικά (πχ άργιλος) βοηθά στην συγκράτηση των ρύπων ενώ πιο χονδρόκοκκα υλικά δεν συγκρατούν με ευκολία ρυπογόνες διαλυμένες μάζες.

Για τον υπολογισμό της εν λόγω παραμέτρου χρησιμοποιήθηκαν γεωχωρικά δεδομένα (raster) που αφορούν την εδαφική κοκκομετρία σε βάθη από 0,25 έως 1,5 μέτρα.

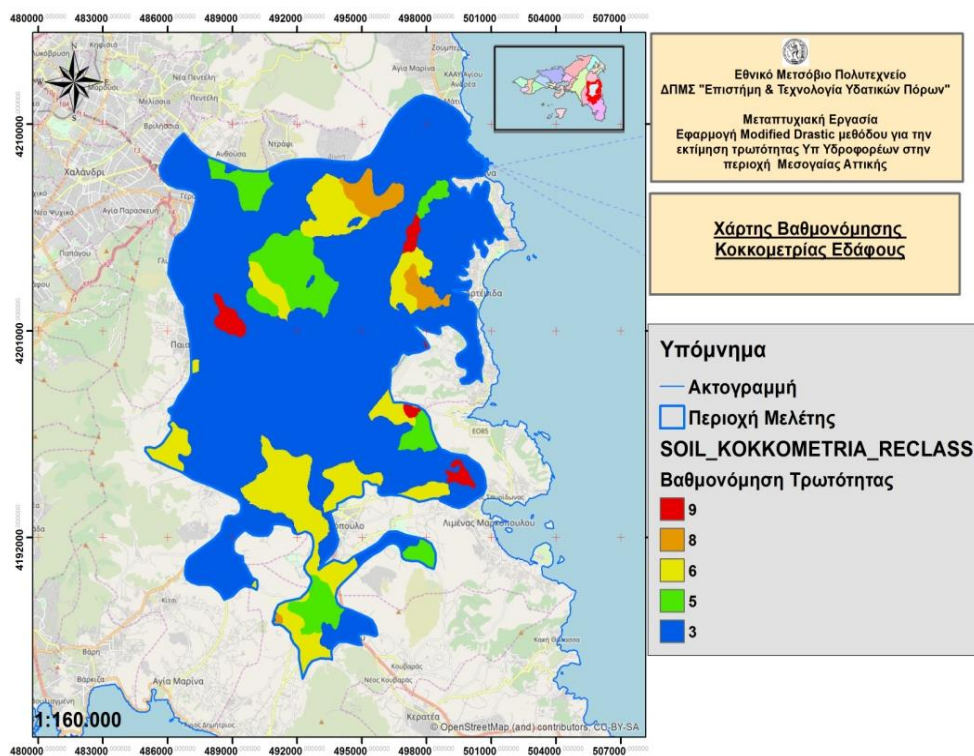
Σύμφωνα με τον Πίνακα 35 οι τιμές της παραμέτρου ταξινομήθηκαν σε 5 κλάσεις όπου και βαθμονομήθηκαν σε κλίμακα από το 3 έως το 9 ανάλογα την τρωτότητα ως προς την εξωτερική ρύπανση.

Πίνακας 35: Βαθμονόμηση τιμών Κοκκομετρίας

Πίνακας Βαθμονόμησης τιμών Κοκκομετρίας Εδάφους		
Τιμές	Βαθμονόμηση	Τρωτότητα
Απουσία (Βράχος)	9	Πάρα Πολύ Υψηλή
Πολύ χονδρόκοκκο	8	Υψηλή
Χονδρόκοκκο	6	Μέτρια
Μέσης Κοκκομετρίας	5	Χαμηλή
Μετρίως Λεπτόκοκκο	3	Πολύ Χαμηλή



Χάρτης 32: : Κοκκομετρία Εδάφους



Χάρτης 33: : Βαθμονόμηση Κοκκομετρίας Εδάφους ως προς την Τριωτίτητα

### Υδρομορφία

Η υδρομορφία αποτελεί μια εδαφική παράμετρος η οποία καθορίζει την δυνατότητα στράγγισης του νερού προς τα βαθύτερα στρώματα. Έτσι εδάφη με χαμηλή στράγγιση συγκρατούν περισσότερο νερό.

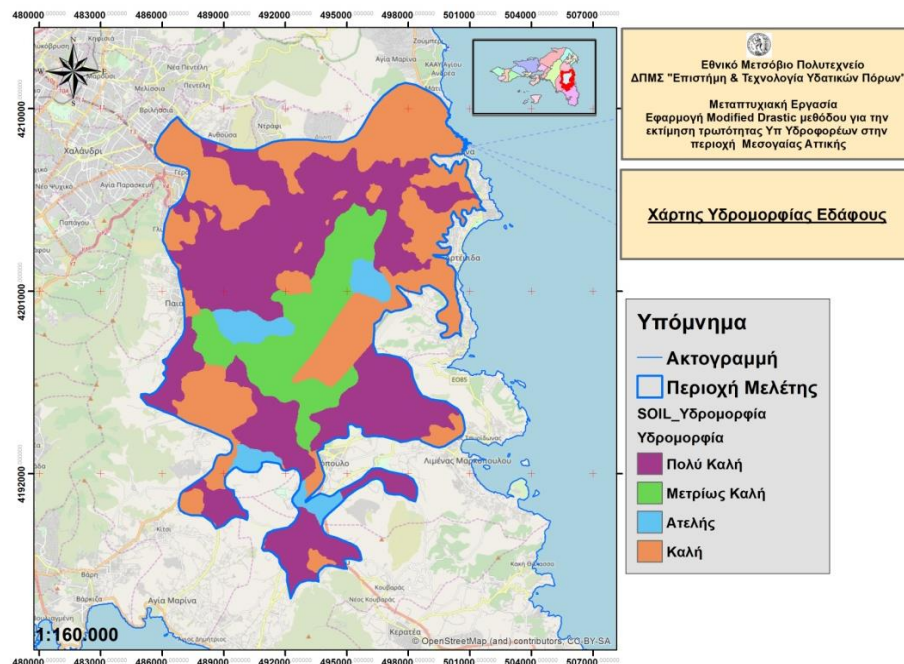


Για τον υπολογισμό της εν λόγω παραμέτρου χρησιμοποιήθηκαν γεωχωρικά δεδομένα (raster) που αφορούν την εδαφική υδρομορφία σε βάθη από 0,25 έως 1,5 μέτρα.

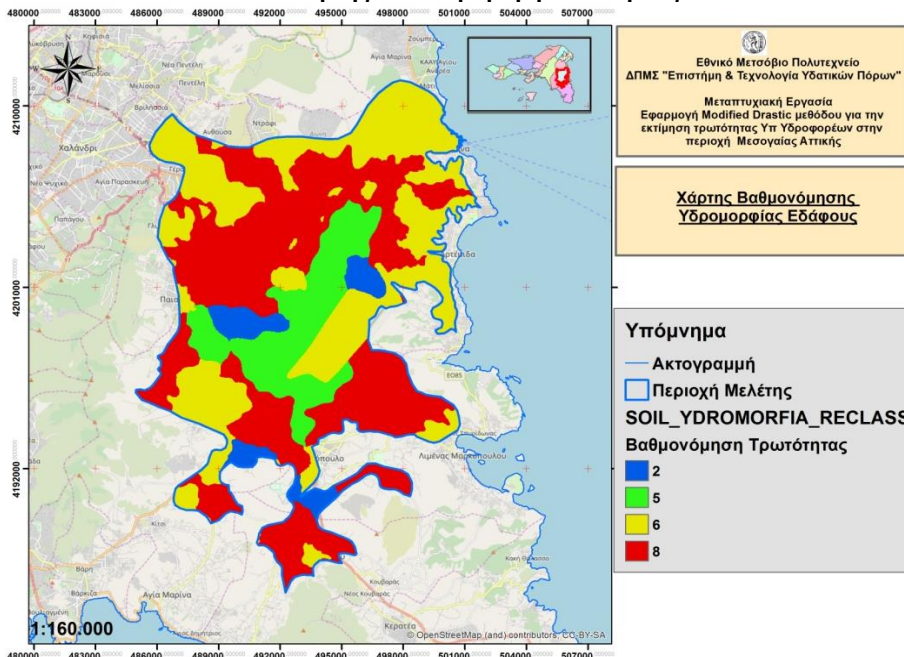
Σύμφωνα με τον Πίνακα 36 οι τιμές της παραμέτρου ταξινομήθηκαν σε 5 κλάσεις όπου και βαθμονομήθηκαν σε κλίμακα από το 2 έως το 8 ανάλογα την τρωτότητα ως προς την εξωτερική ρύπανση.

**Πίνακας 36: Βαθμονόμηση τιμών Υδρομορφίας**

Πίνακας Βαθμονόμησης τιμών Υδρομορφίας Εδάφους (Στράγγιση)		
Τιμές	Βαθμονόμηση	Τρωτότητα
Πολύ Καλή	8	Υψηλή
Καλή	6	Μέτρια
Μέτρια Καλή	5	Χαμηλή
Ατελής	2	Πολύ Χαμηλή



**Χάρτης 34: : Υδρομορφία Εδάφους**



**Χάρτης 35: : Βαθμονόμηση Υδρομορφίας Εδάφους**

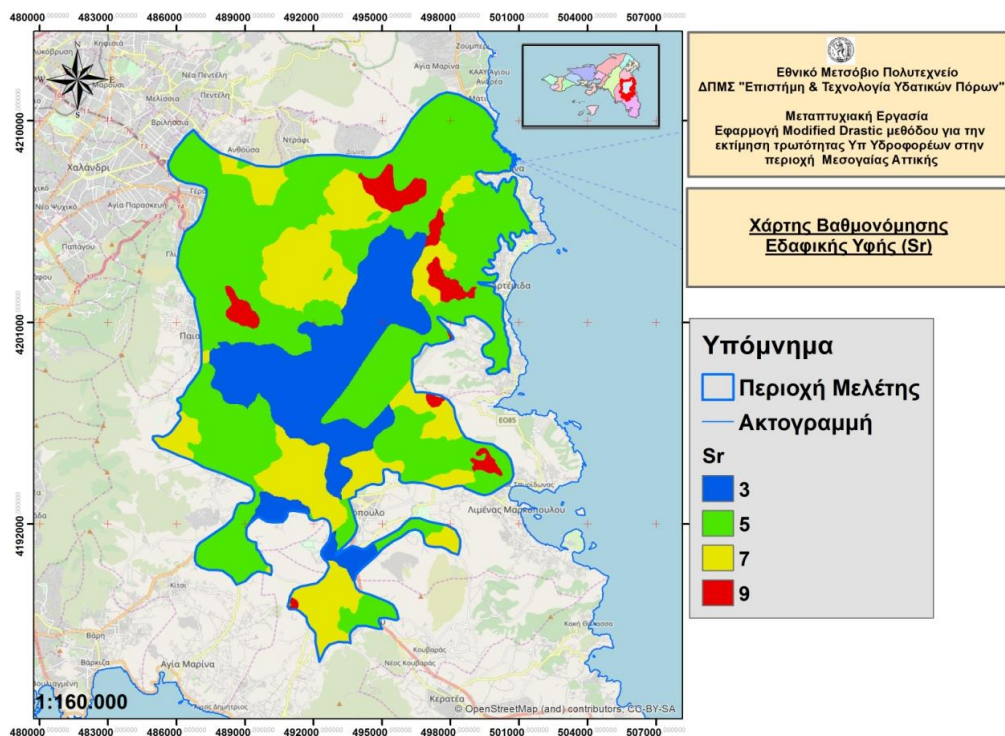
Για τον τελικό υπολογισμό της επίδρασης της εδαφικής υφής αποδόθηκαν ίσα βάρη στις σχετικές παραμέτρους. Η εξίσωση υπολογισμού της εδαφικής υφής (S) είναι η εξής :

$$\text{Εδαφική Υφή (S)} = \text{Κοκκομετρία (Βαθμονόμηση)} + \text{Υδρομορφία (Βαθμονόμηση)} \quad (4)$$

Σύμφωνα με την ανωτέρω εξίσωση δημιουργήθηκε μέσω του εργαλείου raster calculator ένα καινούργιο ψηφιδωτό αρχείο (raster) του οποίου οι τιμές βαθμονομήθηκαν (επαναταξινομήθηκαν) σε 5 κλάσεις δεκαβάθμιας κλίμακας ανάλογα με τον βαθμό συσχέτισης τους με την ενεργή κατείσδυση (Πίνακας 37).

Πίνακας 37: Βαθμονόμηση τιμών Εδαφικής Υφής Sr

Πίνακας Βαθμονόμησης Παραμέτρου Εδάφους Sr		
Τιμές	Βαθμονόμηση	Τρωτότητα
14 - 17	9	Πολύ Υψηλή
11 - 14	7	Υψηλή
8 - 11	5	Μέτρια
5 - 8	3	Χαμηλή



Χάρτης 35: : Βαθμονόμηση Εδαφικής Υφής Sr ως προς την Τρωτότητα

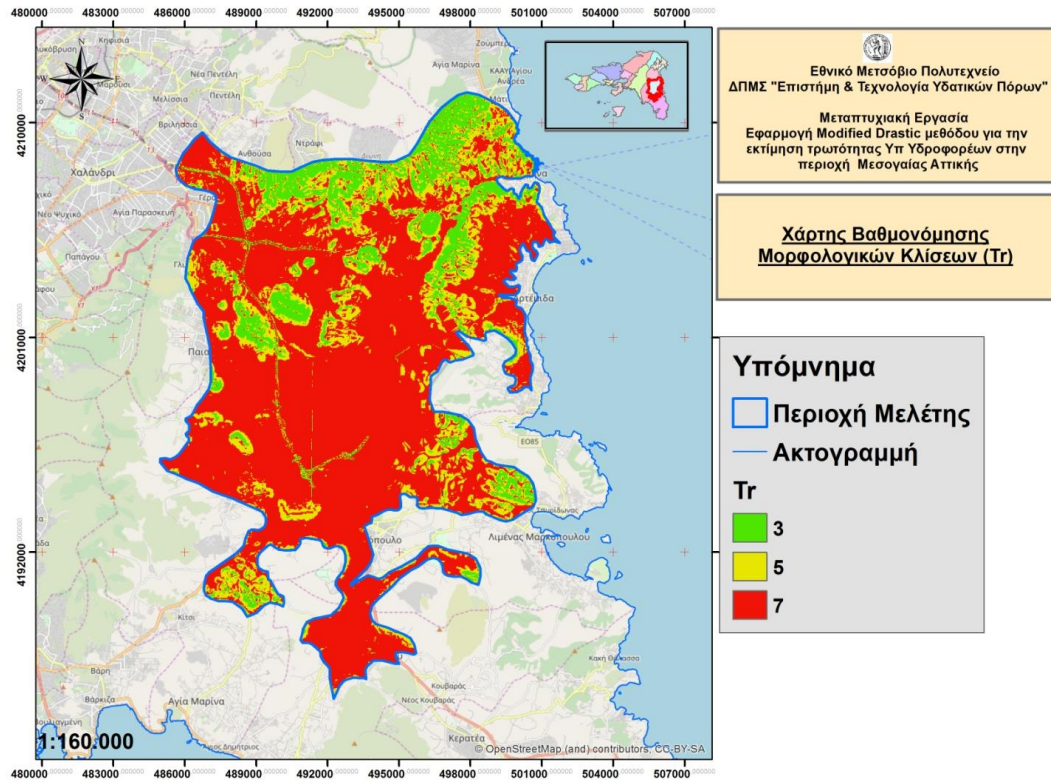
#### 7.1.1.5 Μορφολογία (T)

Η Μορφολογία μιας περιοχής αποτελεί παράγοντα της μεθόδου DRASTIC καθώς σε περιοχές με ήπιες μορφολογικές κλίσεις ευνοείται η κατείσδυση ρύπου άρα και η ρύπανση των υπόγειων υδροφορέων. Το αντίθετο συμβαίνει σε περιοχές με απότομες κλίσεις.

Με βάση το ψηφιακό μοντέλο εδάφους της περιοχής μελέτης και μετά από τις σχετικές διορθώσεις τυχόν μορφολογικών βυθισμάτων (fill sinks) δημιουργήθηκε ο χάρτης μορφολογικών κλίσεων όπου και οι σχετικές τιμές βαθμονομήθηκαν σε 3 κλάσεις από το 3 έως το 7 ανάλογα με τον βαθμό συσχέτισης τους με την τρωτότητα στην εξωτερική ρύπανση (Πίνακας 38).

Πίνακας 38: Βαθμονόμηση τιμών Μορφολογίας Tr

Πίνακας Βαθμονόμησης Κριτηρίου Μορφολογίας Tr		
Τιμές (Μοίρες)	Βαθμονόμηση	Τρωτότητα
0 - 4	7	Υψηλή
4,1 - 8	5	Μέτρια
> 8	3	Χαμηλή



Χάρτης 35: : Βαθμονόμηση Μορφολογίας Tr ως προς την Τρωτότητα

#### 7.1.1.6 Ακόρεστη Ζώνη (I)

Το υλικό της ακόρεστης ζώνης παίζει σημαντικό ρόλο στην επιδεκτικότητα του υδροφορέα προς ρύπανση, διότι η κοκκομετρία του υλικού που την αποτελεί, η ορυκτολογία των εδαφικών υλικών (περιεκτικότητα σε αργιλικά ορυκτά), καθώς και η περιεκτικότητά της σε οργανική ύλη αποτελούν παραμέτρους που καθορίζουν την ικανότητά της να προστατεύει τον υπόγειο υδροφορέα από τους επιφανειακούς ρυπαντές.

Σύμφωνα με τα στοιχεία λιθολογικών τομών των υδροσημείων της παρούσας εργασίας καθώς επίσης σε περίπτωση ελλείψεως αυτών σε στοιχεία υδρογεωλογικών (μελέτες επαναχρησιμοποίησης επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων) και γεωτεχνικών μελετών γειτονικών υδροσημείων καταρτίστηκε ο πίνακας τιμών της εν λόγω παραμέτρου (Πίνακας 39) ούτως ώστε να μπορέσει να δημιουργηθεί το σχετικό αρχείο raster. Οι εν λόγω τιμές ταξινομήθηκαν σε 5 κλάσεις όπου και βαθμονομήθηκαν σε κλίμακα από το 3 έως το 8 ανάλογα την συμβολή τους στην τρωτότητα ως προς την εξωτερική ρύπανση (Πίνακας 40).

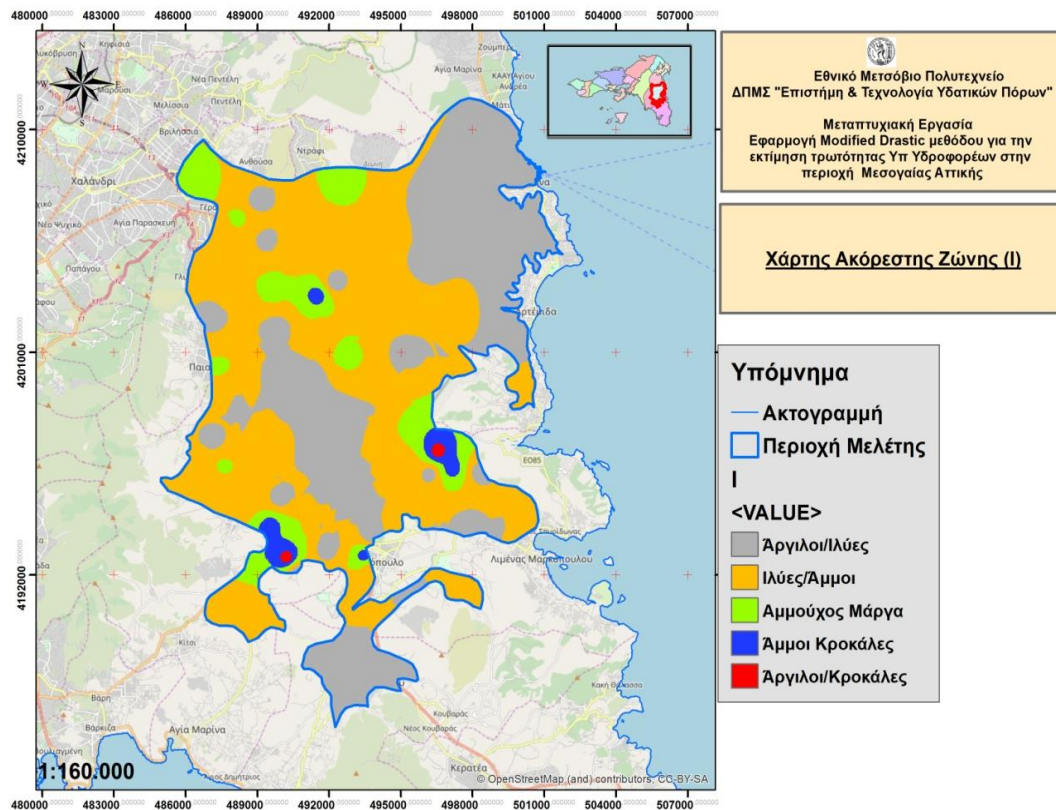
Πίνακας 39: Κωδικοποίηση Είδους Ακόρεστης Ζώνης

Κωδικοποίηση Ακορεστης Ζώνης	
Είδος Ακόρεστης Ζώνης	Κωδικοί
Άργιλοι/Ιλύες	1
Ιλύες/Άμμοι	2
Αμμούχος Μάργα	3
Άμμοι Κροκάλες	4
Άργιλοι/Κροκάλες	5

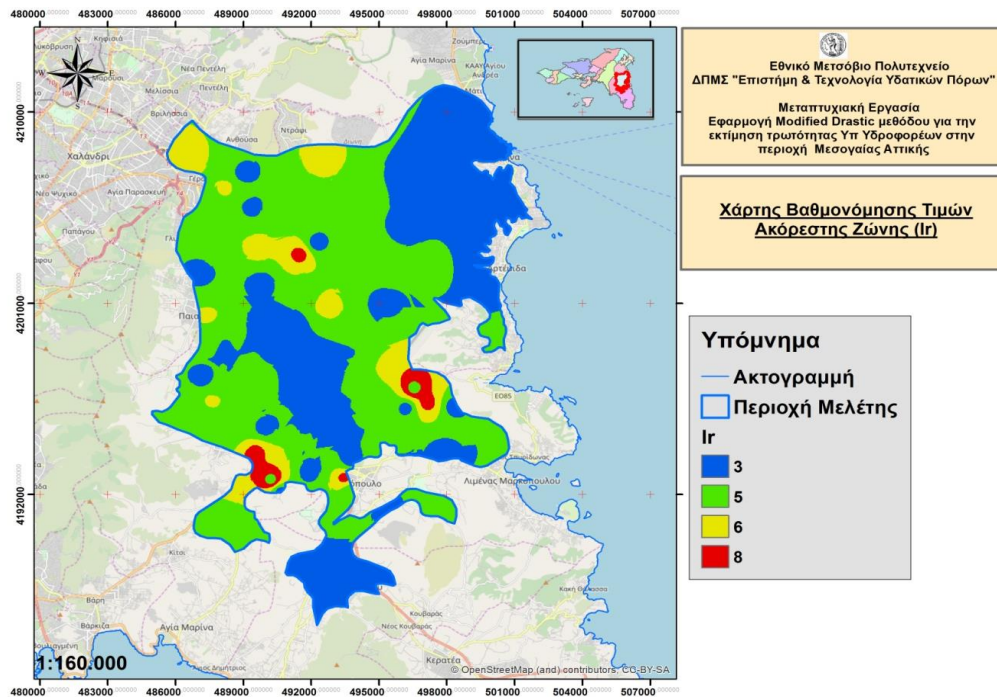
Πίνακας 40: Βαθμονόμηση Είδους Ακόρεστης Ζώνης ως προς την Τρωτότητα Ir

Πίνακας Βαθμονόμησης Κριτηρίου Ακόρεστης Ζώνης Ir		
Τιμές	Βαθμονόμηση	Τρωτότητα
Άμμοι/Κροκάλες	8	Υψηλή
Αμμούχος Μάργα	6	Μέτρια
Ιλύες/Άμμοι, Άργιλοι/Κροκάλες	5	Χαμηλή
Άργιλοι/Ιλύες	3	Πολύ Χαμηλή

Στους παρακάτω χάρτες αποτυπώνεται αφενός η χωρική κατανομή του είδους της ακόρεστης ζώνης I (Χάρτης 36) και αφετέρου η χωρική κατανομή βαθμονόμησης του είδους της Ακόρεστης Ζώνης Ir (Χάρτης 37) ως προς την Τρωτότητα στην εξωτερική ρύπανση.



Χάρτης 36: : Ακόρεστη Ζώνη I



### 7.1.1.7 Υδραυλική Αγωγιμότητα (C)

Η χωρική κατανομή της υδραυλικής αγωγιμότητας τόσο κατά την οριζόντια όσο και κατά την κατακόρυφη έννοια αποτελεί καθοριστική παράμετρο σε ό,τι αφορά στην ικανότητα του υπόγειου νερού να μεταφέρει τους ρυπαντές.

Σύμφωνα με τα στοιχεία δοκιμαστικών αντλήσεων των υδροσημείων της παρούσας εργασίας καθώς επίσης σε περίπτωση ελλείψεως αυτών σε βιβλιογραφικά δεδομένα καταρτίστηκε ο πίνακας τιμών της εν λόγω παραμέτρου (Πίνακας 41).

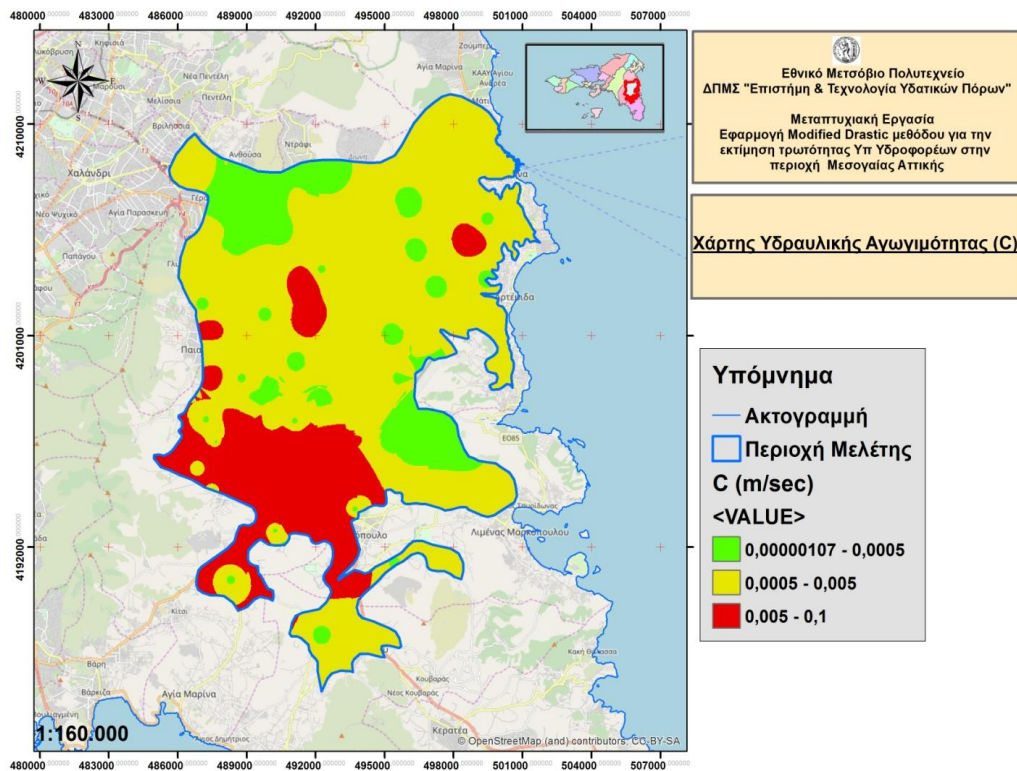
**Πίνακας 41: Τιμές υδραυλικής αγωγιμότητας m/sec υδροφόρων στρωμάτων**

Τιμές υδραυλικής αγωγιμότητας K (m/sec)	
Είδος Υδροφόρου	K (m/s)
Κροκάλες-Άμμοι	$10^0 \cdot 10^{-3}$
Άμμοι-χάλικες	$10^{-2} \cdot 10^{-3}$
Αμμώδης Άργιλος	$10^{-4} \cdot 10^{-8}$
Κροκαλοπαγή	$10^{-2} \cdot 10^{-5}$
Λεπτόκοκκη Άμμος	$10^{-4} \cdot 10^{-6}$
Μαργαϊκοί Ασβεστόλιθοι	$10^{-6} \cdot 10^{-9}$
Μάρμαρα	$10^{-1} \cdot 10^{-5}$
Σχιστόλιθοι	$10^{-5} \cdot 10^{-10}$
Ψαμμίτες	$10^{-4} \cdot 10^{-7}$

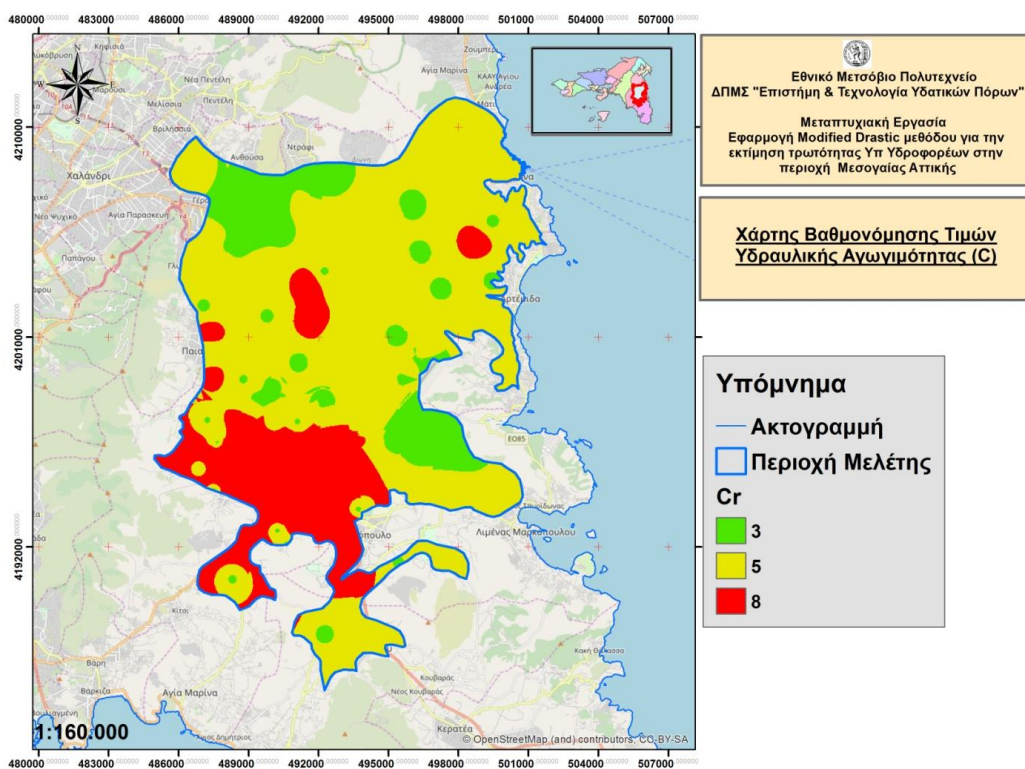
Οι εν λόγω τιμές ταξινομήθηκαν σε 6 κλάσεις όπου και βαθμονομήθηκαν σε κλίμακα από το 2 έως το 9 ανάλογα την συμβολή τους στην τρωτότητα ως προς την εξωτερική ρύπανση (Πίνακας 42).

**Πίνακας 42: Βαθμονόμηση Τιμών Υδραυλικής Αγωγιμότητας ως προς την Τρωτότητα Cr**

Πίνακας Βαθμονόμησης Κριτηρίου Υδραυλική Αγωγιμότητας Cr		
Τιμές K (m/s)	Βαθμονόμηση	Τρωτότητα
$10^{-1} - 10^{-2}$	8	Υψηλή
$10^{-2} - 10^{-3}$	5	Μέτρια
$10^{-3} - 10^{-6}$	3	Χαμηλή



Χάρτης 38: : Υδραυλική Αγωγιμότητα Υπόγειων Υδροφορέων



Χάρτης 39: : Βαθμονόμηση Υδραυλικής Αγωγιμότητας Cr ως προς την Τρωτότητα

### 7.1.2 Θηκογράμματα κατανομής Νιτρικών Ιόντων ανά Παράμετρο

Στην περιγραφική στατιστική, το θηκόγραμμα (boxplot) είναι ένας τρόπος γραφικής απεικόνισης πέντε αριθμητικών δεδομένων μιας σειράς παρατηρήσεων: της μικρότερης παρατήρησης, του πρώτου τεταρτημόριου ( $Q_1$ ), της διαμέσου ( $\delta$ ), του τρίτου τεταρτημόριου ( $Q_3$ ), και της μεγαλύτερης παρατήρησης. Το θηκόγραμμα δείχνει διαφορές μεταξύ των πληθυσμών. Οι αποστάσεις μεταξύ των διαφόρων τμημάτων του θηκογράμματος βοηθούν να φανεί το μέγεθος της διασποράς και η ασυμμετρία των δεδομένων.

Σύμφωνα με τα παρακάτω θηκογράμματα που δείχνουν την κατανομή των νιτρικών ιόντων ως προς τις στατιστικά διαφορετικές κλάσεις των παραμέτρων της μεθόδου DRASTIC, παρατηρούμε ότι στις συνεχείς (continuous) παραμέτρους (Βάθος υδροφόρου, Μορφολογική κλίση, Υδραυλική αγωγιμότητα), οι μέσοι όροι συγκέντρωσης νιτρικών ακολουθούν την ίδια ανοδική ή καθοδική πορεία με τις αντίστοιχες φυσικές τιμές μεταβολής, αλλά και τις σχετικές παραγοντικές τιμές (factor rates) της κάθε κλάσης.

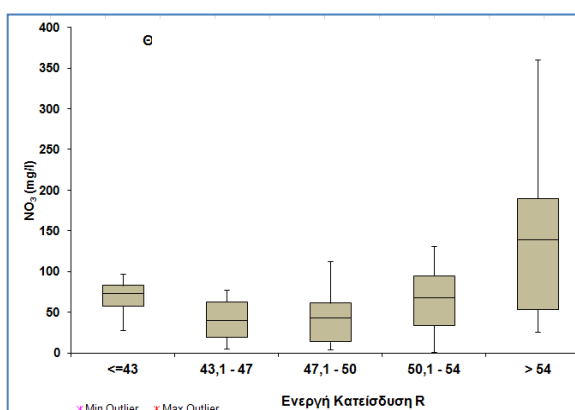
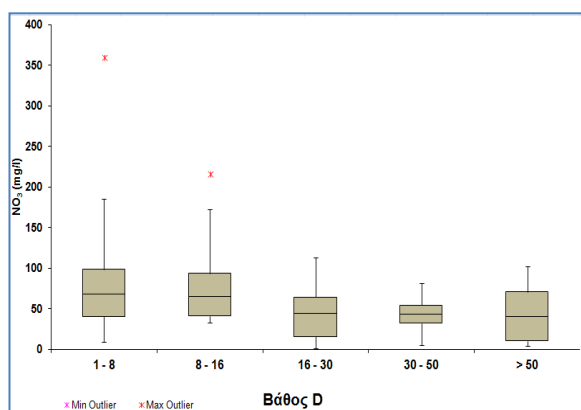
Αντίθετα στην ενεργή κατείσδυση και κυρίως στην εδαφική υφή οι μέσοι όροι συγκέντρωσης των νιτρικών ιόντων δεν ακολουθούν τις φυσικές τιμές των παραμέτρων.

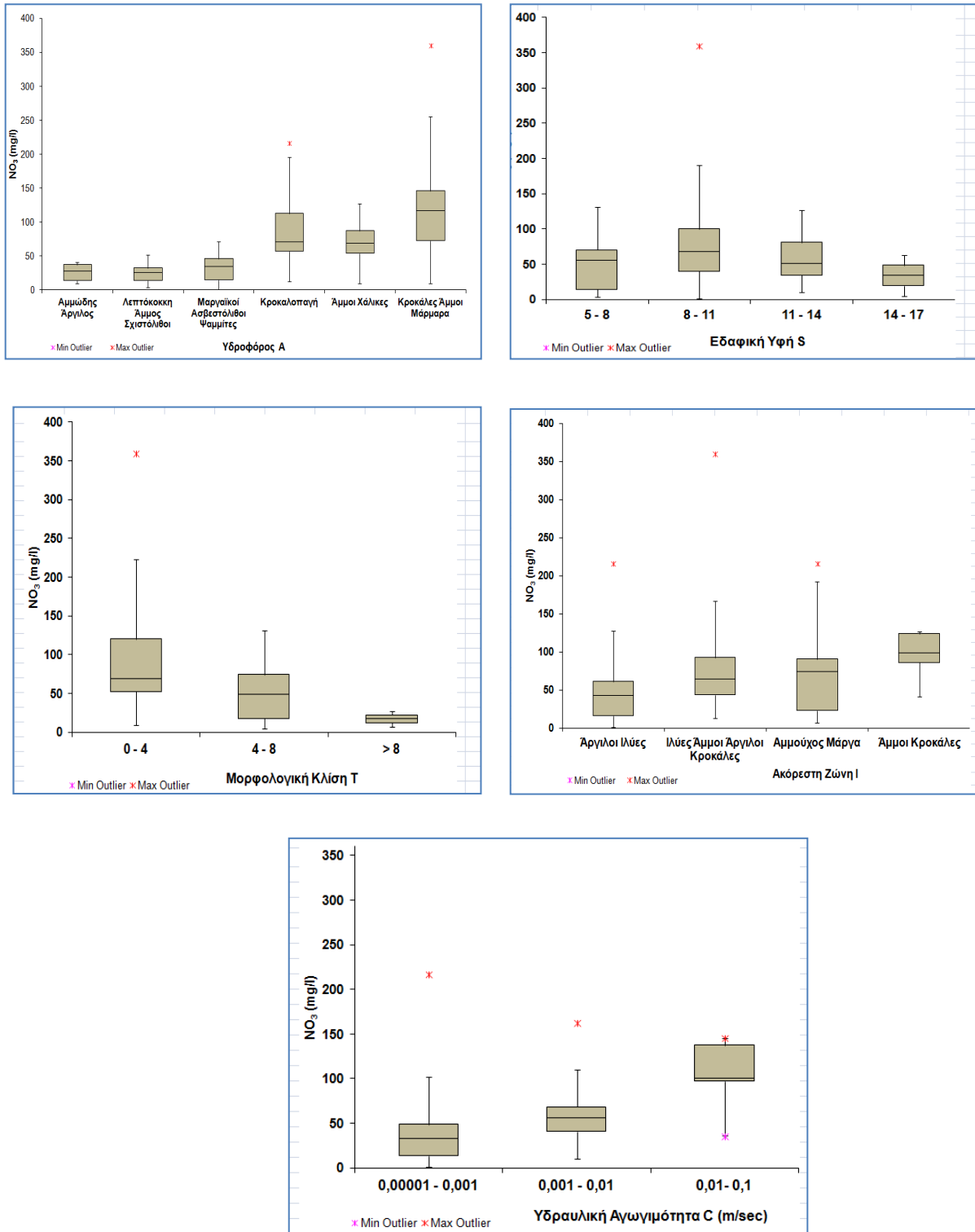
Σημαντικές διακυμάνσεις παρατηρούνται στις αρχικές παραμετρικές τιμές του βάθους υδροφόρων και στην μορφολογική κλίση καθώς επίσης στην εδαφική υφή (2η κλάση).

Όσον αφορά τις μη συνεχείς παραμέτρους (nominal factors), οι μέσοι όροι συγκέντρωσης νιτρικών ακολουθούν σε γενικές γραμμές την ίδια ανοδική ή καθοδική πορεία με τις αντίστοιχες φυσικές τιμές μεταβολής, αλλά και τις σχετικές παραγοντικές τιμές (factor rates) της κάθε κλάσης.

Μεγαλύτερες διακυμάνσεις παρατηρούνται στα κροκαλοπαγή και στις ομαδοποιημένες τιμές (κροκάλες- Άμμοι-Μάρμαρα) όσον αφορά το μέσο υδροφορέα καθώς επίσης στις Αργίλους – Ιλύες και Ιλύες – Άμμοι Άργιλοι – Κροκάλες όσον αφορά την ακόρεστη ζώνη.

Στο παρακάτω σχήματα αποτυπώνονται τα θηκογράμματα των παραμέτρων της μεθόδου DRASTIC βάσει των κλάσεων ταξινόμησης.





Σχήμα 5: Θηκογράμματα συγκέντρωσης νιτρικών ιόντων στους υδροφορείς της περιοχής μελέτης για τις στατιστικά διαφορετικές κλάσεις της Αρχικής μεθόδου DRASTIC



### 7.1.3 Μέθοδος Επιλογής Βαρών Κριτηρίων (AHP)

Για την επιλογή των βαρών των κριτηρίων της μεθόδου DRASTIC χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της αναλυτικής διαδικασίας ιεράρχισης η οποία και αποτελεί μέρος της μεθόδου της πολυκριτηριακής ανάλυσης.

Η πολυκριτηριακή ανάλυση αποτελεί ένα εργαλείο λήψης αποφάσεων που έχει αναπτυχθεί για σύνθετα προβλήματα πολλαπλών κριτηρίων τα οποία περιλαμβάνουν ποσοτικές ή ποιοτικές πτυχές ενός προβλήματος κατά την διαδικασία λήψης αποφάσεων (Malsweski 1999). Η πολυκριτηριακή ανάλυση αποτελεί ταυτόχρονα ένα σημαντικό μεθοδολογικό πλαίσιο αποφάσεων και ένα επιχειρησιακό Γράφημα λήψης αποφάσεων.

Βασικά στοιχεία της πολυκριτηριακής ανάλυσης είναι ο καθορισμός στόχων, το πρόσωπο που εμπλέκεται στην λήψη μιας απόφασης, το σύνολο των κριτηρίων προς αξιολόγηση και η στάθμισή τους, το σύνολο των εναλλακτικών λύσεων απόφασης, το σύνολο αστάθμητων μεταβλητών και το σύνολο των τελικών εκβάσεων.

Η Αναλυτική διαδικασία ιεράρχησης προσεγγίζει την λήψη αποφάσεων με την διάταξη των σημαντικών συστατικών ενός προβλήματος σε μια ιεραρχική δομή παρόμοια με το οικογενειακό δέντρο και μειώνει τις σύνθετες αποφάσεις σε μια σειρά απλών συγκρίσεων, τις Δυαδικές συγκρίσεις, μεταξύ των στοιχείων της ιεραρχίας απόφασης (Κουτσόπουλος 2009).

Ο Saaty κατά την παρουσίαση της μεθόδου AHP εισήγαγε μια θεμελιώδη κλίμακα με λεκτικούς όρους που παίρνουν τις τιμές από το 1 έως το 9. Η κλίμακα αυτή χρησιμοποιείται για να αξιολογηθεί η προτίμηση μεταξύ δύο στοιχείων (Πίνακας 43).

**Πίνακας 43: Πίνακας κλίμακας μεθόδου AHP**

ΕΝΤΑΣΗ ΣΗΜΑΝΤΙΚΟΤΗΤΑΣ	ΟΡΙΣΜΟΣ/ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
1	Ίση Σημαντικότητα
3	Μέτρια σημαντικότητα του ενός παράγοντα έναντι του άλλου
5	Ισχυρά σημαντικός παράγοντας έναντι του άλλου
7	Πολύ ισχυρά σημαντικός παράγοντας έναντι του άλλου
9	Εξαιρετικά σημαντικός παράγοντας έναντι του άλλου
2,4,6 και 8	Ενδιάμεσες τιμές ανάμεσα σε δύο παρακείμενες κρίσεις

Η ιεραρχική ανάλυση ενός προβλήματος ολοκληρώνεται σε 4 στάδια (Saaty, 1987)

- ✓ Ιεραρχική Ανάλυση του προβλήματος σε στοιχεία Απόφασης
- ✓ Συλλογή των προτιμήσεων του αναλυτή σχετικά με τα στοιχεία απόφασης
- ✓ Εκτίμηση των σχετικών προτεραιοτήτων (weights) των στοιχείων
- ✓ Σύθεση των σχετικών βαρών για την εξαγωγή των σχετικών προτεραιοτήτων των εναλλακτικών λύσεων.

Στην παρούσα εργασία δημιουργήθηκε με υποκειμενικά κριτήρια ο πίνακας στάθμισης κριτηρίων (Πίνακας 44) όπου και εκτιμήθηκαν οι σχετικές προτεραιότητες - σπουδαιότητες μεταξύ των κριτηρίων του μοντέλου DRASTIC.

Πίνακας 44:Στάθμιση κριτηρίων μοντέλου DRASTIC - AHP

ΣΤΑΘΜΙΣΗ ΚΡΙΤΗΡΙΩΝ (AHP)							
Παράμετρος	D	R	A	S	T	I	C
D	1	4	5	2	2	1	5
R	1/4	1	4	1/2	1/2	1	1
A	1/5	1/4	1	1/4	1/4	1/3	1
S	1/2	2	4	1	1/2	2	3
T	1/2	2	4	2	1	3	3
I	1	2	3	1/2	1/3	1	2
C	1/5	1	1	1/3	1/3	1/2	1

Η Κλίμακα σπουδαιότητας που χρησιμοποιήθηκε είναι από το 1 έως το 5 και περιγράφεται ως εξής:

1= ίδια σπουδαιότητα

2= περίπου ίδια σπουδαιότητα

3= περίπου ως έντονα πιο σπουδαία

4= έντονα σπουδαιότερη

5= πολύ σπουδαιότερη

Για την διαδικασία αποδοχής της εν λόγω μεθόδου υπολογίστηκε ο **λόγος συνέπειας (C.R Consistency Ratio)**, όπου  $C.R = CI/RI$ .

Το CI είναι ο Δείκτης συνέπειας και υπολογίζεται από την παράσταση  $CI=(\lambda_{max}-1)/n-1$ . Το  $\lambda_{max}$  είναι η πρωτεύουσα ιδιότιμη της μήτρας σύγκρισης.

Ο παράγοντας RI (Random Index) είναι ο δείκτης συνέπειας μιας τυχαίας παραγόμενης αντίστροφης μήτρας, ίδιου μεγέθους (n) με την αρχική.

**Για να είναι συνεπής η εν λόγω μέθοδος υπολογισμού βαρών κριτηρίων θα πρέπει  $C.R \leq 0,1$ .**

Κατά την διαδικασία ελέγχου της συνέπειας των βαρών (n=7) σύμφωνα με τον πίνακα 44 υπολογίστηκαν τα ακόλουθα:

Συντελεστής  $\lambda_{\max} = 7,5$

Δείκτης συνέπειας  $C.I = 0,08$

Παράγοντας  $R.I = 1,32$

Λόγος Συνέπειας  $C.R = 0,06 < 0,1$ .

Εφόσον ο Λόγος Συνέπειας είναι μικρότερος του 0,1 η μέθοδος υπολογισμού των βαρών των κριτηρίων είναι συνεπής.

Για τον υπολογισμό των βαρών των παραμέτρων ακολουθήθηκαν τα εξής βήματα:

Αρχικά τα βάρη των παραμέτρων ανάγονται σε δεκαδική μορφή και σε κάθε στήλη υπολογίζουμε το άθροισμα τους.

Παράμετρος	D	R	A	S	T	I	C
D	1,0	4,0	5,0	2,0	2,0	1,0	5,0
R	0,3	1,0	4,0	0,5	0,5	1,0	1,0
A	0,2	0,3	1,0	0,3	0,3	0,3	1,0
S	0,5	2,0	4,0	1,0	0,5	2,0	3,0
T	0,5	2,0	4,0	2,0	1,0	3,0	3,0
I	1,0	2,0	3,0	0,5	0,3	1,0	2,0
C	0,2	1,0	1,0	0,3	0,3	0,5	1,0
ΑΘΡΟΙΣΜΑ	3,65	12,25	22,00	6,58	4,92	8,83	16,00

Έπειτα η τιμή σε κάθε κελί προκύπτει από την διαίρεση κάθε κελιού του προηγούμενου πίνακα με το άθροισμα κάθε στήλης της παραμέτρου.

Παράμετρος	D	R	A	S	T	I	C
D	0,27	0,33	0,23	0,30	0,41	0,11	0,31
R	0,07	0,08	0,18	0,08	0,10	0,11	0,06
A	0,05	0,02	0,05	0,04	0,05	0,04	0,06
S	0,14	0,16	0,18	0,15	0,10	0,23	0,19
T	0,14	0,16	0,18	0,30	0,20	0,34	0,19
I	0,27	0,16	0,14	0,08	0,07	0,11	0,13
C	0,05	0,08	0,05	0,05	0,07	0,06	0,06

Για την κανονικοποίηση των βαρών έτσι ώστε το άθροισμα τους να είναι 1, διαιρέθηκε το βάρος κάθε κριτηρίου με το άθροισμα των βαρών όλων των κριτηρίων. Κατόπιν τα βάρη επαναυπολογίστηκαν με μέγιστη κλίμακα το 5 (Πίνακας 45).

Πίνακας 45: Στάδιο υπολογισμού Βαρών Κριτηρίων – Κανονικοποίηση Τιμών - AHP

Υπολογισμός Βαρύτητας Κριτηρίων			
Παράμετρος	Βαρύτητα	Βαρύτητα %	Κανονικοποίηση (Κλίμακα 5)
D	0,28	28,06	5,0
R	0,10	9,79	1,7
A	0,04	4,42	0,8
S	0,16	16,42	2,9
T	0,22	21,66	3,9
I	0,14	13,65	2,4
C	0,06	5,99	1,1
	1,00	100	

### 7.1.4 Χάρτης Ενδογενούς Τρωτότητας (DRASTIC) - Στατιστικά

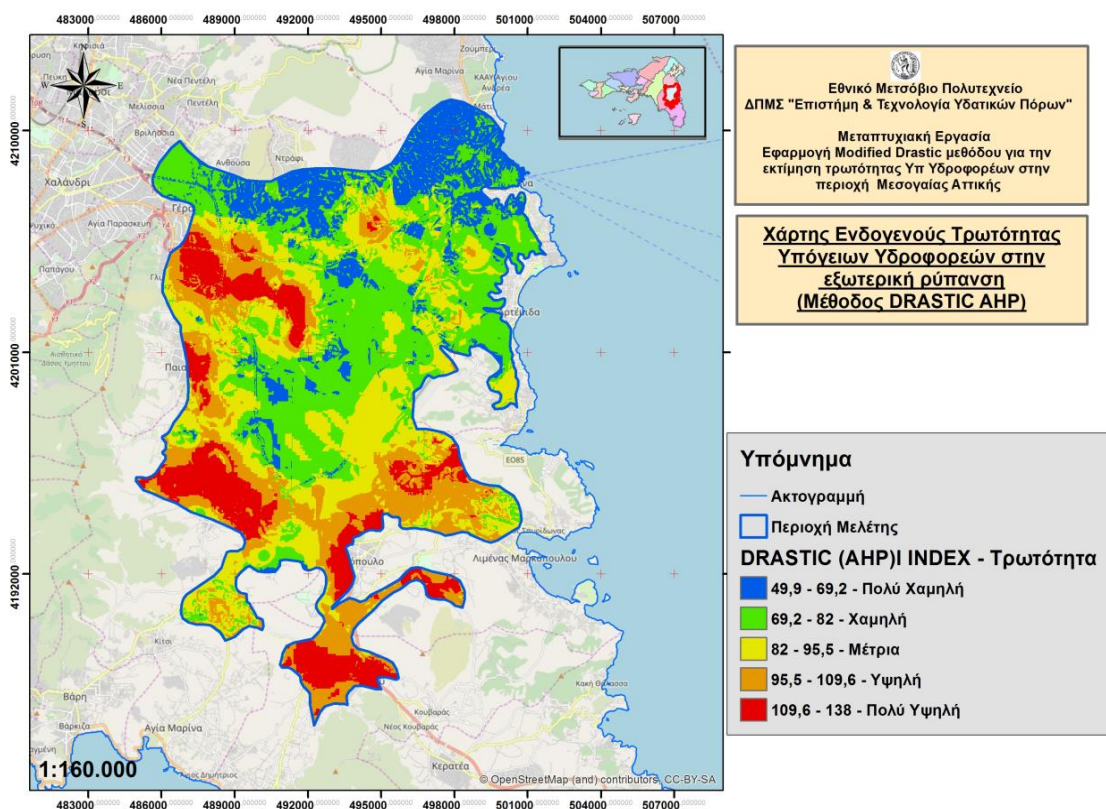
Σύμφωνα με τον υπολογισμό των βαρών των κριτηρίων του μοντέλου (Πίνακας 45) υπολογίστηκε η τελική γραμμική εξίσωση υπολογισμού της ενδογενούς τρωτότητας (DRASTIC) στην περιοχή μελέτης ως εξής:

$$\text{DRASTIC (INDEX)} = \sum_{i=1}^7 W_i * R_i = 5 * D_r + 1,7 * R_r + 0,8 * A_r + 2,9 * S_r + 3,9 * T_r + 2,4 * I_r + 1,1 * C_r \quad (5)$$

Όπου  $D_r$ =παραμετρική τιμή βάθους υδροληψιών,  $R_r$ =παραμετρική τιμή ενεργού κατείδυσης,  $A_r$ =παραμετρική τιμή μέσου υδροφορέα,  $S_r$ =παραμετρική τιμή εδαφικής υφής,  $T_r$ =παραμετρική τιμή μορφολογίας,  $I_r$ =παραμετρική τιμή είδους ακόρεστης ζώνης και  $C_r$ =παραμετρική τιμή υδραυλικής αγωγιμότητας.

Μέσω του εργαλείου **Raster Calculator** δημιουργήθηκε ο τελικός χάρτης ενδογενούς τρωτότητας της περιοχής μελέτης (Χάρτης 40), οι τιμές του οποίου κατηγοριοποιήθηκαν σε 5 διακριτές κλάσεις φυσικής διακύμανσης, μέσω του εργαλείου του Arc Gis Natural Breaks.

Οι εν λόγω τιμές ταξινομήθηκαν βάσει ποιοτικής κλίμακας από **πολύ χαμηλή** έως και **πολύ υψηλή τιμή** ενδογενούς τρωτότητας ως προς την εξωτερική ρύπανση.



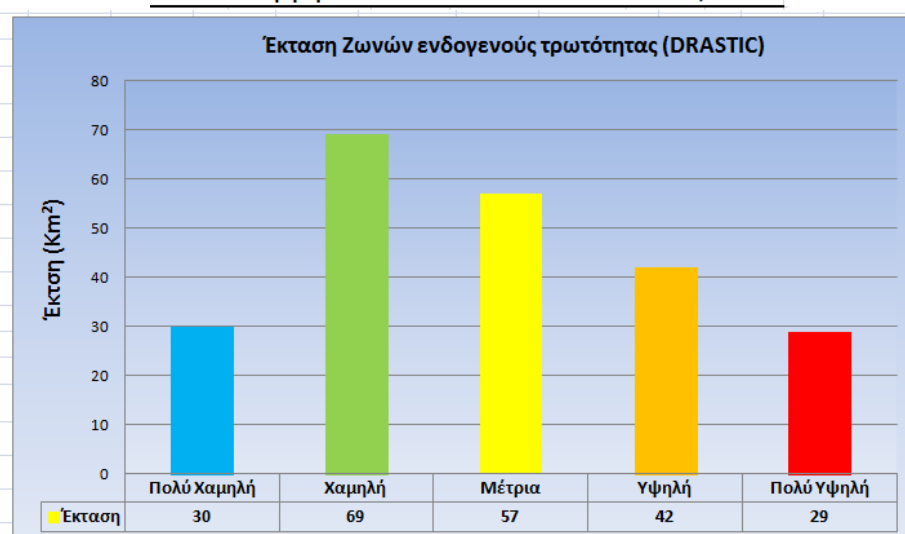
Χάρτης 40: Κατανομή Ενδογενούς Τρωτότητας DRASTIC της περιοχής μελέτης

Ως προς την χωρική ανάλυση οι ζώνες υψηλής έως πολύ υψηλής ενδογενούς τρωτότητας εμφανίζονται κυρίως στο νοτιοδυτικό, νότιο και δυτικό τμήμα της περιοχής μελέτης. Οι ζώνες χαμηλών τιμών εμφανίζονται κυρίως στο κεντρικό - ανατολικό τμήμα ενώ οι πολύ χαμηλές εμφανίζονται κυρίως στο βόρειο - βορειοανατολικό τμήμα της περιοχής μελέτης.

Σύμφωνα με την γεωστατιστική ανάλυση του παραγόμενου χάρτη όπως και παρουσιάζεται στον πίνακα 46 και στο Γράφημα 23, η ζώνη χαμηλής τρωτότητας καταλαμβάνει την μεγαλύτερη έκταση ενώ αντίθετα οι ζώνες πολύ υψηλής και χαμηλής τρωτότητας καταλαμβάνουν την μικρότερη έκταση.

**Πίνακας 46: Έκταση Ζωνών ενδογενούς Τρωτότητας DRASTIC**

Έκταση ζωνών τρωτότητας (DRASTIC)		
Κατηγορία	Έκταση (Km <sup>2</sup> )	Ποσοστό
Πολύ Χαμηλή	30	13,2%
Χαμηλή	69	30,4%
Μέτρια	57	25,1%
Υψηλή	42	18,5%
Πολύ Υψηλή	29	12,8%



**Γράφημα 23: Ιστόγραμμα Έκτασης Ζωνών ενδογενούς Τρωτότητας DRASTIC**

Κατόπιν στατιστικής ανάλυσης των υπολογιζόμενων τιμών του μοντέλου (Πίνακας 47), παρατηρούμε ότι η παράμετρος βάθους του υδροφορέα (D) παρουσιάζει την μεγαλύτερη μέση τιμή (σημαντική επίδραση) και σημαντικό ποσοστό στον συντελεστή παραλλακτικότητας (CV %). Αυτό σε μεγάλο βαθμό οφείλεται τόσο στην διασπορά των παραμετρικών τιμών όσο και στον μέγιστο βαθμό βαρύτητας της παραμέτρου. Επίσης σχετικά μεγάλη μέση τιμή εμφανίζει η παράμετρος της Μορφολογίας (T) γεγονός που συνδέεται με την σχετικά μεγάλη τιμή βαρύτητας. Μικρότερη επίδραση στο μοντέλο παρουσιάζει το μέσο υδροφορέα (A) ενώ μικρότερη τιμή συντελεστή CV παρουσιάζει η παράμετρος T λόγω μικρής διασποράς των τιμών της εν λόγω παραμέτρου.

**Πίνακας 47: Στατιστικά Στοιχεία Παραμέτρων Μοντέλου DRASTIC**

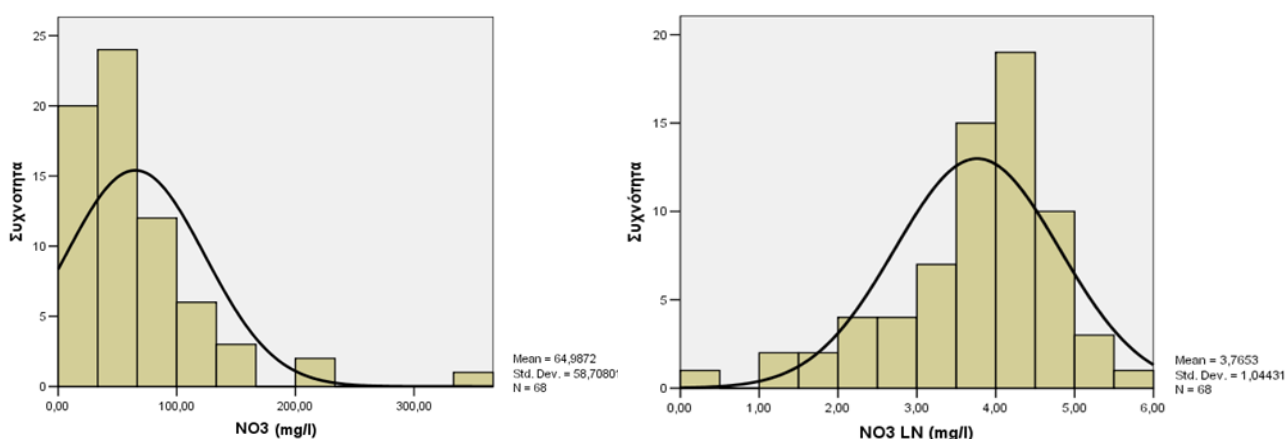
Στατιστικά Στοιχεία	DRASTIC	D	R	A	S	T	I	C
Ελάχιστη Τιμή MIN	49,60	5,00	5,10	1,60	8,70	11,70	7,20	3,30
Μέγιστη Τιμή MAX	138,00	45,00	11,90	7,20	26,10	27,30	19,20	8,80
Μέση Τιμή AVERAGE	87,60	28,53	9,18	4,56	14,59	25,69	10,62	5,01
Τυπική Απόκλιση SD	17,08	15,14	2,00	1,73	4,48	3,71	3,43	2,15
Συντελεστής Παραλλακτικότητας CV %	19%	53%	22%	38%	31%	14%	32%	43%

### 7.1.5 Συσχέτιση Τιμών Μοντέλου – Δείκτη Ρύπανσης

Για τον έλεγχο αξιοπιστίας της αρχικής - πρωτότυπης μεθόδου DRASTIC, καθώς επίσης της μετέπειτα βελτιστοποίησης της, απαιτείται ο έλεγχος συσχέτισης των τιμών του μοντέλου με τις τιμές συγκέντρωσης του εκάστοτε δείκτη ρύπανση, ο οποίος στην συγκεκριμένη περίπτωση είναι τα Νιτρικά Ιόντα. Η συσχέτιση αυτή εκφράζεται από το δείκτη Pearson ( $r$ ) (Pearson, 1896) και τη μορφή του σχετικού διαγράμματος κατανομής.

Η εφαρμογή του συντελεστή συσχέτισης Pearson ( $r$ ) στην συγκεκριμένη μελέτη προϋποθέτει κανονική κατανομή των τιμών συγκέντρωσης των νιτρικών ιόντων, συνθήκη η οποία δεν εφαρμόζεται ικανοποιητικά για τα δεδομένα έρευνας της περιοχής μελέτης.

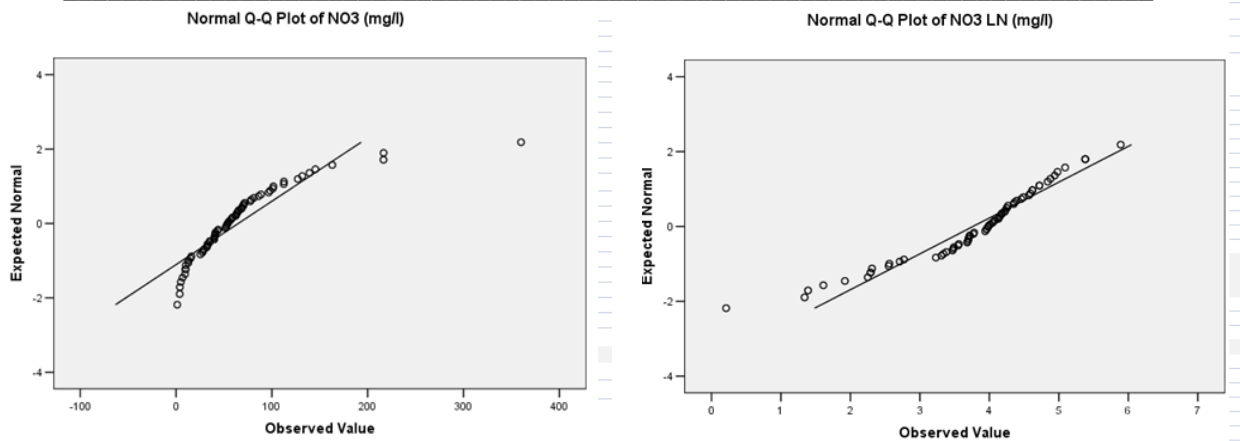
**Κατόπιν λογαριθμικού μετασχηματισμού των αρχικών τιμών συγκέντρωσης των νιτρικών ιόντων, η συνθήκη κανονικής κατανομής εφαρμόζεται καλύτερα όπως προκύπτει και από την σύγκριση των ιστογραμμάτων συχνότητας με καμπύλη κανονικής κατανομής της συγκέντρωσης νιτρικών ιόντων (Γράφημα 24) και του διαγράμματος κανονικής πιθανότητας των τιμών συγκέντρωσης των νιτρικών ιόντων (Γράφημα 25).**



**Γράφημα 24: Ιστόγραμμα Συχνοτήτων με καμπύλη κανονικής κατανομής αρχικών και λογαριθμικών τιμών συγκέντρωσης νιτρικών ιόντων**

Σύμφωνα με το τεστ της στατιστικής σημαντικότητας των τιμών (δοκιμή Shapiro – Wilk's W Test) οι λογαριθμικές τιμές (VAR00002) εμφανίζουν τιμή σημαντικότητας 0,933, υψηλότερη σε σχέση με τις αρχικές τιμές (VAR00001) με τιμή σημαντικότητας 0,788.

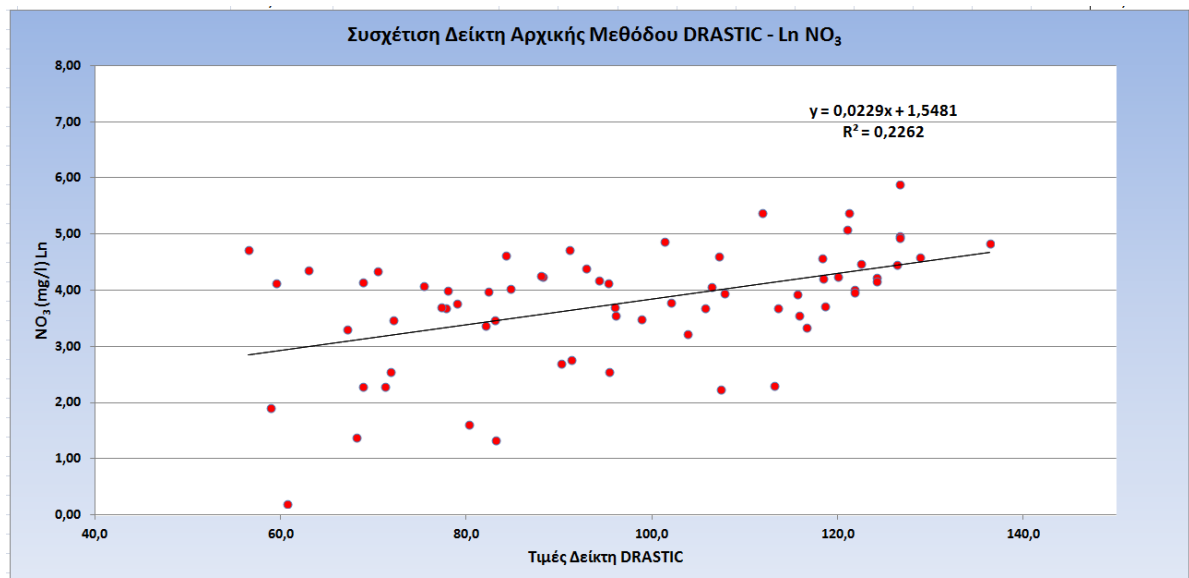
	Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.
VAR00001	,788	68	,000
VAR00002	,933	68	,001



**Γράφημα 25: Κανονική πιθανότητα των αρχικών και λογαριθμικών τιμών συγκέντρωσης νιτρικών ιόντων**

Κατόπιν του ανωτέρω στατιστικού μετασχηματισμού, υπολογίστηκε ο συντελεστής συσχέτισης Pearson's μεταξύ των τιμών του αρχικού μοντέλου DRASTIC και των λογαριθμικών συγκεντρώσεων των νιτρικών ιόντων. Σύμφωνα με το Γράφημα 27, ο συντελεστής συσχέτισης είναι ίσος με **0,48**, στατιστικά σημαντικός σε επίπεδο εμπιστοσύνης 99% ( $p < 0,01$ ).

Η συσχέτιση μεταξύ των τιμών του μοντέλου DRASTIC και των λογαριθμικών τιμών  $\text{NO}_3^-$  χαρακτηρίζεται ως μετρίως ασθενής γραμμικά θετική και η εξίσωση που την περιγράφει (ευθεία παλινδρόμησης) είναι της μορφής  $y = 0,0284 \cdot x + 1,0216$  (6) με συντελεστή προσαρμογής  $R^2 = 0,371$ .



**Γράφημα 26: Συσχέτιση τιμών αρχικής μεθόδου DRASTIC / λογαριθμικών τιμών συγκέντρωσης νιτρικών ιόντων**

### 7.1.6 Ανάλυση Ευαισθησίας

Για τον έλεγχο της αξιοπιστίας της μεθοδολογίας DRASTIC και για τον έλεγχο της υποκειμενικότητας που συνδέεται με την επιλογή των επτά παραμέτρων, τη βαθμονόμηση και τη σχετική βαρύτητα της κάθε μιας που χρησιμοποιήθηκε στον υπολογισμό του δείκτη τρωτότητας, όσο και για τον έλεγχο της σημαντικότητας της κάθε παραμέτρου χρησιμοποιούνται δύο μέθοδοι ανάλυσης ευαισθησίας.

Ανάλυση ευαισθησίας με την αφαίρεση μιας παραμέτρου κάθε φορά (Lodwick et al. 1990)

Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή η ευαισθησία του δείκτη τρωτότητας ελέγχεται με την αφαίρεση μιας ή περισσότερων παραμέτρων κάθε φορά και εφαρμόζεται η παρακάτω εξίσωση (8) η οποία αποτελεί παραλλαγή της εξίσωσης (7) (απαλοιφή απόλυτης τιμής αριθμητή):

$$(7) \quad S = \left( \frac{\left| \frac{V - V'}{N - n} \right|}{V} \right) \cdot 100 \quad \longrightarrow \quad (8) \quad S = \left( \frac{\frac{V - V'}{N - n}}{V} \right) \cdot 100$$

όπου  $S$  = δείκτης διακύμανσης,  $V$  = ο αρχικός δείκτης τρωτότητας για τον οποίο χρησιμοποιούνται οι  $N$  παράμετροι (7 στη συγκεκριμένη περίπτωση) ,  $V'$  = ο δείκτης τρωτότητας που προκύπτει με τη χρησιμοποίηση των λιγότερων παραμέτρων  $n$  (6 όταν αφαιρείται μία παράμετρος).

Στον πίνακα 48, δίνεται η ανάλυση ευαισθησίας με τη μέθοδο αφαίρεσης μιας παραμέτρου κάθε φορά.

**Πίνακας 48: Στατιστικά Στοιχεία Δείκτη Διακύμανσης Μοντέλου DRASTIC**

Στατιστικά Στοιχεία S	Αφαιρούμενη Παράμετρος						
	D	R	A	S	T	I	C
Μέση Τιμή MEAN	2,27	-0,74	-1,56	0,21	2,23	-0,49	-1,51
Μέγιστη Τιμή MAX	5,48	0,63	0,64	3,04	5,67	1,69	1,53
Τυπική Απόκλιση SD	2,00	0,44	0,36	0,85	1,16	0,66	0,32

Από τον πίνακα αυτόν φαίνεται ότι με την αφαίρεση της παραμέτρου A λαμβάνεται η μικρότερη μέση τιμή του δείκτη διακύμανσης (-1,56%), γεγονός που σημαίνει ότι η επίδραση της παραμέτρου αυτής στη διαμόρφωση του δείκτη τρωτότητας είναι μικρότερη από τις υπόλοιπες παραμέτρους. Η μεγαλύτερη μέση τιμή του δείκτη διακύμανσης λαμβάνεται με την αφαίρεση της παραμέτρου D (2,27%) και ακολουθεί η παράμετρος T (2,23%), που σημαίνει ότι οι μεταβλητές αυτές είναι σημαντικές για τη διαμόρφωση του δείκτη τρωτότητας. Η παράμετρος S έχουν ενδιάμεση επιδραση στην διαμόρφωση του δείκτη.



Ανάλυση ευαισθησίας κάθε μεμονωμένης παραμέτρου (Napolitano and Fabbri, 1996)

Η δεύτερη αυτή μέθοδος αφορά στη σύγκριση της θεωρητικής σχετικής βαρύτητας ( $P_w$ ) που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του δείκτη τρωτότητας με την ενεργό ή αποτελεσματική βαρύτητα (effective weight) της κάθε παραμέτρου ( $w$ ). Με αναγωγή των τιμών της θεωρητικής βαρύτητας σε τιμές επί τοις εκατό, λαμβάνονται οι τιμές του Πίνακα 49. Η ενεργός βαρύτητα όμως με την οποία συμμετέχει τελικά η κάθε παράμετρος στη διαμόρφωση του δείκτη τρωτότητας υπολογίζεται από την εξίσωση:

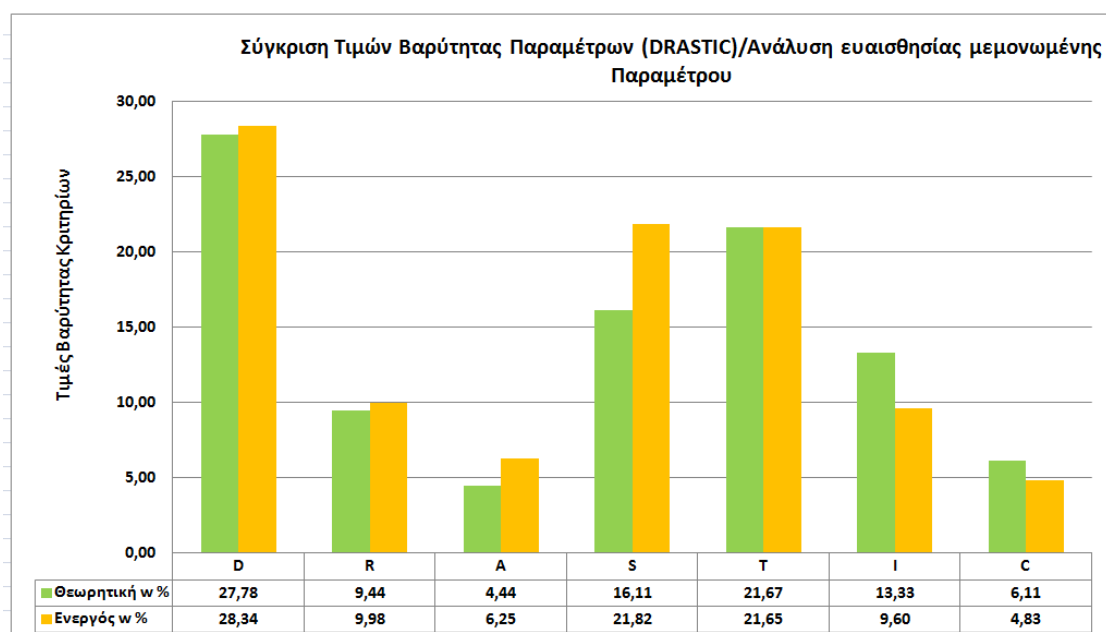
$$W = \left( \frac{P_r \cdot P_w}{V} \right) \cdot 100 \quad (9)$$

όπου  $P_r$  η τιμή βαθμονόμησης της κάθε παραμέτρου και  $V$  ο δείκτης τρωτότητας.

Με βάση τη σχέση αυτή υπολογίστηκαν οι επί τοις εκατό τιμές της ενεργού ή αποτελεσματικής βαρύτητας που εμφανίζονται στον ίδιο Πίνακα. Από την αναλογία των τιμών επί τοις εκατό της ενεργού και της θεωρητικής βαρύτητας εξαγονται νέες τιμές βαρύτητας των παραμέτρων του μοντέλου (μέγιστη κλίμακα 5) όπως παρουσιάζονται στο Γράφημα 27.

**Πίνακας 49: Υπολογισμός ενεργού βαρύτητας μοντέλου DRASTIC**

Θεωρητική - Ενεργός Βαρύτητα	D	R	A	S	T	I	C
Θεωρητική Βαρύτητα $P_w$	5,0	1,7	0,8	2,9	3,9	2,4	1,1
Θεωρητική Βαρύτητα $P_w$ %	27,78	9,44	4,44	16,11	21,67	13,33	6,11
Μέση Τιμή ενεργού βαρύτητας $w$	27,89	9,82	6,15	21,47	21,30	9,44	4,75
Μέση Τιμή ενεργού βαρύτητας $w$ %	28,34	9,98	6,25	21,82	21,65	9,60	4,83
Ενεργός Βαρύτητα (max 5)	5	1,8	1,1	3,8	3,8	1,7	0,9
Τυπική Απόκλιση ενεργού βαρύτητας SD	12,00	2,65	2,64	7,02	5,35	3,30	1,76



**Γράφημα 27: Ιστόγραμμα θεωρητικής ενεργού βαρύτητας μοντέλου DRASTIC**

Από τα ανωτέρω προκύπτει ότι η παράμετρος D έχει τη μεγαλύτερη ενεργό βαρύτητα (28,34%) και η τιμή αυτή δεν διαφέρει σημαντικά από τη θεωρητική τιμή της (27,78%). Η παράμετρος S έχει επίσης μεγάλη τιμή ενεργού βαρύτητας (21,82%) και παρουσιάζει μικρή αύξηση σε σχέση με τη θεωρητική τιμή (16,11%). Αντίστοιχα μικρή αύξηση παρουσιάζουν οι τιμές ενεργού βαρύτητας για τις παραμέτρους R και A, ενώ για τις παραμέτρους T, I και C η ενεργός βαρύτητα εμφανίζει ελαφρώς μικρότερες τιμές σε σχέση με την θεωρητική. **Οι διαφορές στις νέες τιμές βαρύτητες χαρακτηρίζονται γενικά ως πολύ μικρές.**

## 7.2 Στατιστική Βελτιστοποίηση Μεθόδου DRASTIC

Στο παρόν υποκεφάλαιο περιγράφονται οι διαδικασίες στατιστικής βελτιστοποίησης της αρχικής μεθόδου DRASTIC. Το χαρακτηριστικό των συγκεκριμένων διαδικασιών είναι η προσπάθεια βελτιστοποίησης της αρχικής μεθόδου DRASTIC μέσω στατιστικών και μόνο αναλύσεων χωρίς την προσθήκη νέων παραμέτρων. Η βελτιστοποίηση χωρίζεται σε 3 επί μέρους φάσεις κατά σειρά προτεραιότητας.

- 1) Αναθεώρηση κλίμακας μετατροπής (DRASTICNr)
- 2) Αναθεώρηση βαρύτητας κριτηρίων (DRASTICNw)
- 3) Αναθεώρηση κλίμακας μετατροπής & βαρύτητας κριτηρίων (DRASTICNr<sub>w</sub>)

Στο τέλος κάθε διαδικασίας υπολογίζεται ο συντελεστής συσχέτισης μεταξύ τροποποιημένου μοντέλου και τιμών δείκτη ρύπανσης. Εφόσον κάθε φορά η τιμή του συντελεστή συσχέτισης αυξάνεται, η μέθοδος γίνεται αποδεκτή και προχωράμε στην επόμενη μέθοδο.

Το βασικό χαρακτηριστικό των εν λόγω μεθόδων είναι η βελτιστοποίηση της **ενδογενούς τρωτότητας** (νιτρικά ιόντα) καθώς οι παραμετρικές τιμές και τα βάρη των κριτηρίων βαθμονομούνται βάσει συγκέντρωσης ρύπου όπως είναι τα νιτρικά ιόντα.

### 7.2.1 Αναθεώρηση Κλίμακας μετατροπής (DRASTICNr)

Η αναθεώρηση της κλίμακας μετατροπής (rating scale) επιτυγχάνεται με τη χρήση του αριθμητικού μέσου της συγκέντρωσης νιτρικών ιόντων σε κάθε μια από τις κλάσεις κάθε παραμέτρου, όπως ορίζονται στο αρχικό μοντέλο. Για κάθε παράμετρο η μέγιστη τιμή συγκέντρωσης νιτρικών ιόντων δίνει στην αντίστοιχη παραμετρική κλάση τιμή 10 ενώ για τις υπόλοιπες κλάσεις η νέα τιμή υπολογίζεται αναλογικά προς τον πλησιέστερο ακέραιο αριθμό (Πίνακας 50). Με αυτόν τον τρόπο ομαδοποιούνται κάποιες παράμετροι σε νέες κλάσεις (Πίνακας 51) οι οποίες είναι μικρότερες σε αριθμό σε σχέση με τις αρχικές.

Πίνακας 50: Βαθμονόμηση Παραμετρικών Τιμών μεθόδου DRASTICr

Βαθμονόμηση Παραμετρικών Τιμών μεθόδου DRASTICr				
Παράμετροι	Τιμές Παραμέτρων	Αρχική Βαθμονόμηση	Μέση Συγκέντρωση NO <sub>3</sub>	Τροποποιημένος Βαθμός (κλίμακα 10)
D	1 - 8	9	86,4	10
	8,1 - 16	7	80,4	9
	16,1 - 30	5	48,12	6
	30,1 - 50	3	44,52	5
	> 50	1	42,12	5
R	> 54	7	108,67	10
	50,1 - 54	6	68,06	6
	47,1 - 50	5	45,68	4
	43,1 - 47	4	40,02	4
	<=43	3	67,53	6
A	Κροκάλες-Άμμοι, Μάρμαρα	9	147	10
	Άμμοι-χάλικες	7	69	5
	Κροκαλοπαγή	6	118	8
	Μαργαϊκοί Ασβεστόλιθοι, Ψαμμίτες	4	36	2
	Λεπτόκοκκη Άμμος, Σχιστόλιθοι	3	26	2
	Αμμώδης Άργιλος	2	26	2
S	14 - 17	9	54,39	6
	11 - 14	7	92,64	10
	8 - 11	5	58,53	6
	5 - 8	3	33,95	4
T	0 - 4	7	82,2	10
	4,1 - 8	5	51,12	6
	> 8	3	17,15	2
I	Άμμοι / Κροκάλες	8	95,34	10
	Αμμούχος Μάργα	6	74,21	8
	Ιλύες Άμμοι Άργιλοι Κροκάλες	5	84,85	9
	Άργιλοι -Ιλές	3	49,81	5
C	10 <sup>-1</sup> - 10 <sup>-2</sup>	8	130,11	10
	10 <sup>-2</sup> - 10 <sup>-3</sup>	5	58	4
	10 <sup>-3</sup> - 10 <sup>-6</sup>	3	43,1	3

Πίνακας 51: Νέες παραμετρικές κλάσεις μεθόδου DRASTICr

Δημιουργία νέων παραμετρικών κλάσεων (DRASTICr)				
Παράμετροι	Τιμές Παραμέτρων	Αρχική Βαθμονόμηση	Μέση Συγκέντρωση	Τροποποιημένος Βαθμός (κλίμακα 10)
D	1 - 8	9	86,4	10
	8,1 - 16	7	80,4	9
	16,1 - 30	5	48,12	6
	30,1 - 50	3	44,52	5
	> 50	1	42,12	
R	> 54	7	108,67	10
	50,1 - 54	6	68,06	6
	<=43	3	67,53	
	47,1 - 50	5	45,68	4
	43,1 - 47	4	40,02	
A	Κροκάλες-Άμμοι, Μάρμαρα	9	147	10
	Κροκαλοπαγή	6	118	8
	Άμμοι-χάλικες	7	69	5
	Μαργαϊκοί Ασβεστόλιθοι, Ψαμμίτες	4	36	2
	Λεπτόκοκκη Άμμος, Σχιστόλιθοι	3	26	
	Αμμώδης Άργιλος	2	26	
S	11 - 14	7	92,64	10
	14 - 17	9	54,39	6
	8 - 11	5	58,53	
	5 - 8	3	33,95	4
T	0 - 4	7	82,2	10
	4,1 - 8	5	51,12	6
	> 8	3	17,15	2
I	Άμμοι / Κροκάλες	8	95,34	10
	Ιλύες Άμμοι Άργιλοι Κροκάλες	5	84,85	9
	Αμμούχος Μάργα	6	74,21	8
	Άργιλοι -Ιλές	3	49,81	5
C	10 <sup>-1</sup> - 10 <sup>-2</sup>	8	130,11	10
	10 <sup>-2</sup> - 10 <sup>-3</sup>	5	58	4
	10 <sup>-3</sup> - 10 <sup>-6</sup>	3	43,1	3

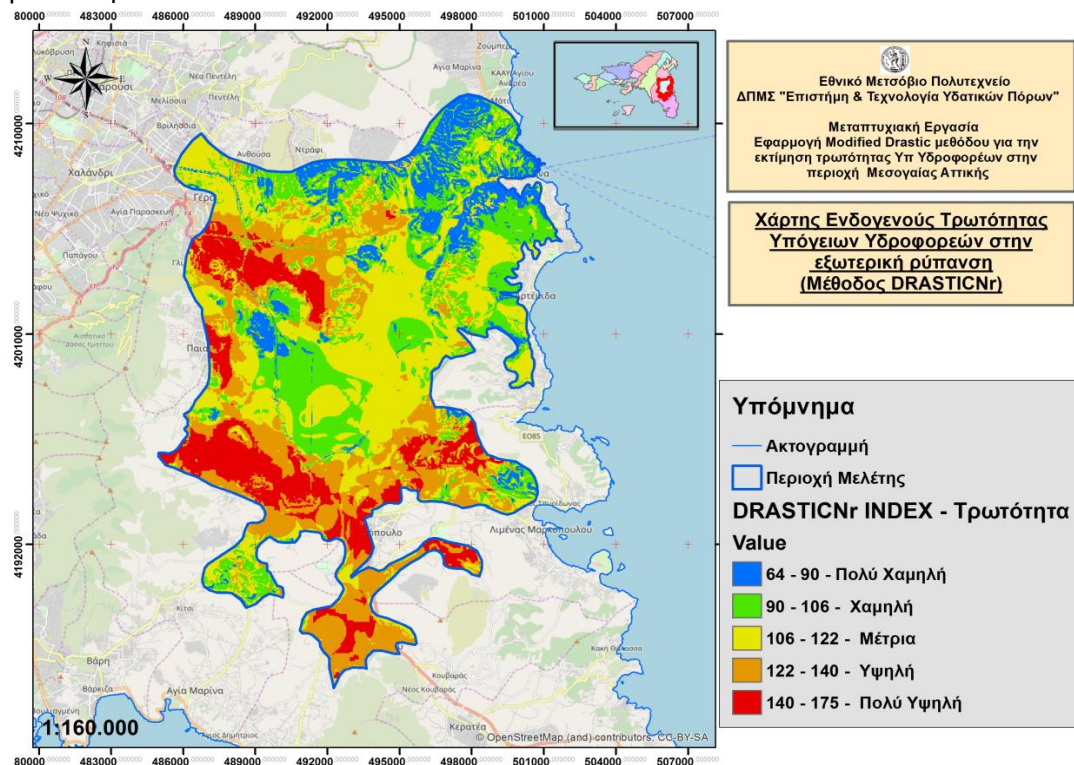
### 7.2.1.1 Χάρτης Ειδικής Τρωτότητας (DRASTIC<sub>r</sub>) - Στατιστικά

Σύμφωνα με τον νέο υπολογισμό των παραμετρικών τιμών των κριτηρίων του μοντέλου (Πίνακας 51) υπολογίστηκε χάρτης ενδογενούς τρωτότητας (DRASTIC<sub>r</sub>) σύμφωνα με την αρχική γραμμική εξίσωση υπολογισμού της ενδογενούς τρωτότητας (DRASTIC) **χωρίς να μεταβληθούν οι τιμές βαρών των κριτηρίων του μοντέλου.**

$$\text{DRASTIC}_{r} (\text{INDEX}) = \sum_{i=1}^7 W_i * R_i = 5 * D_r + 1,7 * R_r + 0,8 * A_r + 2,9 * S_r + 3,9 * T_r + 2,4 * I_r + 1,1 * C_r, (10)$$

όπου  $D_r$ ,  $R_r$ ,  $A_r$ ,  $S_r$ ,  $T_r$ ,  $I_r$ ,  $C_r$  οι νέες βαθμονομημένες παραμετρικές τιμές της μεθόδου DRASTIC<sub>r</sub>.

Οι τιμές των κελιών του τελικού χάρτη ταξινομήθηκαν σε 5 διακριτές κλάσεις μέσω του εργαλείου του Arc Gis Natural Breaks και κατηγοριοποιήθηκαν βάσει ποιοτικής κλίμακας από **πολύ χαμηλή** έως και **πολύ υψηλή τιμή ειδικής τρωτότητας** ως προς την εξωτερική ρύπανση.



**Χάρτης 41:Κατανομή Ενδογενούς Τρωτότητας DRASTIC<sub>r</sub> της περιοχής μελέτης**

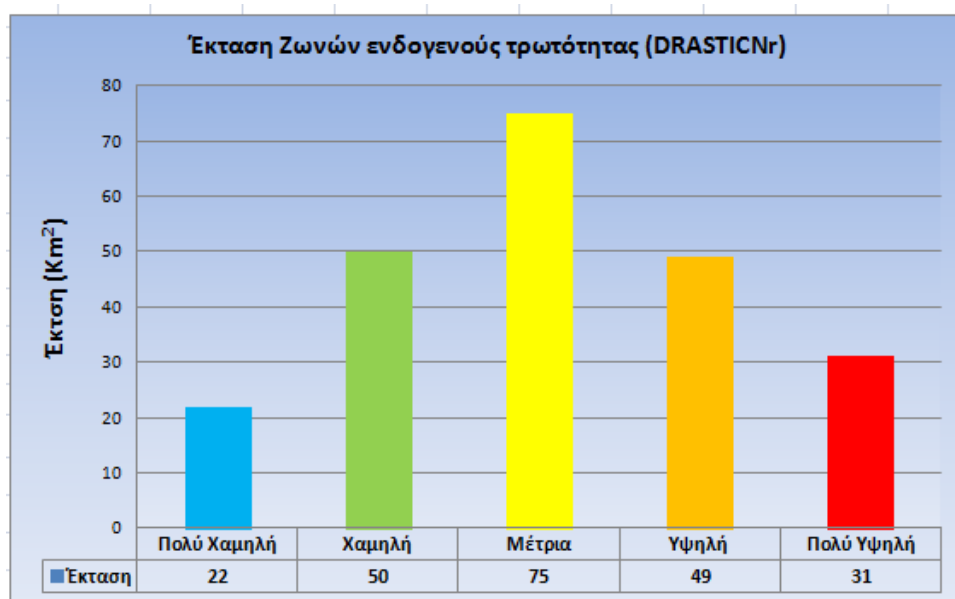
Ως προς την χωρική ανάλυση οι ζώνες υψηλής έως πολύ υψηλής ενδογενούς τρωτότητας εμφανίζονται κυρίως στο νοτιοδυτικό, νότιο και δυτικό τμήμα της περιοχής μελέτης. Οι ζώνες μέτριων ως χαμηλών τιμών καταλαμβάνουν κυρίως το κεντρικό, ανατολικό και βορειοδυτικό τμήμα ενώ οι πολύ χαμηλές εμφανίζονται κυρίως στο βορειοανατολικό τμήμα της περιοχής μελέτης.

Σύμφωνα με την γεωστατιστική ανάλυση του παραγόμενου χάρτη όπως και παρουσιάζεται στον πίνακα 52 και στο Γράφημα 23, η ζώνη μέτριας τρωτότητας καταλαμβάνει την μεγαλύτερη έκταση ενώ αντίθετα η πολύ χαμηλή τρωτότητα καταλαμβάνει την μικρότερη

έκταση της περιοχής μελέτης. Σε παρόμοια ποσοστά κυμαίνονται οι εκτάσεις της χαμηλής και υψηλής τρωτότητας.

Πίνακας 52: Έκταση Ζωνών ενδογενούς Τρωτότητας DRASTICr

Έκταση ζωνών τρωτότητας (DRASTICr)		
Κατηγορία	Έκταση (Km <sup>2</sup> )	Ποσοστό
Πολύ Χαμηλή	22	9,7%
Χαμηλή	50	22,0%
Μέτρια	75	33,0%
Υψηλή	49	21,6%
Πολύ Υψηλή	31	13,7%

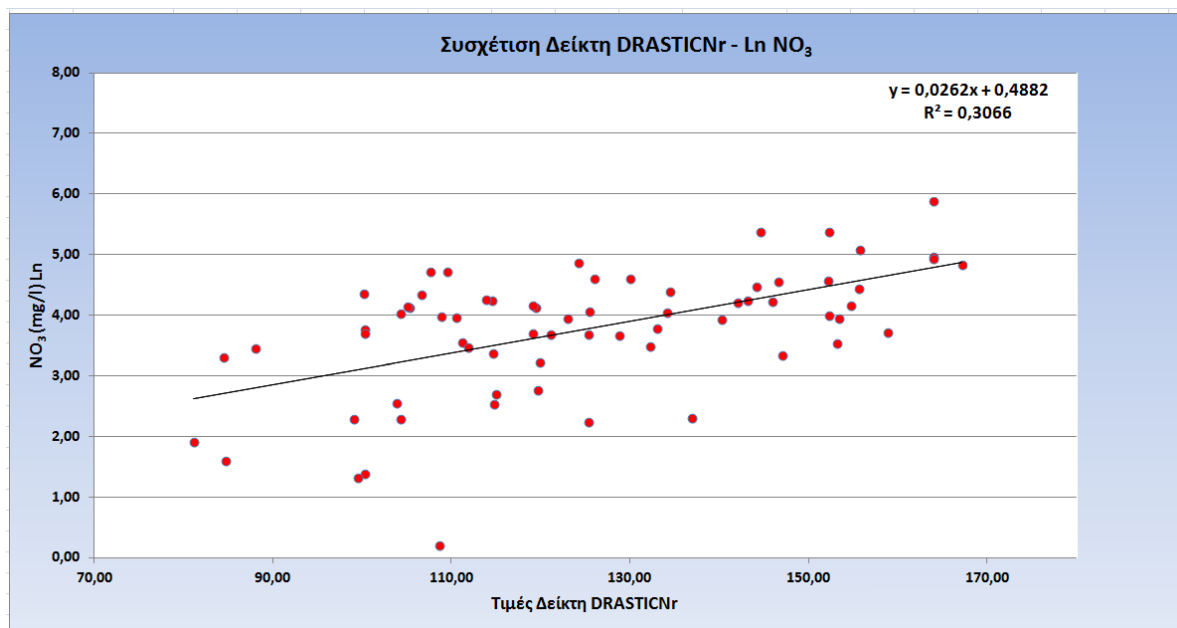


Γράφημα 28: Ιστόγραμμα Έκτασης Ζωνών ενδογενούς Τρωτότητας DRASTICr

### 7.2.1.2 Συσχέτιση Τιμών Μοντέλου – Δείκτη Ρύπανσης

Για τον έλεγχο αξιοπιστίας της βελτιστοποιημένης μεθόδου DRASTICr υπολογίστηκε ο συντελεστής συσχέτισης Pearson's μεταξύ των τιμών του μοντέλου DRASTICr και των λογαριθμικών συγκεντρώσεων των νιτρικών ιόντων. Σύμφωνα με το Γράφημα 29, ο συντελεστής συσχέτισης είναι ίσος με **0,55**, **στατιστικά σημαντικός σε επίπεδο εμπιστοσύνης 99%** ( $p < 0,01$ ).

Η συσχέτιση μεταξύ των τιμών του μοντέλου DRASTIC και των λογαριθμικών τιμών  $\text{NO}_3^-$  χαρακτηρίζεται ως μετρίως γραμμικά θετική και η εξίσωση που την περιγράφει (ευθεία παλινδρόμησης) είναι της μορφής  $y = 0,0262 \cdot x + 0,4882$  (11) με συντελεστή προσαρμογής  $R^2 = 0,3066$ .



Γράφημα 29: Συσχέτιση τιμών βελτιστοποιημένης μεθόδου DRASTICr / λογαριθμικών τιμών συγκέντρωσης νιτρικών ιόντων

### 7.2.1.3 Ανάλυση Ευαισθησίας

Ανάλυση ευαισθησίας με την αφαίρεση μιας παραμέτρου κάθε φορά

Στον πίνακα 53, δίνεται η ανάλυση ευαισθησίας με τη μέθοδο αφαίρεσης μιας παραμέτρου κάθε φορά.

Στατιστικά Στοιχεία S	Αφαιρούμενη Παράμετρος						
	D	R	A	S	T	I	C
Μέση Τιμή MEAN	2,46	-0,59	-1,29	0,34	2,44	-1,76	-1,16
Μέγιστη Τιμή MAX	5,09	1,08	0,65	2,19	5,08	0,27	1,40
Τυπική Απόκλιση SD	0,88	0,57	0,31	0,69	1,21	0,83	0,42

Πίνακας 53: Στατιστικά Στοιχεία Δείκτη Διακύμανσης Μοντέλου DRASTICr

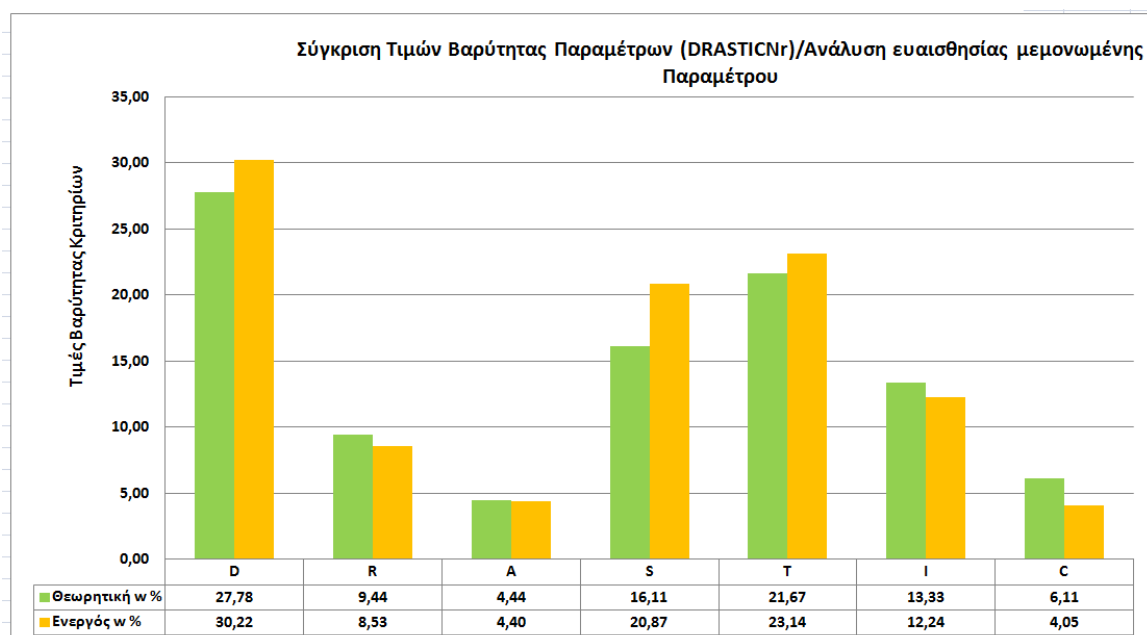
Από τον πίνακα αυτόν φαίνεται ότι με την αφαίρεση της παραμέτρου I λαμβάνεται η μικρότερη μέση τιμή του δείκτη διακύμανσης (-1,76%), γεγονός που σημαίνει ότι η επίδραση της παραμέτρου αυτής στη διαμόρφωση του δείκτη τρωτότητας είναι μικρότερη από τις υπόλοιπες παραμέτρους. Η μεγαλύτερη μέση τιμή του δείκτη διακύμανσης λαμβάνεται με την αφαίρεση της παραμέτρου D (2,46%) και ακολουθεί η παράμετρος T (2,44%), που σημαίνει ότι οι μεταβλητές αυτές είναι σημαντικές για τη διαμόρφωση του δείκτη τρωτότητας. Η παράμετρος S έχει ενδιάμεση επιδραση στην διαμόρφωση του δείκτη.

### Ανάλυση ευαισθησίας κάθε μεμονωμένης παραμέτρου

Σύμφωνα με τον Πίνακα 54 και το Γράφημα 30, προκύπτει ότι η παράμετρος D έχει τη μεγαλύτερη ενεργό βαρύτητα (30,22%) και η τιμή αυτή δεν διαφέρει σημαντικά από τη θεωρητική τιμή της (27,78%). Η παράμετρος S έχει επίσης μεγάλη τιμή ενεργού βαρύτητας (20,87%) και παρουσιάζει μικρή αύξηση σε σχέση με τη θεωρητική τιμή (16,11%). Για τις λοιπές παραμέτρους η ενεργός βαρύτητα εμφανίζει ελαφρώς μικρότερες τιμές σε σχέση με την θεωρητική. Οι διαφορές στις νέες τιμές βαρύτητες χαρακτηρίζονται γενικά ως πολύ μικρές.

Πίνακας 54: Υπολογισμός ενεργού βαρύτητας μοντέλου DRASTICn<sub>r</sub>

Θεωρητική - Ενεργός Βαρύτητα	D	R	A	S	T	I	C
Θεωρητική Βαρύτητα P <sub>w</sub>	5	1,7	0,8	2,9	3,9	2,4	1,1
Θεωρητική Βαρύτητα P <sub>w</sub> %	27,78	9,44	4,44	16,11	21,67	13,33	6,11
Μέση Τιμή ενεργού βαρύτητας w	29,73	8,39	4,33	20,54	22,77	12,05	3,98
Μέση Τιμή ενεργού βαρύτητας w %	30,22	8,53	4,40	20,87	23,14	12,24	4,05
Ενεργός Βαρύτητα (max 5)	5	1,4	0,7	3,5	3,8	2,0	0,7
Τυπική Απόκλιση ενεργού βαρύτητας SD	6,18	4,01	2,74	6,68	6,54	4,17	2,65



Γράφημα 30: Ιστόγραμμα θεωρητικής ενεργού βαρύτητας μοντέλου DRASTICn<sub>r</sub>

### 7.2.2 Αναθεώρηση Βαρύτητας Κριτηρίων (DRASTICn<sub>w</sub>)

Μια άλλη μέθοδος βελτιστοποίησης της μεθόδου DRASTIC, είναι η αναθεώρηση βαρύτητας κριτηρίων του μοντέλου. Στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας υπολογίστηκαν ξεχωριστά δύο μέθοδοι. Η πρώτη που θα εξετάσουμε στο παρόν υποκεφάλαιο αφορά την αναθεώρηση βαρύτητας κριτηρίων της μεθόδου DRASTIC βάσει των κλάσεων των παραμετρικών τιμών της αρχικής μεθόδου εκτίμησης ενδογενούς τρωτότητας DRASTIC.

Η αναθεώρηση αυτή επιτυγχάνεται από τη μελέτη συσχέτισης κάθε παραμέτρου με τη συγκέντρωση νιτρικών ιόντων. Για τον προσδιορισμό της ποσοτικής συσχέτισης των μη συνεχών παραμέτρων με τη συγκέντρωση νιτρικών, χρησιμοποιήθηκαν οι παραγοντικές τιμές, οι τιμές δηλαδή που αποδίδει το μοντέλο DRASTIC σε κάθε κατηγορία της μεταβλητής και όχι οι φυσικές τιμές διακύμανσης.

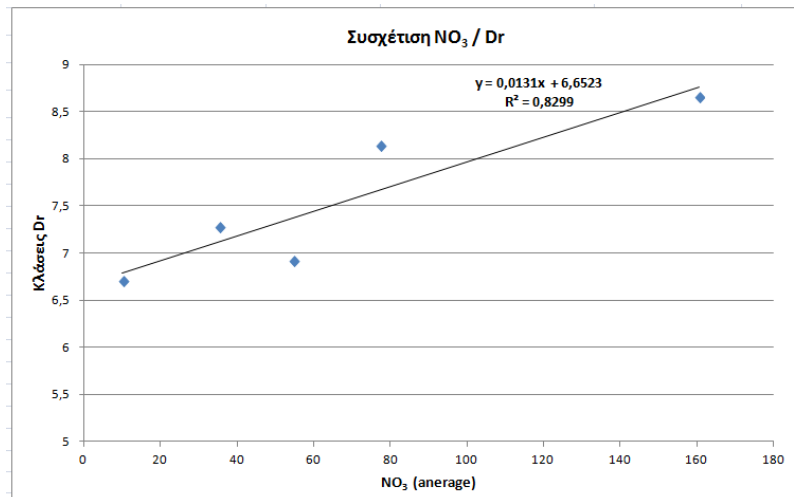
Λόγω του περιορισμού της βαθμονόμησης κάθε παραμέτρου σε συγκεκριμένες μόνο τιμές (κλάσεις), έγινε φθίνουσα κατάταξη των τιμών της συγκέντρωσης των νιτρικών ιόντων και ομαδοποίηση κάθε φορά σε αριθμό ομάδων, όσες και οι κλάσεις βαθμονόμησης της κάθε παραμέτρου. Ακολούθως υπολογίστηκαν οι μέσοι όροι των παραμετρικών τιμών της κάθε ομάδας και της συγκέντρωσης των νιτρικών ιόντων (Πίνακας 55).

**Πίνακας 55: Μέσος όρος παραγοντικών τιμών και συγκέντρωσης νιτρικών ιόντων ανά κλάση παραμέτρου DRASTIC<sub>Nw</sub>**

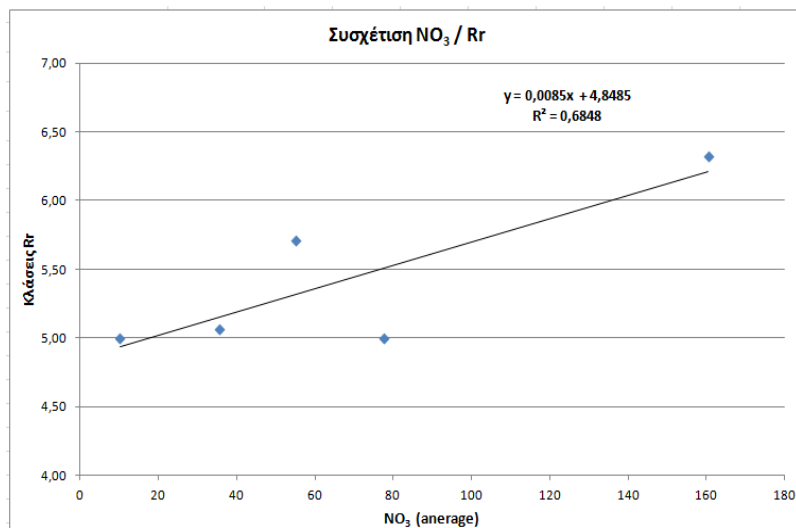
Συσχέτιση παραμετρικών κλάσεων μεθόδου DRASTIC με μέση Συγκέντρωση Νιτρικών Ιόντων			
Παράμετροι	Κλάσεις Παραμέτρων	Μ.Ο Τιμών NO <sub>3</sub>	Μ.Ο Παραμετρικών Τιμών
D	1	10,15	6,71
	2	35,4	7,28
	3	54,9	6,92
	4	77,5	8,14
	5	160,58	8,66
R	1	10,15	5,00
	2	35,4	5,07
	3	54,9	5,71
	4	77,5	5
	5	160,58	6,33
A	1	6	4,36
	2	28,11	3,91
	3	44,21	5
	4	59,55	6,09
	5	77,95	6,64
	6	155,78	7,85
S	1	13,38	4,88
	2	41,62	5,35
	3	65,09	4,76
	4	139,86	5,12
T	1	18,91	6,30
	2	53,84	6,74
	3	124,8	6,73
I	1	13,38	4,00
	2	41,62	3,88
	3	65,09	4,65
	4	139,86	2,41
C	1	18,91	3,65
	2	53,84	3,78
	3	124,8	6,32

Μεταξύ αυτών των ζευγών των τιμών των μέσων όρων έγινε ανάλυση γραμμικής παλινδρόμησης και τα αποτελέσματα δίνονται στα παρακάτω διαγράμματα.

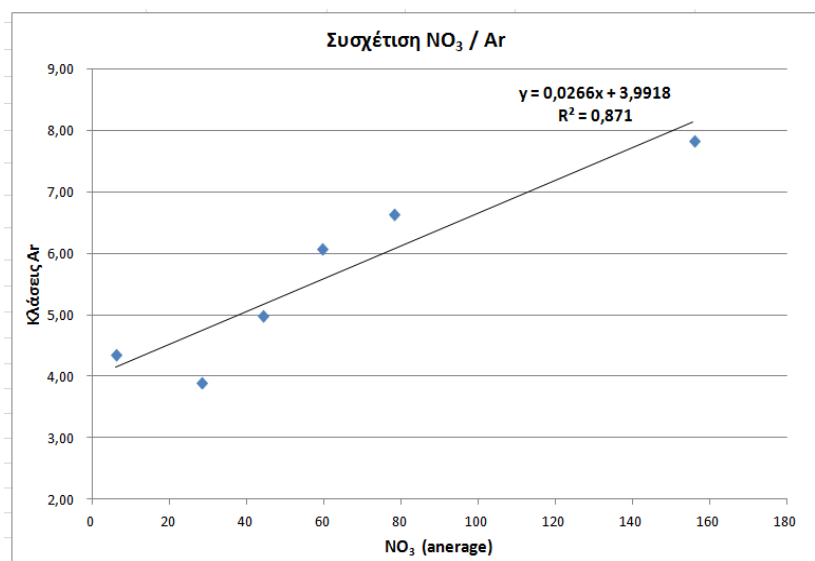




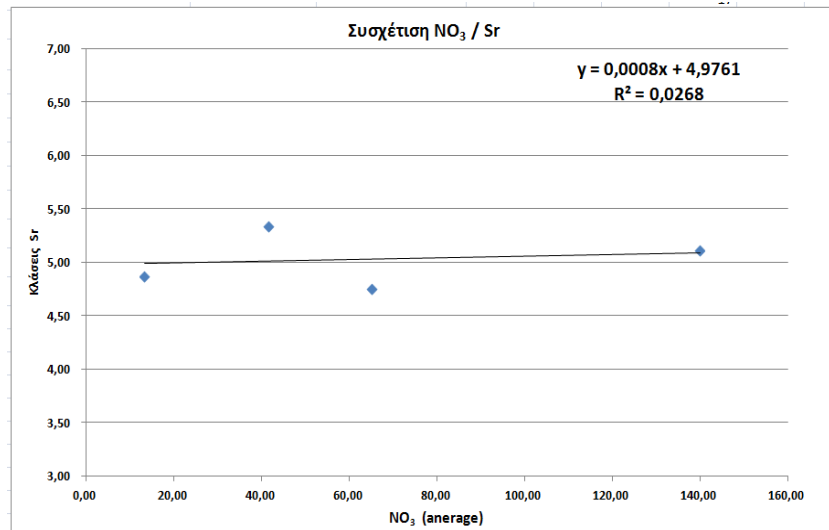
Γράφημα 31: Συσχέτιση Μέσης Τιμής NO<sub>3</sub>/ Dr



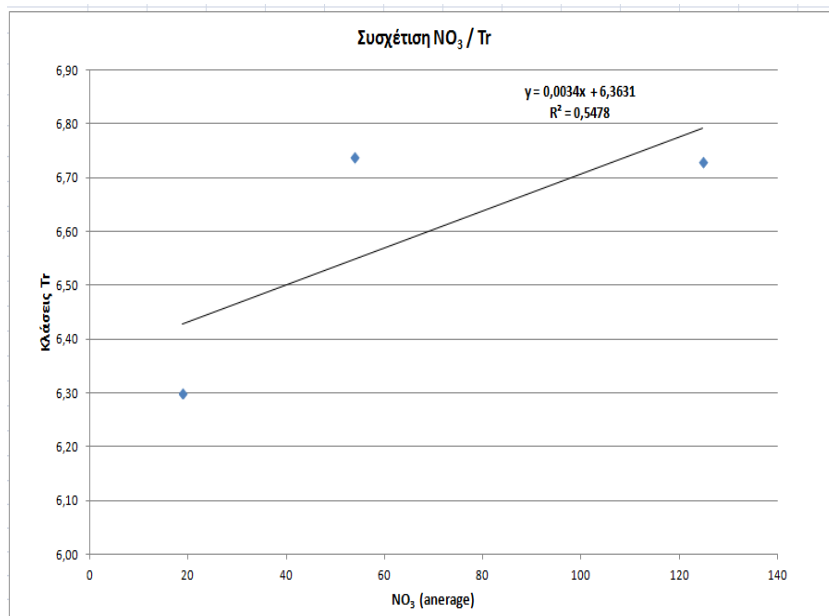
Γράφημα 32: Συσχέτιση Μέσης Τιμής NO<sub>3</sub>/ Rr



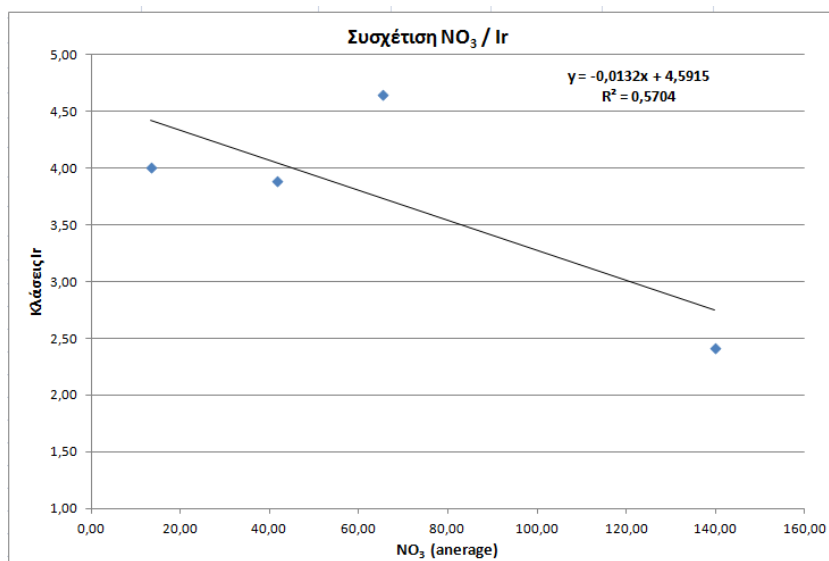
Γράφημα 33: Συσχέτιση Μέσης Τιμής NO<sub>3</sub>/ Ar



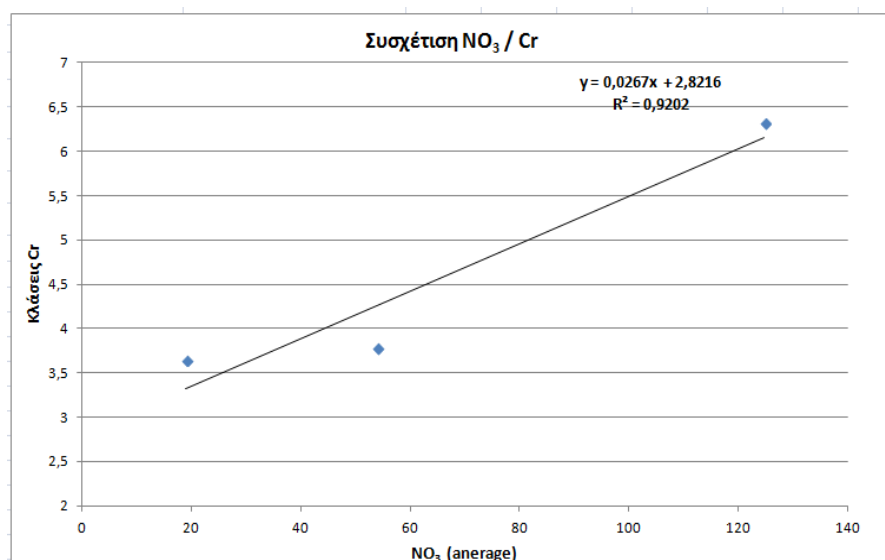
Γράφημα 34: Συσχέτιση Μέσης Τιμής  $\text{NO}_3$ / Sr



Γράφημα 35: Συσχέτιση Μέσης Τιμής  $\text{NO}_3$ / Tr



Γράφημα 36: Συσχέτιση Μέσης Τιμής  $\text{NO}_3$ / Ir



Γράφημα 37: Συσχέτιση Μέσης Τιμής NO<sub>3</sub>/ Cr

Λόγω του ότι οι παραγοντικές τιμές μεταβάλλονται με κλιμακωτή μορφή (interval scale) και όχι με συνεχή κλίμακα (continuous scale), η μέτρηση της συσχέτισης εκτελέστηκε με χρήση των συντελεστών συσχέτισης Spearman' s Rho και Kendall' s Tau (Kendall 1975), οι οποίοι ενδείκνυνται για τέτοιου είδους παραμέτρους.

Με βάση των τιμών των συντελεστών συσχέτισης και αφού οι τιμές τους αναχθούν αναλογικά στην κλίμακα με μέγιστη τιμή το 5, όπως ορίζεται από το μοντέλο DRASTIC, υπολογίστηκαν οι νέοι συντελεστές βαρύτητας βάσει του συντελεστή Kendall' s Tau καθώς κατόπιν ελέγχου του τελικού γεωχωρικού μοντέλου η τιμή συσχέτισης μοντέλου/νιτρικών ιόντων για την μέθοδο Kendall' s Tau ήταν ίση με 0,61 έναντι 0,60 της μεθόδου Spearman' s Rho.

Σε περίπτωση που κάποιος από τους συντελεστές είναι στατιστικά μη σημαντικός, η αντίστοιχη παράμετρος εξαιρείται από την εξίσωση υπολογισμού της τρωτότητας. Στον πίνακα 56 παρουσιάζονται τόσο οι τιμές των συντελεστών συσχέτισης, όσο και οι αναθεωρημένοι συντελεστές βαρύτητας για όλες τις παραμέτρους. Από τον πίνακα αυτό φαίνεται ότι η παράμετρος «Ακόρεστη Ζώνη» είναι στατιστικά μη σημαντική και πρέπει να εξαιρεθεί. Φαίνεται επίσης, ότι ο μεγαλύτερος συντελεστής βαρύτητας αποδίδεται στην παράμετρο «Είδος υδροφόρου». Οι συντελεστές βαρύτητας των παραμέτρων «Βάθος Υδροφόρου», «Εδαφική Υφή» και «Τοπογραφία» υποβιβάζονται σε σχέση με τις αρχικές τιμές, ενώ το αντίθετο συμβαίνει με την «Ενεργή Κατείσδυση» και την «Υδραυλική Αγωγιμότητα».

Η διαπίστωση της μη σημαντικής συσχέτισης, μεταξύ της «συγκέντρωσης νιτρικών» και της «Ακόρεστης Ζώνης», φανερώνει ότι στην περιοχή έρευνας η Ακόρεστη Ζώνη δεν επηρεάζει τη συγκέντρωση των νιτρικών που καταλήγουν στον υδροφόρο ορίζοντα. Η

φυσική σημασία του γεγονότος πρέπει ίσως να αποδοθεί στην απουσία λεπτόκοκκου - αργλικού υλικού καθώς επίσης και οργανικών ενώσεων σε περιοχές με υψηλή συγκέντρωση νιτρικών.

Πίνακας 56: Τροποποίηση Βαρύτητας Κριτηρίων DRASTCNw

Βελτιστοποίηση Βαρύτητας Κριτηρίων w (DRASTCNw)					
Παράμετροι	Αρχικοί Συντελεστές Βαρύτητας	Συντελεστής Kendall's Tau*	Συντελεστής Spearman's Rho	Τροποποιημένοι Συντελεστές Βαρύτητας	
D	5,0	0,8	0,9	4,6	
R	1,7	0,5	0,6	3,0	
A	0,8	0,9	1,0	5,0	
S	2,9	0,2	0,2	0,9	
T	3,9	0,3	0,5	1,9	
I	2,4	-0,3	-0,4	-1,9	
C	1,1	0,3	0,5	1,9	

### 7.2.2.1 Χάρτης Ειδικής Τρωτότητας (DRASTCNw) - Στατιστικά

Σύμφωνα με τον νέο υπολογισμό των της βαρύτητας των κριτηρίων του μοντέλου (Πίνακας 56) υπολογίστηκε χάρτης ενδογενούς τρωτότητας (DRASTCNw) σύμφωνα με την παρακάτω γραμμική εξίσωση:

$$\text{DRASTCNw (INDEX)} = \sum_{i=1}^6 W_i * R_i = 4,6 * Dr + 3 * Rr + 5 * Ar + 0,9 * Sr + 1,9 * Tr + 1,9 * Cr, (12)$$

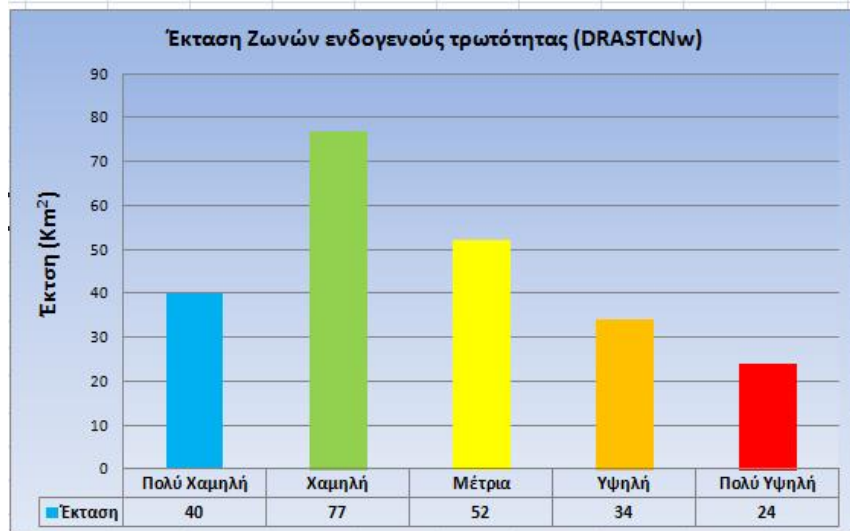
όπου Dr, Rr, Ar, Sr, Tr, Cr οι βαθμονομημένες παραμετρικές τιμές της αρχικής μεθόδου DRASTIC.

Οι τιμές των κελιών του τελικού χάρτη ταξινομήθηκαν σε 5 διακριτές κλάσεις μέσω του εργαλείου του Arc Gis Natural Breaks και κατηγοριοποιήθηκαν βάσει ποιοτικής κλίμακας από **πολύ χαμηλή** έως και **πολύ υψηλή τιμή ειδικής τρωτότητας** ως προς την εξωτερική ρύπανση.

Σύμφωνα με την γεωστατιστική ανάλυση του παραγόμενου χάρτη όπως και παρουσιάζεται στον πίνακα 57 και στο Γράφημα 38, η ζώνη μέτριας τρωτότητας καταλαμβάνει την μεγαλύτερη έκταση ενώ αντίθετα η πολύ χαμηλή τρωτότητα καταλαμβάνει την μικρότερη έκταση της περιοχής μελέτης. Σε παρόμοια ποσοστά κυμαίνονται οι εκτάσεις της χαμηλής και υψηλής τρωτότητας.

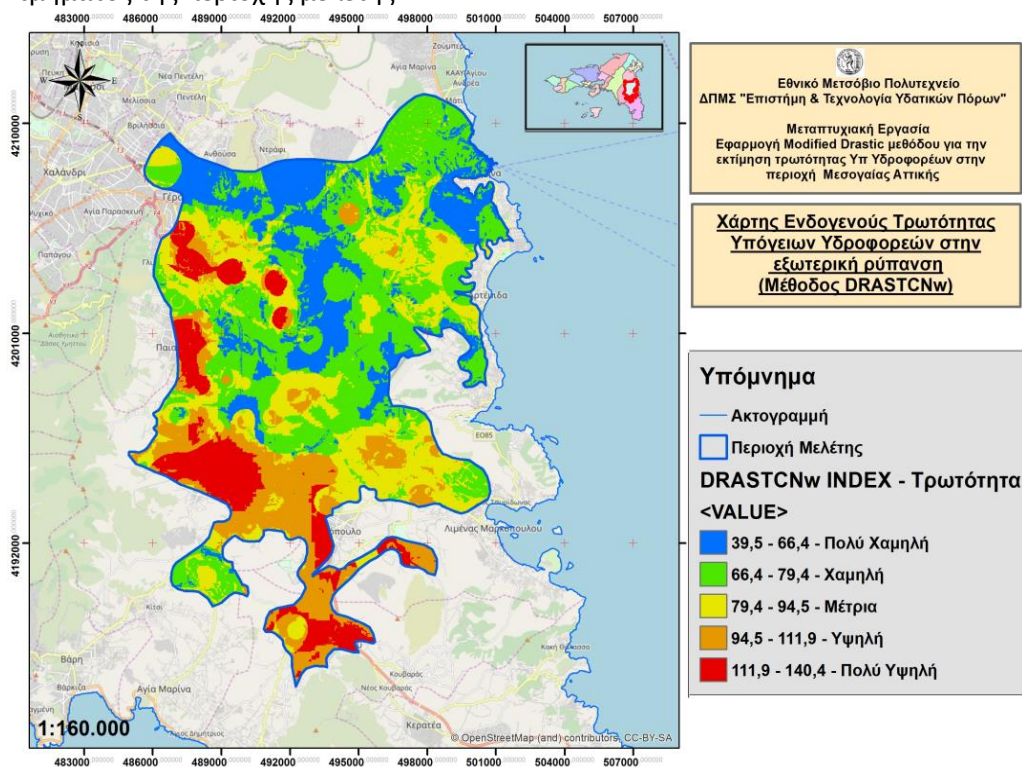
Πίνακας 57: Έκταση Ζωνών ενδογενούς Τρωτότητας DRASTCNw

Έκταση ζωνών τρωτότητας (DRASTCNw)		
Κατηγορία	Έκταση (Km <sup>2</sup> )	Ποσοστό
Πολύ Χαμηλή	40	17,6%
Χαμηλή	77	33,9%
Μέτρια	52	22,9%
Υψηλή	34	15,0%
Πολύ Υψηλή	24	10,6%



**Γράφημα 38: Ιστογράμμα Έκτασης Ζωνών ενδογενούς Τρωτότητας DRASTCNw**

Ως προς την χωρική ανάλυση οι ζώνες υψηλής έως πολύ υψηλής ειδικής τρωτότητας εμφανίζονται κυρίως στο νοτιοδυτικό, νότιο και δυτικό τμήμα της περιοχής μελέτης. Οι ζώνες μέτριων τιμών εμφανίζουν χωρική διασπορά σε διάφορες περιοχές, οι ζώνες χαμηλών τιμών καταλαμβάνουν κυρίως το κεντρικό, ανατολικό και μέρος του δυτικού τμήματος ενώ οι πολύ χαμηλές εμφανίζονται κυρίως στο βόρειο και μέρος του κεντρικού τμήματος της περιοχής μελέτης.

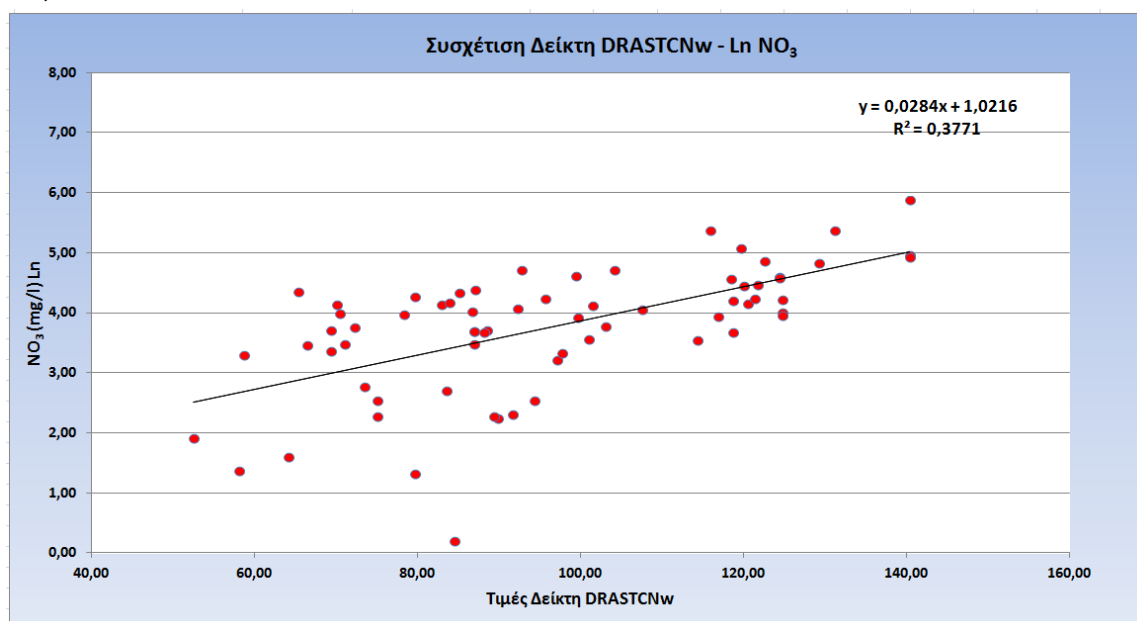


**Χάρτης 42: : Κατανομή Ενδογενούς Τρωτότητας DRASTCNw της περιοχής μελέτης**

### 7.2.2.2 Συσχέτιση Τιμών Μοντέλου – Δείκτη Ρύπανσης

Για τον έλεγχο αξιοπιστίας της βελτιστοποιημένης μεθόδου DRASTCNw υπολογίστηκε ο συντελεστής συσχέτισης Pearson's μεταξύ των τιμών του μοντέλου DRASTCNw και των λογαριθμικών συγκεντρώσεων των νιτρικών ιόντων. Σύμφωνα με το Γράφημα 39, ο συντελεστής συσχέτισης είναι ίσος με **0,61**, **στατιστικά σημαντικός σε επίπεδο εμπιστοσύνης 99%** ( $p < 0,01$ ).

Η συσχέτιση μεταξύ των τιμών του μοντέλου DRASTICNw και των λογαριθμικών τιμών  $\text{NO}_3^-$  χαρακτηρίζεται ως μετρίως γραμμικά θετική και η εξίσωση που την περιγράφει (ευθεία παλινδρόμησης) είναι της μορφής  $y = 0,0284 \cdot x + 1,0216$  (13) με συντελεστή προσαρμογής  $R^2 = 0,3771$ .



Γράφημα 39: Συσχέτιση τιμών βελτιστοποιημένης μεθόδου DRASTCNw / λογαριθμικών τιμών συγκεντρώσεως νιτρικών ιόντων

### 7.2.2.3 Ανάλυση Ευαισθησίας

#### Ανάλυση ευαισθησίας με την αφαίρεση μιας παραμέτρου κάθε φορά

Στον πίνακα 58, δίνεται η ανάλυση ευαισθησίας με τη μέθοδο αφαίρεσης μιας παραμέτρου κάθε φορά.

Πίνακας 58: Στατιστικά Στοιχεία Δείκτη Διακύμανσης Μοντέλου DRASTCNw

Στατιστικά Στοιχεία S	Αφαιρούμενη Παράμετρος					
	D	R	A	S	T	C
Μέση Τιμή MEAN	1,95	0,49	2,55	-1,56	-0,13	-0,91
Μέγιστη Τιμή MAX	5,56	2,13	6,43	0,27	1,43	1,03
Τυπική Απόκλιση SD	1,92	0,62	1,61	0,33	0,52	0,44

Από τον πίνακα αυτόν φαίνεται ότι με την αφαίρεση της παραμέτρου S λαμβάνεται η μικρότερη μέση τιμή του δείκτη διακύμανσης (-1,56%), γεγονός που σημαίνει ότι η

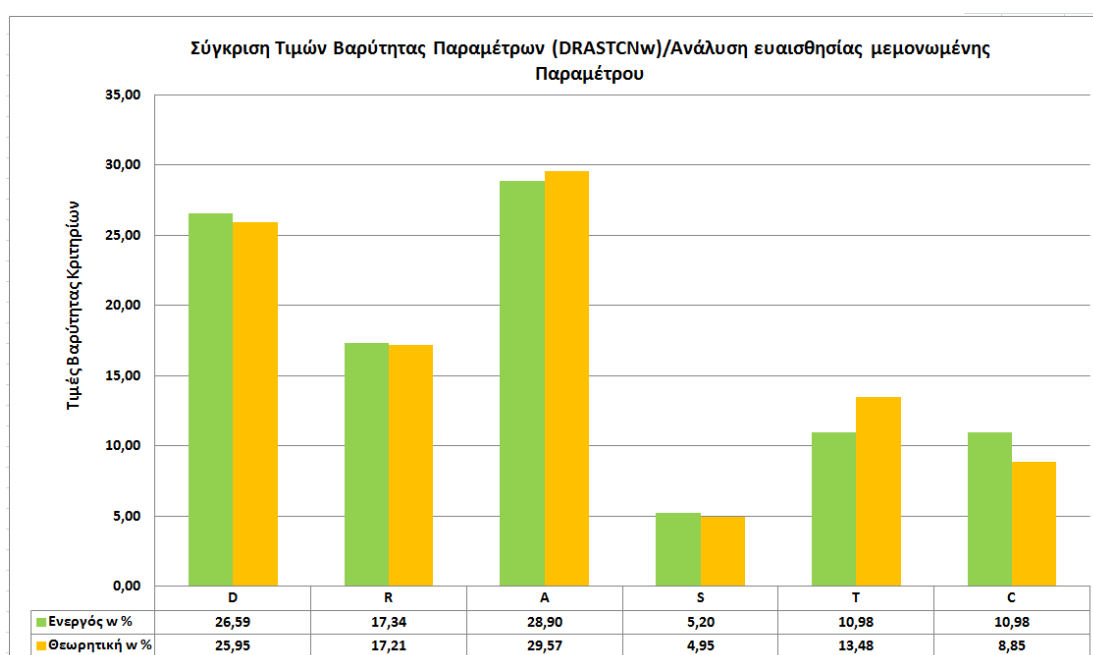
επίδραση της παραμέτρου αυτής στη διαμόρφωση του δείκτη τρωτότητας είναι μικρότερη από τις υπόλοιπες παραμέτρους. Η μεγαλύτερη μέση τιμή του δείκτη διακύμανσης λαμβάνεται με την αφαίρεση της παραμέτρου A (2,55%) και ακολουθεί η παράμετρος D (1,95%), που σημαίνει ότι οι μεταβλητές αυτές είναι σημαντικές για τη διαμόρφωση του δείκτη τρωτότητας. Η παράμετρος R έχει ενδιάμεση επιδραση στην διαμόρφωση του δείκτη.

#### Ανάλυση ευαισθησίας κάθε μεμονωμένης παραμέτρου

Σύμφωνα με τον Πίνακα 59 και το Γράφημα 40, προκύπτει ότι η παράμετρος A έχει τη μεγαλύτερη ενεργό βαρύτητα (29,57%) και η τιμή αυτή δεν διαφέρει σημαντικά από τη θεωρητική τιμή της (28,90%). Η παράμετρος A έχει επίσης μεγάλη τιμή ενεργού βαρύτητας (25,95%) και παρουσιάζει μικρή μείωση σε σχέση με τη θεωρητική τιμή (26,59%). Για τις λοιπές παραμέτρους η ενεργός βαρύτητα εμφανίζει ελαφρώς μικρότερες τιμές σε σχέση με την θεωρητική εκτός της παραμέτρου T. Οι διαφορές στις νέες τιμές βαρύτητες χαρακτηρίζονται γενικά ως πολύ μικρές.

**Πίνακας 59: Υπολογισμός ενεργού βαρύτητας μοντέλου DRASTCNw**

Θεωρητική - Ενεργός Βαρύτητα	D	R	A	S	T	C
Θεωρητική Βαρύτητα Pw	4,6	3	5	0,9	1,9	1,9
Θεωρητική Βαρύτητα Pw %	26,59	17,34	28,90	5,20	10,98	10,98
Μέση Τιμή ενεργού Βαρύτητας w	25,96	17,21	29,58	4,95	13,48	8,85
Μέση Τιμή ενεργού Βαρύτητας w %	25,95	17,21	29,57	4,95	13,48	8,85
Ενεργός Βαρύτητα (max 5)	4,4	2,9	5	0,8	2,3	1,5
Τυπική Απόκλιση ενεργού βαρύτητας SD	11,51	3,74	9,52	1,98	3,13	2,63



**Γράφημα 40: Ιστογράμματα θεωρητικής ενεργού βαρύτητας μοντέλου DRASTCNw**

### 7.2.3 Αναθεώρηση Κλίμακας Μετατροπής & Βαρύτητας Κριτηρίων (DRASTIC<sub>rw</sub>)

Σύμφωνα με την παρούσα μέθοδο βελτιστοποίησης οι τιμές βαρύτητας κριτηρίων του μοντέλου αναθεωρήθηκαν σύμφωνα με τις κλάσεις των παραμετρικών τιμών που προέκυψαν από την μέθοδο βελτιστοποίησης DRASTIC<sub>r</sub>.

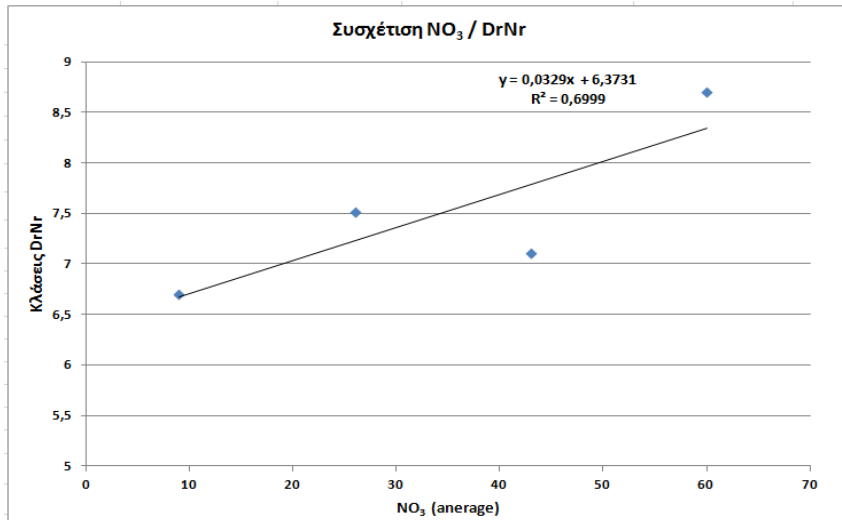
Λόγω του περιορισμού της βαθμονόμησης κάθε παραμέτρου σε συγκεκριμένες μόνο τιμές (κλάσεις), έγινε φθίνουσα κατάταξη των τιμών της συγκέντρωσης των νιτρικών ιόντων και ομαδοποίηση κάθε φορά σε αριθμό ομάδων, όσες και οι κλάσεις βαθμονόμησης της κάθε παραμέτρου. Ακολούθως υπολογίστηκαν οι μέσοι όροι των παραμετρικών τιμών της κάθε ομάδας και της συγκέντρωσης των νιτρικών ιόντων (Πίνακας 60).

**Πίνακας 60: Μέσος όρος παραγοντικών τιμών και συγκέντρωσης νιτρικών ιόντων ανά κλάση παραμέτρου DRASTIC<sub>rw</sub>**

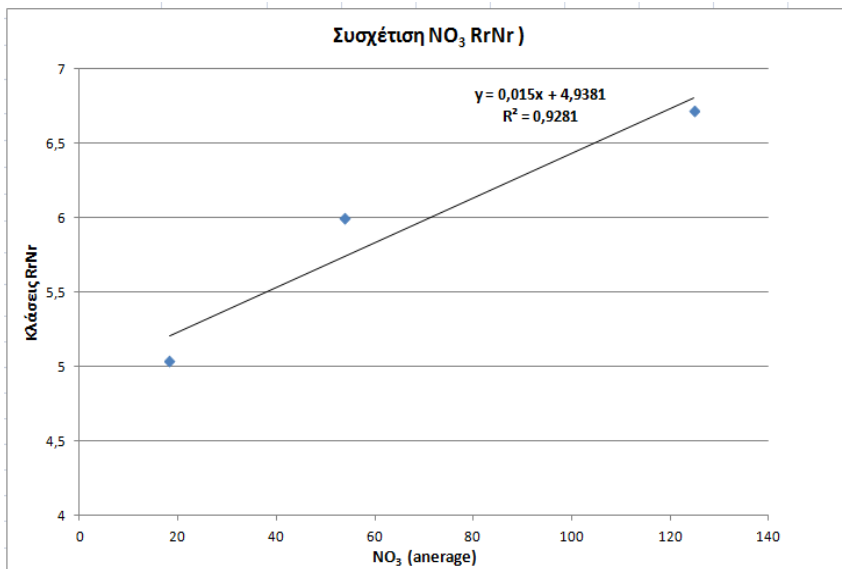
Συσχέστη παραμετρικών κλάσεων μεθόδου DRASTIC <sub>r</sub> με μέση Συγκέντρωση Νιτρικών Ιόντων			
Παράμετροι	Κλάσεις Παραμέτρων	M.O Τιμών NO <sub>3</sub>	M.O Παραμετρικών Τιμών
D	1	9	6,7
	2	26	7,52
	3	43	7,11
	4	60	8,7
R	1	18,21	5,04
	2	53,84	6
	3	124,8	6,72
A	1	9	3
	2	26	3,88
	3	43	6,84
	4	60	7,76
S	1	18,91	6,17
	2	53,84	6,43
	3	124,8	6,272
T	1	18,91	6,30
	2	53,84	6,74
	3	124,8	6,73
I	1	13,38	6,47
	2	41,62	6,47
	3	65,09	7,94
	4	139,86	8,11
C	1	18,91	3,65
	2	53,84	3,78
	3	124,8	6,32

Μεταξύ αυτών των ζευγών των τιμών των μέσων όρων έγινε ανάλυση γραμμικής παλινδρόμησης και τα αποτελέσματα δίνονται στα παρακάτω διαγράμματα.

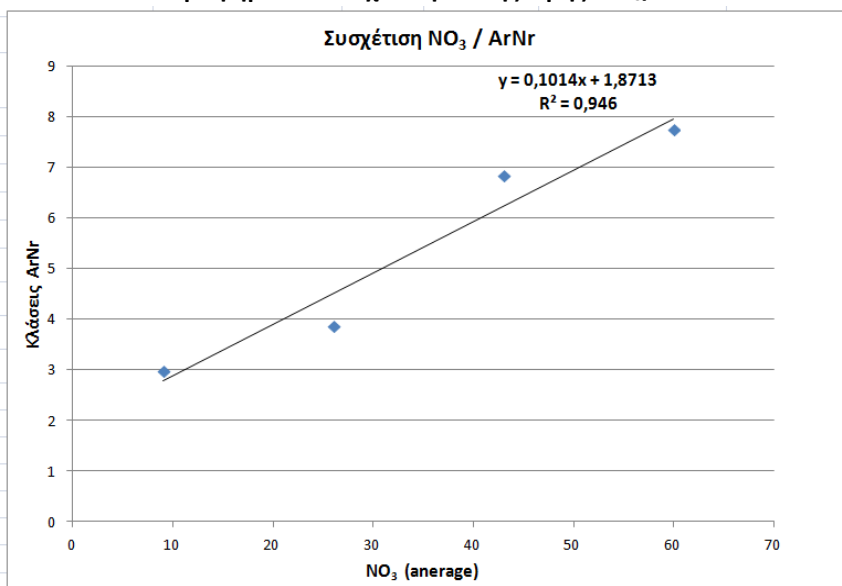




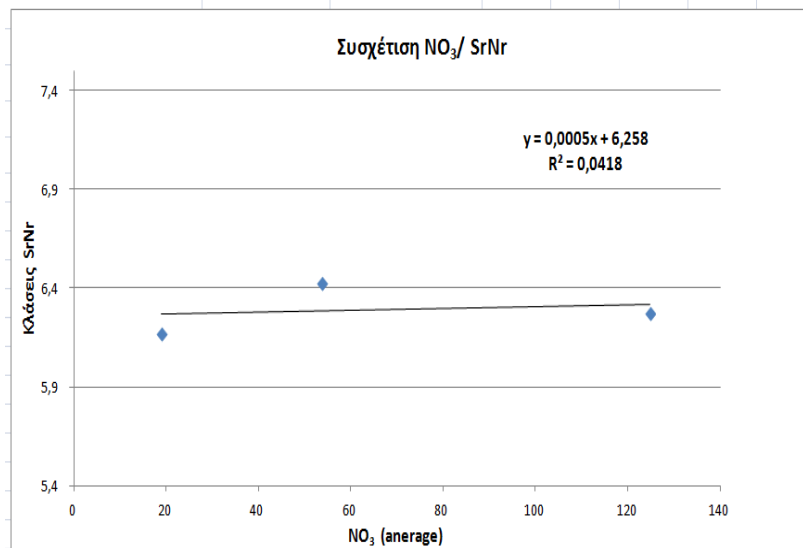
Γράφημα 41: Συσχέτιση Μέσης Τιμής NO<sub>3</sub>/ DrNr



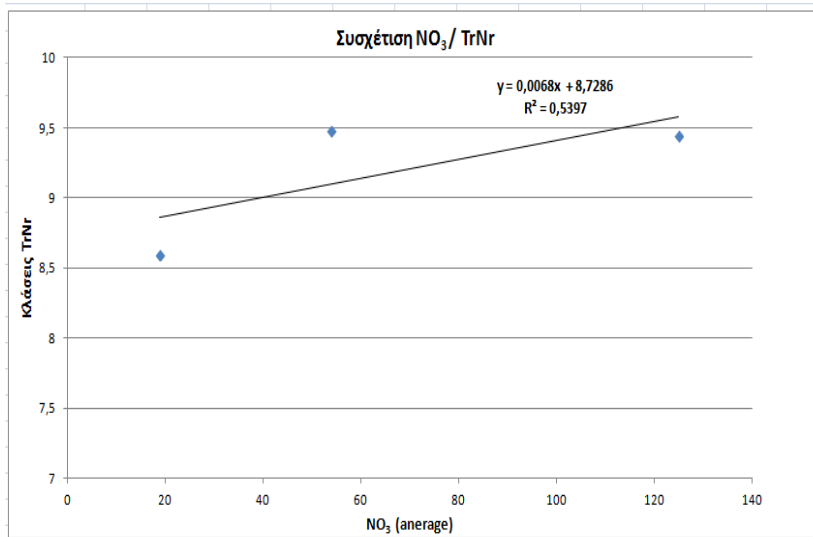
Γράφημα 42: Συσχέτιση Μέσης Τιμής NO<sub>3</sub>/ RrNr



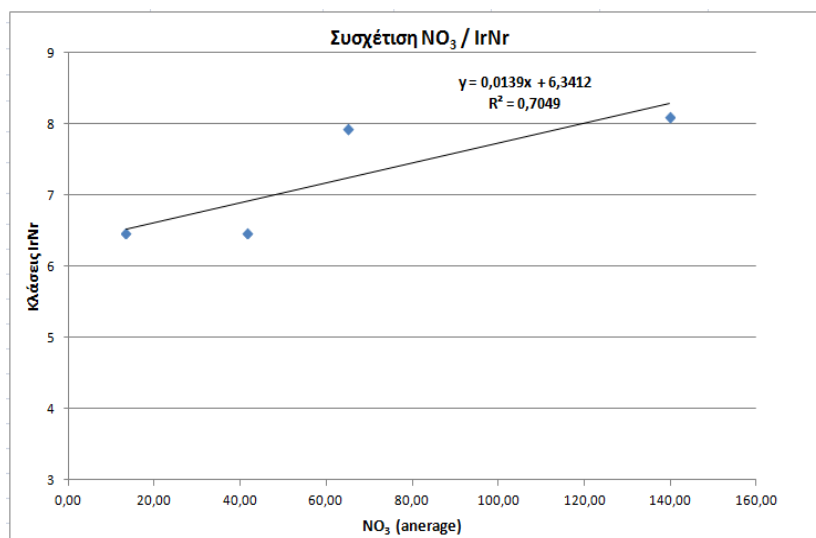
Γράφημα 43: Συσχέτιση Μέσης Τιμής NO<sub>3</sub>/ ArNr



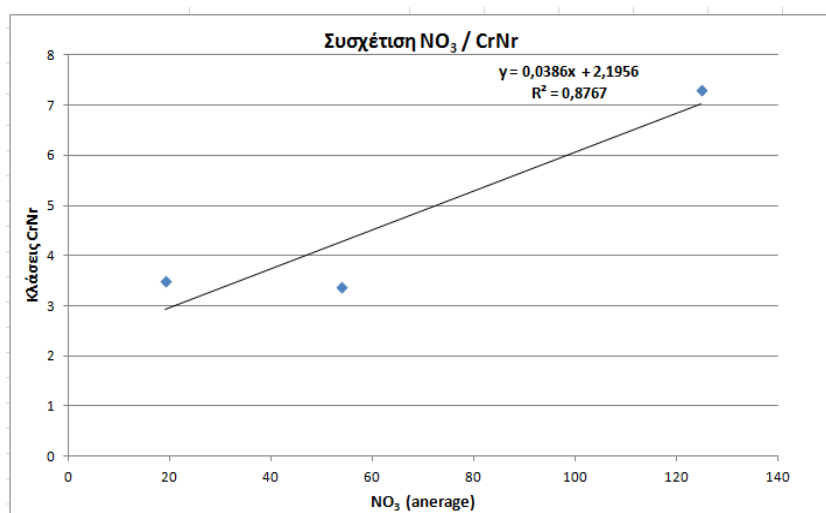
Γράφημα 44: Συσχέτιση Μέσης Τιμής NO<sub>3</sub> / SrNr



Γράφημα 45: Συσχέτιση Μέσης Τιμής NO<sub>3</sub> / TrNr



Γράφημα 46: Συσχέτιση Μέσης Τιμής NO<sub>3</sub> / IrNr

Γράφημα 47: Συσχέτιση Μέσης Τιμής  $\text{NO}_3 / \text{CrNr}$ 

Λόγω του ότι οι παραγοντικές τιμές μεταβάλλονται με κλιμακωτή μορφή (interval scale) και όχι με συνεχή κλίμακα (continuous scale), η μέτρηση της συσχέτισης εκτελέστηκε με χρήση των συντελεστών συσχέτισης Spearman' s Rho και Kendall' s Tau (Kendall 1975), οι οποίοι ενδείκνυνται για τέτοιου είδους παραμέτρους .

Με βάση τις τιμές των συντελεστών συσχέτισης και αφού οι τιμές τους αναχθούν αναλογικά στην κλίμακα με μέγιστη τιμή το 5, όπως ορίζεται από το μοντέλο DRASTIC, υπολογίστηκαν οι νέοι συντελεστές βαρύτητας βάσει του συντελεστή Spearman' s Rho καθώς κατόπιν ελέγχου του τελικού γεωχωρικού μοντέλου η τιμή συσχέτισης μοντέλου/νιτρικών ιόντων για την μέθοδο Spearman' s Rho ήταν ίση με 0,693 έναντι 0,687 της μεθόδου Kendall' s Tau.

Πίνακας 61: Τροποποίηση Βαρύτητας Κριτηρίων DRASTICnrw

Βελτιστοποίηση Βαρύτητας Κριτηρίων w (DRASTICnrw)				
Παράμετροι	Αρχικοί Συντελεστές Βαρύτητας	Συντελεστής Kendall's Tau	Συντελεστής Spearman's Rho*	Τροποποιημένοι Συντελεστές Βαρύτητας
D	5,0	0,67	0,80	4,1
R	1,7	0,98	0,96	4,9
A	0,8	1,00	0,97	5,0
S	2,9	0,20	0,20	1,0
T	3,9	0,33	0,50	2,6
I	2,4	0,91	0,95	4,9
C	1,1	0,33	0,50	2,6

### 7.2.3.1 Χάρτης Ειδικής Τρωτότητας (DRASTIC<sub>rw</sub>) - Στατιστικά

Σύμφωνα με τον νέο υπολογισμό των της βαρύτητας των κριτηρίων του μοντέλου (Πίνακας 56) υπολογίστηκε χάρτης ειδικής τρωτότητας (DRASTIC<sub>rw</sub>) σύμφωνα με την παρακάτω γραμμική εξίσωση:

$$\text{DRASTIC}_{rw} (\text{INDEX}) = \sum_{i=1}^7 W_i * R_i = 4,1 * Dr + 4,9 * Rr + 5 * Ar + 1 * Sr + 2,6 * Tr + 4,9 * Ir + 2,6 * Cr, \quad (14)$$

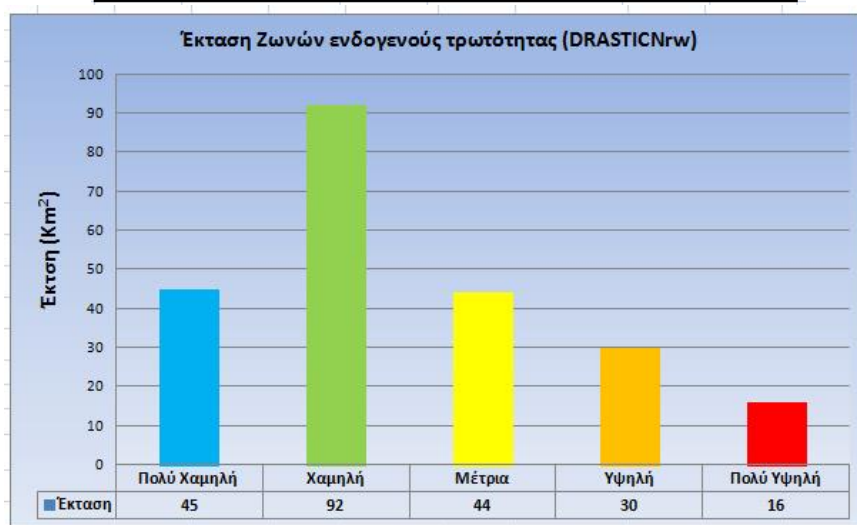
όπου Dr, Rr, Ar, Sr, Tr, Ir και Cr οι νέες βαθμονομημένες παραμετρικές τιμές της μεθόδου DRASTIC<sub>r</sub>.

Οι τιμές των κελιών του τελικού χάρτη ταξινομήθηκαν σε 5 διακριτές κλάσεις μέσω του εργαλείου του Arc Gis Natural Breaks και κατηγοριοποιήθηκαν βάσει ποιοτικής κλίμακας από **πολύ χαμηλή** έως και **πολύ υψηλή τιμή ειδικής τρωτότητας** ως προς την εξωτερική ρύπανση.

Σύμφωνα με την γεωστατιστική ανάλυση του παραγόμενου χάρτη όπως και παρουσιάζεται στον πίνακα 62 και στο Γράφημα 48, η ζώνη μέτριας τρωτότητας καταλαμβάνει την μεγαλύτερη έκταση ενώ αντίθετα η πολύ χαμηλή τρωτότητα καταλαμβάνει την μικρότερη έκταση της περιοχής μελέτης. Σε παρόμοια ποσοστά κυμαίνονται οι εκτάσεις της πολύ χαμηλής, μέτριας και υψηλής τρωτότητας.

Πίνακας 62: Έκταση Ζωνών ενδογενούς Τρωτότητας DRASTIC<sub>rw</sub>

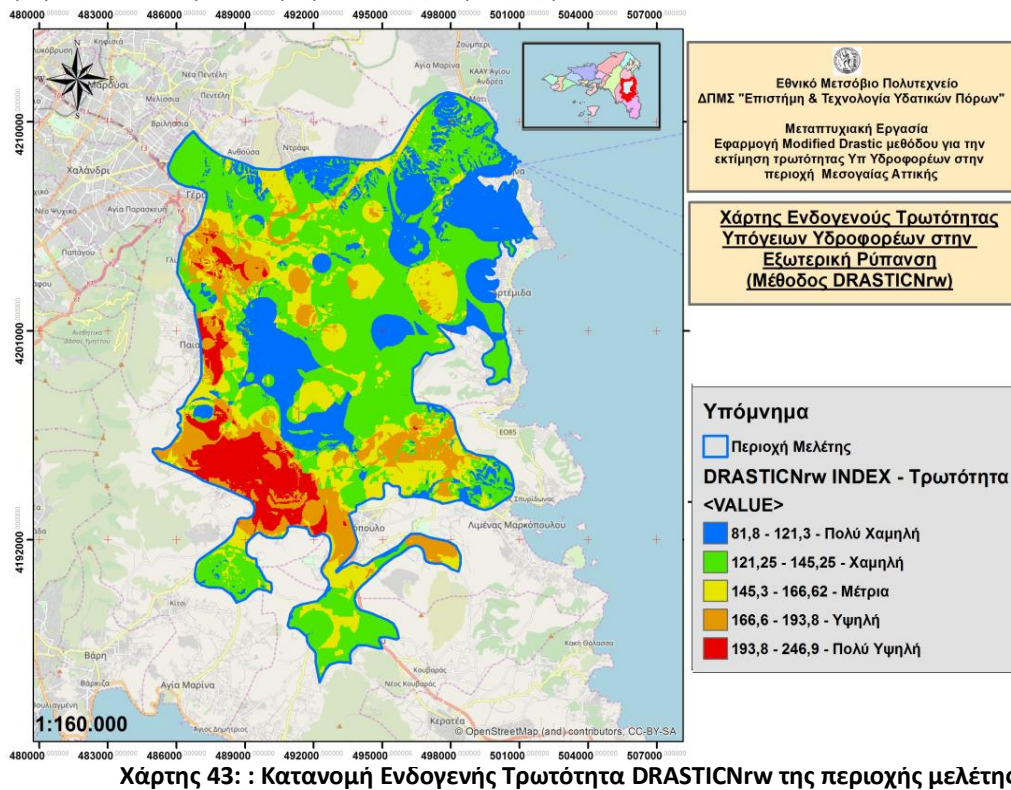
Έκταση ζωνών τρωτότητας (DRASTIC <sub>rw</sub> )		
Κατηγορία	Έκταση (Km <sup>2</sup> )	Ποσοστό
Πολύ Χαμηλή	45	19,8%
Χαμηλή	92	40,5%
Μέτρια	44	19,4%
Υψηλή	30	13,2%
Πολύ Υψηλή	16	7,0%



Γράφημα 48: Ιστόγραμμα Έκτασης Ζωνών ενδογενούς Τρωτότητας DRASTIC<sub>rw</sub>

Ως προς την χωρική ανάλυση οι ζώνη πολύ υψηλής ειδικής τρωτότητας καταλαμβάνει το νοτιοδυτικό και μικρό μέρος του δυτικού τμήματος της περιοχής μελέτης. Η υψηλή

τρωτότητα καταλαμβάνει την ίδια περιοχή και μέρος της νοτιοανατολικής έκτασης. Η ζώνη μέτριας τρωτότητας καταλαμβάνει το μεγαλύτερο μέρος του κεντρικού, νότιου και βορειοδυτικού τμήματος. Τέλος η πολύ χαμηλή ειδική τρωτότητα καταλαμβάνει το ανατολικό – βορειοανατολικό και μέρος του κεντρικού τμήματος της περιοχής μελέτης.



Κατόπιν στατιστικής ανάλυσης των υπολογιζόμενων τιμών του μοντέλου (Πίνακας 63), παρατηρούμε ότι η παράμετρος βάθους του υδροφορέα (D) παρουσιάζει την μεγαλύτερη μέση τιμή (σημαντική επίδραση). Αυτό σε μεγάλο βαθμό οφείλεται αφενός στην σχετικά αυξημένη τιμή βαρύτητας της παραμέτρου και στις παραγοντικές τιμές. Την μεγαλύτερη τιμή συντελεστή παραλακτικότητας εμφανίζει η παράμετρος (A) γεγονός που συνδέεται με την διασπορά των τιμών της εν λόγω παραμέτρου. Το ίδιο ισχύει και για την (C).

**Πίνακας 63: Στατιστικά Στοιχεία Παραμέτρων Μοντέλου DRASTICnrw**

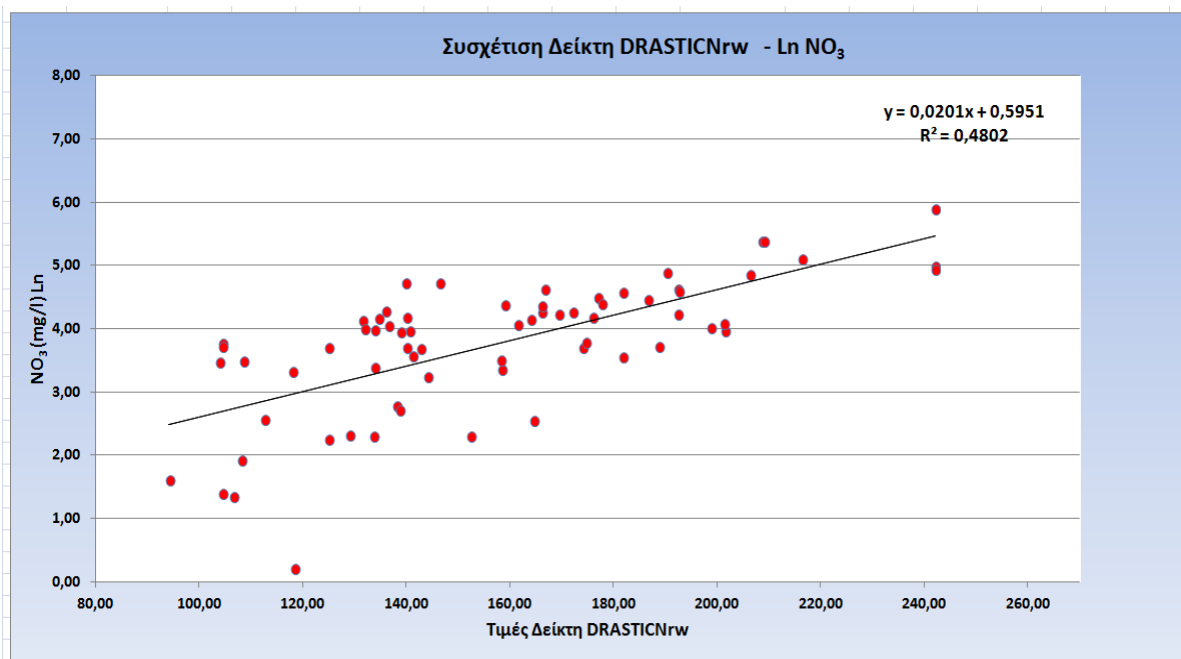
Στατιστικά Στοιχεία	DRASTICnrw	D	R	A	S	T	I	C
Ελάχιστη Τιμή MIN	81,80	20,50	19,60	10,00	4,00	5,20	24,50	7,80
Μέγιστη Τιμή MAX	246,30	41,00	49,00	50,00	10,00	26,00	49,00	26,00
Μέση Τιμή AVERAGE	144,45	30,81	28,97	25,74	6,29	23,86	35,53	12,24
Τυπική Απόκλιση SD	28,39	9,25	11,90	15,27	1,99	4,94	9,78	7,15
Συντελεστής Παραλακτικότητας CV %	20%	30%	41%	59%	32%	21%	28%	58%

### 7.2.3.2 Συσχέτιση Τιμών Μοντέλου – Δείκτη Ρύπανσης

Για τον έλεγχο αξιοπιστίας της βελτιστοποιημένης μεθόδου DRASTICnrw υπολογίστηκε ο συντελεστής συσχέτισης Pearson's μεταξύ των τιμών του μοντέλου DRASTICnrw και των λογαριθμικών συγκεντρώσεων των νιτρικών ιόντων. Σύμφωνα με το Γράφημα 39, ο

συντελεστή συσχέτισης είναι ίσος με **0,69**, στατιστικά σημαντικός σε επίπεδο εμπιστοσύνης 99% ( $p < 0,01$ ).

Η συσχέτιση μεταξύ των τιμών του μοντέλου DRASTIC<sub>nrw</sub> και των λογαριθμικών τιμών  $\text{NO}_3^-$  χαρακτηρίζεται ως μετρίως ισχυρά γραμμικά θετική και η εξίσωση που την περιγράφει (ευθεία παλινδρόμησης) είναι της μορφής  $y = 0,0201x + 0,5951$  (15) με συντελεστή προσαρμογής  $R^2 = 0,4802$ .



Γράφημα 49: Συσχέτιση τιμών βελτιστοποιημένης μεθόδου DRASTIC<sub>nrw</sub> / λογαριθμικών τιμών συγκέντρωσης νιτρικών ιόντων

### 7.2.3.3 Ανάλυση Ευαισθησίας

#### Ανάλυση ευαισθησίας με την αφαίρεση μιας παραμέτρου κάθε φορά

Στον πίνακα 64, δίνεται η ανάλυση ευαισθησίας με τη μέθοδο αφαίρεσης μιας παραμέτρου κάθε φορά.

Πίνακας 64: Στατιστικά Στοιχεία Δείκτη Διακύμανσης Μοντέλου DRASTIC<sub>nrw</sub>

Στατιστικά Στοιχεία S	Αφαιρούμενη Παράμετρος						
	D	R	A	S	T	I	C
Μέση Τιμή MEAN	0,94	0,68	0,23	-1,69	0,24	1,43	-1,11
Μέγιστη Τιμή MAX	3,68	3,71	3,09	0,85	1,76	3,65	1,15
Τυπική Απόκλιση SD	0,93	0,97	1,31	0,25	0,74	0,91	0,58

Από τον πίνακα αυτόν φαίνεται ότι με την αφαίρεση της παραμέτρου S λαμβάνεται η μικρότερη μέση τιμή του δείκτη διακύμανσης (-1,69%), γεγονός που σημαίνει ότι η επίδραση της παραμέτρου αυτής στη διαμόρφωση του δείκτη τρωτότητας είναι μικρότερη από τις υπόλοιπες παραμέτρους. Το ίδιο ισχύει και για την παράμετρο C. Η μεγαλύτερη μέση τιμή του δείκτη διακύμανσης λαμβάνεται με την αφαίρεση της I (1,43%) και D (0,94%), που σημαίνει ότι οι μεταβλητές αυτές είναι σημαντικές για τη διαμόρφωση του δείκτη

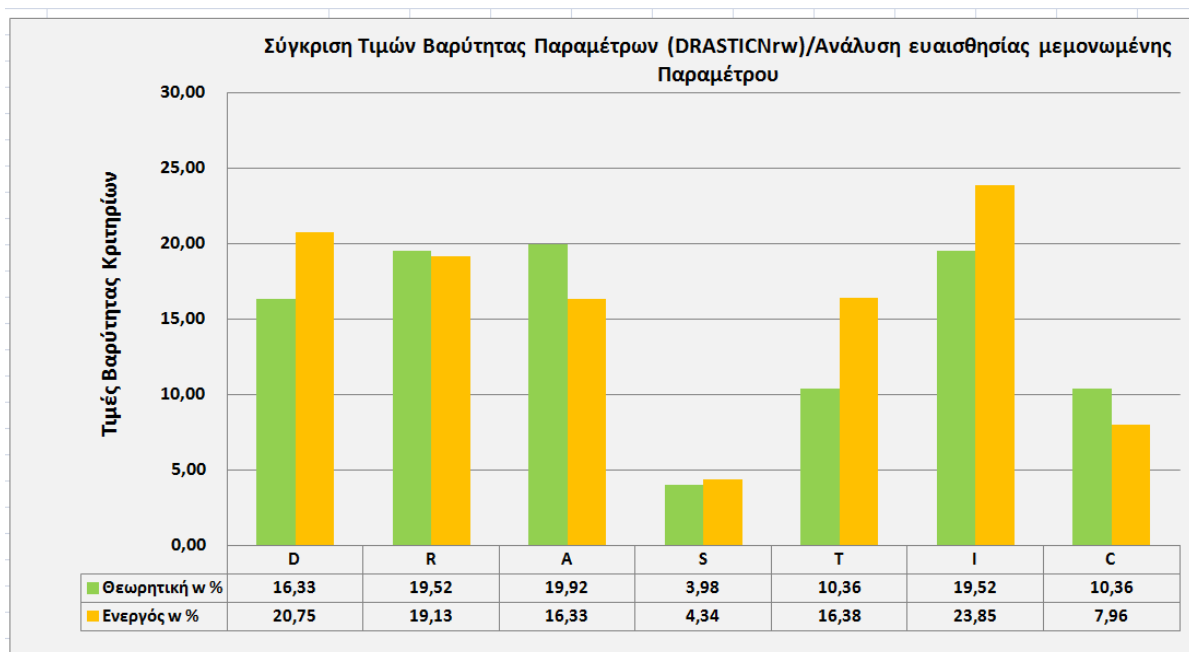
τρωτότητας. Οι παράμετροι T, R, και A έχουν ενδιάμεση επιδραση στην διαμόρφωση του δείκτη.

#### Ανάλυση ευαισθησίας κάθε μεμονωμένης παραμέτρου

Σύμφωνα με τον Πίνακα 65 και το Γράφημα 50, προκύπτει ότι η παράμετρος I έχει τη μεγαλύτερη ενεργό βαρύτητα (23,85%) και η τιμή αυτή διαφέρει ελαφρώς από τη θεωρητική τιμή της (19,52%). Η παράμετρος A έχει επίσης μεγάλη τιμή ενεργού βαρύτητας (20,75%) και παρουσιάζει μικρή αύξηση σε σχέση με τη θεωρητική τιμή (16,33%). Για τις λοιπές παραμέτρους η ενεργός βαρύτητα εμφανίζει ελαφρώς μικρότερες τιμές σε σχέση με την θεωρητική εκτός της παραμέτρου T και S.

**Πίνακας 65: Υπολογισμός ενεργού βαρύτητας μοντέλου DRASTICn<sub>w</sub>**

Θεωρητική - Ενεργός Βαρύτητα	D	R	A	S	T	I	C
Θεωρητική Βαρύτητα P <sub>w</sub>	4,1	4,9	5	1	2,6	4,9	2,6
Θεωρητική Βαρύτητα P <sub>w</sub> %	16,33	19,52	19,92	3,98	10,36	19,52	10,36
Μέση Τιμή ενεργού βαρύτητας w	19,90	18,35	15,66	4,16	15,71	22,88	7,63
Μέση Τιμή ενεργού βαρύτητας w %	20,75	19,13	16,33	4,34	16,38	23,85	7,96
Ενεργός Βαρύτητα	4,3	4,0	3,4	0,9	3,4	5	1,7
Τυπική Απόκλιση ενεργού βαρύτητας SD	5,61	5,81	7,87	1,48	4,44	5,45	3,51



**Γράφημα 50: Ιστόγραμμα θεωρητικής ενεργού βαρύτητας μοντέλου DRASTICn<sub>w</sub>**

### 7.3 Εισαγωγή ρυπαντικού φορτίου - Διακινδύνευση

Η εφαρμογή του αρχικού μοντέλου DRASTIC, καθώς και οι στατιστικές τροποποιήσεις της εν λόγω μεθόδου, αναφέρονται στον υπολογισμό της ενδογενούς τρωτότητας. Η ενδογενής τρωτότητα του υδροφόρου είναι σημαντικός φυσικός παράγοντας, που επηρεάζει τη συγκέντρωση των συγκεκριμένων ρύπων, όπως τα νιτρικά ιόντα στο υπόγειο νερό.

Η ειδική τρωτότητα προσεγγίζει με πιο ρεαλιστικό τρόπο την τρωτότητα των υπόγειων υδροφορέων καθώς αποτελεί συνάρτηση τόσο των χαρακτηριστικών του υδροφόρου συστήματος, όσο και της απόστασης από την πηγή ρύπανσης, των χαρακτηριστικών του ρύπου και άλλων παραγόντων που μπορεί πιθανά να αυξήσουν το ρυπαντικό φορτίο του συγκεκριμένου ρυπαντή (ανθρωπογενείς προσβολές).

Η **Διακινδύνευση** ενός υδροφορέα (pollution risk)  $R$  στην εξωτερική ρύπανση είναι συνάρτηση της τρωτότητας του (vulnerability) και της πιθανότητας εκδήλωσης ενός επεισοδίου ρύπανσης σε μια περιοχή  $R=V*H$ .

Η πιθανότητα εκδήλωσης ενός επεισοδίου ρύπανσης  $H$  (hazard) σχετίζεται με τις χρήσεις γής και τις πηγές ρύπανσης. Από την υπέρθεση των χαρτών τρωτότητας επάνω στους χάρτες που δείχνουν τις σημειακές πηγές ρύπανσης ή τις ρυπαντικές δραστηριότητες χρήσεων γής (διάχυτη ρύπανση), προκύπτουν οι χάρτες διακινδύνευσης των υπογείων νερών στην ρύπανση.

Για τον υπολογισμό της ειδικής τρωτότητας / Διακινδύνευσης (παρόμοιες έννοιες) προστέθηκαν στην εξίσωση υπολογισμού τρωτότητας της βελτιστοποιημένης μεθόδου DRASTIC<sub>rw</sub> 2 νέες παράμετροι, οι **Χρήσεις Γής** και οι **σημειακές πηγές ρύπανσης** της περιοχής μελέτης **με τιμή βαρύτητας των εν λόγω κριτηρίων την μέγιστη τιμή (5) λόγω της σημαντικότητας του ρυπαντικού φορτίου.**

#### 7.3.1 Χρήσεις Γής (L) – (DRASTIC<sub>L</sub><sub>rw</sub>)

Ένας πολύ σημαντικός παράγοντας που καθορίζει τον κίνδυνο ρύπανσης σε μια περιοχή είναι οι χρήσεις γής. Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε η κατανομή των χρήσεων γης της περιοχής έρευνας, όπως αυτή καθορίζεται από το πρόγραμμα Land Cover Corine 2012 (Χάρτης 44).

Αρχικά η κάθε κατηγορία χρήσης γης αφού κωδικοποιήθηκε σε αντίστοιχες ομάδες, βαθμονομήθηκε βάσει α) βιβλιογραφικών αναφορών (Secunda et al. 1998, Rupert 1999), β) υποκειμενικών κριτηρίων καθώς επίσης και γ) βάσει γεωχωρικής ανάλυσης υδροληψιών που αρδεύουν καλλιέργειες με υψηλό κίνδυνο νιτρορύπανσης λόγω υπερβολικής χρήσης λιπασμάτων όπως είναι τα κηπευτικά και τα θερμοκήπια (Χάρτης 45).



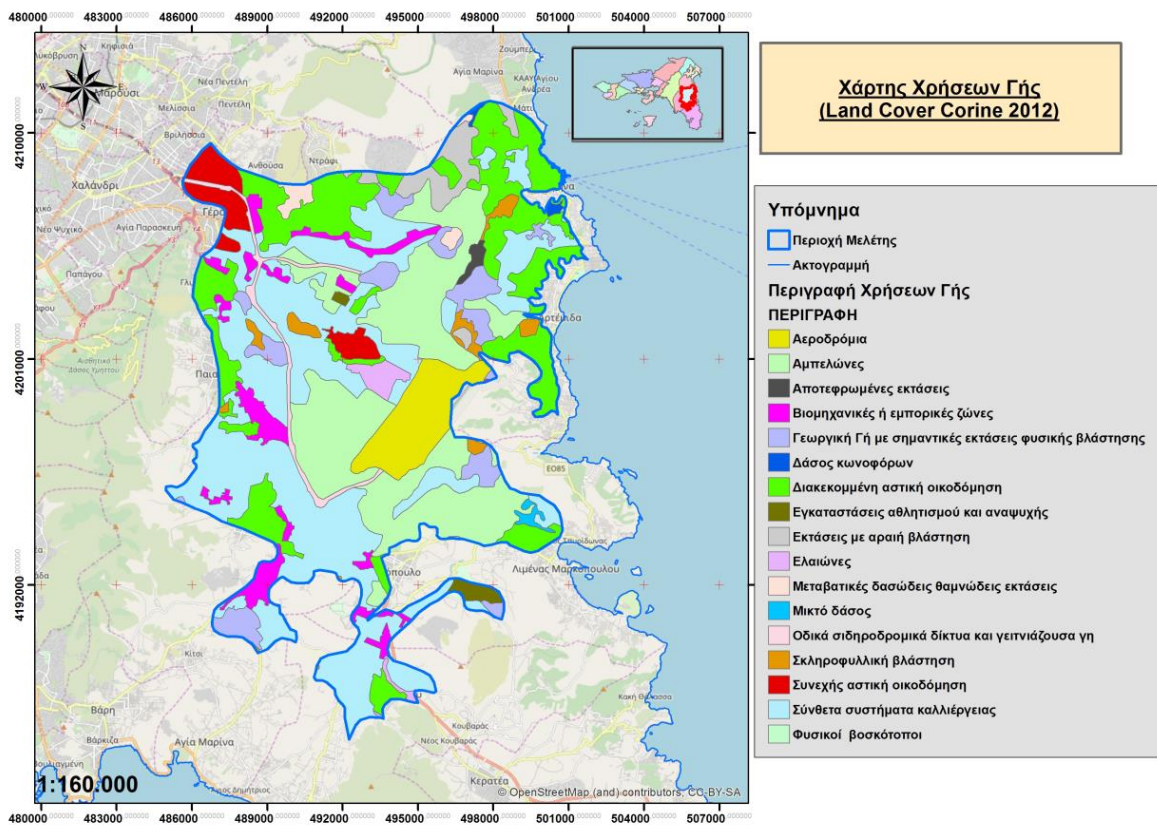
Στη συνέχεια και για τις κατηγορίες χρήσεων γης στις οποίες υπήρχαν υδροσημεία ελέγχου, η βαθμονόμηση τροποποιήθηκε με μια διαδικασία ανάλογη με αυτή της αναθεώρησης των παραγοντικών τιμών των παραμέτρων της μεθόδου DRASTIC. Χρησιμοποιήθηκε δηλαδή, ο μέσος όρος (mean) της κατανομής νιτρικών σε κάθε μια από τις κατηγορίες χρήσεων γης, από την αναγωγή των οποίων στην κλίμακα του 10 προέκυψε ο αναθεωρημένος βαθμός. Για την κατηγορία χρήσεων γής 5 δεν υπήρχαν αντίστοιχες τιμές συγκέντρωσης νιτρικών ιόντων και για αυτόν τον λόγο βαθμονομήθηκαν σύμφωνα με τις τιμές χρήσεων γής του κωδικού 6 λόγω παραπλήσιου χαρακτήρα ρυπαντικού φορτίου. Κατόπιν μέσω γεωχωρικής ανάλυσης δημιουργήθηκε ο χάρτης βαθμονόμησης διακινδύνευσης χρήσεων γής (Χάρτης 46).

**Πίνακας 66: Αρχική βαθμονόμηση χρήσεων γής ως προς την Διακινδύνευση υπόγειων**

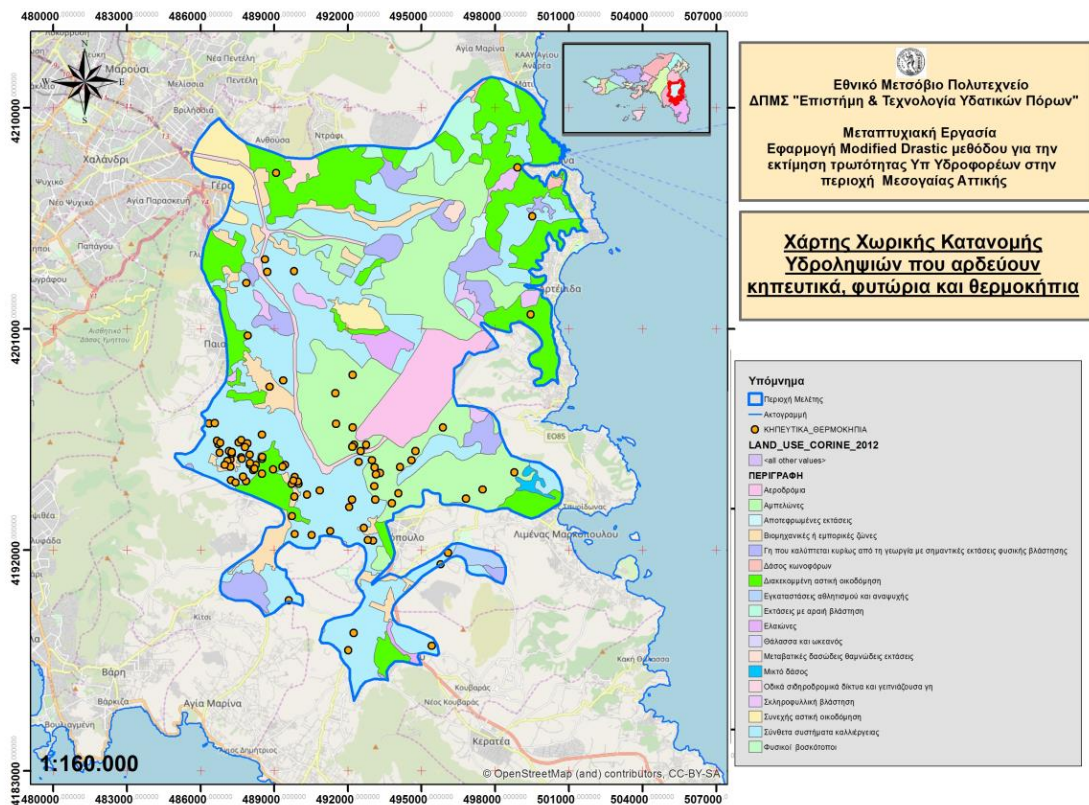
Πίνακας Βαθμονόμησης παραμέτρου Χρήσης Γής Lr			
CODE	LAND USE	Βαθμονόμηση	Διακινδύνευση
1	Σύνθετα Συστήματα Καλλιέργειας	8	Πολύ Υψηλή
2	Αμπελώνες, Ελαιώνες	6	Υψηλή
3	Συνεχής Αστική Δόμηση	5	Μέτρια
4	Διακεκομμένη Αστική Δόμηση, Αεροδρόμιο, Γεωργία με σημ εκτάσεις φυσικής βλάστησης, Βιομηχανικές Περιοχές, Εγκαταστάσεις Αθλητισμού Αναψυχής	4	Χαμηλή
5	Εκτάσεις με αραιή βλάστηση, Σκληροφυλική βλάστηση, Φυσικοί Βοσκότοποι, Αποτεφρωμένες εκτάσεις	3	Πολύ χαμηλή
6	Οδικό Δίκτυο, Μικτό Δάσος, Μεταβατικές Θαμνώδεις Δασώδεις Εκτάσεις, Δάσος Κωνοφόρων, Αραιή Βλάστηση	2	Πάρα Πολύ χαμηλή

**Πίνακας 67: Βαθμονόμηση χρήσεων γής ως προς την Διακινδύνευση υπόγειων υδροφορέων βάσει Μ.Ο συγκέντρωσης νιτρικών ιόντων**

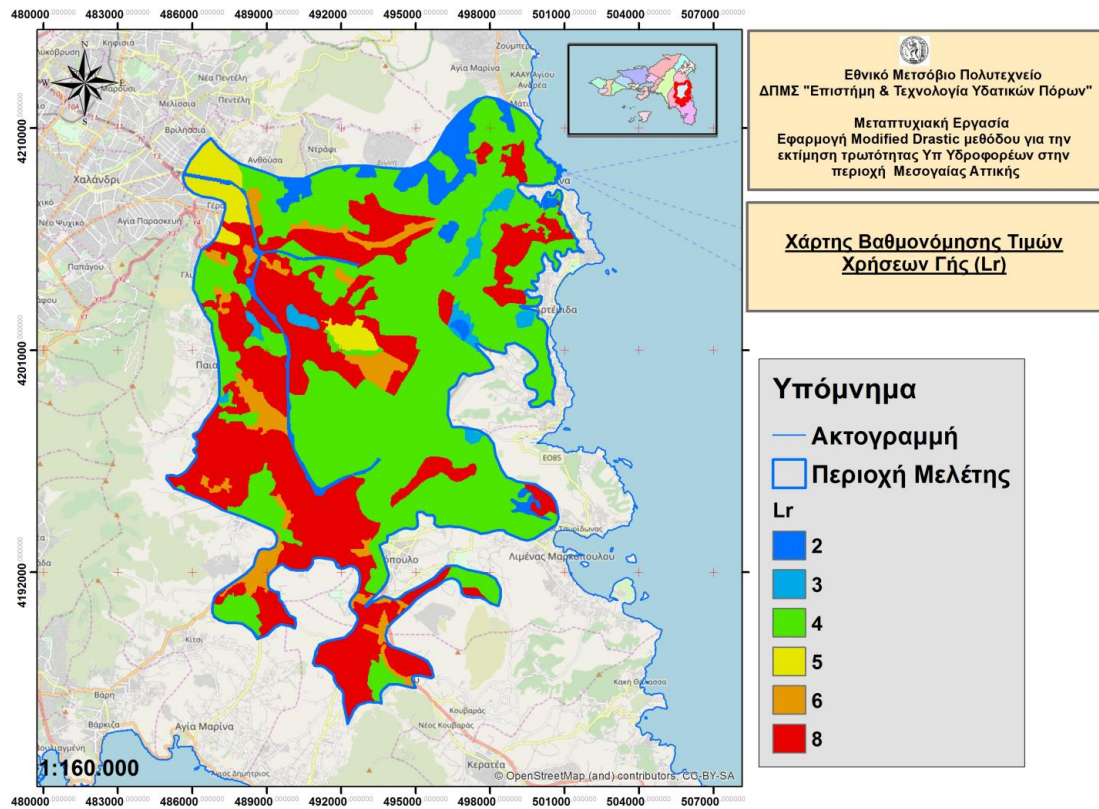
Βελτιστοποίηση Τιμής Συντελεστών Παραμέτρου Lr (LrNr)			
CODE	Αρχική Βαθμονόμηση	Μέση Συγκέντρωση NO <sub>3</sub>	Τροποποιημένος Βαθμός (κλίμακα 10)
1	8	65,31	9
2	6	67,25	10
3	5	68,98	10
4	4	63,42	9
5	3		7
6	2	46,28	7



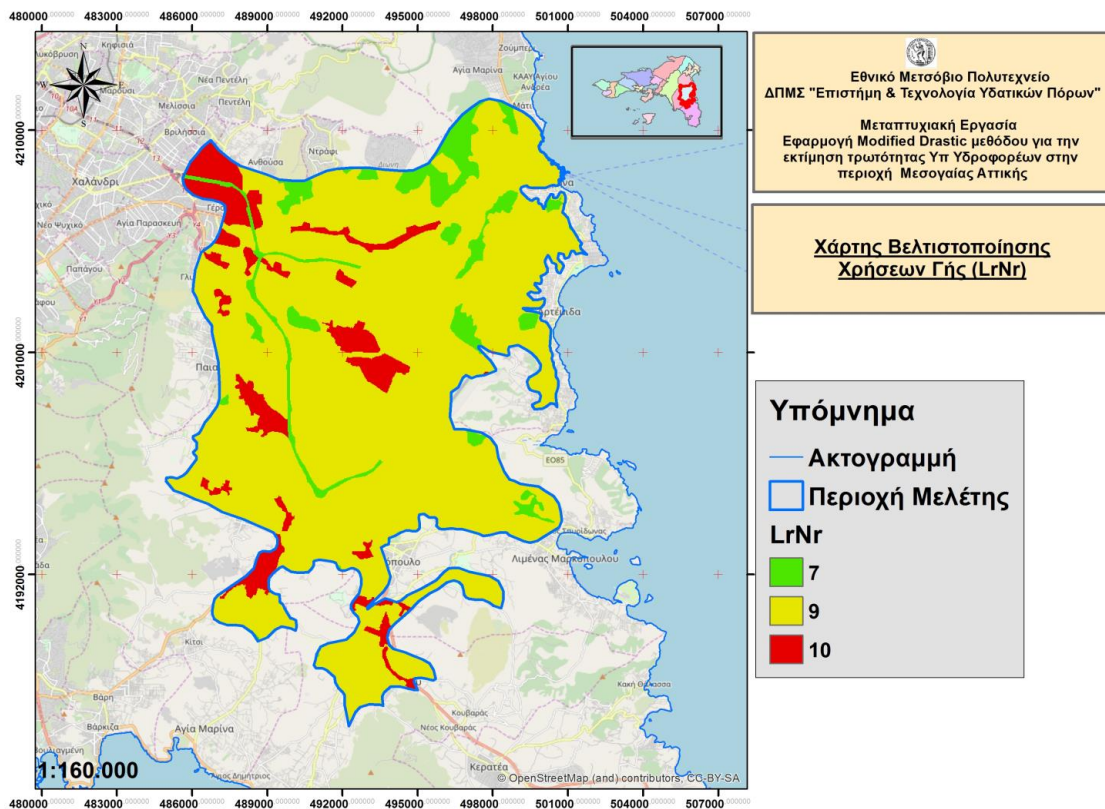
Χάρτης 44: : Χρήσεις Γής της περιοχής μελέτης, Land Cover Corine 2012



Χάρτης 45: : Κατανομή Αρδευτικών Υδροληψιών φυτωρίων, θερμοκηπίων



Χάρτης 45: : Αρχική Βαθμονόμηση Χρήσεων Γής



Χάρτης 46: : Τελική Βαθμονόμηση Χρήσεων Γής βάσει Μ.Ο συγκέντρωσης νιτρικών ιόντων

### 7.3.1.1 Χάρτης Διακινδύνευσης (DRASTICLN<sub>rw</sub>) - Στατιστικά

Ο χάρτης Διακινδύνευσης (DRASTICLN<sub>rw</sub>) υπολογίστηκε με την εξής γραμμική εξίσωση:

$$\text{DRASTICLN}_{rw} = \sum_{i=1}^8 W_i * R_i = 4,1 * Dr + 4,9 * Rr + 5 * Ar + 1 * Sr + 2,6 * Tr + 4,9 * Ir + 2,6 * Cr + 5 * Lr, \quad (16)$$

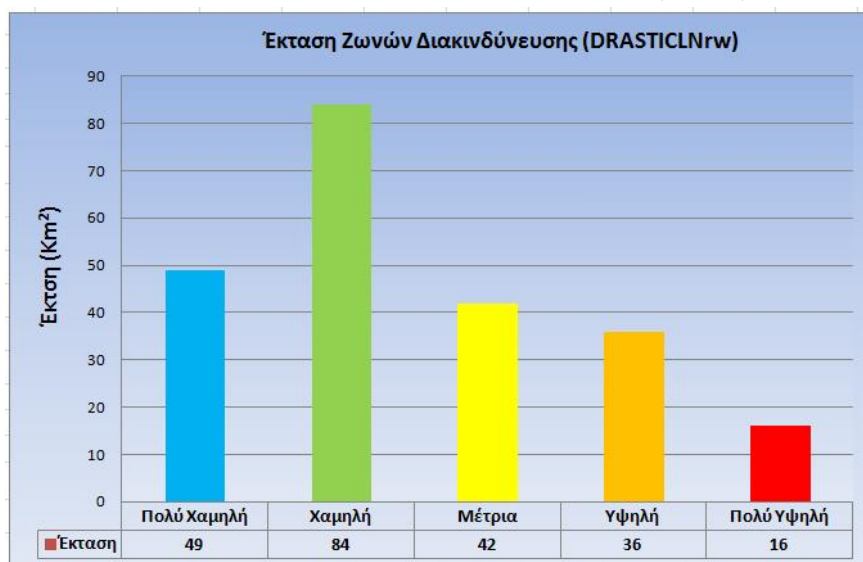
όπου Dr, Rr, Ar, Sr, Tr, Ir, Cr οι βαθμονομημένες παραμετρικές τιμές της μεθόδου DRASTICN<sub>r</sub> και Lr οι βαθμονομημένες τιμές της παραμέτρου χρήσεων γής L.

Οι τιμές των κελιών του τελικού χάρτη ταξινομήθηκαν σε 5 διακριτές κλάσεις μέσω του εργαλείου του Arc Gis Natural Breaks και κατηγοριοποιήθηκαν βάσει ποιοτικής κλίμακας από **πολύ χαμηλή** έως και **πολύ υψηλή τιμή ειδικής** τρωτότητας ως προς την εξωτερική ρύπανση.

Σύμφωνα με την γεωστατιστική ανάλυση του παραγόμενου χάρτη όπως και παρουσιάζεται στον πίνακα 68 και στο Γράφημα 48, η ζώνη χαμηλής διακινδύνευσης καταλαμβάνει την μεγαλύτερη έκταση ενώ αντίθετα η πολύ υψηλή διακινδύνευση καταλαμβάνει την μικρότερη έκταση της περιοχής μελέτης. Σε παρόμοια ποσοστά κυμαίνονται οι εκτάσεις της πολύ χαμηλής, μέτριας και υψηλής διακινδύνευσης.

Πίνακας 68: Έκταση Ζωνών ειδικής Τρωτότητας DRASTICLN<sub>rw</sub>

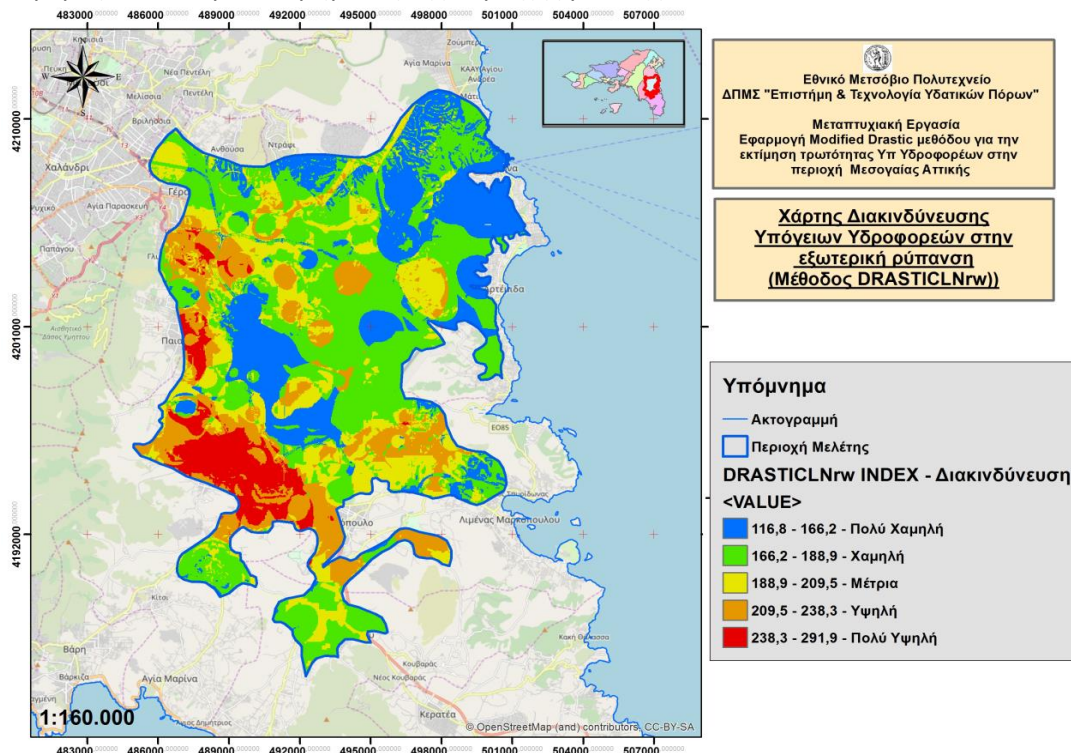
Έκταση ζωνών Διακινδύνευσης (DRASTICLN <sub>rw</sub> )		
Κατηγορία	Έκταση (Km <sup>2</sup> )	Ποσοστό
Πολύ Χαμηλή	49	21,6%
Χαμηλή	84	37,0%
Μέτρια	42	18,5%
Υψηλή	36	15,9%
Πολύ Υψηλή	16	7,0%



Γράφημα 51 Ιστογράμμα Έκτασης Ζωνών ειδικής Τρωτότητας DRASTICLN<sub>rw</sub>

Ως προς την χωρική ανάλυση οι ζώνη πολύ υψηλής ειδικής τρωτότητας καταλαμβάνει το νοτιοδυτικό και μικρός μέρος του δυτικού τμήματος της περιοχής μελέτης. Η υψηλή τρωτότητα καταλαμβάνει την ίδια περιοχή και μέρος της νοτιοανατολικής έκτασης. Η ζώνη μέτριας τρωτότητας καταλαμβάνει το μεγαλύτερο μέρος του κεντρικού, νότιου και

βορειοδυτικού τμήματος. Τέλος η πολύ χαμηλή ειδική τρωτότητα καταλαμβάνει το ανατολικό – βορειοανατολικό και μέρος του κεντρικού τμήματος της περιοχής μελέτης. μέρος του κεντρικού τμήματος της περιοχής μελέτης.



Χάρτης 47: : Κατανομή Διακινδύνευσης DRASTICLNrw της περιοχής μελέτης

Κατόπιν στατιστικής ανάλυσης των υπολογιζόμενων τιμών του μοντέλου (Πίνακας 65), παρατηρούμε ότι η παράμετρος (L) παρουσιάζει την μεγαλύτερη μέση τιμή. Αυτό οφείλεται στον μέγιστο βαθμό βαρύτητας της παραμέτρου αλλά και των παραμετρικών τιμών. Η παράμετρος (A) παρουσιάζει τις υψηλότερες τιμές τυπικής απόκλισης και συντελεστή παραλακτικότητας (CV %). Αυτό σε μεγάλο βαθμό οφείλεται τόσο στην διασπορά των αρχικών τιμών όσο και στον μέγιστο βαθμό βαρύτητας της παραμέτρου.

Μικρότερη μέση τιμή εμφανίζει η παράμετρος της Εδαφικής Υφής (S) γεγονός που δείχνει την μικρή συμμετοχή στην τιμή του συνολικού δείκτη.

Η παράμετρος (L), έχει την μικρότερη τιμή δείκτη παραλλακτικότητας γεγονός που αποτυπώνει την μικρή διασπορά των τιμών γύρω από την μέση τιμή.

Ο γενικός δείκτης DRASTICLNrw εμφανίζει χαμηλή τιμή δείκτη παραλακτικότητας.

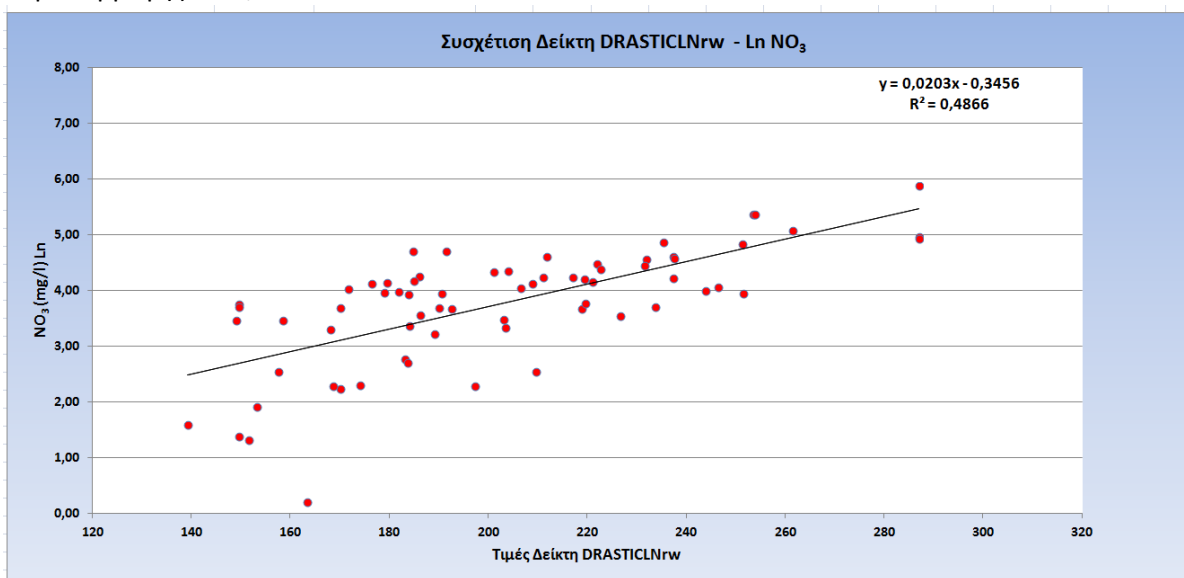
Πίνακας 69: Στατιστικά Στοιχεία Παραμέτρων Μοντέλου DRASTICLNrw

Στατιστικά Στοιχεία	DRASTICLNrwLr	D	R	A	S	T	I	C	L
Ελάχιστη Τιμή MIN	116,80	20,50	19,60	10,00	4,00	5,20	24,50	7,80	35,00
Μέγιστη Τιμή MAX	291,90	41,00	49,00	50,00	10,00	26,00	49,00	26,00	50,00
Μέση Τιμή AVERAGE	189,15	30,81	28,97	25,74	6,29	23,86	35,53	12,24	45,37
Τυπική Απόκλιση SD	28,95	9,25	11,80	15,27	1,99	4,94	9,78	7,15	2,91
Συντελεστής Παραλακτικότητας CV %	15%	30%	41%	59%	32%	21%	28%	58%	6%

### 7.3.1.2 Συσχέτιση Τιμών Μοντέλου – Δείκτη Ρύπανσης

Για τον έλεγχο αξιοπιστίας της βελτιστοποιημένης μεθόδου DRASTICLN<sub>rw</sub> υπολογίστηκε ο συντελεστής συσχέτισης Pearson's μεταξύ των τιμών του μοντέλου DRASTICLN<sub>rw</sub> και των λογαριθμικών συγκεντρώσεων των νιτρικών ιόντων. Σύμφωνα με το Γράφημα 52, ο συντελεστής συσχέτισης είναι ίσος με **0,70**, στατιστικά σημαντικός σε επίπεδο εμπιστοσύνης 99% ( $p < 0,01$ ).

Η συσχέτιση μεταξύ των τιμών του μοντέλου DRASTICLN<sub>rw</sub> και των λογαριθμικών τιμών  $\text{NO}_3^-$  χαρακτηρίζεται ως μετρίως ισχυρά γραμμικά θετική και η εξίσωση που την περιγράφει (ευθεία παλινδρόμησης) είναι της μορφής  $y = 0,0203 \cdot x + 0,3456$ , (17) με συντελεστή προσαρμογής  $R^2 = 0,4866$ .



Γράφημα 52: Συσχέτιση τιμών βελτιστοποιημένης μεθόδου DRASTICLN<sub>rw</sub> / λογαριθμικών τιμών συγκεντρώσεως νιτρικών ιόντων

### 7.2.1.3 Ανάλυση Ευαισθησίας

#### Ανάλυση ευαισθησίας με την αφαίρεση μιας παραμέτρου κάθε φορά

Στον πίνακα 70, δίνεται η ανάλυση ευαισθησίας με τη μέθοδο αφαίρεσης μιας παραμέτρου κάθε φορά.

Πίνακας 70: Στατιστικά Στοιχεία Δείκτη Διακύμανσης Μοντέλου DRASTICLN<sub>rw</sub>

Στατιστικά Στοιχεία S	Αφαιρούμενη Παράμετρος							
	D	R	A	S	T	I	C	L
Μέση Τιμή MEAN	0,39	0,23	-0,04	-1,33	-0,07	-1,24	-0,94	1,51
Μέγιστη Τιμή MAX	1,93	2,12	1,83	0,88	0,70	0,10	1,01	0,61
Τυπική Απόκλιση SD	0,58	0,65	0,92	0,15	0,42	0,67	0,40	2,83

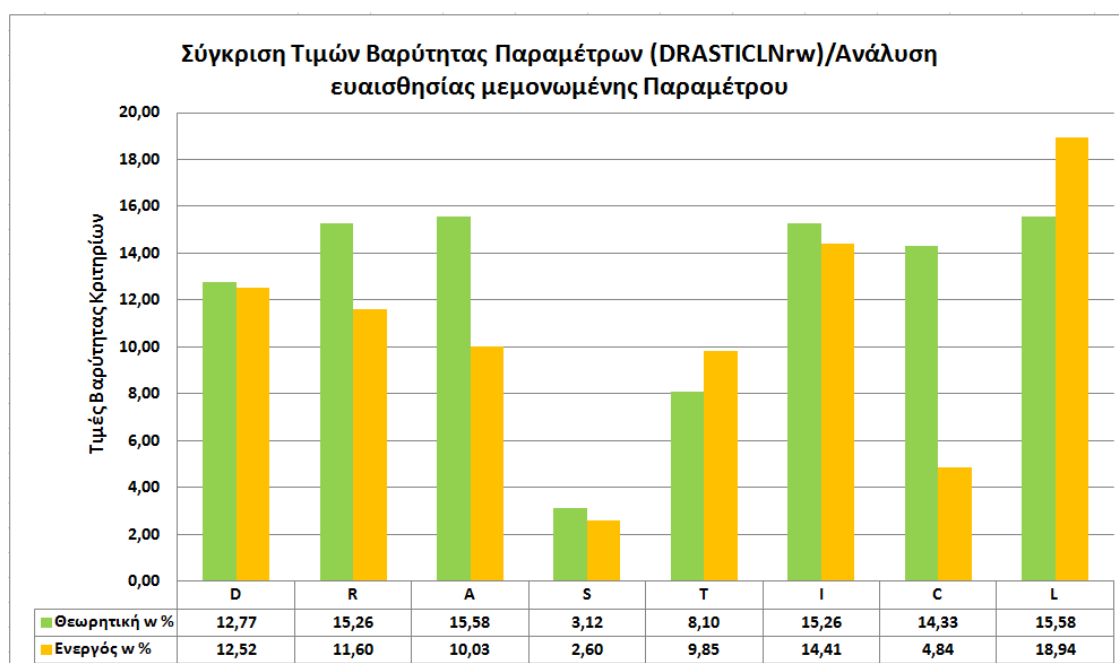
Από τον πίνακα αυτόν φαίνεται ότι με την αφαίρεση της παραμέτρου S λαμβάνεται η μικρότερη μέση τιμή του δείκτη διακύμανσης (-1,33%), γεγονός που σημαίνει ότι η επίδραση της παραμέτρου αυτής στη διαμόρφωση του δείκτη τρωτότητας είναι μικρότερη από τις υπόλοιπες παραμέτρους. Το ίδιο ισχύει και για την παράμετρο I. Η μεγαλύτερη μέση τιμή του δείκτη διακύμανσης λαμβάνεται με την αφαίρεση της παραμέτρου L (1,51%) γεγονός που σημαίνει ότι η επίδραση της παραμέτρου αυτής στη διαμόρφωση του δείκτη τρωτότητας είναι πολύ σημαντική. Οι παράμετροι D και R έχουν ενδιάμεση επιδραση στην διαμόρφωση του τελικού δείκτη ειδικής τρωτότητας.

#### Ανάλυση ευαισθησίας κάθε μεμονωμένης παραμέτρου

Σύμφωνα με τον Πίνακα 71 και το Γράφημα 53, προκύπτει ότι η παράμετρος L έχει τη μεγαλύτερη ενεργό βαρύτητα (18,94%) και η τιμή αυτή διαφέρει ελαφρώς από τη θεωρητική τιμή της (15,58%). Η παράμετρος I έχει επίσης μεγάλη τιμή ενεργού βαρύτητας (14,41%) και παρουσιάζει μικρή μείωση σε σχέση με τη θεωρητική τιμή (15,26%). Για τις λοιπές παραμέτρους η ενεργός βαρύτητα εμφανίζει τιμές μικρότερες σε σχέση με την θεωρητική εκτός της παραμέτρου T.

**Πίνακας 71: Υπολογισμός ενεργού βαρύτητας μοντέλου DRASTICnrw**

Θεωρητική - Ενεργός Βαρύτητα	D	R	A	S	T	I	C	L
Θεωρητική Βαρύτητα Pw	4,1	4,9	5	1	2,6	4,9	4,6	5
Σχετική Θεωρητική Βαρύτητα Pw %	12,77	15,26	15,58	3,12	8,10	15,26	14,33	15,58
Μέση Τιμή ενεργού βαρύτητας w	15,24	14,12	12,21	3,17	11,99	17,54	5,89	23,06
Μέση Τιμή ενεργού βαρύτητας w %	12,52	11,60	10,03	2,60	9,85	14,41	4,84	18,94
Ενεργός Βαρύτητα	3,3	3,1	2,6	0,7	2,6	3,8	1,3	5
Τυπική Απόκλιση ενεργού βαρύτητας SD	4,08	4,56	6,42	1,05	2,97	4,00	2,83	4,26

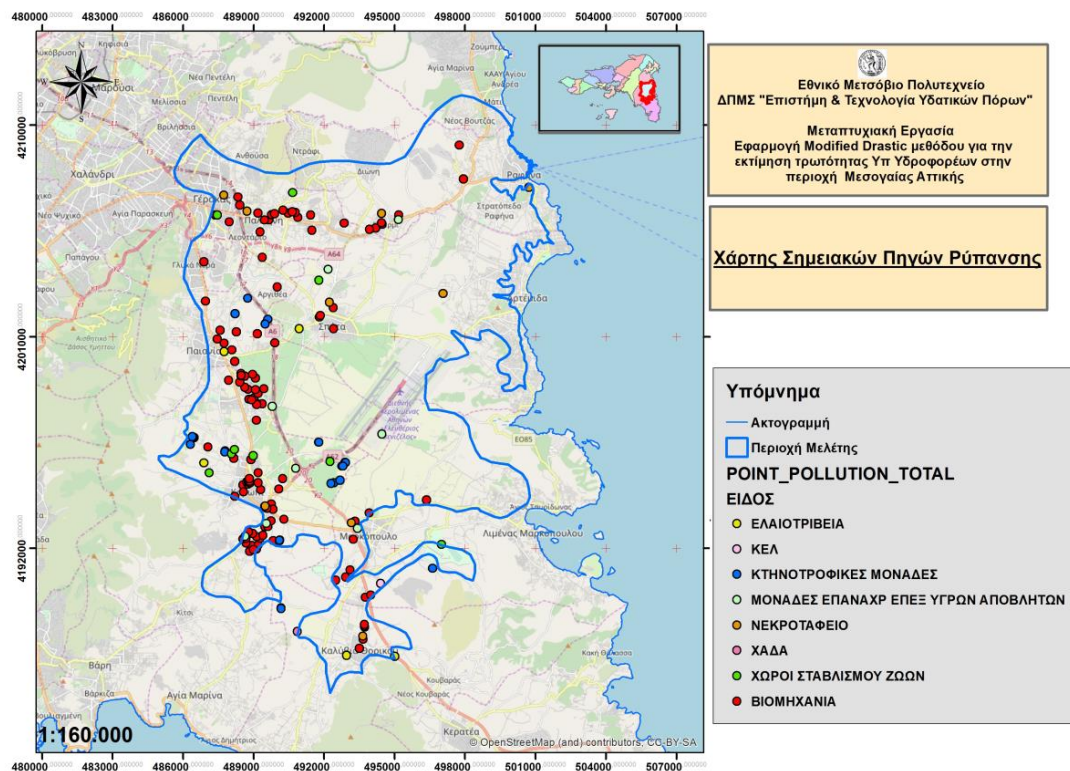


**Γράφημα 53: Ιστόγραμμα θεωρητικής ενεργού βαρύτητας μοντέλου DRASTICnrw**

### 7.3.2 Σημειακές Πηγές Ρύπανσης (P) – (DRASTIC<sub>Ln</sub>rwp)

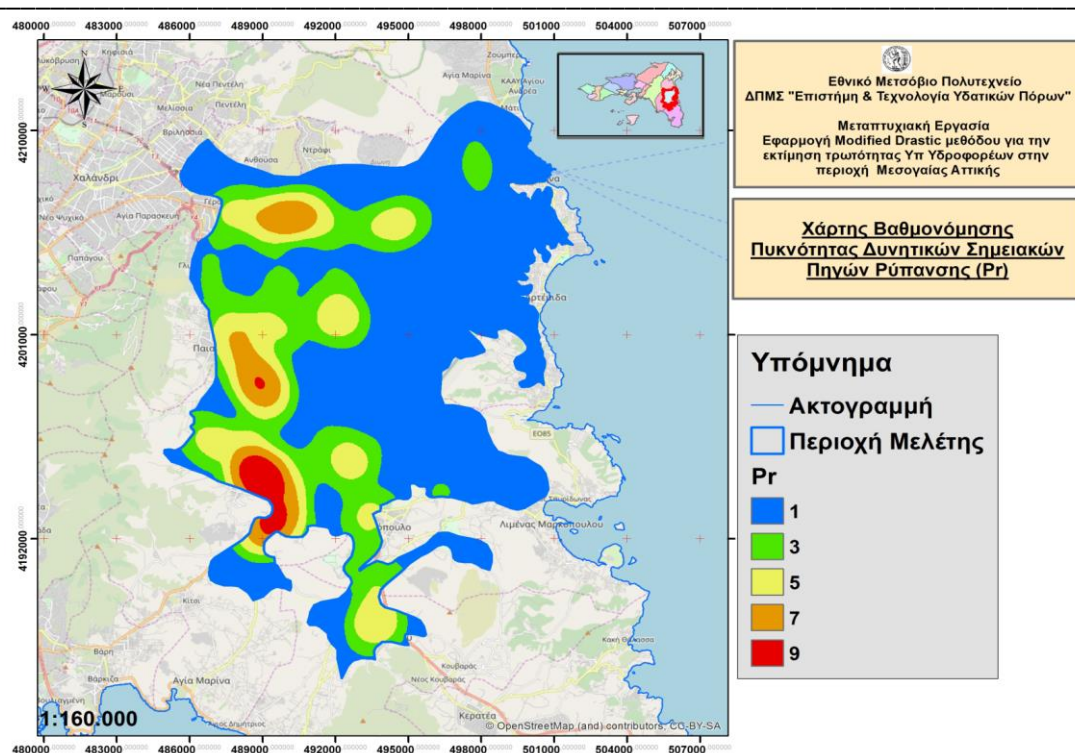
Ένας επίσης σημαντικός παράγοντας ρυπαντικού φορτίου σε μια περιοχή είναι οι σημειακές πηγές ρύπανσης. Για την καταγραφή των σημειακών πηγών ρύπανσης της περιοχής μελέτης, χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα η πηγή των οποίων προέρχεται από α) τα εγκεκριμένα παραδοτέα της 1<sup>ης</sup> Αναθεώρησης των Σχεδίων Διαχείρισης του ΥΔ 06 Αττικής, β) την υπηρεσία χαρτογράφησης Διαδικτύου (**google maps**) κατόπιν γεωχωρικής αναζήτησης, καθώς επίσης γ) από βάσεις Δεδομένων της Δνσης Υδάτων Α.Δ.Α Αττικής (βάση δεδομένων μονάδων επαναχρησιμοποίησης επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων). Τα ως άνω δεδομένα καταχωρήθηκαν σε βάση δεδομένων και κατόπιν μέσω του κατάλληλου εργαλείου του Arc Gis (Add Data) δημιουργήθηκε το σχετικό διανυσματικό αρχείο (shp) των σημειακών πηγών ρύπανσης. (Χάρτης 48).

Κατόπιν μέσω του εργαλείου (kernel density tool) δημιουργήθηκε ο χάρτης πυκνότητας των σημειακών πηγών ρύπανσης σε μορφή raster αρχείου (αριθμός πηγών ρύπανσης / Km<sup>2</sup>) ο οποίος και επαναταξινομήθηκε (βαθμονομήθηκε) σε 5 κλάσεις ανάλογα με τον βαθμό συσχέτισης τους με την Διακινδύνευση ρύπανσης (Πίνακας 72, Χάρτης 49). Οι περιοχές που εμφανίζουν μεγάλη πυκνότητα σημειακών πηγών ρύπανσης εμφανίζουν μεγαλύτερη πιθανότητα εκδήλωσης ρυπαντικού επεισοδίου άρα και Διακινδύνευση ρύπανσης των υπογείων υδροφορέων σε σχέση με τις περιοχές με αραιή πυκνότητα πηγών ρύπανσης.



Χάρτης 48: : Σημειακές Πηγές ρύπανσης της περιοχής μελέτης





**Χάρτης 49: Αρχική Βαθμονόμηση Πυκνότητας Σημειακών Πηγών ρύπανσης ως προς την Διακινδύνευση Ρύπανσης υπόγειων υδροφορέων**

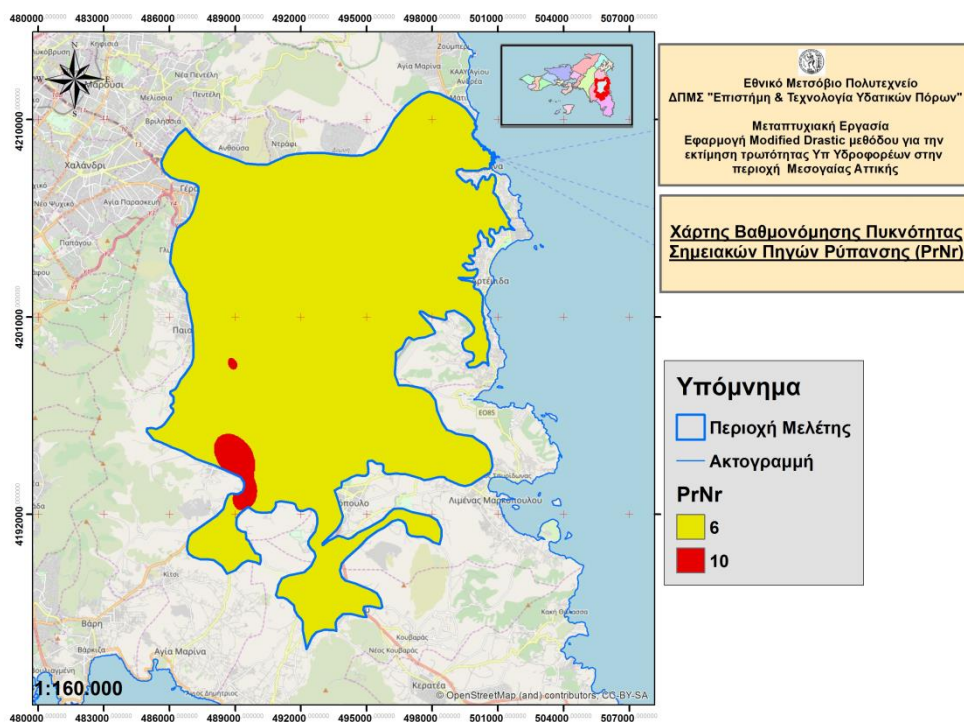
**Πίνακας 72: Αρχική βαθμονόμηση πυκνότητας σημειακών πηγών ρύπανσης ως προς την Διακινδύνευση υπόγειων υδροφορέων**

Βαθμονόμηση Παραμέτρου POINT_POLLUTION_DENSITY (P) (P/Km <sup>2</sup> )		
Εύρος Τιμών PP	Βαθμονόμηση	Διακινδύνευση
> 5,922	9	Πολύ υψηλή
3,5315 - 5,922	7	Υψηλή
1,8393 - 3,5315	5	Μέτρια
0,625375 - 1,8393	3	Χαμηλή
< 0,625375	1	Πολύ χαμηλή

Στη συνέχεια και για τις κατηγορίες πυκνότητας στις οποίες υπήρχαν υδροσημεία ελέγχου, η βαθμονόμηση τροποποιήθηκε χρησιμοποιώντας τον μέσο όρο (mean) της συγκέντρωσης νιτρικών σε κάθε μια από τις σχετικές κατηγορίες, από την αναγωγή του οποίου στην κλίμακα του 10 προέκυψε ο αναθεωρημένος βαθμός. Κατόπιν της ανωτέρω διαδικασίας προέκυψαν 2 κλάσεις τιμών βαθμονόμησης πυκνότητας σημειακών πηγών ρύπανσης. (Πίνακας 73, Χάρτης 50).

**Πίνακας 73: Βαθμονόμηση πυκνότητας σημειακών πηγών ρύπανσης ως προς την Διακινδύνευση υπόγειων υδροφορέων**

Βελτιστοποίηση Τιμής Συντελεστών POINT_POLLUTION_DENSITY (P)			
Τιμές P (P/Km <sup>2</sup> )	Αρχική Βαθμονόμηση	Μέση Συγκέντρωση NO <sub>3</sub>	Τροποποιημένος Βαθμός (κλίμακα 10)
> 5,922	9	112,24	10
3,5315 - 5,922	7	67,19	6
1,8393 - 3,5315	5	69	6
0,625375 - 1,8393	3	64,98	6
< 0,625375	1	63,29	6



**Χάρτης 49: : Βαθμονόμηση Πυκνότητας Σημειακών Πηγών ρύπανσης ως προς την Διακινδύνευση Ρύπανσης υπόγειων υδροφορέων βάσει Μ.Ο συγκέντρωσης νιτρικών ιόντων**

### 7.3.2.1 Συσχέτιση Τιμών Μοντέλου – Δείκτη Ρύπανσης

Ο χάρτης Διακινδύνευσης (DRASTICLPNrw) υπολογίστηκε με την εξής γραμμική εξίσωση:

$$\text{DRASTICLPNrw(INDEX)} = \sum_{i=1}^9 W_i * R_i = 4,1 * Dr + 4,9 * Rr + 5 * Ar + 1 * Sr + 2,6 * Tr + 4,9 * Ir + 2,6 * Cr + 5 * Lr + 5 * Pr, (18)$$

όπου Dr, Rr, Ar, Sr, Tr, Ir, Cr, Lr οι βαθμονομημένες παραμετρικές τιμές της μεθόδου DRASTICLPNrw και Pr οι βαθμονομημένες τιμές της παραμέτρου σημειακών πηγών ρύπανσης P ως προς την συγκέντρωση των νιτρικών ιόντων (PrNr).

Σύμφωνα με την ανωτέρω 18 εξίσωση υπολογίστηκαν οι τιμές Διακινδύνευσης του Δείκτη DRASTICLPNrw για τα υδροσημεία ελέγχου της παρούσας μελέτης. Ο συντελεστής συσχέτισης Pearson's's ανάμεσα στις τιμές του μοντέλου και στις λογαριθμικές τιμές συγκέντρωσης των νιτρικών ιόντων υπολογίστηκε σε  $0,652 < 0,7$  όπου 0,7 ήταν ο συντελεστής συσχέτισης της μεθόδου DRASTICLPNrw.

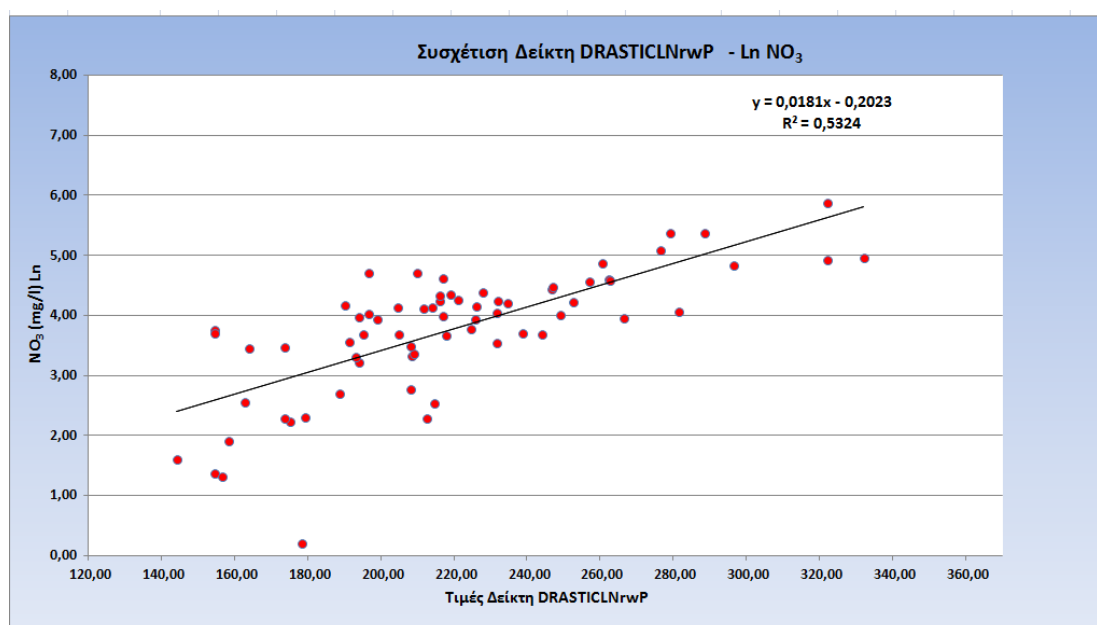
Εφόσον ο εν λόγω συντελεστής συσχέτισης βρέθηκε χαμηλότερος από την προηγούμενη μέθοδο, απορρίφθηκε η εν λόγω μέθοδος και χρησιμοποιήθηκαν οι αρχικές παραμετρικές τιμές της πυκνότητας των σημειακών πηγών ρύπανσης P (Πίνακας 61).

Κατόπιν εφαρμόστηκε ο έλεγχος αποδοχής του μοντέλου DRASTICLPNrwP, όπου σύμφωνα με την εξίσωση 18, όπου Pr οι αρχικές τιμές βαθμονόμησης της παραμέτρου P.

Προς τούτο υπολογίστηκε ο συντελεστής συσχέτισης Pearson's μεταξύ των τιμών του μοντέλου DRASTICLN<sub>rwp</sub> και των λογαριθμικών συγκεντρώσεων των νιτρικών ιόντων. Σύμφωνα με το Γράφημα 51, ο συντελεστής συσχέτισης είναι ίσος με **0,73**, **στατιστικά σημαντικός σε επίπεδο εμπιστοσύνης 99%** ( $p < 0,01$ ).

**Εφόσον ο συντελεστής συσχέτισης είναι μεγαλύτερος από τον συντελεστή συσχέτισης της προηγούμενης μεθόδου DRASTICLN<sub>rw</sub> (0,7), γίνεται και αποδεκτή η μέθοδος DRASTICLN<sub>rwp</sub>.**

Η συσχέτιση μεταξύ των τιμών του μοντέλου DRASTICLN<sub>rwp</sub> και των λογαριθμικών τιμών  $\text{NO}_3^-$  χαρακτηρίζεται ως ισχυρά γραμμικά θετική και η εξίσωση που την περιγράφει (ευθεία παλινδρόμησης) είναι της μορφής  $y = 0,0181 \cdot x + 0,2023$ , (19) με συντελεστή προσαρμογής  $R^2 = 0,5324$ .



**Γράφημα 53: Συσχέτιση τιμών βελτιστοποιημένης μεθόδου DRASTICLN<sub>rwp</sub> / λογαριθμικών τιμών συγκέντρωσης νιτρικών ιόντων**

### 7.3.2.2 Χάρτης Διακινδύνευσης (DRASTICLN<sub>rwp</sub>) - Στατιστικά

Ο χάρτης Διακινδύνευσης (DRASTICLN<sub>rwp</sub>) υπολογίστηκε με την εξής γραμμική εξίσωση:

$$\text{DRASTICLN}_{rwp}(\text{INDEX}) = \sum_{i=1}^9 W_i * R_i = 4,1 * D_r + 4,9 * R_r + 5 * A_r + 1 * S_r + 2,6 * T_r + 4,9 * I_r + 2,6 * C_r + 5 * L_r + 5 * P_r, \quad (20)$$

όπου  $D_r$ ,  $R_r$ ,  $A_r$ ,  $S_r$ ,  $T_r$ ,  $I_r$ ,  $C_r$ ,  $L_r$  οι βαθμονομημένες παραμετρικές τιμές της μεθόδου DRASTICLN<sub>rw</sub> και  $P_r$  οι αρχικές τιμές βαθμονόμησης της παραμέτρου  $P$ .

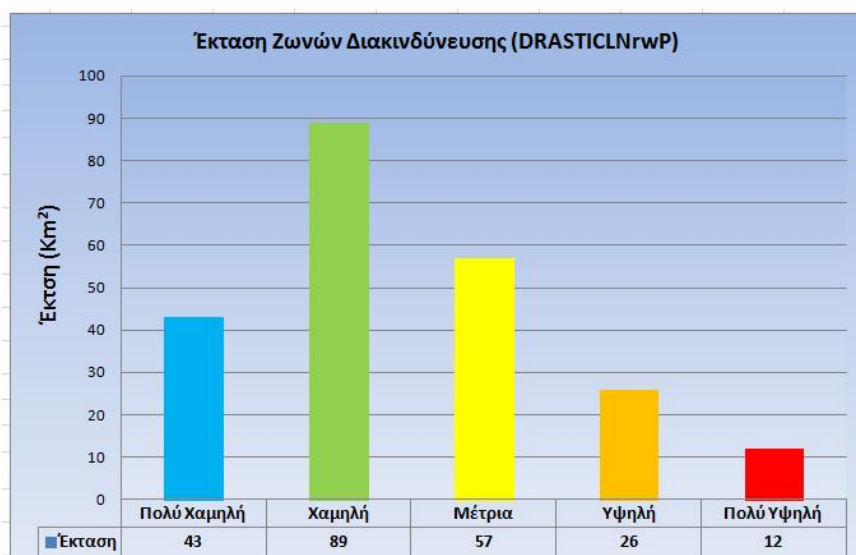
Οι τιμές των κελιών του τελικού χάρτη ταξινομήθηκαν σε 5 διακριτές κλάσεις μέσω του εργαλείου του Arc Gis Natural Breaks και κατηγοριοποιήθηκαν βάσει ποιοτικής κλίμακας

από **πολύ χαμηλή** έως και **πολύ υψηλή τιμή ειδικής** τρωτότητας ως προς την εξωτερική ρύπανση.

Σύμφωνα με την γεωστατιστική ανάλυση του παραγόμενου χάρτη όπως και παρουσιάζεται στον πίνακα 74 και στο Γράφημα 48, η ζώνη χαμηλής διακινδύνευσης καταλαμβάνει την μεγαλύτερη έκταση ενώ αντίθετα η πολύ υψηλή διακινδύνευση καταλαμβάνει την μικρότερη έκταση της περιοχής μελέτης. Σε παρόμοια ποσοστά κυμαίνονται οι εκτάσεις της πολύ χαμηλής, μέτριας και υψηλής διακινδύνευσης.

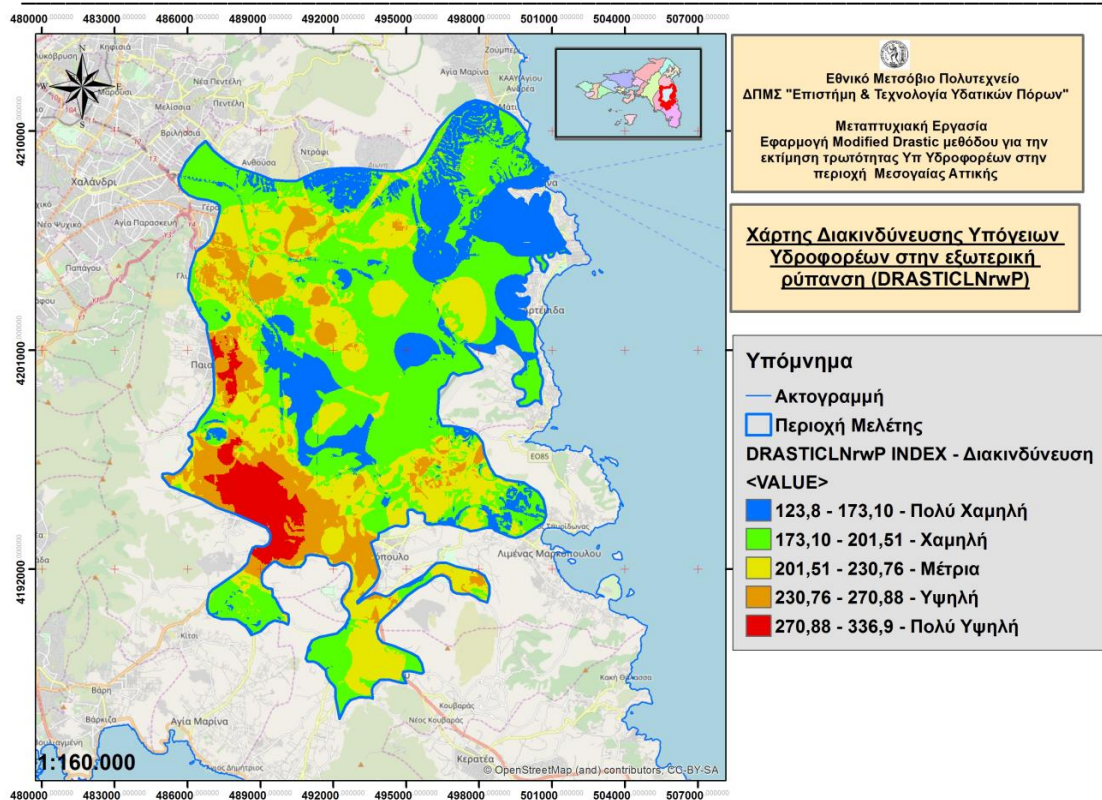
**Πίνακας 74: Έκταση Ζωνών ειδικής Τρωτότητας DRASTICLN<sub>WP</sub>**

<b>Έκταση ζωνών Διακινδύνευσης (DRASTICLN<sub>WP</sub>)</b>		
<b>Κατηγορία</b>	<b>Έκταση (Km<sup>2</sup>)</b>	<b>Ποσοστό</b>
<b>Πολύ Χαμηλή</b>	<b>43</b>	<b>18,9%</b>
<b>Χαμηλή</b>	<b>89</b>	<b>39,2%</b>
<b>Μέτρια</b>	<b>57</b>	<b>25,1%</b>
<b>Υψηλή</b>	<b>26</b>	<b>11,5%</b>
<b>Πολύ Υψηλή</b>	<b>12</b>	<b>5,3%</b>



**Γράφημα 54 Ιστογράμμο Έκτασης Ζωνών ειδικής Τρωτότητας DRASTICLN<sub>WP</sub>**

Ως προς την χωρική ανάλυση οι ζώνη πολύ υψηλής ειδικής τρωτότητας καταλαμβάνει το νοτιοδυτικό και μικρός μέρος του δυτικού τμήματος της περιοχής μελέτης. Η υψηλή τρωτότητα καταλαμβάνει την ίδια περιοχή και μέρος της νοτιοανατολικής έκτασης. Η ζώνη μέτριας τρωτότητας καταλαμβάνει το μεγαλύτερο μέρος του κεντρικού, νότιου και βορειοδυτικού τμήματος. Τέλος η πολύ χαμηλή ειδική τρωτότητα καταλαμβάνει το ανατολικό – βορειοανατολικό και μέρος του κεντρικού τμήματος της περιοχής μελέτης.



**Χάρτης 49: : Κατανομή Διακινδύνευσης DRASTICLrWP της περιοχής μελέτης**

Κατόπιν στατιστικής ανάλυσης των υπολογιζόμενων τιμών του μοντέλου (Πίνακας 71), παρατηρούμε ότι η παράμετρος (L) έχει την μεγαλύτερη μέση τιμή γεγονός που καταδεικνύει την σημαντική επίδραση της εν λόγω παραμέτρου στην διαμόρφωση του τελικού δείκτη διακινδύνευσης.

Επίσης εμφανίζει την μικρότερη τιμή συντελεστή παραλλακτικότητας γεγονός που συνδέεται με μικρές τιμές διασποράς μεταξύ των τιμών της.

Την μικρότερη μέση τιμή εμφανίζει η παράμετρος S, γεγονός που σημαίνει ότι έχει την μικρότερη επίδραση στις τιμές του τελικού δείκτη.

Επίσης η παράμετρος P εμφανίζει την μεγαλύτερη τιμή συντελεστή παραλλακτικότητας γεγονός που συνδέεται με μεγάλες τιμές διασποράς τιμών γύρω από την μέση τιμή.

Ο γενικός δείκτης DRASTICLrWP εμφανίζει χαμηλή τιμή δείκτη παραλλακτικότητας.

**Πίνακας 75: Στατιστικά Στοιχεία Παραμέτρων Μοντέλου DRASTICLrWP**

Στατιστικά Στοιχεία	DRASTICLrWP	D	R	A	S	T	I	C	L	P
Ελάχιστη Τιμή MIN	123,80	20,50	19,60	10,00	4,00	5,20	24,50	7,80	35,00	5,00
Μέγιστη Τιμή MAX	336,90	41,00	49,00	50,00	10,00	26,00	49,00	26,00	50,00	45,00
Μέση Τιμή AVERAGE	200,60	30,81	28,97	25,74	6,29	23,86	35,53	12,24	45,37	16,62
Τυπική Απόκλιση SD	34,22	9,25	11,80	15,27	1,99	4,94	9,78	7,15	2,91	11,67
Συντελεστής Παραλλακτικότητας CV %	17%	30%	41%	59%	32%	21%	28%	58%	6%	70%

### 7.3.1.3 Ανάλυση Ευαισθησίας

#### Ανάλυση ευαισθησίας με την αφαίρεση μιας παραμέτρου κάθε φορά

Στον πίνακα 76, δίνεται η ανάλυση ευαισθησίας με τη μέθοδο αφαίρεσης μιας παραμέτρου κάθε φορά.

**Πίνακας 76: Στατιστικά Στοιχεία Δείκτη Διακύμανσης Μοντέλου DRASTICLNrwP**

Στατιστικά Στοιχεία S	Αφαιρούμενη Παράμετρος								
	D	R	A	S	T	I	C	L	P
Μέση Τιμή MEAN	0,38	0,25	0,02	-1,02	0,00	0,64	-0,71	1,29	-0,48
Μέγιστη Τιμή MAX	1,76	1,77	1,55	0,67	0,71	1,71	0,81	0,52	0,68
Τυπική Απόκλιση SD	0,49	0,55	0,75	0,13	0,35	0,47	0,32	2,51	0,56

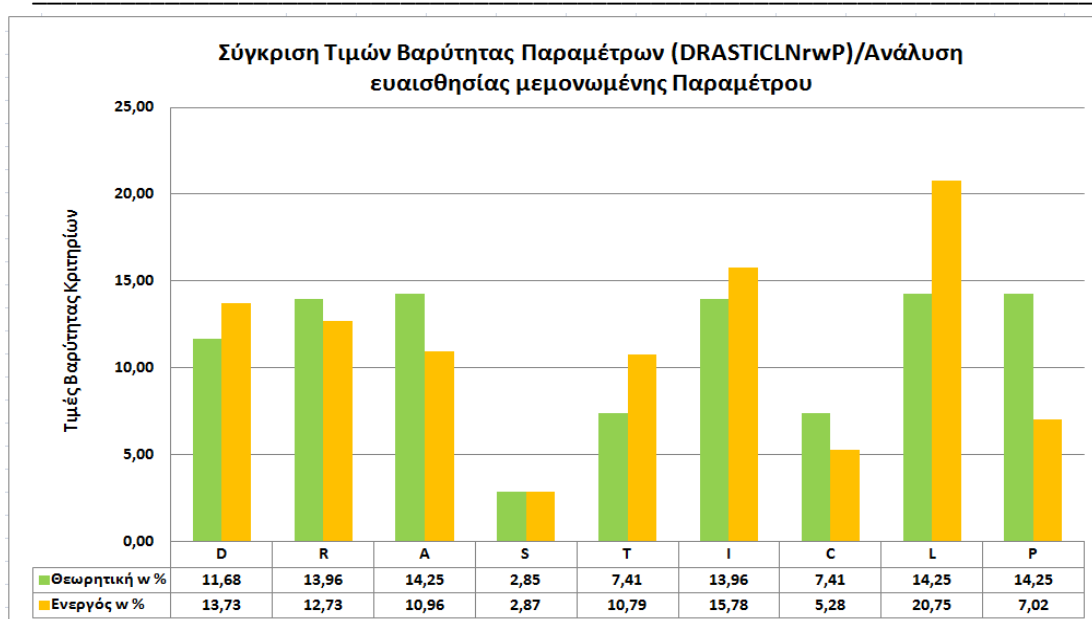
Από τον πίνακα αυτόν φαίνεται ότι με την αφαίρεση της παραμέτρου S λαμβάνεται η μικρότερη μέση τιμή του δείκτη διακύμανσης (-1,02%), γεγονός που σημαίνει ότι η επίδραση της παραμέτρου αυτής στη διαμόρφωση του δείκτη τρωτότητας είναι μικρότερη από τις υπόλοιπες παραμέτρους. Το ίδιο ισχύει και για την παράμετρο C. Η μεγαλύτερη μέση τιμή του δείκτη διακύμανσης λαμβάνεται με την αφαίρεση της παραμέτρου L (1,29%) και ακολουθεί η παράμετρος I (0,64%), που σημαίνει ότι οι μεταβλητές αυτές είναι σημαντικές για τη διαμόρφωση του δείκτη τρωτότητας. Οι παράμετροι D και R έχουν ενδιάμεση επίδραση στην διαμόρφωση του τελικού δείκτη ειδικής τρωτότητας.

#### Ανάλυση ευαισθησίας κάθε μεμονωμένης παραμέτρου

Σύμφωνα με τον Πίνακα 77 και το Γράφημα 53, προκύπτει ότι η παράμετρος L έχει τη μεγαλύτερη ενεργό βαρύτητα (20,75%) και η τιμή αυτή είναι αυξημένη ως προς την θεωρητική τιμή της (14,15%). Η παράμετρος I έχει επίσης μεγάλη τιμή ενεργού βαρύτητας (15,78%) και παρουσιάζει μικρή αύξηση σε σχέση με τη θεωρητική τιμή (13,96%). Μεγάλη μείωση της ενεργού βαρύτητας % παρατηρείται στην παράμετρο P.

**Πίνακας 77: Υπολογισμός ενεργού βαρύτητας μοντέλου DRASTICLNrwP**

Θεωρητική - Ενεργός Βαρύτητα	D	R	A	S	T	I	C	L	P
Θεωρητική Βαρύτητα Pw	4,1	4,9	5	1	2,6	4,9	2,6	5	5
Θεωρητική Βαρύτητα Pw %	11,68	13,96	14,25	2,85	7,41	13,96	7,41	14,25	14,25
Μέση Τιμή ενεργού βαρύτητας w	14,15	13,12	11,30	2,96	11,12	16,27	5,44	21,40	7,24
Μέση Τιμή ενεργού βαρύτητας w %	13,73	12,73	10,96	2,87	10,79	15,78	5,28	20,75	7,02
Ενεργός Βαρύτητα	3,3	3,1	2,6	0,7	2,6	3,8	1,3	5	1,7
Τυπική Απόκλιση ενεργού βαρύτητας SD	3,93	4,40	5,94	1,03	2,83	3,78	2,57	4,12	4,47



**Γράφημα 55: Ιστόγραμμα θεωρητικής ενεργού βαρύτητας μοντέλου DRASTICLNwp**

#### 7.4 Σύνοψη αποτελεσμάτων μεθόδων βελτιστοποίησης

Στον πίνακα 78 και στο Γράφημα 56, συνοψίζονται όλοι οι συντελεστές συσχέτισης της ενδογενούς τρωτότητας, αλλά και της ειδικής τρωτότητας/δυναμικού ρύπανσης, όπως προέκυψαν από τη διαδικασία τροποποίησης και βελτιστοποίησης της μεθοδολογίας DRASTIC, μέσω της χρήσης της λογαριθμικής συγκέντρωσης νιτρικών ιόντων ως δείκτη ποιοτικής υποβάθμισης.

Για την καλύτερη σύγκριση μεταξύ των αποτελεσμάτων παρουσιάζονται οι % βελτιώσεις των τιμών των συντελεστών συσχέτισης μεταξύ των διαδοχικών μεθόδων καθώς επίσης η % συνολική βελτίωση.

Διαπιστώνεται μία σταδιακή βελτίωση της συσχέτισης των τιμών προσδιορισμού ενδογενούς τρωτότητας ως προς την λογαριθμική συγκέντρωση νιτρικών ιόντων στο υπόγειο νερό, όπως εκφράζεται από το συντελεστή συσχέτισης Pearson's (r), στατιστικά σημαντικός σε επίπεδο εμπιστοσύνης 99% ( $p < 0,01$ )

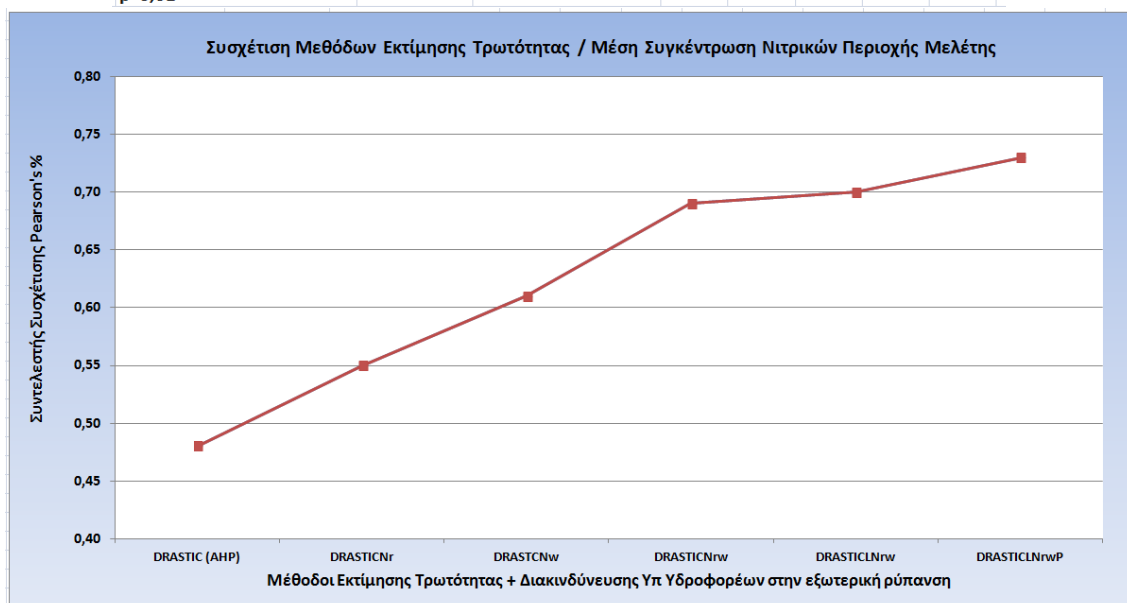
Η συνολική % βελτίωση σε σχέση με την αρχική μέθοδο DRASTIC, αφορά κατά σειρά τις μεθόδους προσδιορισμού της ενδογενούς τρωτότητας (DRASTICnr, DRASTICnw, DRASTICnrwp), όπου μετά την τροποποίηση της αρχικής μεθοδολογίας, επιτυγχάνεται μια συνολική βελτίωση στη συσχέτιση, της τάξης του **30%**.

Η εισαγωγή του ρυπαντικού φορτίου (χρήσεις γής, σημειακές πηγές ρύπανσης) για τον υπολογισμό της ειδικής τρωτότητας επιφέρει μία επιπλέον βελτίωση, της τάξης του **4%** γεγονός που καταδεικνύει την μικρή επίδραση του ρυπαντικού φορτίου στην βελτίωση του αρχικού μοντέλου.

**Πίνακας 78: Σύγκριση αποτελεσμάτων μεθόδων βελτιστοποίησης DRASTIC**

Μέθοδος	Συντελεστής Συσχέτισης Pearson's (Δεικτών Μεθόδου/Ln NO <sub>3</sub> ) r	% Βελτίωση μεθόδων	% Συνολική Βελτίωση
DRASTIC (AHP)	0,48		
DRASTICNr	0,55	15%	13%
DRASTCNw	0,61	9,8%	21%
DRASTICNr <sub>w</sub>	0,69	11,6%	30%
DRASTICLN <sub>w</sub>	0,70	1,4%	31%
DRASTICLN <sub>w</sub> P	0,73	4,1%	34%

p&lt;0,01

**Γράφημα 56: Βελτίωση Συντελεστών συσχέτισης μεθόδων βελτιστοποίησης**

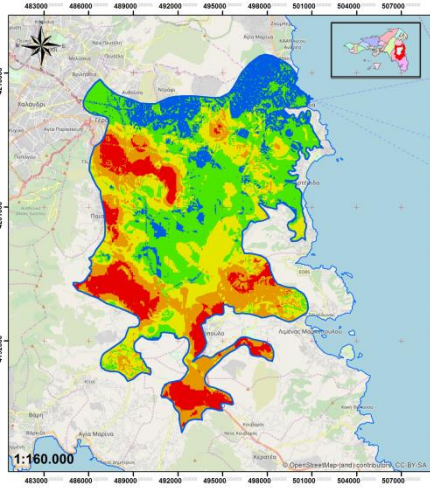
Βάσει της σύγκρισης των παραγόμενων χαρτών των μεθόδων βελτιστοποίησης όπως αυτοί αποτυπώνονται παρακάτω, διαπιστώνουμε μια σταδιακή εξέλιξη της χωρικής κατανομής των ζωνών τρωτότητας / Διακινδύνευσης ως εξής:

- ✓ Η Ζώνη πολύ χαμηλής Διακινδύνευσης μετατοπίζεται από την Βόρεια στην Βορειανατολική περιοχή και τμήμα της κεντρικής περιοχής μελέτης
- ✓ Η Ζώνη χαμηλής Διακινδύνευσης καταλαμβάνει σταδιακά τμήματα της Βορειανατολικής και Βορειοδυτικής περιοχής και σημαντικά τμήματα της κεντρικής περιοχής μελέτης
- ✓ Η Ζώνη μέτριας Διακινδύνευσης με μικρές διαφοροποιήσεις καταλαμβάνει τμήματα γύρω από την κεντρική περιοχή
- ✓ Η Ζώνες υψηλής και πολύ υψηλής Τρωτότητας/Διακινδύνευσης καταλαμβάνουν σταδιακά κυρίως την νοτιοδυτική περιοχή μελέτης

Όσον αφορά τις μεθόδους DRASTIC και η DRASTICNr εμφανίζουν σημαντικές ομοιότητες στην χωρική κατανομή των ζωνών τρωτότητας. Η μέθοδος DRASTCNw διαφοροποιεί χωρικά κυρίως στις ζώνες πολύ χαμηλής, χαμηλής και μέτριας τρωτότητας. Οι μέθοδοι DRASTICNr<sub>w</sub>, DRASTICLN<sub>w</sub> και DRASTICLN<sub>w</sub>P εμφανίζουν σημαντικές χωρικές ομοιότητες.



# ΧΑΡΤΕΣ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΕΝΔΟΓΕΝΟΥΣ - ΕΙΔΙΚΗΣ ΤΡΩΤΟΤΗΤΑΣ (ΔΙΑΚΙΝΔΥΝΕΥΣΗ) ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΣΟΓΑΙΑΣ ΑΤΤΙΚΗΣ ΑΝΑ ΜΕΘΟΔΟ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ DRASTIC



Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο  
ΔΠΜΣ "Επιστήμη & Τεχνολογία Υδάτινων Πόρων"

Μεταπτυχιακή Εργασία  
Εφαρμογή Modified Drastic μεθόδου για την εκτίμηση τρωτότητας Υπόγειων Υδροφορέων στην περιοχή Μεσογείας Αττικής

**Χάρτης Ενδογενούς Τρωτότητας Υπόγειων Υδροφορέων στην Εξωτερική Ρύπανση (Μέθοδος DRASTIC AHP)**

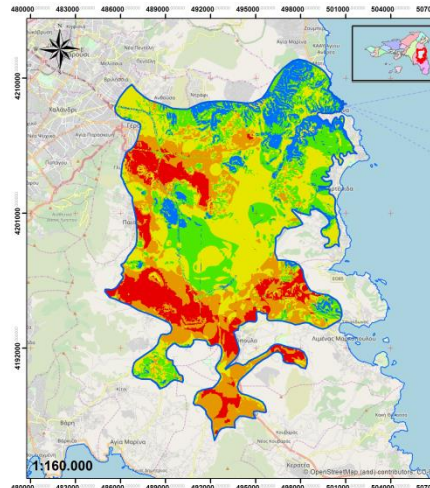
**Υπόμνημα**

- Ακτογραμμή
- Περιοχή Μελέτης

**DRASTIC (AHP) INDEX - Τρωτότητα**

49,9 - 69,2	- Πολύ Χαμηλή
69,2 - 82	- Χαμηλή
82 - 95,5	- Μέτρια
95,5 - 109,6	- Υψηλή
109,6 - 138	- Πολύ Υψηλή

**DRASTIC**



Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο  
ΔΠΜΣ "Επιστήμη & Τεχνολογία Υδάτινων Πόρων"

Μεταπτυχιακή Εργασία  
Εφαρμογή Modified Drastic μεθόδου για την εκτίμηση τρωτότητας Υπόγειων Υδροφορέων στην περιοχή Μεσογείας Αττικής

**Χάρτης Ενδογενούς Τρωτότητας Υπόγειων Υδροφορέων στην Εξωτερική ρύπανση (Μέθοδος DRASTICnr)**

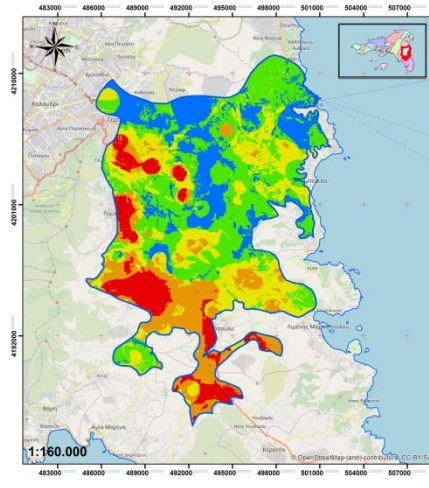
**Υπόμνημα**

- Ακτογραμμή
- Περιοχή Μελέτης

**DRASTICnr INDEX - Τρωτότητα**

84 - 90	- Πολύ Χαμηλή
90 - 106	- Χαμηλή
106 - 122	- Μέτρια
122 - 140	- Υψηλή
140 - 175	- Πολύ Υψηλή

**DRASTICnr**



Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο  
ΔΠΜΣ "Επιστήμη & Τεχνολογία Υδάτινων Πόρων"

Μεταπτυχιακή Εργασία  
Εφαρμογή Modified Drastic μεθόδου για την εκτίμηση τρωτότητας Υπόγειων Υδροφορέων στην περιοχή Μεσογείας Αττικής

**Χάρτης Ενδογενούς Τρωτότητας Υπόγειων Υδροφορέων στην Εξωτερική ρύπανση (Μέθοδος DRASTICnw)**

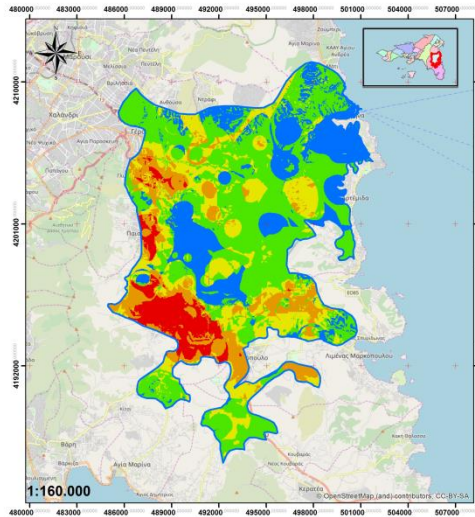
**Υπόμνημα**

- Ακτογραμμή
- Περιοχή Μελέτης

**DRASTICnw INDEX - Τρωτότητα <VALUE>**

39,5 - 66,4	- Πολύ Χαμηλή
66,4 - 79,4	- Χαμηλή
79,4 - 94,5	- Μέτρια
94,5 - 111,9	- Υψηλή
111,9 - 140,4	- Πολύ Υψηλή

**DRASTICnw**



Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο  
ΔΠΜΣ "Επιστήμη & Τεχνολογία Υδάτινων Πόρων"

Μεταπτυχιακή Εργασία  
Εφαρμογή Modified Drastic μεθόδου για την εκτίμηση τρωτότητας Υπόγειων Υδροφορέων στην περιοχή Μεσογείας Αττικής

**Χάρτης Ειδικής Τρωτότητας Υπόγειων Υδροφορέων στην Εξωτερική Ρύπανση (Μέθοδος DRASTICnrw)**

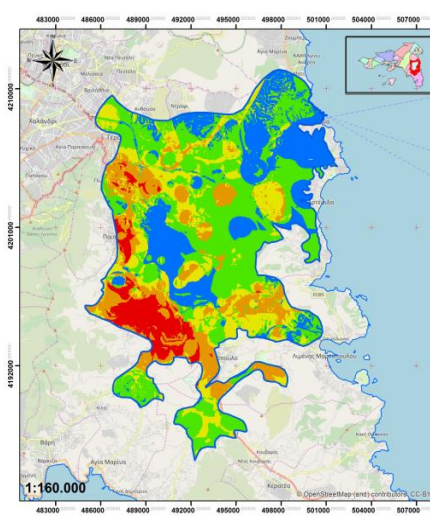
**Υπόμνημα**

- Περιοχή Μελέτης

**DRASTICnrw INDEX - Τρωτότητα <VALUE>**

81,8 - 121,3	- Πολύ Χαμηλή
121,25 - 145,25	- Χαμηλή
145,3 - 166,62	- Μέτρια
166,6 - 193,8	- Υψηλή
193,8 - 246,9	- Πολύ Υψηλή

**DRASTICnrw**



Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο  
ΔΠΜΣ "Επιστήμη & Τεχνολογία Υδάτινων Πόρων"

Μεταπτυχιακή Εργασία  
Εφαρμογή Modified Drastic μεθόδου για την εκτίμηση τρωτότητας Υπόγειων Υδροφορέων στην περιοχή Μεσογείας Αττικής

**Χάρτης Διακινδύνευσης Υπόγειων Υδροφορέων στην Εξωτερική ρύπανση (Μέθοδος DRASTIClnrw)**

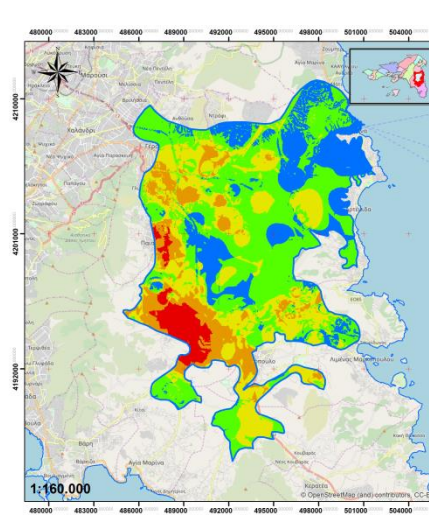
**Υπόμνημα**

- Ακτογραμμή
- Περιοχή Μελέτης

**DRASTIClnrw INDEX - Διακινδύνευση <VALUE>**

116,8 - 166,2	- Πολύ Χαμηλή
166,2 - 188,9	- Χαμηλή
188,9 - 209,5	- Μέτρια
209,5 - 238,3	- Υψηλή
238,3 - 291,9	- Πολύ Υψηλή

**DRASTIClnrw**



Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο  
ΔΠΜΣ "Επιστήμη & Τεχνολογία Υδάτινων Πόρων"

Μεταπτυχιακή Εργασία  
Εφαρμογή Modified Drastic μεθόδου για την εκτίμηση τρωτότητας Υπόγειων Υδροφορέων στην περιοχή Μεσογείας Αττικής

**Χάρτης Διακινδύνευσης Υπόγειων Υδροφορέων στην Εξωτερική ρύπανση (Μέθοδος DRASTIClnrwp)**

**Υπόμνημα**

- Περιοχή Μελέτης
- Ακτογραμμή

**DRASTIClnrwp INDEX - Διακινδύνευση <VALUE>**

123,8 - 173,10	- Πολύ Χαμηλή
173,10 - 201,51	- Χαμηλή
201,51 - 230,76	- Μέτρια
230,76 - 270,88	- Υψηλή
270,88 - 336,9	- Πολύ Υψηλή

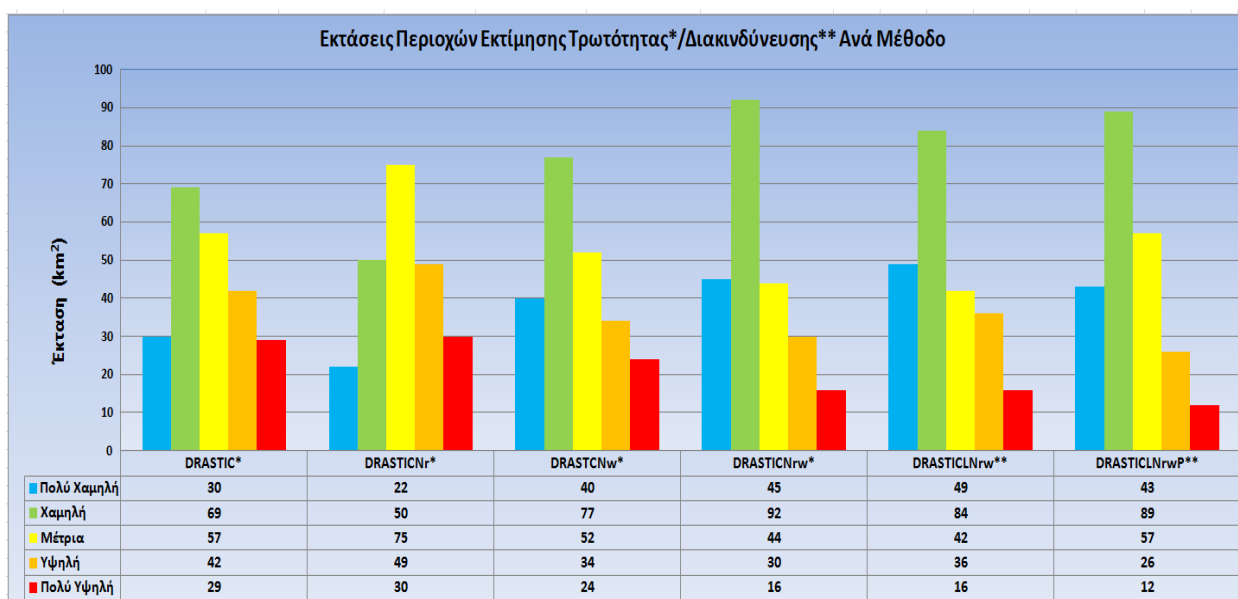
**DRASTIClnrwp**

Σύμφωνα με τον πίνακα 79 και το Γράφημα 57 παρατηρούμε ότι οι εκτάσεις των ζωνών τρωτότητας/διακινδύνευσης μεταβάλλονται κατά την διάρκεια εξέλιξης των παραγόμενων μοντέλων βελτιστοποίησης. Πιο συγκεκριμένα παρατηρούμε τα εξής:

- ✓ Οι μέθοδοι DRASTIC<sub>rw</sub>, DRASTIC<sub>LN<sub>rw</sub></sub> εμφανίζουν μεγάλες ομοιότητες
- ✓ Οι μέθοδοι DRASTIC<sub>r</sub>, DRASTIC εμφανίζουν ομοιότητες
- ✓ Η μέθοδος DRASTIC<sub>Nw</sub>, εμφανίζει τις μεγαλύτερες διαφορές σε σχέση με τις λοιπές μεθόδους
- ✓ Η ζώνη χαμηλής τρωτότητας/διακινδύνευσης κυριαρχεί σε σχέση με τις υπόλοιπες
- ✓ Η ζώνη πολύ χαμηλής τρωτότητας/διακινδύνευσης καταλαμβάνει την μικρότερη έκταση και βαίνει σταδιακά μειούμενη

Πίνακας 79: Σύγκριση αποτελεσμάτων εκτάσεων ζωνών τρωτότητας/διακινδύνευσης

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΕΚΤΑΣΕΩΝ ΤΡΩΤΟΤΗΤΑΣ*/ΔΙΑΚΙΝΔΥΝΕΥΣΗΣ** ΑΝΑ ΜΕΘΟΔΟ						
Χαρακτηρισμός ζωνών	DRASTIC*	DRASTIC <sub>r</sub> *	DRASTIC <sub>Nw</sub> *	DRASTIC <sub>rw</sub> *	DRASTIC <sub>LN<sub>rw</sub></sub> **	DRASTIC <sub>LN<sub>rw</sub>P</sub> **
Πολύ Χαμηλή	30	22	40	45	49	43
Χαμηλή	69	50	77	92	84	89
Μέτρια	57	75	52	44	42	57
Υψηλή	42	49	34	30	36	26
Πολύ Υψηλή	29	30	24	16	16	12



Γράφημα 57: Ιστόγραμμα κατανομής εκτάσεων ζωνών τρωτότητας/διακινδύνευσης

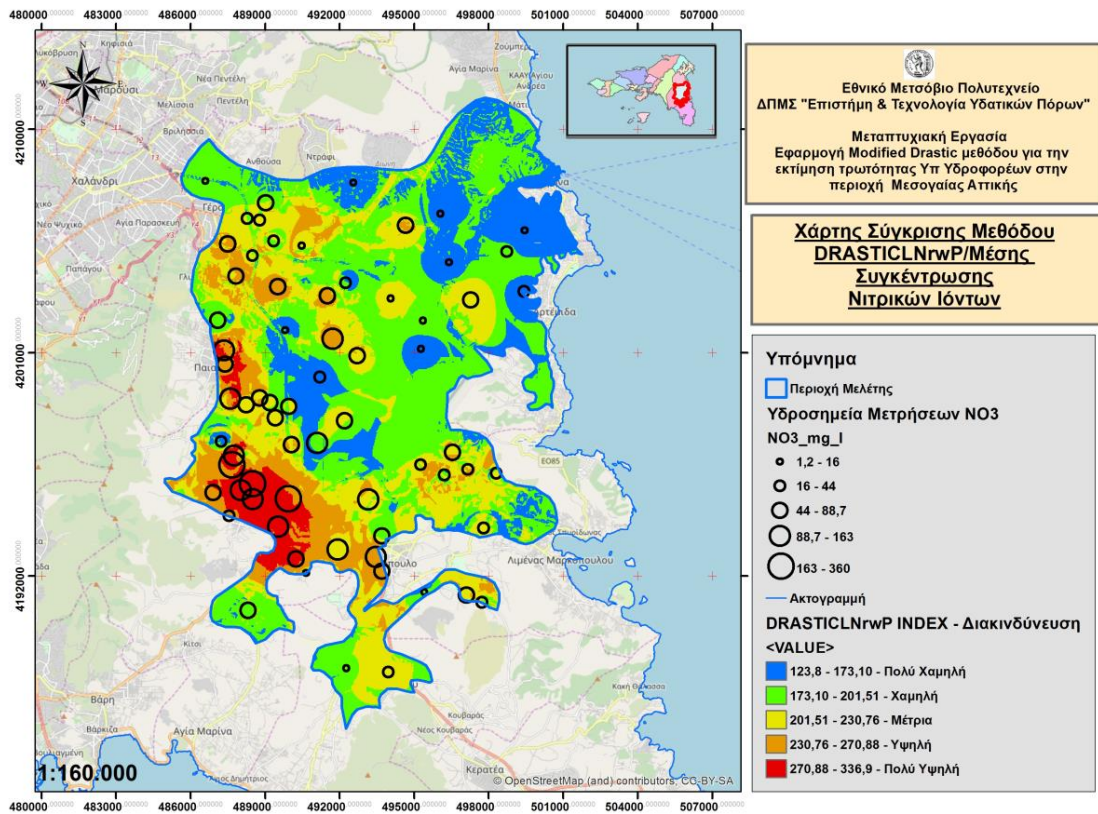
Για τον έλεγχο γεωχωρικής αξιοπιστίας του τελικού μοντέλου βελτιστοποίησης της μεθόδου DRASTIC, δημιουργήθηκε ο χάρτης υπέρθεσης του βελτιστοποιημένου μοντέλου DRASTIC<sub>LN<sub>rw</sub>P</sub> και της συγκέντρωσης των νιτρικών ιόντων με κατηγοριοποίηση σε 5 κλάσεις βάσει των φυσικών τιμών διακύμανσης.

Σύμφωνα με τον παρακάτω Χάρτη 60, παρατηρούμε ότι υπάρχει μια πολύ καλή σύμπτωση της ζώνης πολύ υψηλής διακινδύνευσης με τις αντίστοιχα πολύ υψηλές τιμές

συγκέντρωσης των νιτρικών ιόντων. Το ίδιο παρατηρείται και στην ζώνη πολύ χαμηλής διακινδύνευσης.

Επίσης εντός των ζωνών υψηλής και μέτριας διακινδύνευσης εμπόμπουν χωρικά υδροσημεία με αντίστοιχες κατηγοριοποιημένες τιμές συγκέντρωσης νιτρικών ιόντων.

Εξαιρέσεις καλής συσχέτισης παρατηρούνται στην ζώνη χαμηλής διακινδύνευσης.



**Χάρτης 50: : Χωρική Συσχέτιση μεθόδου DRASTICL<sub>rwP</sub>/συγκέντρωσης νιτρικών ιόντων**

Στο πλαίσιο ελέγχου αξιοπιστίας όσον αφορά την διαδικασία επιλογής βαρών κριτηρίων των παραμέτρων των μεθόδων της εν λόγω εργασίας, έγινε συγκριτικός έλεγχος μεταξύ των αποτελεσμάτων σύγκρισης των παραγόμενων μοντέλων και των διεθνών μεθόδων βαθμονόμησης της μεθόδου DRASTIC Typical και DRASTIC Pesticide.

Η DRASTIC Typical αποτελεί μέθοδος εκτίμησης τρωτότητας για ανόργανους ρυπαντές ενώ η DRASTIC Pesticide αποτελεί μέθοδος ειδικής τρωτότητας όσον αφορά την ρύπανση από φυτοφάρμακα. Στον κάτωθι πίνακα αναφέρονται οι τιμές βαρύτητας των κριτηρίων ανά μέθοδο.

**Πίνακας 80: Βάρη κριτηρίων μεθόδων DRASTIC Typical και Pesticide**

Παράμετρος	DRASTIC Typical	DRASTIC Pesticide
D	5	5
R	4	4
A	3	3
S	2	5
T	1	3
I	5	4
C	3	2

Κατόπιν υπολογίστηκαν οι δείκτες των ανωτέρω μεθόδων για τις μεθόδους DRASTIC και DRASTIC<sub>nr</sub>, υπολογίστηκαν οι συντελεστές συσχέτισης τους με τις λογαριθμικές τιμές συγκέντρωσης των νιτρικών ιόντων και συγκρίθηκαν με τις αντίστοιχες τιμές συσχέτισης των μεθόδων της παρούσας εργασίας (Πίνακας 81).

**Πίνακας 81: Σύγκριση συντελεστών συσχέτισης μεθόδων εργασίας, DRASTIC Typical και Pesticide**

Μέθοδος	Συντελεστής Συσχέτισης Pearson's (Δεικτών Μεθόδου/ $\ln \text{NO}_3$ ) r
DRASTIC (AHP)	0,48
DRASTIC Typical	0,59
DRASTIC Pesticide	0,54
DRASTIC <sub>nrw</sub>	0,69
DRASTIC <sub>nr</sub> Typical	0,67
DRASTIC Pesticide	0,65

Σύμφωνα με τις τιμές του ανωτέρω πίνακα όσον αφορά την αρχική μέθοδο DRASTIC, η μέθοδος Typical έδωσε καλύτερα αποτελέσματα ενώ για την τροποποιημένη μέθοδο DRASTIC<sub>nrw</sub> η διαδικασία επιλογής κριτηρίων που βασίστηκε σε στατιστικές μεθόδους έδωσε καλύτερα αποτελέσματα από τις κλασικές μεθόδους. **Αυτό το γεγονός σημαίνει ότι η μέθοδος που επιλέξαμε να υπολογίσουμε τα βάρη των κριτηρίων ήταν πιο και αποτελεσματική άρα.**

Μια ακόμα μέθοδος σύγκρισης αφορά την περίπτωση της ανάλυσης ευαισθησίας μεμονωμένης παραμέτρου. Στο πλαίσιο αυτό υπολογίστηκαν ξεχωριστοί δείκτες μοντέλου για θεωρητικές και ενεργές τιμές κλιμάκων βαρύτητας όπως αυτά προκύπτουν από την διαδικασία που αναλύθηκε σε προηγούμενα κεφάλαια και ακολούθησε σύγκριση συντελεστών συσχέτισης μεταξύ των 3 τελικών μεθόδων. Στον παρακάτω πίνακα 82, αποτυπώνονται τα εν λόγω αποτελέσματα.

**Πίνακας 82: Σύγκριση συντελεστών συσχέτισης θεωρητικών και ενεργών S τιμών βαρύτητας κριτηρίων**

Μέθοδος	Συντελεστής Συσχέτισης Pearson's (Δεικτών Μεθόδου/ $\ln \text{NO}_3$ ) r
DRASTIC <sub>nrw</sub>	0,69
DRASTIC <sub>nrwS</sub>	0,67
DRASTIC <sub>lnw</sub>	0,70
DRASTIC <sub>lnwS</sub>	0,68
DRASTIC <sub>lnwP</sub>	0,73
DRASTIC <sub>lnwPS</sub>	0,70

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του ανωτέρω πίνακα οι θεωρητικές τιμές βαρύτητας κριτηρίων δίνουν καλύτερες τιμές συσχέτισης σε σχέση με τις τιμές ενεργού βαρύτητας και για αυτόν τον λόγο γίνονται και αποδεκτές.

## Κεφάλαιο 8<sup>ο</sup>

# Συμπεράσματα

## 8. Συμπεράσματα

Η παρούσα εργασία εφαρμόστηκε στο Υπόγειο Υδατικό Υποσύστημα Μεσογαίας (B) και αποτέλεσε μια προσπάθεια βελτιστοποίησης της κλασικής μεθόδου εκτίμησης της τρωτότητας στην νιτρορύπανση DRASTIC, μέσω στατιστικών μεθόδων και προσθήκης παραμέτρων με την βοήθεια των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών.

Στο παρόν κεφάλαιο περιγράφονται τα συμπεράσματα που προέκυψαν τόσο από την μελέτη της περιοχής έρευνας όσο και από την εφαρμογή βελτιστοποίησης της μεθόδου DRASTIC με αναφορά στην προστιθέμενη αξία της παρούσας εργασίας σε σχέση με την διεθνή γνώση. Επίσης περιγράφονται οι περιορισμοί που προέκυψαν καθώς επίσης και οι προτάσεις για περαιτέρω έρευνα.

Όσον αφορά τα συμπεράσματα που προέκυψαν, αυτά αναλύονται στα χαρακτηριστικά της περιοχής μελέτης (φυσικό, ανθρωπογενές περιβάλλον, κλιματολογία, ποιοτική κατάσταση υπογείων υδάτων) και στην διαδικασία βελτιστοποίησης της μεθόδου DRASTIC ως εξής:

### Περιοχή Μελέτης

- ✓ Η έκταση της είναι 227 km<sup>2</sup> και καταλαμβάνει το κεντρικό τμήμα της περιοχής της Μεσογαίας Αττικής.
- ✓ Η μορφολογία της χαρακτηρίζεται γενικά ως πεδινή. Εξαίρεση αποτελούν το βόρειο-βορειοανατολικό τμήμα όπου η μορφολογία χαρακτηρίζεται ως ημιορεινή και διάφορα τμήματα με λοφώδεις εξάρσεις. Όσον αφορά τις μορφολογικές κλίσεις η περιοχή χαρακτηρίζεται κατά ένα πολύ μεγάλο ποσοστό ως επίπεδη, με εξαίρεση τις υπώρειες ορεινών όγκων στην βόρεια περιοχή και των διάσπαρτων λόφων όπου παρατηρούνται σχετικά απότομες κλίσεις.
- ✓ Οι κύριοι ποταμοί σχεδόν εποχιακής ροής που διαρρέουν την περιοχή είναι ο Ερασίνοσ και το Μεγάλο Ρέμα της Ραφήνας. Πηγάζουν από τους ορεινούς όγκους της Πεντέλης και του Υμηττού και εκβάλλουν στον Νότιο Ευβοϊκό Κόλπο. Οι Λεκάνες Απορροής τους καλύπτουν όλη την περιοχή μελέτης και αποστραγγίζουν τα επιφανειακά νερά. Το Μεγάλο Ρέμα της Ραφήνας έχει πλουσιότερο υδρογραφικό δίκτυο σε σχέση με τον Ερασίνο.
- ✓ Οι γεωλογικοί σχηματισμοί που δομούν την περιοχή αποτελούνται από 2 βασικές κατηγορίες βάσει της γεωλογικής τους ηλικίας (αλπικοί, μεταλπικοί). Οι αλπικοί σχηματισμοί αποτελούν το υπόβαθρο της περιοχής μελέτης και διακρίνονται σε τρεις τεκτονικές ενότητες, **την ανώτερη και κατώτερη αλλόχθονη σειρά και την αυτόχθονη σειρά**. Η επαφή της αλλόχθονης και της αυτόχθονης σειράς χαρακτηρίζεται ως τεκτονική (επώθηση).

Ο κατώτερος γεωλογικός ορίζοντας αποτελεί την αυτόχθονη ενότητα αποτελούμενη από το κατώτερο μάρμαρο σημαντικού πάχους με ενστρώσεις σχιστολίθων. Επάνω στην αυτόχθονη ενότητα έχουν επωθηθεί οι σχηματισμοί του Άνω Κρητιδικού καλύμματος (νεοελληνικό τεκτονικό κάλυμμα). Αυτοί αποτελούνται από ασβεστόλιθους, σχιστόλιθους, οφιόλιθους και φυλλίτες. Διακρίνονται σε μια κατώτερη τεκτονική ενότητα Κάτω Κρητιδικού έως Άνω Κρητιδικού και μια ανώτερη τεκτονική ενότητα που αποτελείται κυρίως από ασβεστολίθους και ενδιαστρώσεις σχιστολίθων.

Οι μεταλικοί Σχηματισμοί αποτελούνται από τα τεταρτογενή και τα νεογενή ιζήματα και καλύπτουν επιφανειακά το μεγαλύτερο μέρος της περιοχής μελέτης.

Οι τεταρτογενείς σχηματισμοί αποτελούνται από σύγχρονους γεωλογικούς σχηματισμούς του Ολόκαινου (παράκτιοι, πλευρικά κορήματα, κοίτες χειμάρων, κώνοι κορημάτων) και από σχηματισμούς του Τεταρτογενούς (πλειστόκαινο) που δομούν ένα μεγάλο μέρος της περιοχής μελέτης (χερσαίες και ποταμοχερσαίες αποθέσεις ποικίλης λιθολογικής σύστασης αποτελούμενης κυρίως από αργιλοπηλούς με ενστρώσεις από κροκάλες και λατύπες, πλευρικά κορήματα).

Οι σχηματισμοί του νεογενούς (λιμναίας ή ποταμοχειμάριας προέλευσης) αποτελούνται από εναλλασσόμενες αποθέσεις μαργών, αμιγών ή αμμούχων με αργίλους καθώς επίσης και καστανέρυθρους πηλούς με παρεμβολές ψαμμιτών, κροκαλοπαγών, τραβερτινοειδών ασβεστολίθων, ερυθροχρωμάτων και μαργαϊκών ασβεστολίθων. Καταλαμβάνουν κυρίως το βόρειο τμήμα της περιοχής μελέτης

- ✓ Όσον αφορά την τεκτονική ανάλυση της περιοχής μελέτης οι νεότερες ρηγματογόνες φάσεις ηλικίας Νεογενούς, δημιούργησαν κανονικά ρήγματα που διαμόρφωσαν τεκτονικά κέρατα και τάφρους, με αποτέλεσμα τη δημιουργία Νεογενών λεκανών. Στην περιοχή έρευνας και σε όλη τη λεκάνη των Μεσογείων απαντούν τρία κύρια συστήματα ρηγμάτων των οποίων οι διευθύνσεις είναι κυρίως ΒΑ-ΝΔ, οι ΒΒΑ-ΝΝΔ έως ΒΑ-ΝΔ και Α-Δ. Η τεκτονική της περιοχής χαρακτηρίζεται από την ανάπτυξη κανονικών ρηγμάτων.
- ✓ Το υδρογεωλογικό καθεστώς που απαντάται στο σύγκλινο της Μεσογείας μπορούμε να αναφέρουμε ότι χαρακτηρίζεται από 4 βασικές κατηγορίες υπόγειων υδροφορέων. Τον καρστικό υδροφορέα, τον υδροφορέα νεογενών αποθέσεων, τον υδροφορέα τεταρτογενών αποθέσεων και τον ασθενή υδροφορέα σχιστολίθων. Ο βαθύτερος που ονομάζεται καρστικός σχηματίζεται μέσα στα μάρμαρα και τους δολομίτες της περιοχής (σχηματισμοί Υμηττού και Πεντελικού Όρους) και έχει υψηλή δυναμικότητα. Τα πετρώματα αυτά έχουν υδραυλική επικοινωνία μεταξύ

τους και αποτελούν το υπόβαθρο ολόκληρης σχεδόν της περιοχής ανατολικής Αττικής.

Ο ρωγματώδης υδροφορέας που αναπτύσσεται εντός των σχιστολίθων αποτελείται από υπό πίεση και πολύ μικρής δυναμικότητας υδροφόρους ορίζοντες που δημιουργήθηκαν είτε λόγω της εξαλλοίωσης τμημάτων υγιών σχιστολίθων είτε λόγω ανάπτυξης ρωγματώσεων – διακλάσεων λόγω τεκτονισμού (δευτερογενής περατότητα).

Όσον αφορά τους κοκκώδεις - προσχωματικούς υδροφορείς αυτοί αποτελούνται από τους ελεύθερους υδροφορείς των τεταρτογενών αποθέσεων και τους υδροφορείς που αναπτύσσονται εντός των νεογενών αποθέσεων.

Ο ελεύθερος υδροφορέας των τεταρτογενών αποθέσεων αναπτύσσεται εντός των Πλειστοκαινικών αποθέσεων της ευρύτερης περιοχής Κορωπίου - Μαρκοπούλου - Παιανίας - Σπάτων. Η δυναμικότητα του παρουσιάζει διακυμάνσεις και καθορίζεται από την κοκκομετρική σύσταση του υδροφόρου μέσου.

Όσον αφορά τους υδροφορείς των νεογενών αποθέσεων, πρόκειται για επάλληλους, υπό πίεση, μερικώς υπό πίεση ή κατά θέσεις ημιελεύθερους υδροφόρους ορίζοντες που αναπτύσσονται μέσα στα Νεογενή ιζήματα σε εναλλαγή μεταξύ υδροπερατών και αδιαπέρατων σχηματισμών (μάργες, ψαμμίτες, κροκαλοπαγή, μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι, άργιλοι). Οι ορίζοντες αυτοί εμφανίζουν περιορισμένη δυναμικότητα.

- ✓ Το κλίμα της περιοχής χαρακτηρίζεται γενικά ως εύκρατο Μεσογειακού τύπου και χαρακτηρίζεται από μια θερινή περίοδο ξηρασίας και μια σύντομη χειμερινή περίοδο ψύχους. Σύμφωνα με τα κλιματολογικά δεδομένα 8 μετεωρολογικών σταθμών της περιοχής της Μεσογαίας Αττικής για το χρονικό διάστημα 2013-2017, η μέση ετήσια θερμοκρασία κυμαίνεται στους 18,36° C, με μέγιστη τιμή τον Αύγουστο και ελάχιστη τον Ιανουάριο. Η βόρεια περιοχή μελέτης έχει τις χαμηλότερες μέσες ετήσιες τιμές θερμοκρασίας. Η μέση ετήσια τιμή της βροχόπτωσης κυμαίνεται στα 406mm με μέγιστη τιμή τον Νοέμβριο και ελάχιστη τον Αύγουστο. Το βορειοδυτικό τμήμα της περιοχής μελέτης που δέχεται τα μεγαλύτερα ύψη βροχής. Η μέση ετήσια τιμή της σχετικής υγρασίας είναι 61% με μέγιστη τιμή τον Νοέμβριο και ελάχιστη τον Ιούλιο. Τα τμήματα της περιοχής μελέτης με τις υψηλότερες τιμές σχετικής υγρασίας είναι το ανατολικό τμήμα (παράκτιο) και τμήματα της βορειοδυτικής περιοχής. Η μέση ετήσια τιμή έντασης του ανέμου υπολογίστηκε στα 8,45 km/h με μέγιστη τιμή τον Αύγουστο και ελάχιστη τον Νοέμβριο. Η βόρεια και ανατολική περιοχή παρουσιάζουν αρκετά



υψηλές τιμές έντασης ανέμου σε σχέση με τη δυτική πλευρά. Σύμφωνα με το Θερμοϋγρογράφημα της περιοχής μελέτης η ξηρή περίοδος ξεκινά τον Απρίλιο και ολοκληρώνεται στα τέλη Οκτωβρίου.

- ✓ Σύμφωνα, με τα στοιχεία από τις απογραφές της ΕΛ.ΣΤΑΤ, στην περιοχή έρευνας σημειώθηκε έντονη πληθυσμιακή αύξηση στο διάστημα 1971-2011, η οποία σύμφωνα με έρευνες αναμένεται να συνεχιστεί. Τα μεγάλα έργα υποδομής που κατασκευάστηκαν στην περιοχή έρευνας (Διεθνής Αερολιμένας Αθηνών, Αττική Οδός, Προαστιακός σιδηρόδρομος) και ακολούθως η στροφή του πρωτογενούς και δευτερογενούς τομέα παραγωγής στον τριτογενή τομέα, αποτελούν τους κυριότερους παράγοντες που συνέβαλαν σε αυτήν την αύξηση.
- ✓ Όσον αφορά τις χρήσεις γης, το μεγαλύτερο ποσοστό καταλαμβάνουν τα σύνθετα συστήματα καλλιεργειών (33%), οι αστικές περιοχές (23,5%) και οι αμπελώνες (22,6%).
- ✓ Ο τριτογενής τομέας παραγωγής αποτελεί τον κύριο τομέα απασχόλησης των κατοίκων με ποσοστό περίπου στο 80%.
- ✓ Η συγκέντρωση των νιτρικών ιόντων στα υπόγεια νερά κατά την χρονική διάρκεια της παρούσας μελέτης (υγρή περίοδος 2017-2019) κυμαίνεται μεταξύ 1,23 mg/l και 360 mg/l με μέση τιμή 64,99 mg/l. Στο σύνολο των δειγμάτων τα 38 (55,8%) εμφανίζουν τιμές μεγαλύτερες του ανώτατου επιπέδου τιμών βάσει νομοθεσίας για τα πόσιμα νερά το οποίο είναι 50 mg/l. Οι τιμές των συγκεντρώσεων παρουσιάζουν υψηλή τιμή συντελεστή μεταβλητότητας (90%) και τυπική απόκλιση (59) γεγονός που σημαίνει ότι υπάρχει μεγάλη διασπορά τιμών γύρω από την μέση τιμή. Το μεγαλύτερο πλήθος τιμών συγκεντρώνεται σε συγκέντρωσης από 0 έως 75 mg/l. Σύμφωνα με τον χάρτη χωρικής κατανομής των νιτρικών ιόντων, το νοτιοδυτικό τμήμα της περιοχής μελέτης (Κορωπί) εμφανίζεται να είναι αρκετά επιβαρυνόμενο από την νιτρορύπανση. Αυτό το γεγονός συνδέεται αφενός με τα φυσικά χαρακτηριστικά του περιβάλλοντος (υδρογεωλογία, ακόρεστη ζώνη, βάθος υδροφόρου) που ευνοούν την κατείσδυση των νιτρικών ιόντων στο υπόγειο νερό, όπως επίσης και στο υψηλό ρυπαντικό φορτίο της περιοχής (χρήση λιπασμάτων από αγροτικές δραστηριότητες, απόβλητα από χοιροστάσια πτηνοτροφικές μονάδες, βιομηχανίες). Επίσης παρατηρήθηκαν υψηλές τιμές συγκέντρωσης νιτρικών ιόντων εντός αστικών περιοχών (Σπάτα, Παιανία, Κορωπί) γεγονός που συνδέεται με την έλλειψη αποχετευτικού δικτύου στην περιοχή το οποίο αποτελεί έναν ακόμα σημαντικό επιβαρυντικό παράγοντα για την κατάσταση των υπόγειων υδάτων, καθώς τα αστικά και βιομηχανικά λύματα απορρίπτονται σε

απορροφητικούς και μη στεγανούς βόθρους και κατά συνέπεια απευθείας στους υπόγειους υδροφόρους.

#### **Μέθοδοι εκτίμησης Τρωτότητας DRASTIC**

- ✓ Στο πλαίσιο της παρούσας έρευνας επιχειρείται ο προσδιορισμός της ενδογενούς και ειδικής τρωτότητας των υπόγειων υδροφορέων της περιοχής έρευνας, με τη βοήθεια της μεθόδου DRASTIC. Για αυτόν τον λόγο πραγματοποιείται βελτιστοποίηση της πρότυπης μεθόδου DRASTIC και προτείνονται διάφορες τροποποιήσεις και μετασχηματισμοί, που βασίζονται στις στατιστικές παραμέτρους της κατανομής της συγκέντρωσης νιτρικών ιόντων ως δείκτη ρύπανσης και επιπλέον προσθήκες παραμέτρων ρυπαντικού φορτίου. Τελικά επιτυγχάνεται η ανάπτυξη μιας ολοκληρωμένης μεθόδου, η οποία θα μπορεί να προβλέπει επιτυχώς την ειδική (specific) τρωτότητα ή το δυναμικό ρύπανσης (Pollution Risk) των υπόγειων υδροφορέων, οι οποίοι βρίσκονται κάτω από έντονη περιβαλλοντική πίεση.
- ✓ Η μέθοδος DRASTIC εφαρμόζεται σε διεθνή κλίμακα και παρουσιάζει σημαντικά πλεονεκτήματα όπως: 1) Έχει χαμηλό κόστος εφαρμογής και εφαρμόζεται σε μεγάλης έκτασης περιοχές, 2) Η επιλογή πολλών παραμέτρων και οι μεταξύ τους συσχετίσεις μειώνουν την πιθανότητα παράληψης κάποιας σημαντικής για την τρωτότητα παραμέτρου, περιορίζουν την επίδραση ενός τυχαίου λάθους στον υπολογισμό κάποιας εκ των παραμέτρων και ενισχύουν τη στατιστική ορθότητα του μοντέλου, 3) Δίνει σχετικά ακριβή αποτελέσματα για περιοχές με πολυποίκιλη γεωλογική δομή.
- ✓ Η παρούσα έρευνα περιλαμβάνει την καταγραφή δεδομένων των 7 βασικών παραμέτρων του μοντέλου όπως είναι το βάθος υδροφόρου, η ενεργή κατείδυση, το μέσο του υδροφορέα, η εδαφική υφή, η μορφολογία, η ακόρεστη ζώνη και η υδραυλική αγωγιμότητα. Επίσης περιλαμβάνει βάση υδροχημικών δεδομένων και καταγραφή των ανθρωπογενών φορτίσεων στο υπόγειο νερό βασισμένη στην κατανομή των χρήσεων γης και των σημειακών πηγών ρύπανσης.
- ✓ Οι προϋποθέσεις για την εφαρμογή της μεθοδολογίας DRASTIC, οι οποίες και πληρούνται στην υπό έρευνα περιοχή, είναι ότι οι ρυπαντικές ουσίες, όπως τα νιτρικά ιόντα να προέρχονται κυρίως από τις καλλιεργητικές δραστηριότητες που εφαρμόζονται στην περιοχή, να έχουν την κινητικότητα του νερού δηλαδή να συμπεριφέρονται ως αδρανής ρύπος, να εισάγονται από την επιφάνεια του εδάφους μέσω της βροχόπτωσης, να είναι σχετικά ομοιόμορφα κατανομημένες στο μεγαλύτερο τμήμα της περιοχής έρευνας.

- ✓ Η περιοχή έρευνας συγκεντρώνει και άλλα στοιχεία, απαραίτητα για την εξασφάλιση της στατιστικής ορθότητας της μεθόδου όπως: 1) Παρουσιάζει ευρεία διακύμανση τιμών σε όλες τις παραμέτρους του μοντέλου, δεδομένου ότι περιέχει αρκετούς διαφορετικούς γεωλογικούς σχηματισμούς, αρκετά και διαφορετικά είδη υδροφόρων με μεγάλες διακυμάνσεις υδραυλικών και γεωμετρικών χαρακτηριστικών, αρκετούς διαφορετικούς εδαφικούς τύπους και μεγάλες διακυμάνσεις τόσο στο βάθος, όσο και την τροφοδοσία του υδροφόρου, 2) Η συγκέντρωση του ρύπου που θα χρησιμοποιηθεί ως δείκτης, δηλαδή η συγκέντρωση νιτρικών ιόντων, παρουσιάζει μεγάλο εύρος κύμανσης τιμών, ενώ τα σημεία δειγματοληψίας κατανέμονται σε περιοχές που καλύπτουν σχεδόν όλο το εύρος κύμανσης όλων των παραμέτρων του μοντέλου, 3) Υπάρχει ποικιλία χωρική και ποιοτική στα είδη του ρυπαντικού φορτίου (διαφορετικές χρήσεις γής, σημειακές πηγές ρύπανσης).
- ✓ Εκτός των κλασικών δεδομένων που χρησιμοποιούνται διεθνώς επιχειρήθηκε περαιτέρω εξειδίκευση συγκεκριμένων παραμέτρων όπως είναι η ενεργή κατείδυση και η εδαφική υφή. Όσον αφορά την ενεργή κατείδυση πέραν του υπολογισμού της βροχόπτωσης υπολογίστηκαν επιπλέον παράμετροι οι οποίοι συμμετέχουν στην εξίσωση του υδρολογικού ισοζυγίου όπως είναι μια σειρά από κλιματολογικούς παράγοντες (θερμοκρασία, σχετική υγρασία, ταχύτητα ανέμου) οι χρήσεις γής, η επιφανειακή υδρολιθολογία και η πυκνότητα υδροληψιών. Επίσης για τον υπολογισμό και βαθμονόμηση της εδαφικής υφής χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα κοκκομετρίας και υδρομορφίας των εδαφικών στρωμάτων. Όσον αφορά το ρυπαντικό φορτίο εκτός των χρήσεων γής προστέθηκε επιπλέον η παράμετρος των σημειακών ρύπανσης. **Οι παραπάνω ενέργειες προσδίδουν προστιθέμενη αξία στην ήδη υπάρχουσα γνώση και συμβάλουν στην πληρέστερη κατανόηση των φυσικών και ανθρωπογενών παραμέτρων που επιδρούν στην τρωτότητα των υπόγειων υδροφορέων.**
- ✓ Για τον υπολογισμό των βαρών των κριτηρίων της αρχικής μεθόδου DRASTIC χρησιμοποιήθηκε η πολυκριτηριακή ανάλυση αφού καθορίστηκε αρχικά η σπουδαιότητα κάθε παραμέτρου σε σχέση με τις υπόλοιπες βάσει υποκειμενικών κριτηρίων.
- ✓ Ως κριτήριο ελέγχου και αποδοχής των μεθόδων που εφαρμόστηκαν, χρησιμοποιήθηκε ο συντελεστής συσχέτισης Pearson's μεταξύ των παραγόμενων τιμών των μοντέλων και των **λογαριθμικών τιμών συγκέντρωσης των νιτρικών ιόντων καθώς προσεγγίζουν ικανοποιητικότερα την κανονική κατανομή.**

- ✓ Οι διαδικασίες στατιστικής βελτιστοποίησης που εφαρμόστηκαν με την σειρά ήταν οι εξής: DRASTIC<sub>r</sub> (βαθμονόμηση παραμετρικών τιμών), DRASTIC<sub>w</sub> (βαθμονόμηση βαρών κριτηρίων) και DRASTIC<sub>rw</sub> (βαθμονόμηση παραμετρικών τιμών και βαρών κριτηρίων). Σε κάθε στάδιο εφαρμογής των παραπάνω μεθόδων ο συντελεστής συσχέτισης αυξανόταν σε σχέση με την εκάστοτε προηγούμενη ή αρχική μέθοδο. Μετά την εφαρμογή της μεθόδου DRASTIC<sub>rw</sub> ο συντελεστής συσχέτισης αυξήθηκε κατά 30 % σε σχέση με την πρότυπη μέθοδο DRASTIC. **Από τα ανωτέρω προκύπτει το συμπέρασμα ότι αφενός η μέθοδος στατιστικής βελτιστοποίησης είναι πολύ σημαντική για την βελτίωση του μοντέλου DRASTIC και αφετέρου ότι η βελτιστοποίηση που στηρίζεται στην τροποποίηση τόσο των παραμετρικών τιμών όσο και των βαρών κριτηρίων δίνει τα καλύτερα αποτελέσματα. Αμέσως μετά τα καλύτερα αποτελέσματα δίνει η τροποποίηση των βαρών κριτηρίων και ακολούθως των παραμετρικών τιμών.**
- ✓ Η μέθοδος DRASTIC<sub>rw</sub> έδωσε καλύτερα αποτελέσματα σε σχέση με την DRASTIC<sub>r</sub> Typical γεγονός που σημαίνει ότι η μέθοδος αναθεώρησης βαρών κριτηρίων και παραμετρικών τιμών όπως αναπτύχθηκε στην παρούσα εργασία προσάρμοσε καλύτερα την μέθοδο DRASTIC στις τοπικές συνθήκες.
- ✓ Οι θεωρητικές τιμές βαρύτητας έδωσαν ελαφρώς καλύτερες τιμές συσχέτισης από τις τιμές ενεργού βαρύτητας των κριτηρίων του μοντέλου όπως αυτές προέκυψαν από τις μεθόδους ανάλυσης ευαισθησίας. **Συνεπώς ο υπολογισμός της ενεργού βαρύτητας των παραμέτρων της μεθόδου DRASTIC ναι μεν αποτυπώνει την σημαντικότητα των παραμέτρων στην διαμόρφωση του τελικού δείκτη αλλά δεν βελτιώνει πάντα τον τελικό συντελεστή συσχέτισης του μοντέλου με τον αντίστοιχο δείκτη ρύπανσης.**
- ✓ Η βελτίωση της συσχέτισης που επιφέρει η εισαγωγή του ρυπαντικού φορτίου είναι της τάξης του 4%, μικρότερη δηλαδή από την αναμενόμενη λόγω της φυσικής σπουδαιότητας της παραμέτρου αυτής. **Η διαπίστωση αυτή μπορεί να αποδοθεί στην σύμπτωση ότι στην περιοχή μελέτης τα σημεία που παρουσιάζουν υψηλή ενδογενή τρωτότητα έχουν και υψηλά ρυπαντικά φορτία.** Εάν η σχέση μεταξύ ενδογενούς τρωτότητας και ρυπαντικού φορτίου ήταν αντίστροφη, η επίδραση του συγκεκριμένου παράγοντα θα ήταν καθοριστική στην αύξηση της συσχέτισης δυναμικού μόλυνσης και συγκέντρωσης νιτρικών, όπως έχει, εξάλλου, διαπιστωθεί και από άλλους ερευνητές.
- ✓ Από τις φυσικές παραμέτρους η εδαφική υφή (S) έχει την μικρότερη συνεισφορά στην διαμόρφωση των τιμών τρωτότητας (μέση τιμή 6,29), γεγονός που σημαίνει

ότι στην περιοχή έρευνας η εδαφική ζώνη δεν επηρεάζει τη συγκέντρωση των νιτρικών που καταλήγουν στον υδροφόρο ορίζοντα. **Η φυσική σημασία του γεγονότος πρέπει ίσως να αποδοθεί στην απουσία αναγωγικών αντιδράσεων στην εδαφική ζώνη, λόγω περίσσειας οξυγόνου όπως καταλήγουν και άλλοι ερευνητές (Αντωνάκος Α 2012, McLay et al., 2001, Lambrakis et al., 2004).**

- ✓ Η παράμετρος των χρήσεων γής (L) έχει την μεγαλύτερη συνεισφορά στην διαμόρφωση τιμών του τελικού δείκτη τρωτότητας (μέση τιμή 45,37). **Η φυσική σημασία του γεγονότος μπορεί να αποδοθεί στην επίδραση ρυπαντικών δραστηριοτήτων (καλλιέργειες, βιομηχανίες, αστικά απόβλητα) στην νιτρορύπανση των υπόγειων υδροφορέων.**
- ✓ Η παράμετρος της ακόρεστης ζώνης επίσης έχει μεγάλη συνεισφορά στην διαμόρφωση των τιμών του δείκτη τρωτότητας (μέση τιμή 35,53). **Η φυσική ερμηνεία του γεγονότος μπορεί να αποδοθεί στην σημασία της κοκκομετρικής - ορυκτολογικής σύστασης των γεωλογικών σχηματισμών που την αποτελούν, όσον αφορά την ικανότητά ή μη της ακόρεστης ζώνης να προστατεύει τον υπόγειο υδροφόρα από τους επιφανειακούς ρυπαντές.**
- ✓ Η εφαρμογή της τελικής μεθόδου βελτιστοποίησης DRASTICLNrwP εφαρμόστηκε με πολύ καλά αποτελέσματα σε περιοχή με πολλαπλούς υπόγειους υδροφορείς γεγονός, γεγονός που καταδεικνύει ότι η εφαρμογή της μεθόδου DRASTIC σε προσχωματικούς υδροφορείς δεν αποτελεί πανάκεια.
- ✓ Ο τελικός χάρτης εκτίμησης ειδικής τρωτότητας / Διακινδύνευσης DRASTICLNrwP έδωσε αρκετά ικανοποιητικά αποτελέσματα βάσει σύγκρισης με την χωρική κατανομή συγκέντρωσης νιτρικών ιόντων βάσει των αποτελεσμάτων σε 68 υδροσημεία. Ιδιαίτερα προέκυψε ότι στις περιοχές που χαρακτηρίζονται από υψηλή έως και πολύ υψηλή τρωτότητα, εμφανίζονται πράγματι αυξημένες τιμές συγκέντρωσης Νιτρικών ιόντων. Επίσης στις περιοχές που χαρακτηρίζονται από πολύ χαμηλή τρωτότητα, εμφανίζονται συγκριτικά χαμηλότερες τιμές συγκέντρωσης νιτρικών. **Η συγκριτικά αυξημένη συγκέντρωση νιτρικών ιόντων σε τμήματα της περιοχής μελέτης που χαρακτηρίζονται από μεγάλη έως πολύ μεγάλη τρωτότητα, είναι ενδεικτική της ορθότητας των εκτιμήσεων της έρευνας που πραγματοποιήθηκε στην περιοχή αλλά και των δυνατοτήτων της τροποποιούμενης μεθοδολογίας DRASTICLNrwP. Οι σχετικά αυξημένες αυτές συγκεντρώσεις υποδεικνύουν την ήδη αυξημένη ανθρωπογενή επίδραση στο υπόγειο νερό της περιοχής έρευνας.**

Εξαίρεση αποτελεί η ζώνη χαμηλής Διακινδύνευσης καθώς εμφανίζονται τιμές νιτρικών ιόντων πολύ χαμηλές έως υψηλές γεγονός που μπορεί να συνδέεται με μεταφορά ρυπαντικού φορτίου λόγω κίνησης του υπόγειου νερού (πιεζομετρία).

- ✓ **Συνέπεια των ανωτέρω είναι ότι ο χάρτης εκτίμησης της ειδικής τρωτότητας / Διακινδύνευσης DRASTICLN<sub>WP</sub> των υπόγειων νερών του Υπόγειου Υδατικού Υποσυστήματος Μεσογαίας Β, μπορεί να συμβάλλει στον σχεδιασμό δράσεων και παρεμβάσεων, οι οποίες μπορεί να αφορούν α) στο γενικό πλαίσιο χωροταξικού σχεδιασμού και χρήσεων γης της περιοχής (επιλογή χώρων για δημιουργία κτηνοτροφικών μονάδων, βιομηχανικών ζωνών, νεκροταφείων, αρχική επιλογή χώρων απόθεσης αποβλήτων, περιοχές συστηματικού ελέγχου της ποιότητας των υπόγειων νερών), β) στον σχεδιασμό έργων αξιοποίησης υδατικών πόρων (ανόρυξη υδρευτικών γεωτρήσεων), και γ) στην χάραξη πολιτικής από τους αρμόδιους φορείς (παραγωγή νομοθεσίας / κανονιστικών πράξεων της Διοίκησης, στοχευμένες ενημερώσεις μέσω ημερίδων-συνεδριών σε εμπλεκόμενους φορείς συγκεκριμένων ευάλωτων περιοχών, έλεγχος εφαρμογής του κώδικα ορθής γεωργικής πρακτικής) προκειμένου να υπάρξει πρόληψη της ρύπανσης των υπόγειων νερών από ανθρωπογενείς παράγοντες και συνεπώς, ουσιαστική προστασία του σημαντικού φυσικού αυτού πόρου.**

Όσον αφορά τα **προβλήματα - περιορισμούς** που προέκυψαν συνοψίζονται κυρίως όσον αφορά την συλλογή πρωτογενών δεδομένων ως εξής:

- ✓ Ύπαρξη τμημάτων της περιοχής μελέτης χωρίς αντιπροσωπευτικά σημεία δειγματοληψίας λόγω ανεπάρκειας υδροληψιών.
- ✓ Ύπαρξη ορισμένων λιθολογικών τομών χωρίς αναλυτικά στοιχεία υδροφορέων ή ακόρεστης ζώνης.
- ✓ Έλλειψη στοιχείων δοκιμαστικών αντλήσεων σε ορισμένες υδροληψίες.
- ✓ Δυσκολία προγραμματισμού δειγματοληψιών σε κοινές περιοχές λόγω διαφορετικών υποχρεώσεων των ιδιοκτητών των υδροσημείων.
- ✓ Τεχνικές δυσκολίες κατά την διάρκεια πραγματοποίησης δειγματοληψιών (σφραγισμένα υδροσημεία, αδυναμία εκκίνησης αντλητικού συγκροτήματος).
- ✓ Σε περιπτώσεις δειγματοληψιών από γεωτρήσεις με φίλτρα σε πολλαπλούς υδροφορείς οι τιμές συγκέντρωσης των νιτρικών ιόντων και τα αντίστοιχα

συμπεράσματα, έχουν κυρίως ποιοτικό χαρακτήρα, δεδομένου ότι το νερό του ανώτερου υδροφόρου ορίζοντα που μελετήθηκε, αναμιγνύεται κατά την άντληση με νερό των βαθύτερων υδροφόρων οριζόντων.

- ✓ Όσον αφορά την αρχική μέθοδο DRASTIC το σημαντικότερο ίσως μειονέκτημα είναι η υποκειμενικότητα του ποιοτικού προσδιορισμού τόσο της κλίμακας βαθμονόμησης όσο και των συντελεστών βαρύτητας.

Όσον αφορά την δυνατότητα για **περαιτέρω έρευνα ή λοιπές προτάσεις** αυτά συνοψίζονται ως εξής:

- ✓ Εισαγωγή επιπλέον παραμέτρων στον υπολογισμό του μοντέλου (τεκτονική, υδρογραφικό δίκτυο, πλημμυρικές ζώνες, πιεζομετρία).
- ✓ Εφαρμογή της μεθόδου κατά την διάρκεια της ξηρής περιόδου και σύγκριση με τα αποτελέσματα της υγρής περιόδου.
- ✓ Εφαρμογή μεθόδου σε περισσότερους ρυπαντές πχ βαρέα μέταλλα.
- ✓ Εφαρμογή μοντέλου DRASTICLNrWP σε διαφορετικές περιοχές του Υπόγειου Υδατικού Συστήματος Αττικής 06 όπου και κυριαρχούν διαφορετικές χρήσεις όπως είναι το Θριάσιο (βιομηχανίες) Πεδιάδες Μαραθώνα-Μέγαρα (αγροτική δραστηριότητα), Λεκανοπέδιο Αθηνών (αστικές χρήσεις).
- ✓ Εφαρμογή περισσότερων μεθόδων εκτίμησης τρωτότητας (AVI, COP, SINTACS, N-RIVA) και σύγκριση αποτελεσμάτων με την μέθοδο DRASTIC
- ✓ Περαιτέρω ανάλυση μέσω προχωρημένων μεθόδων στατιστικής, γεωστατιστικής, μαθηματικών και πληροφορικής (νευρωνικά δίκτυα, γενετικοί αλγόριθμοι, ασαφής λογική, τεχνητή νοημοσύνη, πολλαπλή λογιστική παλινδρόμηση).
- ✓ Αναθεώρηση υφιστάμενου Εθνικού δικτύου παρακολούθησης υπογείων υδάτων στην περιοχή μελέτης τόσο κατά την χωρική διάσταση όσο και κατά την παρακολούθηση διαφορετικών υδροφορέων.

## Κεφάλαιο 9°

# Βιβλιογραφικές Αναφορές



## 9. Βιβλιογραφικές Αναφορές

### Ελληνικές

- Ihyane, B., (2012):** Ποιοτική κατάσταση των υδροφόρων οριζόντων της Λεκάνης των Μεσογείων Αττικής, Διδακτορική Διατριβή, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος.
- Αγόρογλου, Ο., (2017):** Υδρογεωλογικές Συνθήκες της λεκάνης απορροής του Μεγάλου Ρέματος Ραφήνας, Μεταπτυχιακή Εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Διατμηματικό Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών «Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών Πόρων».
- Ανδρουλακάκης, Ν., Ζήσου, Α., και Μουγιάκου, Ε., (2016):** Δημιουργία Μοντέλων Επιφανειών - Χωρική Παρεμβολή, Εκπαιδευτικές Σημειώσεις στο πλαίσιο μαθημάτων του πιστοποιημένου σεμιναρίου του ΙΝ.ΕΠ «Επεξεργασία και εφαρμογές περιβαλλοντικών και χωροταξικών δεδομένων με την χρήση Πολυκριτηριακής Ανάλυσης».
- Ανδρουλακάκης, Ν., Ζήσου, Α., και Μουγιάκου, Ε., (2016):** Εισαγωγή στα Ψηφιδωτά Δεδομένα, Εκπαιδευτικές Σημειώσεις στο πλαίσιο μαθημάτων του πιστοποιημένου σεμιναρίου του ΙΝ.ΕΠ «Επεξεργασία και εφαρμογές περιβαλλοντικών και χωροταξικών δεδομένων με την χρήση Πολυκριτηριακής Ανάλυσης».
- Ανδρουλακάκης, Ν., Ζήσου, Α., και Μουγιάκου, Ε., (2016):** Πολυκριτηριακή Ανάλυση, Εκπαιδευτικές Σημειώσεις στο πλαίσιο μαθημάτων του πιστοποιημένου σεμιναρίου του ΙΝ.ΕΠ «Επεξεργασία και εφαρμογές περιβαλλοντικών και χωροταξικών δεδομένων με την χρήση Πολυκριτηριακής Ανάλυσης».
- Αντωνάκος, Α., (2012):** Χρήση Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (GIS) για επίλυση προβλημάτων Περιβαλλοντικής Υδρογεωλογίας στον Νομό Κορινθίας, Διδακτορική διατριβή, Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Γεωλογίας, σελ 229-249.
- Αντωνιάδης, Α., (2011):** Διερεύνηση της Γεωτεχνικής συμπεριφοράς των Πλειο-Πλειστοκαινικών Σχηματισμών της Ιζηματογενούς Λεκάνης Παιανίας - Κορωπίου Αττικής, Διπλωματική Εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων - Μεταλλουργών.
- Βουδούρης, Κ., (2004):** Χώροι Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων, Ποιότητα Υπογείων Νερών, Έκδοση 1.0, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Πανεπιστημιακές Σημειώσεις.

- Βουδούρης, Κ., και Μανδηλαράς, Δ., (2004):** Εκτίμηση της Τρωτότητας υπογείων νερών με την μέθοδο DRASTIC: Η περίπτωση του αλλουβιακού υδροφορέα της Λεκάνης του Γλαύκου (Ν Αχαΐας), Υδροτεχνικά, Τόμος 14 (2004), σελ 17-29.
- Γιαννουλόπουλος, Π., (2006):** Υδρογεωλογική Μελέτη Κορωπίου με έμφαση στο εξασθενές χρώμιο, Μελέτη Ι.Γ.Μ.Ε, Προγραμματική Σύμβαση, σελ 5-12, Αθήνα.
- Γεωσκόπιο Α.Τ.Ε., (2009):** Γεωλογική - Υδρογεωλογική Μελέτη στο πλαίσιο Ανανέωσης Άδειας Χρήσης νερού στην Θέση «Μακρολαχίδια» του Δήμου Παλλήνης Αττικής, Ιδιωτική Υδρογεωλογική Μελέτη.
- Έδαφος Σύμβουλοι Μηχανικοί ΑΕ., (2017):** Γεωλογική - Γεωτεχνική Μελέτη με τίτλο «Παρουσίαση και αξιολόγηση γεωτεχνικής έρευνας στο επιχειρηματικό πάρκο Πέτρα Γυαλού - Βούλια – Προκαλίσι του Δήμου Σπατών Αρτέμιδας», Ιδιωτική μελέτη, Φορέας Έργου: ELPEN Α.Ε ΦΑΡΜΑΚΕΥΤΙΚΑ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑ, σελ 4-47, Αθήνα.
- Εμίνογλου, Γ., (2015):** Διερεύνηση της τρωτότητας υπογείου Υδροφόρου συστήματος του πεδινού Τμήματος Ξυλαγανης – Ιμερου του νομού Ροδόπης. Επικαιροποιημένη προσέγγιση, Διπλωματική Εργασία. Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης, Πολυτεχνική Σχολή Ξάνθη, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Τομέας Γεωτεχνικής Μηχανικής.
- Ι.Γ.Μ.Ε, Διεύθυνση Υδρογεωλογίας., (2010),** Υδρογεωλογική Μελέτη Υδατικού Διαμερίσματος Αττικής (06, τμ 03), Έργο «Καταγραφή και αποτίμηση των υδρογεωλογικών χαρακτήρων των υπογείων νερών και των υδροφόρων συστημάτων της χώρας», Υποέργο 5 «Αξιολόγηση υδατικών πόρων Αττικής και νήσων Αργολοαργονικού. Στρατηγικά αποθέματα.», Αθήνα
- Καζάκης, Α., (2008):** Εκτίμηση της τρωτότητας των υπόγειων νερών στην εξωτερική ρύπανση. Εφαρμογή στην Λεκάνη της Φλώρινας, Μεταπτυχιακή Εργασία, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Γεωλογίας, Εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας και Υδρογεωλογίας, Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών «Εφαρμοσμένη και Περιβαλλοντική Γεωλογία».
- Κακαβά, Μ., (2015):** Η διερεύνηση της τρωτότητας του καρστικού συστήματος των τριαδικών ανθρακικών λατυποπαγών στο οροπέδιο Παλαιομανίνα – Πεντάλοφος ΝΔ Αιτωλοακαρνανίας, Μεταπτυχιακή Εργασία, Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Γεωλογίας.
- Καλαϊτζάκη, Ε., (2018):** Εκτίμηση της τρωτότητας του υδροφορέα της λεκάνης Μοιρών, Ηρακλείου Κρήτης, με την χρήση μεθόδου DRASTIC-LU, Διπλωματική Εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης, Σχολή Μηχανικών Περιβάλλοντος,

- Καραπάνος, Η., (2009):** Υδρογεωλογικές – Υδροχημικές Παράμετροι της Αποξηραμένης Λίμνης Μούριας (Ν Ηλείας) ως παράγοντες για τον καθορισμό κριτηρίων εφαρμογής αποκατάστασης και αειφορικής διαχείρισης υγροτόπων, Διδακτορική Διατριβή, Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Γεωλογίας, σελ 199-205.
- Λάμπας, Ι., (2018):** Εφαρμοσμένη Υδρογεωλογική Έρευνα Παράκτιων Υδατικών Συστημάτων. Η Περίπτωση του Παράκτιου Τμήματος Αταλάντης, Ν Φθιώτιδας, Διδακτορική Διατριβή, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Τμήμα Μηχανικών Μεταλλείων - Μεταλλουργών, , σελ 201-299.
- Λέκκας, Σ., (1993):** Υδρογεωλογικές Παρατηρήσεις στην περιοχή των Μεσογείων, Δελτίο Ε.Γ.Ε. Τόμος XXVII/3, σελ 309-322.
- Λέκκας, Σ., (2008):** Γεωλογική - Τεχνική Έκθεση στο πλαίσιο έκδοσης άδειας χρήσης νερού υφιστάμενου αρδευτικού φρέατος στην Θέση «Τόχι» του Δήμου Κρωπίας, Ιδιωτική Υδρογεωλογική Μελέτη.
- Λιώλια, Δ., και Μποζίκια, Α., (2017):** Εκτίμηση της τρωτότητας του κοκκώδους υδροφόρου ορίζοντα στο κεντρικό τμήμα του οροπεδίου Τρίπολης, Διπλωματική Εργασία, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Γεωλογίας & Γεωπεριβάλλοντος,
- Λιώσης, Ν., (2013):** Μέθοδοι και Τεχνικές Γεωμορφολογικής Χαρτογράφησης: Φύλλα Χάρτη Γ.Υ.Σ Κορωπί και Πλάκα, Διπλωματική Εργασία, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, Τμήμα Γεωγραφίας.
- Μανδράλη, Π., (2017):** Βελτιστοποίηση του Δείκτη DRASTIC για την εκτίμηση της τρωτότητας στην εξωτερική ρύπανση με στατιστικές μεθόδους: Εφαρμογή στον υδροφορέα της Λεκάνης Φλώρινας, Μεταπτυχιακή Εργασία, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Γεωλογίας, Εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας και Υδρογεωλογίας, Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών «Εφαρμοσμένη και Περιβαλλοντική Γεωλογία».
- Μιχαλόπουλος, Δ., (2016):** Αξιολόγηση μεθόδων εκτίμησης τρωτότητας και επικινδυνότητας ρύπανσης υπογείων υδάτων στις Ελληνικές Συνθήκες, Μεταπτυχιακή Εργασία, Ανοιχτό Πανεπιστήμιο, Σχολή Θετικών Επιστημών και Τεχνολογίας, Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών «Περιβαλλοντικός Σχεδιασμός Έργων Υποδομής», Πάτρα.
- Μουντράκης, Δ., (1985):** Γεωλογία της Ελλάδας, Εκδόσεις University Studio Press, σελ 121-128, Θεσσαλονίκη.
- Νίκας, Κ., (2004):** Υδρογεωλογικές Συνθήκες ΒΑ τμήματος Νομού Αχαΐας, Διδακτορική διατριβή, Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Γεωλογίας, σελ 274-281.

- Παναγιωτόπουλος, Π., (2013):** Διερεύνηση των Τεχνικογεωλογικών - Γεωτεχνικών Συνθηκών σε περιοχές του Δήμου Παλλήνης Ανατολικής Αττικής, Διπλωματική Εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων - Μεταλλουργών.
- Παναγόπουλος, Γ., (2004):** Υδρογεωλογική Μελέτη Τριφυλλίας, Διδακτορική Διατριβή, Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Γεωλογίας, σελ 292-311.
- Παναγόπουλος, Γ., Γιανουλόπουλος, Π., και Κουκούλας, Σ., (2014):** Εφαρμογή της μεθόδου DRASTIC στην Νήσο Λέσβο, Πρακτικά του 10<sup>ου</sup> Διεθνούς Υδρογεωλογικού Συνεδρίου, Θεσσαλονίκη 2014, σελ 205-214.
- Παπαδόπουλος, Δ., (2017):** Μελέτη επαναχρησιμοποίησης υγρών επεξεργασμένων αποβλήτων με εμπλουτισμό υπόγειων υδροφορέων στην Παλλήνη Αττικής, Ιδιωτική Υδρογεωλογική μελέτη, Φορέας Έργου: ΒΙΑΝΕΞ, Αθήνα, σελ 13-43.
- Παπαδόπουλος, Δ., (2018):** Μελέτη επαναχρησιμοποίησης υγρών επεξεργασμένων αποβλήτων με εμπλουτισμό υπόγειων υδροφορέων στο Κορωπί Αττικής, Ιδιωτική μελέτη, Φορέας Έργου: ΑΡΓΩ Α.Ε.Β.Ε, Αθήνα, σελ 20-33.
- Παπαθεοδώρου, Κ., Βεράνης, Ν., και Πατσιαρός, Π., (2010):** Τρωτότητα των Υπογείων νερών της πεδινής ζώνης του Ν Ημαθίας. Εφαρμογή της τροποποιημένης μεθόδολογίας DRASTIC, Άρθρο Χωρογραφίες Τόμος 1, Αρ 1, ISSN 1792-3913.
- Πεχλιβανίδης, Α., και Λεοντίσης, Φ., (2012):** Υδρογεωλογικοί Χαρακτήρες του Υδατικού Διαμερίσματος Αττικής με έμφαση στην Λεκάνη Καλυβίων, Διπλωματική Εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Τμήμα Μηχανικών Μεταλλείων - Μεταλλουργών.
- Ρίζος, Σ., (2013):** Χαρτογράφηση της τρωτότητας του Υπογείου Υδατικού Συστήματος του Αργολικού Πεδίου με την αξιοποίηση της Γεωπληροφορικής, Μεταπτυχιακή Εργασία, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών «Εφαρμοσμένη Γεωγραφικά και Διαχείριση Χώρου», Κατεύθυνση Γεωπληροφορική.
- Σούλιος, Γ., (1996):** Γενική Υδρογεωλογία, Τόμος Α', Εκδόσεις University Studio Press, Θεσσαλονίκη.
- Σούλιος, Γ., (1996):** Γενική Υδρογεωλογία, Τόμος Β', Εκδόσεις University Studio Press, Θεσσαλονίκη.
- Τσιρίτης, Ε., και Αρμαπατζής, Γ., (2015):** Η μέθοδος εκτίμησης της ολοκληρωμένης τρωτότητας υπόγειων υδροφόρων σε νιτρικά ιόντα, ως εργαλείο οριοθέτησης ευαίσθητων ζωνών νιτρορύπανσης, Ινστιτούτο Εδαφοϋδατικών Πόρων, Εκδόσεις ΕΛΓΟ Δήμητρα, Τεύχος 11, Ιούλιος Αύγουστος Σεπτέμβριος 2015, σελ 22-25.

- Υ.Π.ΕΝ, Ειδική Γραμματεία Υδάτων (2017):** Εγκεκριμένο Τεύχος 1ης Αναθεώρησης του Σχεδίου Διαχείρισης του Λεκανών Απορροής Ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος Αττικής (ΕΛ 06), σελ 130-137.
- Υ.Π.ΕΝ, Ειδική Γραμματεία Υδάτων (2017):** Έκθεση για την Οδηγία 91/676/ΕΟΚ στον Ελληνικό Χώρο, Κατάσταση 2012-2015.
- Υ.Π.ΕΝ, Ειδική Γραμματεία Υδάτων (2017):** Χαρακτηρισμός και αξιολόγηση/ταξινόμηση της κατάστασης των υπόγειων υδατικών συστημάτων, Ενδιάμεση Φάση 1, Παραδοτέο 7 της 1ης Αναθεώρησης του Σχεδίου Διαχείρισης του Λεκανών Απορροής Ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος Αττικής (ΕΛ 06),, σελ 147-159.
- Φαχάμ, Μ., (2017):** Γεωλογική - Τεχνική Έκθεση στο πλαίσιο έκδοσης άδειας χρήσης νερού νέας υδρευτικής γεώτρησης (άρδευση πρασίνου) στην Θέση «Ντράφι» του Δήμου Ραφήνας - Πικερμίου, Ιδιωτική Υδρογεωλογική Μελέτη.
- Φαχάμ, Μ., (2009):** Γεωλογική - Τεχνική Έκθεση στο πλαίσιο έκδοσης άδειας χρήσης νερού νέας υδρευτικής γεώτρησης (ενίσχυση αρδευτικού δικτύου) σε περιοχή του Δήμου Κρωπίας, Ιδιωτική Υδρογεωλογική Μελέτη, Φορέας Έργου: ΑΤΤΙΚΗ ΟΔΟΣ.
- Χαμπίδη, Π., (2012):** Φυσικές και Ανθρωπογενείς Επιπτώσεις στην ποιότητα νερών και εδαφών της Ανατολικής Αττικής, Διδακτορική Διατριβή, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Γενικό Τμήμα, Εργαστήριο Ορυκτολογίας - Γεωλογίας.
- Χρυσάφη, Α., (2012):** Εκτίμηση της τρωτότητας των υπογείων υδάτων στην ρύπανση του προσχωματικού υδροφορέα της Μυγδονίας Λεκάνης Απορροής, Μεταπτυχιακή Εργασία, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Διατμηματικό Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών «Οικολογική Ποιότητα και Διαχείριση υδάτων σε επίπεδο λεκάνης απορροής».
- Κοινή Υπουργική Απόφαση 190126/17.04.2013 (ΦΕΚ 983/Β/23.04.2013):** Τροποποίηση του άρθρου 2 της 19652/1906/1999 κοινής υπουργικής απόφασης «Προσδιορισμός των νερών που υφίστανται νιτρορύπανση γεωργικής προέλευσης Κατάλογος ευπρόσβλητων ζωνών, σύμφωνα με τις παραγράφους 1 και 2 αντίστοιχα του άρθρου 4 της υπ' αριθμ. 16190/1335/1997 κοινής υπουργικής απόφασης» (Β' 519), όπως αυτή τροποποιήθηκε και ισχύει.
- Κοινή Υπουργική Απόφαση 38552/265/2019 (ΦΕΚ Β' 1496/3-5-2019):** Πρόγραμμα Δράσης περιοχών που έχουν χαρακτηρισθεί ως ευπρόσβλητες ζώνες από τη νιτρορύπανση γεωργικής προέλευσης σύμφωνα με το άρθρο 2 της οικ. 19652/1906/1999 κοινή υπουργική απόφαση (Β'1575), όπως ισχύει, σε

---

συμμόρφωση με την Οδηγία 91/676/ΕΟΚ «για την προστασία των υδάτων από τη νιτρορύπανση γεωργικής προέλευσης» του Συμβουλίου της 12ης Δεκεμβρίου 1991 των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων, όπως τροποποιήθηκε και ισχύει.

**Κοινή Υπουργική Απόφαση 161690/1335/1997 (ΦΕΚ Β' 519/25-6-1997):** Μέτρα και όροι για την προστασία των νερών από την νιτρορύπανση γεωργικής προέλευσης.

**Οδηγία του Ευρωπαϊκού Συμβουλίου (91/676/ΕΟΚ):** Για την προστασία των υδάτων από την νιτρορύπανση γεωργικής προέλευσης, όπως τροποποιήθηκε από τον Κανονισμό (ΕΚ) αριθμ 1882/2003 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και Συμβουλίου την 29<sup>η</sup> Σεπτεμβρίου 2003.

**Υπουργική Απόφαση (ΦΕΚ Β' 53/20-2-1986):** Ποιότητα του πόσιμου νερού, σε συμμόρφωση προς την 80/778 Οδηγία του Συμβουλίου των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων της 15.7.1980.

**Υπουργική Απόφαση 1420/82031/22.07.2015 (ΦΕΚ 1709/Β/17.08.2015):** Κώδικας Ορθής Γεωργικής Πρακτικής για την Προστασία των Νερών από τη Νιτρορύπανση Γεωργικής Προέλευσης, όπως τροποποιήθηκε με την Υ.Α ΥΑ 2001/30.10.2015 (ΦΕΚ 2359/Β/03.11.2015).

### Διεθνείς

**Abdeslam, I., Fehdi, C., and Djabri, L., (2017):** Application of DRASTIC method for determining the vulnerability of an alluvial aquifer: Morsott – El Aouinet north east of Algeria using arcgis environment, Proceedings of the International Conference on Technologies and Materials for Renewable Energy, Environment and Sustainability, TMREES17, 21-24 April 2017, Beirut Lebanon, Energy Procedia, 119 (2017), pp: 308-317.

**Adamat, R, Foster, I., and Baban, S., (2003):** Groundwater vulnerability and risk mapping for the Basaltic aquifer of the Azraq basin of Jordan using GIS, Remote sensing and DRASTIC, the Applied Geography 23 (2003), pp: 303–324.

**Alwathaf, Y., and Mansouri, B., (2011):** Assessment of Aquifer Vulnerability Based on GIS and ARCGIS Methods: A Case Study of the Sana'a Basin (Yemen), Journal of Water Resource and Protection, 2011, 3, pp: 845-855.

**Anornu, G., Kabo-bah, A., and Anim-Gyampo, M., (2012):** Evaluation of Groundwater Vulnerability in the Densu River Basin of Ghana, Evaluation of AVI and DRASTIC Methods for Groundwater Vulnerability Mapping, American Journal of Human Ecology Vol. 1, No. 3, 2012, pp: 79-86.

**Antonakos, A., and Lambrakis, N., (2017):** Development and testing of three hybrid methods for the assessment of aquifer vulnerability to nitrates, based on the

- drastic model, an example from NE Korinthia, Greece, *Journal of Hydrology* (2007) 333, pp: 288–304.
- Awawdeh, Muheeb., Obeidat, M., and Zaiter, G., (2015):** Groundwater vulnerability assessment in the vicinity of Ramtha wastewater treatment plant, North Jordan, *Appl Water Sci* (2015) 5, pp: 321–334.
- Baghapour, M., Nobandegani, A., Talebbeydokhti, N., Bagherzadeh, S., and Nadiri, A., (2016):** Optimization of DRASTIC method by artificial neural network, nitrate vulnerability index, and composite DRASTIC models to assess groundwater vulnerability for unconfined aquifer of Shiraz Plain, Iran, Baghapour et al. *Journal of Environmental Health Science & Engineering* (2016).
- Barzegar, R., Moghaddam, A., Deo, R., Fijani, E., and Tziritis, E., (2018):** Mapping groundwater contamination risk of multiple aquifers using multi-model ensemble of machine learning algorithms, *Science of the Total Environment* 621 (2018), pp: 697–712.
- Bojórquez-Tapia, L., Cruz-Bello, G., Gonzalez, L., and Ortiz-Perez, M., (2009):** V-DRASTIC: Using visualization to engage policymakers in groundwater vulnerability assessment, *Journal of Hydrology* 373 (2009), pp: 242–255.
- Busico, G., Kazakis, N., Colombani, N., Mastrocicco, M., Voudouris, K., and Tedesco, D., (2017):** A modified SINTACS method for groundwater vulnerability and pollution risk assessment in highly anthropized regions based on  $\text{NO}_3^-$  and  $\text{SO}_4^{2-}$  concentrations, *Science of the Total Environment* 609 (2017), pp: 1512–1523.
- Büyükdemirci, A., (2012):** Groundwater vulnerability assessment with drastic Method: a case-study on kirikkale plain, Turkey, Dissertation, Master of Science in Civil Engineering Department, Middle East Technical University, Ankara, Turkey.
- Elfarrak, H., Hakdaoui, M., and Fikri, A., (2014):** Development of Vulnerability through the DRASTIC Method and Geographic Information System (GIS) (Case Groundwater of Berrchid), Morocco, *Journal of Geographic Information System*, 2014, 6, pp:45-58.
- Haiyang, H., Xuguang, L., Xiao, L., Jian, C., Wenjing, Z., and Wei, X., (2018):** Optimizing the DRASTIC Method for Nitrate Pollution in Groundwater Vulnerability Assessments: a Case Study in China, *the Pol. J. Environ. Stud.* Vol. 27, No. 1 (2018), pp: 95-107.
- Hamza, S., Ahsan, A., Imteaz, M., and Ghazali, T., (2016):** Groundwater Pollution Vulnerability Assessment Using A New GIS-Based DRASTIC Method, *Proceedings of the 7<sup>th</sup> International Conference on Water Resources and the Arid Environments (ICWRAE 7): 4-6 December 2016, Riyadh, Saudi Arabia*, pp: 116-130.

- Hosseini, M., and Saremi, A., (2018)** : Assessment and Estimating Groundwater Vulnerability to Pollution Using a Modified DRASTIC and GODS Models (Case Study: Malayer Plain of Iran), the Civil Engineering Journal Vol. 4, No. 2, February, 2018.
- Iqbal, J., and Gorai, A., (2013)**: AHP-GIS based DRASTIC Model for Groundwater Vulnerability to Pollution Assessment: A Case study of Hazaribag District, International Journal of Environmental Protection, Sep. 2013, Vol. 2 Iss. 3, pp: 20-31.
- Izrar, A., Yousef, N., and Faisal, Z., (2018)**: Groundwater pollution risk mapping using modified DRASTIC model in parts of Hail region of Saudi Arabia, Environ. Eng. Res. 2018; 23(1), pp: 84-91
- Javadi, S., Hashemym, S., Mohammadi, K., Neshat, A., and Howard, K., (2017)**: Classification of aquifer vulnerability using K-means cluster analysis, Journal of Hydrology 549 (2017), pp: 27–37.
- Javadia, S., Kavehkarb, N., Mohammadic, K., Khodadadid, A., and Kahawitae, R., (2011)**: Calibrating DRASTIC using field measurements, sensitivity analysis and statistical methods to assess groundwater vulnerability, Water International Journal, Vol. 36, No. 6, October 2011, pp: 719–732.
- Jayasekera, D., Kaluarachchi, J., and Villholth, K., (2011)**: Groundwater stress and vulnerability in rural coastal aquifers under competing demands: A case study from Sri Lanka, Environmental Monitoring and Assessment, May 2011.
- Kazakis, N., and Voudouris, K., (2011)**: Comparison of three applied methods of groundwater vulnerability mapping: A case study from the Florina basin, Northern Greece, Advances in the Research of Aquatic Environment, 2011 (Book), Volume 2, pp: 359-367.
- Kihumba, A M., Vanclooster, M., and Longo, J N., (2017)**: Assessing groundwater vulnerability in the Kinshasa region, DR Congo, using a calibrated DRASTIC model, the Journal of African Earth Sciences 126 (2017), pp: 13-22.
- Krishna, R., Iqbal, J., Gorai, A., Pathak, G., Tuluri, F., and Tchounwou, P., (2014)**: Groundwater vulnerability to pollution mapping of Ranchi district using GIS, Appl Water Sci.
- Madrid, A., Carrasco, F., Martínez, C., and Gogu, R., (2013)**: DRISTPI, a new groundwater vulnerability mapping method for use in karstic and non-karstic aquifers, Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology, Vol. 46, 2013, pp: 245–255.
- Mattas, C., Kazakis, N., and Soulios, G., (2014)**: Groundwater vulnerability and risk assessment using Drastic model in a gis environment. A case study From the



- gallikos river basin, northern Greece. Proceedings of the 10<sup>th</sup> International Hydrogeological Congress of Greece / Thessaloniki, 2014, pp 457-466.
- Mfonka, Z., Ngoupayou, J., Kproumieb, A., Zammouric, M., Ngouha, A., Mouncheroud, O, Mogaji, K., Lim, H., and Abdullar, K., (2002):** Modeling groundwater vulnerability to pollution using Optimized DRASTIC model, Proceedings of the 7<sup>th</sup> IGRSM International Remote Sensing & GIS Conference and Exhibition.
- Nadiri, A., Sedghi, Z., Khatibi, R., and Gharekhani, M., (2017):** Mapping vulnerability of multiple aquifers using multiple models and fuzzy logic to objectively derive model structures, *Science of the Total Environment* 593–594 (2017), pp: 75-90.
- Nadiri, A., Sedghi, Z., Khatibi, R., and Sadeghfam, S., (2018):** Mapping specific vulnerability of multiple confined and unconfined aquifers by using artificial intelligence to learn from multiple DRASTIC frameworks, *Journal of Environmental Management* 227 (2018), pp: 415-428.
- Nanou, E., and Zagana, E., (2018):** Groundwater Vulnerability to Pollution Map for Karst Aquifer Protection (Ziria Karst System, Southern Greece), *Geosciences* 2018.
- Napolitano, P., and Fabbri, A., (1996):** Single-parameter sensitivity analysis for aquifer vulnerability assessment using DRASTIC and SINTACS, Proceedings of the Vienna Conference HydroGIS 96: Application of Geographic Information Systems in Hydrology and Water Resources Management, April 1996. IAHS Publ. no. 235, 1996.
- Neshat, A., Pradhan, B., and Dadras, M., (2014):** Groundwater vulnerability assessment using an improved DRASTIC method in GIS, *Resources, Conservation and Recycling* 86 (2014), pp: 74–86.
- Neshat, A., Pradhan, B., Pirasteh, S., and Shafri, H., (2014):** Estimating groundwater vulnerability to pollution using a modified DRASTIC model in the Kerman agricultural area, Iran, *Environmental Earth Sciences*, ISSN 1866-6280.
- Ouedraogo, I., Defourny, P., and Vanclooster, M., (2016):** Mapping the groundwater vulnerability for pollution at the pan African scale, the *Science of the Total Environment* 544 (2016), pp: 939–953.
- Pathak, D., and Hiratsuka, A., (2011):** An integrated GIS based fuzzy pattern recognition model to compute groundwater vulnerability index for decision making, *Journal of Hydro-environment Research* 5 (2011), pp: 63-77.
- Rakotondrabea, F., and Rasolomananae, E., (2018):** A GIS-based DRASTIC and GOD models for assessing alterites aquifer of three experimental watersheds in Fomban

- (Western-Cameroon), *Groundwater for Sustainable Development* 7 (2018), pp: 250–264.
- Rao, A., Naik, P., Jain, S., Kumar, V., and Rao D (2018):** Assessment of vulnerability zones for ground water pollution using GIS-DRASTIC-EC model: A field-based approach, the *J. Earth Syst. Sci.* (2018) 127:49.
- Rebolledo, B., Gil, A., Flotats, X., and Sanchez, J., (2016):** Assessment of groundwater vulnerability to nitrates from agricultural sources using a GIS-compatible logic multicriteria model, *Journal of Environmental Management* 171 (2016), pp: 70-80.
- Rokowski, J., (2007):** Evaluation of intrinsic vulnerability of an Upper Jurassic karst-fissured aquifer in the Jura Krakowska (southern Poland) to anthropogenic pollution using the DRASTIC method, *Geological Quarterly*, 2007, 51 (1): pp: 17–26.
- Sadat-Noori, M., and Ebrahimi, K., (2016):** Groundwater vulnerability assessment in agricultural areas using a modified DRASTIC model, *Environ Monit Assess* (2016) 188:19.
- Saidi, S., Bouri, S., Hassine, S., and Dhia, H., (2013):** Comparison of three applied methods of groundwater vulnerability mapping: application to the coastal aquifer of Chebba -Mellouleche (Tunisia), *Desalination and water treatment*, November 2013.
- Saidi, S., Bourim, S., and Dhia, H., (2011):** Sensitivity analysis in groundwater vulnerability assessment based on GIS in the Mahdia-Ksour Essaf aquifer, Tunisia: a validation study, *Hydrological Sciences Journal*, 56(2) 2011, pp: 288-304.
- Samara, T., and Yoxas, G., (2013):** Drastic method to map groundwater Vulnerability to pollution using nitrate Measurements in agricultural areas, *Bulletin of the Geological Society of Greece*, vol. XLVII 2013 Proceedings of the 13<sup>th</sup> International Congress, Chania, Sept. 2013.
- Seleem, A., Kaiser, M., and Athelib, H., (2018):** Data Integration to Assess Aquifer Vulnerability Potential to Pollution around Ismailia Canal Using Remote Sensing and Gis Techniques, *IOSR Journal of Applied Geology and Geophysics (IOSR-JAGG)* e-ISSN: 2321–0990, p-ISSN: 2321–0982. Volume 6, Issue 4 Ver. I (Jul. – Aug. 2018), pp: 40-53.
- Sener, E., and Davraz, A., (2012):** Assessment of groundwater vulnerability based on a modified DRASTIC model, GIS and an analytic hierarchy process (AHP) method: the case of Egirdir Lake basin (Isparta, Turkey), *Hydrogeology Journal* (2013) 21, pp: 701–714.
- Sharmin, S., (2017):** Groundwater quality vulnerability assessment in north Dakota, Dissertation, North Dakota State University of Agriculture and Applied Science.

- Shirazi, S., Imran, H., Akib, S., Yusop, Z., and Harun, Z., (2013):** Groundwater vulnerability assessment in the Melaka State of Malaysia using DRASTIC and GIS techniques, *Environmental Earth Sciences* · April 2013, 70, pp: 2293–2304.
- Sidibe, A., and Xueyu, L., (2018):** Heavy metals and nitrate to validate groundwater sensibility assessment based on DRASTIC models and GIS: Case of the upper Niger and the Bani basin in Mali; *Journal of African Earth Sciences* 147 (2018), pp: 199-210.
- Tiwari, A., Singh, P., and Maio, M., (2016):** Evaluation of aquifer vulnerability in a coal mining of India by using GIS-based DRASTIC model, Original paper, Saudi Society for Geosciences 2016.
- Twana, A., Salahuddin, A., Nadhir, A., and Knutsson, S., (2015):** Groundwater Vulnerability Mapping Using Lineament Density on Standard DRASTIC Model: Case Study in Halabja Sidsadiq Basin, Kurdistan Region, Iraq, *Engineering*, 2015, 7, pp: 644-667.
- Vias, J., Andreo, B., Perles, M., and Crrasco, F., (2005):** Proposed method for groundwater vulnerability mapping in carbonate (karstic) aquifers: the COP method, *Article, Hydrogeology Journal* (2006) 14, pp 912–925.
- Voudouris, K., and Kazakis, N., (2015):** Groundwater vulnerability and pollution risk assessment of porous aquifers to nitrate: Modifying the DRASTIC method using quantitative parameters, *Journal of Hydrology* 525 (2015), pp 13-25.
- Voudouris, K., Kazakis, N., Oikonomidis, D., and Dimogianni, S., (2015):** A GIS/Remote Sensing-based methodology for groundwater potentiality assessment in Tirnavos area, Greece, *Journal of Hydrology* 525 (2015), pp 197-208.
- Voudouris, K., Kazakis, N., Polemio, N., and Kareklas, K., (2010):** Assesment of Intrinsic Vulnerability using the DRASTIC Model and GIS in the Kiti Aquifer, Cyprus, *European water* 30, 2010, pp: 13-24.
- Voudouris, K., Mandrali, P., and Kazakis, N., (2018):** Preventing Groundwater Pollution Using Vulnerability and Risk Mapping: The Case of the Florina Basin, NW Greece; *the Geosciences* 2018, 8, 129.
- Wang, J., He, J., and Chen, H., (2012):** Assessment of groundwater contamination risk using hazard quantification, a modified DRASTIC model and groundwater value, Beijing Plain, China, *Science of the Total Environment* 432 (2012), pp: 216–226.
- Yang, J., and Akhtar, M., (2017):** Combining AHP and genetic algorithms approaches to modify DRASTIC model to assess groundwater vulnerability: a case study from Jiangnan Plain, China, *Environ Earth Sci* (2017).

- Yang, J., Jiao, T., and Akhtar, M., (2017):** Combining AHP and genetic algorithms approaches to modify DRASTIC model to assess groundwater vulnerability: a case study from Jiangnan Plain, China., Environmental Earth Sciences, June 2017.
- Zghibi, A., Merzougui, A., Chenini, I., Ergaieg, Karim., Zouhri, L., Tarhouni, and Jamila., (2016):** Groundwater vulnerability analysis of Tunisian coastal aquifer: An application of DRASTIC index method in GIS environment, Groundwater for Sustainable Development 2 (2016), pp: 169–181.
- Zulhaidi, H., and Shafri, M., (2014):** An Integrated GIS Based Statistical Model to Compute Groundwater Vulnerability Index for Decision Maker in Agricultural Area, J Indian Soc Remote Sens.

### **Διαδικτυακές Αναφορές**

- <http://www.statistics.gr>: (Ιστότοπος Ελληνικής Στατιστικής Αρχής)
- <http://wfdver.ypeka.gr>: (Ιστότοπος Εγκεκριμένων Σχεδίων Διαχείρισης Λεκανών Απορροής Ποταμών Ειδικής Γραμματείας Υδάτων / ΥΠ.ΕΝ)
- <https://www.wikipedia.org>: (Διαδικτυακή εγκυκλοπαίδεια ελεύθερου περιεχομένου)
- <http://maps.ypeka.gr>: (Ιστότοπος Θεματικών Χαρτών ΥΠ.ΕΝ)
- <http://www.meteo.gr>: (Ιστότοπος μετεωρολογικών προγνώσεων - κλιματολογικών δεδομένων Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών)
- <http://www.ypeka.gr>: (Ιστότοπος του Υπουργείου Ενέργειας και Περιβάλλοντος)
- <https://www.google.com/maps>: (Υπηρεσία διαδικτυακής χαρτογράφησης της Google)
- <https://www.esri.com>: (Ιστότοπος της εταιρίας παραγωγής λογισμικού Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών ESRI)
- <http://www.igme.gr>: (Ιστότοπος της Ελληνικής Αρχής Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών)

# Κεφάλαιο 10°

## Παράρτημα

## 10. Παράρτημα

Πίνακας 81: Δεδομένα Υδροχημικών Αναλύσεων - Μετρήσεων Στάθμης υπόγειων υδάτων

A/A	ΚΩΔΙΚΟΣ	X	Y	W_L (m)	NO <sub>3</sub> mg/l	Cl <sup>-</sup> (mg/l)	PH	EC (μS/cm) 25 °C	T (°C)	DO (mg/l)
1	Π1	488488	4204910	10	40,5	71	6,89	2017	18,8	2,45
2	Π2	487498	4205376	3	68,1	24	7,09	1818	17,6	8,1
3	Π3	489503	4203666	7,9	68,7	205	7,04	2420	18,7	6,9
4	Π4	491719	4201560	7	96,6	83	7,19	1718	24,6	6,38
5	Π5	494658	4206123	14	58	148	6,70	2195	18,2	9,37
6	Π6	489945	4195119	12,7	216,5	109	7,06	2255	19,4	8,91
7	Π7	487831	4204076	1,3	55,2	60	7,07	1141	20,1	8,63
8	Π8	491508	4203297	10	86,2	287	7,16	1908	20	8,86
9	Π9	488240	4198892	3,3	52,2	36	7,15	1191	19,2	8,61
10	Π10	487662	4196481	7,2	216,6	122	6,96	1739	20,5	8,13
11	Π11	495413	4191353	2,4	9,45	57	6,72	1331	18,6	2,72
12	Π12	497095	4191241	5,8	64,6	84	6,79	1381	18,7	8,21
13	Π13	497722	4190942	12,5	34,9	160	7,17	1489	18,8	9,11
14	Π14	493699	4192198	4	70,4	30	6,92	1766	20,9	3,87
15	Π15	496202	4196079	2,2	25,35	338	6,89	2364	21	8,51
16	Π16	493961	4188139	5,2	39,8	70	7,19	1184	20,4	8,24
17	Π17	488506	4195108	2,45	145,4	150	6,88	2362	19,5	6,08
18	Π18	486913	4195359	8	52,6	34	7,05	1175	20,2	8,04
19	Π19	488018	4195461	4,5	139,2	98	6,80	1973	19,5	7,33
20	Π20	487599	4199158	12,4	131,7	84	8,03	2277	18,5	
21	Π21	487377	4200528	6,7	88,7	52	7,31	1598	17,9	
22	Π22	487347	4201094	9,4	101	80	7,51	1743	18,9	
23	Π23	489519	4193992	7,1	127,1	70	6,83	2380	16,2	5,89
24	Π24	493464	4192784	6,3	98,2	580	7,40	4645	16,2	7,04
25	Π25	489351	4205494	3,5	40,3	100	7,22	1600	19	3,95
26	Π26	498312	4196148	4,5	28,3	230	7,10	2511	17,5	5,82
27	Π27	489202	4198986	16,1	62,2	92,6	7,50	1328	18,9	
28	Π28	487749	4196849	4,89	163	82,1	7,35	1729	17,9	
29	Π29	488492	4195720	4,51	360	129	7,15	2479	18	
30	Π30	497150	4196302	12,41	41,2	394	7,00	2551	19,8	5,06
31	Π31	493709	4193615	4,7	51,4	87,6	7,35	1822	16,6	
32	Π32	492275	4188294	1,95	10,1	1115	7,33	4703	22,7	
33	Γ1	492709	4200872	52	78,5	235	7,15	2079	19,6	6,3
34	Γ2	496063	4206593	45	5	107	6,80	1359	18,3	9,13
35	Γ3	496398	4204629	4,3	12,9	118	7,20	1540	18,7	4,63
36	Γ4	489813	4201902	27	1,23	1032	8,58	5194	20,6	1,98

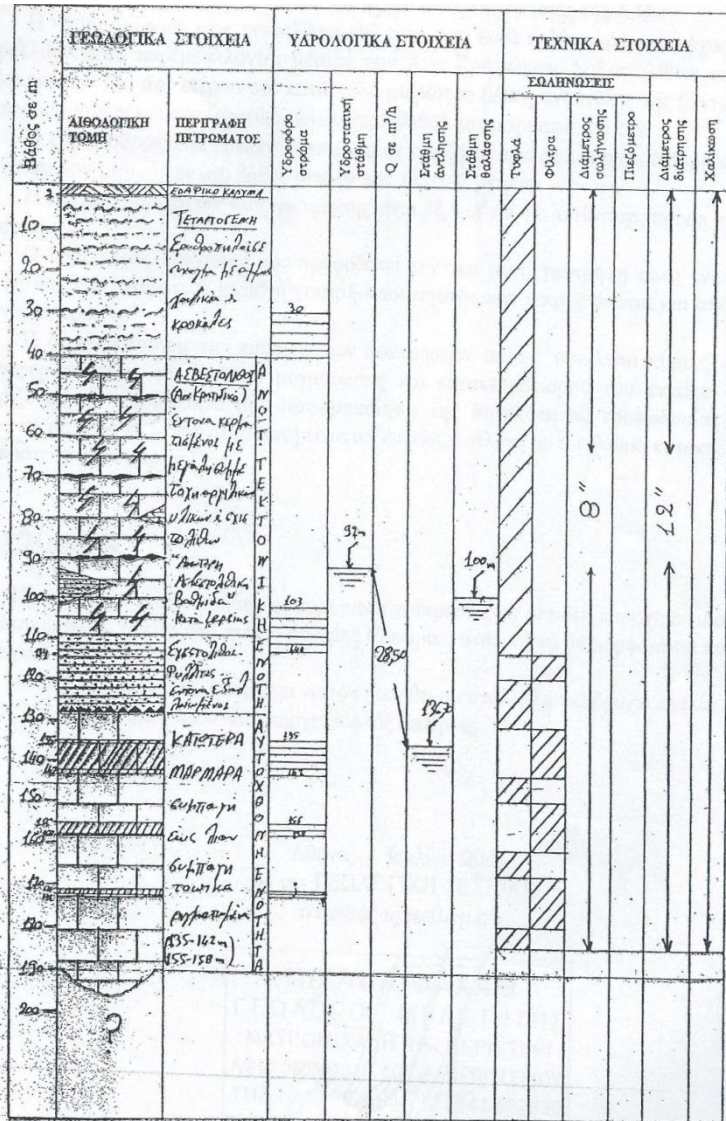
A/A	ΚΩΔΙΚΟΣ	X	Y	W_L (m)	NO <sub>3</sub> mg/l	Cl (mg/l)	PH	EC (μS/cm) 25 °C	T (°C)	DO (mg/l)
37	Γ5	492208	4198258	24	70,1	149	6,70	1688	19,6	7,3
38	Γ6	493146	4195093	18	112,4	232	7,22	2183	20,2	8,69
39	Γ7	490471	4205308	28	16	406	7,08	3660	19,4	8,2
40	Γ8	487239	4197426	35	32,1	280	6,78	2485	19,7	2,57
41	Γ9	487540	4194431	112	40	50	7,00	1087	22,3	7,08
42	Γ10	489413	4198375	36	54,3	47	6,86	1408	20,6	8,11
43	Γ11	488778	4199179	32	71,7	84	7,78	1927	17,2	
44	Γ12	487093	4202302	38	53,5	46	7,16	1288	20,5	
45	Γ13	491923	4193082	85	101,6	240	7,02	2740	18,2	7,95
46	Γ14	499436	4205920	56	4	220	6,81	2086	16,9	8,34
47	Γ15	497274	4203119	48	62,9	504	7,06	4861	14,4	9,59
48	Γ16	499422	4203475	35	43,3	444	6,65	3622	18,5	6,45
49	Γ17	492551	4207844	55	6,8	157	6,45	1817	18	1,8
50	Γ18	488781	4206342	40	29,4	119	6,40	1746	18,6	6,24
51	Γ19	495280	4201154	25	3,8		6,51	1842	16,5	3,95
52	Γ20	497788	4193946	18	44	221	7,10	1868		
53	Γ21	491094	4197368	28	112,5	185	7,40	1643		
54	Γ22	489025	4207026	75	63,4	515	7,20	3088		
55	Γ23	486595	4207913	75	9,9	276	7,40	1784		
56	Γ24	490069	4197295	100	77,4	392	7,30	2180		
57	Γ25	491203	4200019	42	41	257	7,50	1662		
58	Γ26	489956	4198831	27,5	56,8	88,6	7,30	1150		
59	Γ27	498731	4205072	27	35,3	81,2	7,20	906		
60	Γ28	488282	4206405	40	27,5	63,8	7,20	901		
61	Γ29	496552	4196986	40	81	390	7,20	2346		
62	Γ30	494058	4203185	85	12,8	489	7,60	2975		
63	Γ31	492248	4203809	40	32,5	498	6,70	2880		
64	Γ32	490246	4192694	92,1	59	291	7,30	1662		
65	Γ33	495361	4202297	22	15	78	6,99	1966		
66	Γ34	495265	4196489	8,1	32,9	155	7,06	1552	20,2	
67	Γ35	488318	4190620	10,53	65,2	101	7,20	1583	18	
68	Γ36	490652	4192135	109,39	9,9	124	7,28	1485	16,8	

Πίνακας 82: Δεδομένα Υπολογιστικών Μεθόδων

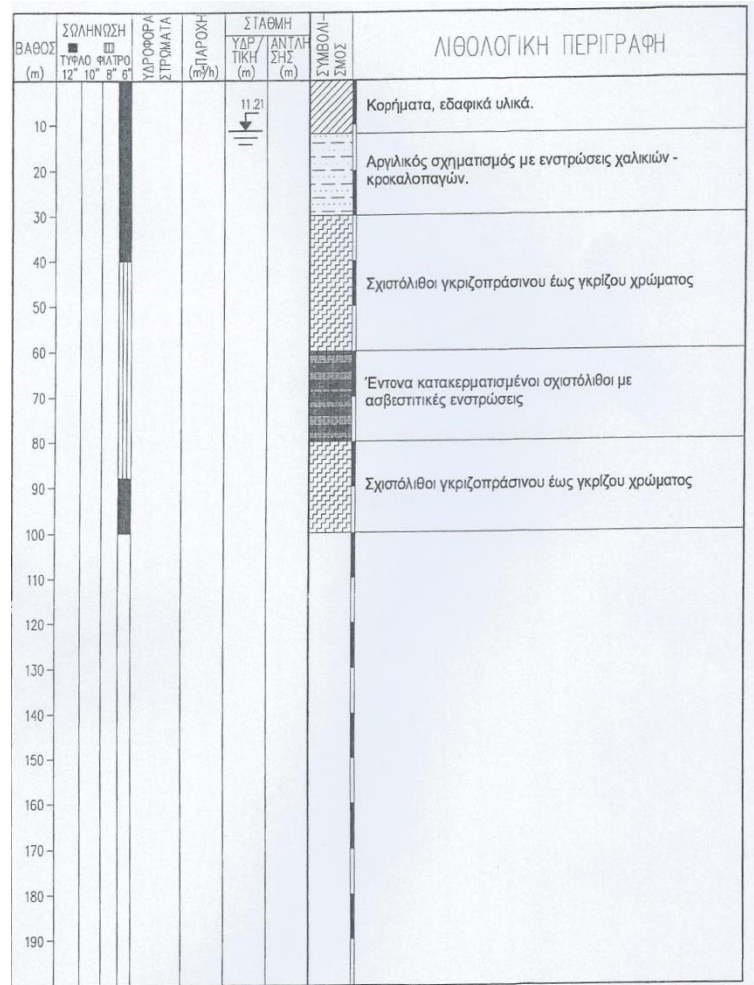
A/A	ΚΩΔΙΚΟΣ	DRASTIC	DRASTCNw	DRASTICNr	DRASTICNrw	DRASTICLNrw	DRASTICLNrwP
1	Π1	96,0	86,90	119,10	140,00	190,00	205,00
2	Π2	118,4	118,70	142,10	169,50	219,50	234,50
3	Π3	124,2	124,70	146,00	192,50	237,50	252,50
4	Π4	118,3	118,40	146,60	181,90	231,90	256,90
5	Π5	106,4	107,50	134,20	161,60	206,60	231,60
6	Π6	111,9	131,20	144,60	208,60	253,60	288,60
7	Π7	121,8	124,70	152,30	198,90	243,90	248,90
8	Π8	126,4	120,00	155,60	186,70	231,70	246,70
9	Π9	107,8	116,90	123,00	140,70	190,70	225,70
10	Π10	121,2	115,90	152,30	209,00	254,00	279,00
11	Π11	107,4	89,90	125,30	125,10	170,10	175,10
12	Π12	124,2	120,50	154,80	176,10	221,10	226,10
13	Π13	115,9	114,30	153,20	181,80	226,80	231,80
14	Π14	120,0	121,40	143,20	172,10	217,10	232,10
15	Π15	103,8	97,10	119,90	144,10	189,10	194,10
16	Π16	113,6	118,70	128,80	142,70	192,70	217,70
17	Π17	126,7	140,40	164,00	242,10	287,10	332,10
18	Π18	121,8	124,70	153,40	201,50	251,50	266,50
19	Π19	126,7	140,40	164,00	242,10	287,10	322,10
20	Π20	101,4	122,60	124,20	190,40	235,40	260,40
21	Π21	122,5	121,70	144,20	177,00	222,00	247,00
22	Π22	107,2	124,40	130,00	192,40	237,40	262,40
23	Π23	136,4	129,20	167,20	206,40	251,40	296,40
24	Π24	128,9	124,40	152,20	192,60	237,60	262,60
25	Π25	105,7	86,90	125,30	125,10	170,10	195,10
26	Π26	116,6	97,70	147,10	158,50	203,50	208,50
27	Π27	59,5	101,50	105,30	131,50	176,50	211,50
28	Π28	121,0	119,70	155,80	216,50	261,50	276,50
29	Π29	126,7	140,40	164,00	242,10	287,10	322,10
30	Π30	118,6	88,50	158,90	188,70	233,70	238,70
31	Π31	115,7	99,70	140,30	138,90	183,90	198,90
32	Π32	113,2	91,70	136,90	129,10	174,10	179,10
33	Γ1	63,0	65,30	100,20	159,10	204,10	219,10
34	Γ2	80,3	64,10	84,70	94,20	139,20	144,20
35	Γ3	95,4	94,30	103,90	112,70	157,70	162,70
36	Γ4	60,7	84,50	108,70	118,50	163,50	178,50
37	Γ5	88,2	95,70	114,50	166,10	211,10	216,10
38	Γ6	91,1	104,20	109,60	139,90	184,90	209,90
39	Γ7	91,3	73,50	119,70	138,10	183,10	208,10
40	Γ8	72,1	66,50	88,10	104,00	149,00	164,00



A/A	ΚΩΔΙΚΟΣ	DRASTIC	DRASTCNw	DRASTICNr	DRASTICNrw	DRASTICLNrw	DRASTICLNrwP
41	Γ9	77,8	88,10	121,10	174,00	219,00	244,00
42	Γ10	78,0	70,50	108,90	132,00	182,00	217,00
43	Γ11	88,0	79,70	113,90	136,10	186,10	221,10
44	Γ12	82,4	78,30	110,50	134,00	179,00	194,00
45	Γ13	84,3	99,40	126,00	166,80	211,80	216,80
46	Γ14	68,2	58,10	100,30	104,60	149,60	154,60
47	Γ15	95,3	82,90	119,50	164,00	209,00	214,00
48	Γ16	79,0	72,30	100,30	104,60	149,60	154,60
49	Γ17	58,9	52,50	81,10	108,30	153,30	158,30
50	Γ18	82,1	69,30	114,70	134,00	184,00	209,00
51	Γ19	83,2	79,70	99,50	106,70	151,70	156,70
52	Γ20	102,0	103,10	133,00	174,70	219,70	224,70
53	Γ21	56,5	92,70	107,70	146,50	191,50	196,50
54	Γ22	68,9	70,10	105,10	134,60	179,60	204,60
55	Γ23	71,3	75,10	99,10	133,70	168,70	173,70
56	Γ24	70,5	85,10	106,60	166,20	201,20	216,20
57	Γ25	77,3	69,30	100,30	104,60	149,60	154,60
58	Γ26	84,8	86,70	104,30	136,70	171,70	196,70
59	Γ27	96,1	101,00	111,20	141,30	186,30	191,30
60	Γ28	67,2	58,70	84,50	118,10	168,10	193,10
61	Γ29	92,9	87,10	134,50	177,80	222,80	227,80
62	Γ30	71,8	75,10	114,80	164,60	209,60	214,60
63	Γ31	83,1	71,10	111,90	108,60	158,60	173,60
64	Γ32	75,4	92,30	125,50	201,40	246,40	281,40
65	Γ33	90,2	83,50	115,00	138,70	183,70	188,70
66	Γ34	98,9	86,90	132,30	158,20	203,20	208,20
67	Γ35	94,3	83,90	119,10	140,00	185,00	190,00
68	Γ36	68,9	89,30	104,30	152,40	197,40	212,40



(A)



(B)

Σχήμα 6: Υδρολιθολογικές Τομές υδροληψιών Ι, (A) Υδροφορέας Καρστ, Κορωπί, Κωδικός Γ20, Πηγή: Φαχάμ Μ 2009, (B) Υδροφορέας Σχιστολίθων, Παλλήνη, Κωδικός Γ7, Πηγή: Γεωσκόπιο ΑΤΕ





(A)

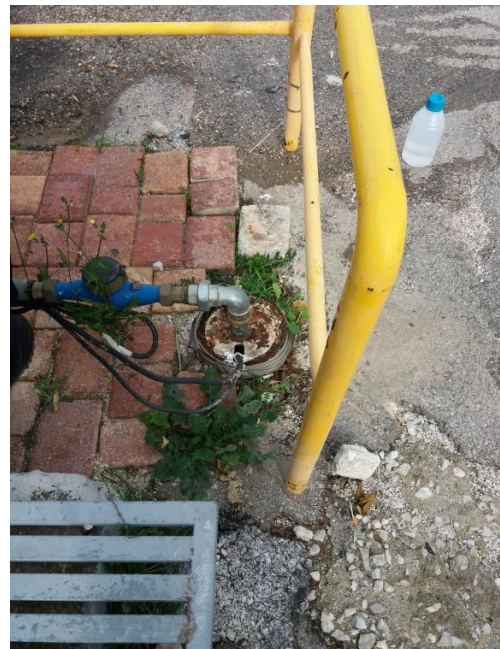


(B)

**Εικόνα 1: Υδροληπτικά φρέατα δειγματοληψίας, (A) Παιανία, (B) Κορωπί**



(A)



(B)

**Εικόνα 2: Υδροληπτικές Γεωτρήσεις δειγματοληψίας, (A) Κορωπί, (B) Παιανία**



(A)



(B)

**Εικόνα 3: Γεωλογικοί σχηματισμοί περιοχής μελέτης, (A) Μαργαϊκοί Ασβεστόλιθοι Ντράφι, (B) Μάργες Σπάτα**

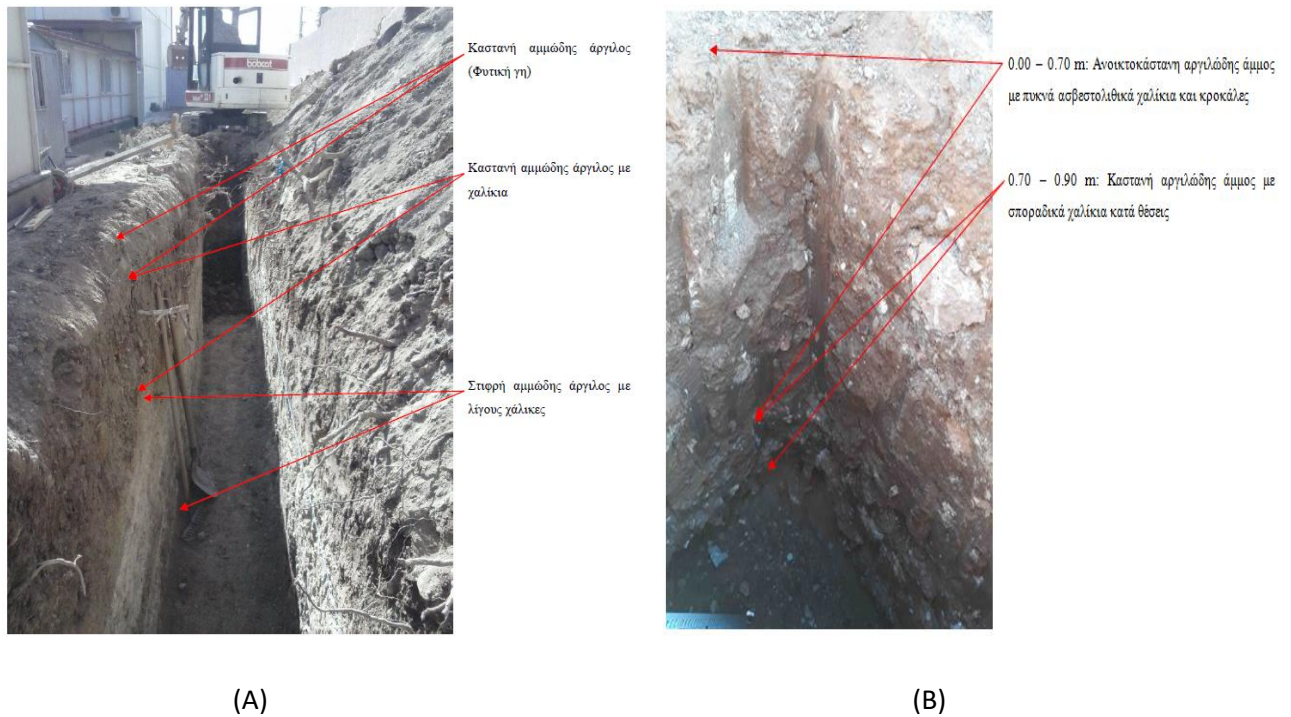


(A)



(B)

**Εικόνα 4: Μορφολογικές κλίσεις περιοχής μελέτης, (A) Επίπεδη επιφάνεια - Μαρκόπουλο πλησίον Ιπποδρομιακού κέντρου, (B) Επικλινής επιφάνεια Λόφος Μερέντα Μαρκόπουλο**



Εικόνα 5: Ακόρεστη ζώνη περιοχής μελέτης, (A) Παλλήνη, Πηγή Παπαδόπουλος, Δ., 2018,

(B) Κορωπί, Πηγή Παπαδόπουλος, Δ., 2017