



Περιβαλλοντικός Σχεδιασμός

Περιβαλλοντικός Σχεδιασμός Πόλεων και Κτηρίων

Διπλωματική Εργασία

«Διερεύνηση μηχανισμών και καταγραφή επιπτώσεων από τις
εδαφικές υποχωρήσεις που πλήττουν τον κάμπο των Γιαννιτσών»

Αναστασία Δούνου

Επιβλέπων καθηγητής: Κωνσταντίνος Λουπασάκης, Καθηγητής ΕΜΠ

Πάτρα, Ιούνιος 2026

© Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο, 2017

Η παρούσα Εργασία καθώς και τα αποτελέσματα αυτής, αποτελούν συνιδιοκτησία του ΕΑΠ και του φοιτητή, ο καθένας από τους οποίους έχει το δικαίωμα ανεξάρτητης χρήσης, αναπαραγωγής και αναδιανομής τους (στο σύνολο ή τμηματικά) για διδακτικούς και ερευνητικούς σκοπούς, σε κάθε περίπτωση αναφέροντας τον τίτλο και το συγγραφέα της Εργασίας καθώς και το όνομα του ΕΑΠ όπου εκπονήθηκε.

«Διερεύνηση μηχανισμών και καταγραφή επιπτώσεων από τις
εδαφικές υποχωρήσεις που πλήττουν τον κάμπο των Γιαννιτσών»

Αναστασία Δούνου

Επιτροπή Επίβλεψης Διπλωματικής Εργασίας

Επιβλέπων Καθηγητής:
Κωνσταντίνος Λουπασάκης
Καθηγητής, ΕΜΠ

Συν-Επιβλέπων Καθηγητής:
Ζωή Γαρείου
Μέλος ΣΕΠ, ΕΑΠ

Πάτρα, Ιούνιος 2026

Στην οικογένεια μου

Περίληψη

Στην παρούσα εργασία πραγματοποιείται αναλυτική διερεύνηση των μηχανισμών που οδηγούν στην εκδήλωση εδαφικών υποχωρήσεων, καθώς και συστηματική καταγραφή και αξιολόγηση των επιπτώσεών τους στην ευρύτερη περιοχή του κάμπου των Γιαννιτσών.

Στο πρώτο κεφάλαιο, γίνεται αναφορά στην περιοχή μελέτης, τον κάμπο των Γιαννιτσών. Δίνονται μερικά γενικά χαρακτηριστικά που αφορούν την μορφολογία, την γεωλογική δομή, τα υδρολογικά χαρακτηριστικά, τις κλιματολογικές συνθήκες και τις χρήσεις γης.

Στο δεύτερο κεφάλαιο, παρουσιάζονται στοιχεία για την εκμετάλλευση των υπόγειων υδάτων, τα κύρια αρδευτικά έργα της περιοχής και το αρδευτικό δίκτυο που αναπτύχθηκε στην έκταση της πρώην λίμνης Γιαννιτσών. Στη συνέχεια, πραγματοποιείται ανάλυση της πιεζομετρικής εικόνας της περιοχής μελέτης και εξετάζεται η διαχρονική εξέλιξη της στάθμης ηρεμίας δεκαέξι (16) υδρογεωτρήσεων για την περίοδο 2000 – 2023 μέσω διαγραμμάτων.

Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι μηχανισμοί εκδήλωσης των εδαφικών υποχωρήσεων και χαρακτηριστικές περιπτώσεις από τον ελληνικό και τον διεθνή χώρο. Στο τέταρτο κεφάλαιο, γίνεται καταγραφή των εδαφικών υποχωρήσεων που εντοπιστήκαν μετά από επιτόπια έρευνα που πραγματοποιήθηκε σε οικισμούς της περιοχής μελέτης. Παρατίθενται φωτογραφικό υλικό.

Τέλος, στο πέμπτο κεφάλαιο συνοψίζονται τα βασικά συμπεράσματα που προέκυψαν από την παρούσα έρευνα, ενώ παράλληλα διατυπώνονται προτάσεις για την περαιτέρω διερεύνηση του φαινομένου των εδαφικών υποχωρήσεων και την εφαρμογή κατάλληλων μέτρων αντιμετώπισης, με στόχο τον περιορισμό των επιπτώσεων που συνδέονται με την υπερεκμετάλλευση των υπόγειων υδροφορέων.

Λέξεις – Κλειδιά

Εδαφικές Υποχωρήσεις, Κάμπος των Γιαννιτσών, Υδροφόρος ορίζοντας, Πιεζομετρικό Καθεστώς

Abstract

This thesis presents a detailed investigation of the mechanisms responsible for the occurrence of land subsidence, along with a systematic recording and assessment of its impacts in the broader Giannitsa Plain area.

The first chapter introduces the study area and provides general information on its geomorphology, geological structure, hydrological characteristics, climatic conditions, and land use.

The second chapter presents information on groundwater exploitation, the main irrigation works in the area, and the irrigation network developed within the former Lake Giannitsa basin. It also includes an analysis of the piezometric conditions of the study area through the examination of the temporal evolution of the static groundwater level in sixteen (16) monitoring boreholes during the period 2000–2023, using time-series diagrams.

The third chapter examines the phenomenon of land subsidence, the main mechanisms responsible for its occurrence, and representative case studies from both Greece and other countries.

The fourth chapter presents the results of field investigations carried out in settlements within the study area, where evidence of land subsidence was identified and documented. Photographic documentation of the observed ground deformations is also included.

Finally, the fifth chapter summarizes the main conclusions of the study and proposes recommendations for further investigation of land subsidence and the implementation of appropriate mitigation measures aimed at reducing the impacts associated with the overexploitation of groundwater aquifers.

Keywords

Land Subsidence, Giannitsa Plain, Groundwater Aquifer, Piezometric Regime

Περιεχόμενα

Περίληψη.....	v
Abstract.....	vi
Περιεχόμενα.....	vii
Κατάλογος Εικόνων.....	ix
Κατάλογος Σχημάτων.....	xi
Κατάλογος Διαγραμμάτων.....	xii
Κατάλογος Χαρτών.....	xiii
Κατάλογος Πινάκων.....	xiv
Συντομογραφίες & Ακρωνύμια.....	xv
Highlights.....	xvi
Συνεισφορά της εργασίας.....	xvii
1. Γενικά Χαρακτηριστικά Περιοχής Μελέτης.....	1
1.1 Οριοθέτηση περιοχής μελέτης.....	1
1.2 Γεωμορφολογία.....	1
1.3 Γεωλογικές συνθήκες.....	4
1.3.1 Γεωλογικές συνθήκες της ευρύτερης περιοχής.....	4
1.3.2 Γεωλογικές συνθήκες της περιοχής μελέτης.....	6
1.4 Υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά.....	9
1.5 Κλιματολογικές συνθήκες.....	11
1.5.1 Θερμοκρασία αέρα.....	12
1.5.2 Ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα.....	14
1.5.3 Σχετική υγρασία αέρα.....	15
1.5.4 Άνεμος.....	16
1.6 Χρήσεις γης.....	18
2. Εκμετάλλευση του Υδροφόρου Ορίζοντα και Πιεζομετρικό Καθεστώς του Κάμπου των Γιαννιτσών.....	21
2.1 Η εκμετάλλευση του υδροφόρου ορίζοντα στον Κάμπο των Γιαννιτσών.....	21
2.1.1 Αρδευτικά έργα.....	26
2.1.2 Αρδευτικά δίκτυα επιφανειακής άρδευσης.....	28
2.1.3 Το αρδευτικό δίκτυο της πρώην λίμνης των Γιαννιτσών.....	30
2.2 Ανάλυση πιεζομετρικής εικόνας.....	37
3. Εδαφικές Υποχωρήσεις: Ανάλυση του φαινομένου, των μηχανισμών εμφάνισης του και αντιπροσωπευτικά παραδείγματα από τον ελληνικό και διεθνή χώρο.....	50
3.1 Γενικά.....	50
3.2 Μηχανισμός εκδήλωσης εδαφικών υποχωρήσεων.....	52
3.3 Επιπτώσεις εδαφικών υποχωρήσεων.....	53
3.4 Εδαφικές υποχωρήσεις στον ελλαδικό χώρο.....	55
3.5 Χαρακτηριστικά παραδείγματα στο διεθνή χώρο.....	67
4. Διερεύνηση των εδαφικών υποχωρήσεων στον Κάμπο των Γιαννιτσών και αξιολόγηση των επιπτώσεων στο φυσικό και δομημένο περιβάλλον.....	76
4.1 Εδαφικές υποχωρήσεις στην ευρύτερη περιοχή της πόλης της Αλεξάνδρειας... ..	76
4.2 Εδαφικές υποχωρήσεις στην ευρύτερη περιοχή του οικισμού Νησί.....	79
4.3 Εδαφικές υποχωρήσεις στην ευρύτερη περιοχή του οικισμού Σχοινά.....	81
4.4 Εδαφικές υποχωρήσεις στην ευρύτερη περιοχή του οικισμού Νεοχώρι.....	82
4.5 Εδαφικές υποχωρήσεις στην ευρύτερη περιοχή του οικισμού Καρυώτισσα.....	83
4.6 Εδαφικές υποχωρήσεις στην ευρύτερη περιοχή του οικισμού Μελίσσι.....	85

4.7	Εδαφικές υποχωρήσεις στην ευρύτερη περιοχή του οικισμού Γαλατάδων.....	87
4.8	Εδαφικές υποχωρήσεις στην ευρύτερη περιοχή του οικισμού Κρύας Βρύσης ..	90
4.9	Εδαφικές υποχωρήσεις στην ευρύτερη περιοχή του οικισμού Παραλίμνης.....	93
4.10	Εδαφικές υποχωρήσεις στην ευρύτερη περιοχή του οικισμού Αγίου Λουκά.....	95
5.	Συμπεράσματα και προτάσεις	97
5.1	Συμπεράσματα	97
5.2	Προτάσεις.....	100
	Βιβλιογραφία.....	103
	Παράρτημα Α.....	108
	Παράρτημα Β.....	111

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1 - Μορφή της πεδιάδας Θεσσαλονίκης τον 5ο αιώνα π.Χ. κατά τον Struck (1908). (Πανταζοπούλου Ζ. κ.ά, 2017).....	2
Εικόνα 2 - Μορφή της δυτικής πεδιάδας της Θεσσαλονίκης τον 1ο αιώνα π.Χ. κατά τον Struck (1908). (Πανταζοπούλου Ζ. κ.ά, 2017)	3
Εικόνα 3 - Μορφή της πεδιάδας Θεσσαλονίκης τον 5ο αιώνα μ.Χ. κατά τον Struck (1908). (Πανταζοπούλου Ζ. κ.ά, 2017).....	3
Εικόνα 4 - Γεωλογικό υπόβαθρο της Πεδιάδας Θεσσαλονίκης (πηγή: Ghilardi M. et al., 2008)	5
Εικόνα 5 - Κλιματικό διάγραμμα θερμοκρασιών στην περιοχή Τρίκαλα Ημαθίας (1980–2010): Μέσες, μέγιστες και ελάχιστες μηνιαίες τιμές (EMY, 2026)	13
Εικόνα 6 - Κλιματικό διάγραμμα υετού στην περιοχή Τρίκαλα Ημαθίας (1980–2010) (EMY, 2026)	14
Εικόνα 7 - Κλιματικό διάγραμμα υγρασίας στην περιοχή Τρίκαλα Ημαθίας (1980–2010) (EMY, 2026)	16
Εικόνα 8 - Κλιματικό διάγραμμα ανέμου στην περιοχή Τρίκαλα Ημαθίας (1980–2010) (EMY, 2026)	17
Εικόνα 9 - Απεικόνιση της Τάφρου 66 (Karatzona, 2024).....	23
Εικόνα 10 - Λεκάνη απορροής του Λουδία - Αξιού (Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων, χ.χ.).....	23
Εικόνα 11 - Επιπτώσεις της εδαφικής καθίζησης στην περιοχή του Καλοχωρίου: βλάβες στο δίκτυο ηλεκτροδότησης. (Svigkas N. et al, 2016).....	56
Εικόνα 12 - Επιπτώσεις της εδαφικής καθίζησης στην περιοχή του Καλοχωρίου: ανύψωση σωληνώσεων. (Svigkas N. et al, 2016)	57
Εικόνα 13 - Εμφανιζόμενες εδαφικές διαρρήξεις στην περιοχή Περαίας, Ν. Θεσσαλονίκης	58
Εικόνα 14 - Εμφανιζόμενες εδαφικές διαρρήξεις στην περιοχή Περαίας, Ν. Θεσσαλονίκης	58
Εικόνα 15 - Παρατηρήσεις εδαφικών υποχωρήσεων στην περιοχή Βαλτόνερα (Λουπασάκης Κ., 2013)	60
Εικόνα 16 - Ρηγματώσεις στην τοιχοποιία κτιρίου στην περιοχή Σταυρού του δυτικού Θεσσαλικού κάμπου (Σιδέρη Δ., 2016)	63
Εικόνα 17 - Ρωγμές στην τοιχοποιία περίφραξης στον οικισμό της Χάλκης (Κεραμοπούλου Β., 2014).....	64
Εικόνα 19 - Εδαφικές διαρρήξεις στο οδόστρωμα και ρωγμές στην τοιχοποιία περίφραξης στον οικισμό της Χάλκης (Κεραμοπούλου Β., 2014)	65
Εικόνα 18 - Εδαφικές διαρρήξεις στο οδόστρωμα και ρωγμές στην τοιχοποιία περίφραξης στον οικισμό της Χάλκης (Κεραμοπούλου Β., 2014).....	65
Εικόνα 20 - Εδαφικές διαρρήξεις στο οδόστρωμα και ρωγμές στην τοιχοποιία περίφραξης στον οικισμό της Χάλκης (Κεραμοπούλου Β., 2014).....	66
Εικόνα 21 - Πλημμύρα στην πλατεία του Αγίου Μάρκου λόγω εδαφικών καθιζήσεων (Reporter, 2020)	68
Εικόνα 22 - Χωρική κατανομή εδαφικών υποχωρήσεων και επιπτώσεων στο δίκτυο μετρό στην Πόλη του Μεξικού (Solano-Rojas et al. 2024).....	69
Εικόνα 23 - Εδαφικές Καθιζήσεις στην Κοιλάδα Σαν Χοακίν (Land Subsidence in the San Joaquin Valley, 2019)	71

Εικόνα 24 - Άντληση υπόγειων υδάτων για τια καθημερινές ανάγκες υδροδότησεις των πολιτών (Gabrielle S., 2023).....	72
Εικόνα 25 - Κατάρρευση πεζοδρομίου από εδαφική υποχώρηση σε αστικό περιβάλλον (Reporters O., 2015).....	74
Εικόνα 26 - Διάγραμμα κατακόρυφης εδαφικής μετακίνησης σημείου παρακολούθησης από το EGMS στην περιοχή της Αλεξάνδρειας (EGMS, 2026)	77
Εικόνα 27 - Ρωγμές σε περίφραξη κατοικίας (προσωπικό αρχείο)	77
Εικόνα 28 - Καθίζηση και παραμόρφωση περίφραξης λόγω εδαφικής υποχώρησης (προσωπικό αρχείο).....	78
Εικόνα 29 - Ρωγμές στην τοιχοποιία αποθήκης (προσωπικό αρχείο).....	78
Εικόνα 30 - Ρωγμές σε περίφραξη κατοικίας και καθίζηση (προσωπικό αρχείο)	79
Εικόνα 32 - Διάγραμμα κατακόρυφης εδαφικής μετακίνησης σημείου παρακολούθησης από το EGMS στην περιοχή του οικισμού Νησιού (EGMS, 2026).....	80
Εικόνα 31 -Ρωγμές σε περίφραξη κατοικίας (προσωπικό αρχείο)	Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.
Εικόνα 33 -Διάγραμμα κατακόρυφης εδαφικής μετακίνησης σημείου παρακολούθησης από το EGMS στην περιοχή του οικισμού Σχοινά (EGMS, 2026).....	81
Εικόνα 34 - Ρωγμή σε τοιχοποιία περίφραξης (προσωπικό αρχείο).....	82
Εικόνα 35 - Καθίζηση και παραμόρφωση περίφραξης λόγω εδαφικής υποχώρησης (προσωπικό αρχείο).....	83
Εικόνα 37 - Διάγραμμα κατακόρυφης εδαφικής μετακίνησης σημείου παρακολούθησης από το EGMS στην περιοχή του οικισμού Καρυώτισσα (EGMS, 2026)	84
Εικόνα 36 - Ρωγμές σε περίφραξη κατοικίας και καθίζηση (προσωπικό αρχείο)	84
Εικόνα 38 - Ρωγμές σε περίφραξη κατοικίας (προσωπικό αρχείο)	85
Εικόνα 39 - Ρωγμές σε τοιχοποιία αποθήκης (προσωπικό αρχείο)	85
Εικόνα 40 - Καθίζηση και παραμόρφωση περίφραξης λόγω εδαφικής υποχώρησης (προσωπικό αρχείο).....	86
Εικόνα 41 - Καθίζηση και παραμόρφωση περίφραξης λόγω εδαφικής υποχώρησης (προσωπικό αρχείο).....	86
Εικόνα 42 - Ρωγμές σε περίφραξη κατοικίας (προσωπικό αρχείο)	87
Εικόνα 43 - Διάγραμμα κατακόρυφης εδαφικής μετακίνησης σημείου παρακολούθησης από το EGMS στην περιοχή του οικισμού Γαλατάδες (EGMS, 2026).....	88
Εικόνα 44 - Ρωγμές σε περίφραξη κατοικίας και καθίζηση (προσωπικό αρχείο)	88
Εικόνα 45 - Ρωγμές σε τοιχοποιία αποθήκης (προσωπικό αρχείο)	89
Εικόνα 46 - Ρωγμές σε πεζοδρόμιο (προσωπικό αρχείο).....	89
Εικόνα 47 - Διάγραμμα κατακόρυφης εδαφικής μετακίνησης σημείου παρακολούθησης από το EGMS στην περιοχή του οικισμού Κρύα Βρύση (EGMS, 2026)	90
Εικόνα 48 - Ρωγμές στο οδικό δίκτυο (προσωπικό αρχείο).....	91
Εικόνα 49 - Ρωγμές σε περίφραξη κατοικίας και καθίζηση (προσωπικό αρχείο)	91
Εικόνα 50 - Ρωγμές σε περίφραξη κατοικίας (προσωπικό αρχείο)	92
Εικόνα 51 - Καθίζηση και παραμόρφωση περίφραξης λόγω εδαφικής υποχώρησης και διαρρήξεις οδοστρώματος (προσωπικό αρχείο).....	92
Εικόνα 52 - Ρωγμές σε τοιχοποιία αποθήκης (προσωπικό αρχείο)	93
Εικόνα 53 - Διάγραμμα κατακόρυφης εδαφικής μετακίνησης σημείου παρακολούθησης από το EGMS στην περιοχή του οικισμού Παραλίμνη (EGMS, 2026).....	94
Εικόνα 54 - Ρωγμές σε περίφραξη και σε τοιχοποιία κατοικίας (προσωπικό αρχείο).....	94
Εικόνα 55 - Διάγραμμα κατακόρυφης εδαφικής μετακίνησης σημείου παρακολούθησης από το EGMS στην περιοχή του οικισμού Άγιο Λουκά (EGMS, 2026)	95
Εικόνα 56 - Ρωγμές σε περίφραξη κατοικίας και καθίζηση (προσωπικό αρχείο)	96

Εικόνα 57 - Ρωγμές σε τοιχοποιία περίφραξης (προσωπικό αρχείο).....	96
---	----

Κατάλογος Σχημάτων

Σχήμα 1: Σχηματική τομή κατά μήκος της Τεκτονικής Τάφρου της Θεσσαλονίκης (Χριστοδούλου Γ., 1962)	8
--	---

Κατάλογος Διαγραμμάτων

Διάγραμμα 1 - Διακύμανση στάθμης ηρεμίας - χρόνου υδροσημείου Σκύδρας	40
Διάγραμμα 2 - Διακύμανση στάθμης ηρεμίας - χρόνου υδροσημείου Αγγελοχωρίου	40
Διάγραμμα 3 - Διακύμανση στάθμης ηρεμίας - χρόνου υδροσημείου Άνυδρου	41
Διάγραμμα 4 - Διακύμανση στάθμης ηρεμίας - χρόνου υδροσημείου Άσπρου	41
Διάγραμμα 6 - Διακύμανση στάθμης ηρεμίας - χρόνου υδροσημείου Παλαίφυτου	42
Διάγραμμα 5 - Διακύμανση στάθμης ηρεμίας - χρόνου υδροσημείου Αγίου Γεωργίου	42
Διάγραμμα 7 - Διακύμανση στάθμης ηρεμίας - χρόνου υδροσημείου Παλαιού Μυλότοπου	43
Διάγραμμα 8 - Διακύμανση στάθμης ηρεμίας - χρόνου υδροσημείου Κρύας Βρύσης	43
Διάγραμμα 9 - Διακύμανση στάθμης ηρεμίας - χρόνου υδροσημείου Γιαννιτσών	44
Διάγραμμα 10 - Διακύμανση στάθμης ηρεμίας - χρόνου υδροσημείου Παραλίμνης.....	44
Διάγραμμα 11 - Διακύμανση στάθμης ηρεμίας - χρόνου υδροσημείου Νεοχωρίου	45
Διάγραμμα 12 - Διακύμανση στάθμης ηρεμίας - χρόνου υδροσημείου Πέλλας	45
Διάγραμμα 13 - Διακύμανση στάθμης ηρεμίας - χρόνου υδροσημείου Λουδία	46
Διάγραμμα 14 - Διακύμανση στάθμης ηρεμίας - χρόνου υδροσημείου Πλατύ.....	46
Διάγραμμα 15 - Διακύμανση στάθμης ηρεμίας - χρόνου υδροσημείου Πλατύ.....	47
Διάγραμμα 16 - Διακύμανση στάθμης ηρεμίας - χρόνου υδροσημείου Κουφαλίων.....	47

Κατάλογος Χαρτών

Χάρτης 1 - Γεωλογικός χάρτης της ευρύτερης περιοχής Πέλλας–Ημαθίας με διάκριση Νεογενών και Τεταρτογενών σχηματισμών και κύριων ρηγμάτων (Veranis et al., 2012)...	7
Χάρτης 2 - Χάρτης Λεκανών Απορροής Ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος Κεντρικής Μακεδονίας (EL1003, EL1004, EL1005, EL1043) (ΥΔ Κεντρικής Μακεδονίας – EL10 – Σχέδια Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας. 2024).....	10
Χάρτης 3 - Χάραξη της Τάφρου 66 στην περιοχή του Κάμπου των Γιαννιτσών (Google Earth, 2026).....	22
Χάρτης 4 - Απεικόνιση ποταμών Λουδία, Αλιάκμονα και Αξιού (Science Wiki. n.d.)	24
Χάρτης 5 - Αρδευτικά δίκτυα πεδιάδας Θεσσαλονίκης ανά πηγή υδροδότησης και τύπο δικτύου (Γεωργίου Δ., 2019).....	29
Χάρτης 6 - Συνολικό αρδευτικό δίκτυο ΓΟΕΒ Πεδιάδας Θεσσαλονίκης-Γιαννιτσών, με σκούρο μπλε χρώμα φαίνεται η επιφάνεια του υπόγειου δικτύου (Γοριδάρη Δ., 2023)	30
Χάρτης 7 - Υδρογεωτρήσεις δικτύου παρακολούθησης στην περιοχή μελέτης.....	38

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1 - Χρήσεις Γης του Νομού Πέλλας (Χρήσεις γης - Δήμος Πέλλας, 2021)	19
Πίνακας 2 - Κατανομή εκτάσεων και πηγών υδροδότησης ανά ΤΟΕΒ του υπόγειου δικτύου (ΓΟΕΒ, 2026)	31
Πίνακας 3 - Τεχνικά χαρακτηριστικά υπόγειου δικτύου (ΓΟΕΒ., 2026)	32
Πίνακας 4 - Συντεταγμένες Αντλιοστασίων Υπόγειου Δικτύου (ΓΟΕΒ, 2026)	33
Πίνακας 5 - Χαρακτηριστικά αντλιών των 46 αντλιοστασίων άρδευσης της πρώην λίμνης Γιαννιτσών (Κωνστασταντινίδης Κ., 1989)	34
Πίνακας 6 - Συνολική κατακόρυφη μετακίνηση (καθίζηση) από τα δεδομένα EGMS για την περίοδο 2020 – 2024	99
Πίνακας 7 - Υδροσημεία δημοτικών αρδευτικών έργων και ΟΕΒ της Περιφέρειας Πέλλας (Α.Δ.Μ.Θ., 2026)	108
Πίνακας 8 - Υδροσημεία δημοτικών υδρευτικών έργων Περιφέρειας Πέλλας (Α.Δ.Μ.Θ., 2026)	111

Συντομογραφίες & Ακρωνύμια

ΥΔ	Υδατικό Διαμέρισμα
ΕΜΥ	Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία
ΑΠΔΑ	Ανατολική Προσαγωγός Διώρυγα Αξιού
ΔΠΔΑ	Δυτική Προσαγωγός Διώρυγα Αξιού
ΕΑΓΜΕ	Ελληνική Αρχή Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών
ΓΟΕΒ	Γενικός Οργανισμός Εγγείων Βελτιώσεων
ΤΟΕΒ	Τοπικός Οργανισμός Εγγείων Βελτιώσεων
ΑΔΜΘ	Αποκεντρωμένη Διοίκηση Μακεδονίας Θράκης
ΔΙΠΥΝΕ	Δίκτυο Παρακολούθησης Υπόγειων Νερών της Ελλάδος
ΕΛΣΤΑΤ	Ελληνική Στατιστική Αρχή
EGMS	European Ground Motion Service

Highlights

Σημαντικότερα σημεία της διπλωματικής εργασίας:

- Διερευνάται η σχέση εδαφικών υποχωρήσεων και υπερεκμετάλλευσης υπόγειων νερών.
- Η πτώση της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα παρακολουθήθηκε από 16 υδρογεωτρήσεις για την περίοδο 2000-2023.
- Χρησιμοποιούνται δεδομένα EGMS για την αποτύπωση της κατακόρυφης εδαφικής κίνησης.
- Παρατηρήθηκαν υποχωρήσεις έως -3,8 cm/έτος και σημαντικές δομικές βλάβες σε 10 οικισμούς.
- Τα λεπτόκοκκα ιζήματα της πρώην λίμνης επιταχύνουν τη στερεοποίηση και την καθίζηση.
- Προτείνονται ενισχυμένη παρακολούθηση και πρακτικές περιορισμού της άντλησης.

Συνεισφορά της εργασίας

Η παρούσα εργασία συμβάλλει στη συστηματικότερη κατανόηση και τεκμηρίωση των εδαφικών υποχωρήσεων στον Κάμπο των Γιαννιτσών, συνδυάζοντας στοιχεία γεωλογικού και υδρογεωλογικού χαρακτήρα, διαχρονικές παρατηρήσεις της στάθμης των υπόγειων υδάτων, δεδομένα δορυφορικής παρακολούθησης EGMS και επιτόπιες καταγραφές. Η σύνδεση των παραπάνω πηγών επιτρέπει την παράλληλη εξέταση του υδροφόρου ορίζοντα, της χωρικής κατανομής των μετακινήσεων και των ορατών επιπτώσεων στο φυσικό και δομημένο περιβάλλον. Ιδιαίτερη αξία έχει η καταγραφή σε επιμέρους οικισμούς, καθώς αναδεικνύονται περιοχές με διαφορετική ένταση υποχώρησης και διαφορετική έκταση επιπτώσεων. Τα αποτελέσματα μπορούν να αποτελέσουν βάση για πυκνότερη παρακολούθηση, καλύτερη συσχέτιση των μετακινήσεων με τις μεταβολές της πιεζομετρικής στάθμης και για στοχευμένες δράσεις διαχείρισης των υπόγειων υδατικών πόρων.

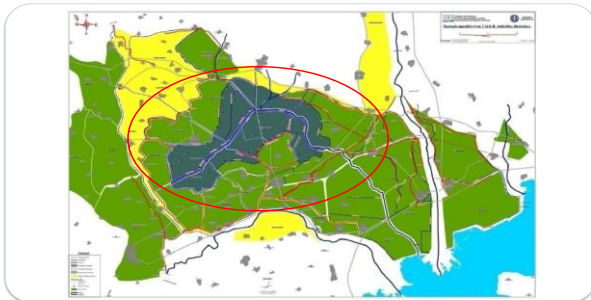
1. ΣΚΟΠΟΣ & ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ

Η εργασία διερευνά τους μηχανισμούς που οδηγούν στην εκδήλωση εδαφικών υποχωρήσεων και καταγράφει συστηματικά τις επιπτώσεις τους στην ευρύτερη περιοχή του Κάμπου των Γιαννιτσών.

Κύρια ερευνητική εστίαση

- σχέση ύψους υδάτων – πιεζομετρικού καθυστάτος – καθίζησης
- χωρική διαφοροποίηση των μετακινήσεων
- επιβεβαίωση των φαινομένων με επιτόπιες παρατηρήσεις

2. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ



3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

1 Υδρογεωλογικά δεδομένα
Ε.Α.Γ.Μ.Ε. / ΔΙΠΥΝΕ
16 υδρογεωτρήσεις
2000–2023

2 Δορυφορική παρακολούθηση
EGMS
κατακόρυφη μετακίνηση
2020–2024

3 Επιτόπια έρευνα
Μάιος–Ιούνιος 2026
ρογμές & καθίζησης
σε οικισμούς

4 Σύνθεση αποτελεσμάτων
σύγκριση χωρικής
και χρονικής εικόνας
του φαινομένου

6. ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΕΔΑΦΙΚΩΝ ΥΠΟΧΩΡΗΣΕΩΝ

Μακροχρόνια και εντατική εκμετάλλευση υπόγειων υδάτων → μείωση πιέσεων στους υδροφορείς → συμπίεση λεπτόκοκκων ιζημάτων → εδαφική καθίζηση.

4. ΠΙΕΖΟΜΕΤΡΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ

16 υδρογεωτρήσεις • περίοδος 2000–2023

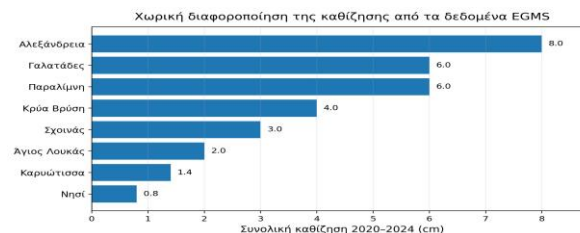
Η επεξεργασία των στοιχείων της Ε.Α.Γ.Μ.Ε. έδειξε σχετικά ικανοποιητική κατάσταση του υπόγειου υδροφορέα. Η πλειονότητα των υδροσχημάτων παρουσιάζει σταθερό ή ήπια μεταβαλλόμενο υδροδυναμικό, αν και σε επιμέρους περιοχές παρατηρούνται πτωτικές τάσεις.

Ερμηνεία

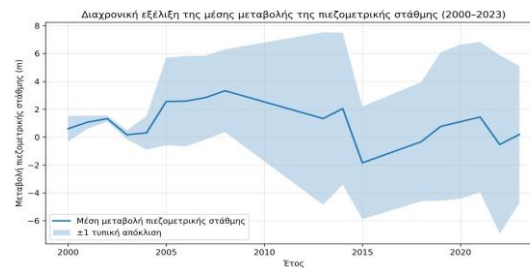
Η εικόνα του υδροφορέα δεν είναι ομοιόμορφη και απαιτεί συστηματικότερη παρακολούθηση, ιδιαίτερα όπου συνυπάρχουν έντονη γεωργική δραστηριότητα και αυξημένη εξάρτηση από γεωτρήσεις.

5. ΚΥΡΙΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ EGMS

Συνολική κατακόρυφη μετακίνηση (καθίζηση) 2020–2024 σε χαρακτηριστικές θέσεις της περιοχής μελέτης.



Διάγραμμα μέσης πιεζομετρικής στάθμης (2000–2023)



7. ΕΠΙΤΟΠΙΕΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ – ΟΡΑΤΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ



Καρυώτισσα: ρωγμές σε περιφράξη



Γαλατάδες: ρωγμές σε περιφράξη



Αλεξάνδρεια: ρωγμές σε τοιχοποιία



Άγιος Λουκάς: ρωγμές σε περιφράξη

8. ΧΩΡΙΚΗ ΔΙΑΦΟΡΟΠΟΙΗΣΗ

Γαλατάδες

- έως 1,14 cm/έτος • περίπου 6 cm συνολικά (2020–2024)

Κρύα Βρύση

- περίπου 0,8 cm/έτος • περίπου 4 cm συνολικά

Σχοινάς

- έως 0,7 cm/έτος • περίπου 3 cm συνολικά

Καρυώτισσα

- περίπου 0,25 cm/έτος • περίπου 1,4 cm συνολικά

Νησί

- περίπου 0,8 cm συνολικά (2020–2024)

9. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

- ✓ Το φαινόμενο παρουσιάζει έντονη χωρική διαφοροποίηση.
- ✓ Οι μεγαλύτερες τιμές καθίζησης εμφανίζονται σε περιοχές με έντονη γεωργική δραστηριότητα και σημαντική εξάρτηση από γεωτρήσεις.
- ✓ Η επιτόπια έρευνα επιβεβαίωσε ρωγμές σε κτίρια, παραμορφώσεις περιφράξεων και διαρρήξεις/αστοχίες σε οδοστρώματα.
- ✓ Η συνδυαστική αξιολόγηση πιεζομετρικών, δορυφορικών και επιτόπιων δεδομένων υποδεικνύει σημαντική συμβολή της εντατικής εκμετάλλευσης των υπόγειων υδάτων.
- ✓ Απαιτείται ολοκληρωμένο σύστημα παρακολούθησης και διαχείρισης του φαινομένου.

10. ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

- Επέκταση και αναβάθμιση του δικτύου παρακολούθησης του υδροφορέα.
- Συστηματική συλλογή στάθμης και εμπλοκισμός της ψηφιακής βάσης δεδομένων.
- Μείωση της εξάρτησης από γεωτρήσεις και ενίσχυση οργανωμένων δικτύων άρδευσης.
- Συνεχής αξιοποίηση EGMS/InSAR σε συνδυασμό με πιεζομετρικές μετρήσεις.
- Δημιουργία χαρτών επικινδυνότητας και έγκαιρη προειδοποίηση περιοχών υψηλού κινδύνου.

ΠΗΓΕΣ

Α.Δ.Μ.Ε., Αποκαταστάση Ανάκτηση Μικροδίνης Υδάτος, (2020). Στοιχεία υδρογεωτρήσεων από τα τμήμα Διακόσμησης Υδάτων. Προσωπτική επικοινωνία.
EGMS (2026). Έκθεση Γενική Μέση Στοιχεία - / Updated 24/06/2026
Svighas N., Papathanassiou I., Loupasakis K., Tsamiriotis P., Kiratzi A. & Kontos C., (2016). Land subsidence rebound detected via multi-temporal InSAR and ground truth data in Kalochori and Sindos regions, Northern Greece. Engineering Geology 209, 175–186. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2016.05.012>
Γεωργίου Δ., (2021). Μέθοδοι και τεχνικές παρακολούθησης μετακινήσεων και επιπτώσεων της εδαφικής υποχώρησης: περίπτωση της Αττικής. Διπλωματική εργασία. Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο.

Βασικά δεδομένα έρευνας

16 υδρογεωτρήσεις • 2000–2023
EGMS 2020–2024 • επιτόπια έρευνα Μάιος–Ιούνιος 2026

Διερεύνηση μηχανισμών και καταγραφή επιπτώσεων από τις εδαφικές υποχωρήσεις που πλήττουν τον κάμπο των Γιαννιτσών

Αναστασία Δούνου¹, Κωνσταντίνος Λουπασάκης^{1,2}

¹Σχολή Θετικών Επιστημών και Τεχνολογίας, Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο,
Πάροδος Αριστοτέλους 18, 26335 Πάτρα

²Σχολή Μεταλλειολόγων – Μεταλλουργών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο,
Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου, 157 72 Αθήνα
email: std165147@ac.eap.gr , loupasakis.konstantinos@ac.eap.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα εργασία εξετάζει το φαινόμενο των εδαφικών υποχωρήσεων στην περιοχή του Κάμπου των Γιαννιτσών, μια περιοχή με ιδιαίτερο γεωμορφολογικό και υδρογεωλογικό ενδιαφέρον λόγω της ιστορικής αποξήρανσης της Λίμνης των Γιαννιτσών τη δεκαετία του 1930. Η εντατική γεωργική δραστηριότητα και η αλόγιστη υπεράντληση του υπόγειου υδροφορέα τις τελευταίες δεκαετίες οδήγησαν σε σημαντική πτώση της πιεζομετρικής στάθμης, προκαλώντας τη συμπίεση των αδιαπέρατων και ημιδιαπέρατων σχηματισμών και την εκδήλωση διαφορικών καθιζήσεων. Μέσω της συνδυαστικής αξιολόγησης υδρογεωλογικών δεδομένων της ΕΑΓΜΕ, δεδομένων τηλεπισκόπησης από το European Ground Motion Service (EGMS) για την περίοδο 2020–2024 και επιτόπιας έρευνας σε 10 οικισμούς, καταγράφηκαν ρυθμοί υποχώρησης που ξεπερνούν τα 10–15 mm/έτος προκαλώντας ρωγμώσεις σε κατοικίες, υποδομές και αγροτικά δίκτυα.

Λέξεις κλειδιά: Εδαφικές Υποχωρήσεις, Κάμπος των Γιαννιτσών, Υδροφόρος ορίζοντας, Πιεζομετρικό Καθεστώς

ABSTRACT

This study investigates the phenomenon of land subsidence in the Giannitsa Plain, Northern Greece, an area of particular geomorphological and hydrogeological significance due to the historical drainage of Lake Giannitsa during the 1930s. Intensive agricultural activity and the excessive exploitation of groundwater resources over recent decades have resulted in a substantial decline in groundwater levels, leading to the compaction of low-permeability and semi-permeable geological formations and the development of differential land subsidence. Through the integrated analysis of hydrogeological data provided by the Hellenic Authority for Geological and Mineral Research (HAGMR), satellite-based ground deformation measurements from the European Ground Motion Service (EGMS) for the period 2020–2024, and field investigations conducted in ten settlements, subsidence rates exceeding 10–15 mm/year were identified. These ground movements have caused extensive cracking in residential buildings, public infrastructure, and agricultural irrigation networks.

Keywords: Land Subsidence, Giannitsa Plain, Groundwater Aquifer, Piezometric Regime

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι εδαφικές υποχωρήσεις (land subsidence) αποτελούν έναν από τους πιο ύπουλους και καταστροφικούς γεωκινδύνους παγκοσμίως, καθώς εξελίσσονται με αργούς ρυθμούς και γίνονται αντιληπτές κυρίως όταν εκδηλωθούν ανεπανόρθωτες δομικές βλάβες σε υποδομές και κατασκευές. Αποτελούν ένα φαινόμενο που μπορεί να εκδηλωθεί μέσω διαφορετικών μηχανισμών και να προκληθεί από ποικίλες αιτίες. Οποιαδήποτε φυσική διεργασία ή ανθρωπογενής παρέμβαση που είναι δυνατόν να διαταράξει την υφιστάμενη ισορροπία του εδάφους ενδέχεται να οδηγήσει στην εμφάνιση καθιζήσεων διαφορετικής κλίμακας και έντασης (Ρόζος & Λουπασάκης, 2012).

Συγκεκριμένα, η αλόγιστη και ανεξέλεγκτη υπεράντληση των υπόγειων υδάτων για την κάλυψη των αυξανόμενων αγροτικών, βιομηχανικών και αστικών αναγκών διαταράσσει την υδρογεωλογική ισορροπία. Η συνεπαγόμενη πτώση της πιεζομετρικής στάθμης προκαλεί μείωση της πίεσης του νερού των πόρων και αντίστοιχη αύξηση των ενεργών τάσεων στον εδαφικό σκελετό, οδηγώντας σε συμπίεση των υποκείμενων αδιαπέρατων και ημιδιαπέρατων σχηματισμών.

Σύμφωνα με τον Ρόζο (2007), ως εδαφική υποχώρηση ορίζεται η κατακόρυφη μείωση του υψομέτρου της επιφάνειας του εδάφους, η οποία μπορεί να προκύψει είτε από μεταβολές στο φορτίο και στη μηχανική αντοχή του εδάφους λόγω απώλειας της υποστήριξης των βαθύτερων στρωμάτων, είτε από τη μείωση της στάθμης του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα που προκαλείται από την εντατική άντληση υπόγειων ρευστών, όπως νερό ή πετρέλαιο.

Το φαινόμενο αυτό συνδέεται συχνά τόσο με φυσικές διεργασίες όσο και με ανθρωπογενείς παρεμβάσεις, γεγονός που καθιστά αναγκαία τη συστηματική μελέτη και παρακολούθησή του.

Στον ελληνικό χώρο, η κυρία αιτία εκδήλωσης εδαφικών υποχωρήσεων συνδέεται με τη μείωση της πιεζομετρικής στάθμης των υπόγειων υδροφορέων, ένα φαινόμενο που αποδίδεται κατά κύριο λόγο σε ανθρωπογενείς παράγοντες, όπως η ανεξέλεγκτη και εντατική άντληση υπόγειων υδάτων.

Οι καθιζήσεις αυτές εμφανίζονται συχνά σε περιοχές με έντονη γεωργική ή βιομηχανική δραστηριότητα, καθώς και σε ζώνες με υψηλή οικιστική ανάπτυξη, υπογραμμίζοντας τη στενή αλληλεπίδραση μεταξύ ανθρώπινων παρεμβάσεων και γεωλογικών συνθηκών.

Η παρούσα εργασία εστιάζει στη διερεύνηση των μηχανισμών που οδηγούν στην εκδήλωση των εδαφικών υποχωρήσεων, καθώς και στη συστηματική καταγραφή και αξιολόγηση των επιπτώσεών τους στην ευρύτερη περιοχή του Κάμπου των Γιαννιτσών.

2. ΟΡΙΟΘΕΤΗΣΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Ο Κάμπος των Γιαννιτσών χωροθετείται στον βορειοελλαδικό χώρο, εντός των διοικητικών ορίων της Περιφέρειας Κεντρικής Μακεδονίας και ανήκει στον νομό Πέλλης. Ο κάμπος των Γιαννιτσών είναι μία από τις πιο εύφορες και εκτεταμένες πεδινές περιοχές της Ελλάδας. Η περιοχή είναι ιστορικά ταυτισμένη με τη Λίμνη των Γιαννιτσών (ή Βάλτο των Γιαννιτσών), η οποία αποξηράθηκε τη δεκαετία του 1930.

Ιστορικά, η περιοχή αποτελούσε θαλάσσιο κόλπο, ο οποίος απομονώθηκε σταδιακά από τις προσχώσεις των ποταμών Αξιού, Αλιάκμονα, Λουδία και Εδεσσαίου. Έτσι, δημιουργήθηκε η λιμνοθάλασσα του Λουδίας ή Λίμνη των Γιαννιτσών. Στις αρχές του 20ού αιώνα, η λίμνη αυτή περιγραφόταν ως μια ρηχή υδάτινη έκταση με εκτεταμένα έλη και πυκνή βλάστηση, που κάλυπτε σημαντικό μέρος της γύρω πεδιάδας (Παναζοπούλου Ζ. κ.ά, 2017).

Η σημερινή εικόνα της πεδιάδας διαμορφώθηκε ύστερα από την ολοκλήρωση σημαντικών αντιπλημμυρικών και αποστραγγιστικών έργων, όπως η κατασκευή της περιφερειακής συλλεκτήριας τάφρου, ο εγκιβωτισμός των κοιτών του Αξιού και του Αλιάκμονα, η εκβάθυνση και η διευθέτηση του Λουδία, καθώς και η ανάπτυξη στραγγιστικών και αρδευτικών δικτύων και παράκτιων αναχωμάτων (Κωνσταντινίδης Κ., 1989).

Το γεωλογικό υπόβαθρο αποτελείται από τεταρτογενείς αλλουβιακές αποθέσεις μεγάλου πάχους. Ειδικότερα, η περιοχή των Γιαννιτσών ανήκει γεωτεκτονικά στη ζώνη της Κεντρικής Μακεδονίας και αποτελεί τμήμα της ευρύτερης λεκάνης του Αξιού. Η γεωλογική της δομή είναι αποτέλεσμα μακροχρόνιων τεκτονικών διεργασιών και ιζηματογένεσης από το Νεογενές έως το Τεταρτογενές. Η θέση της κοντά στον Αξιό ποταμό και στην πρώτη Λίμνη των Γιαννιτσών συνέβαλε καθοριστικά στη διαμόρφωση του σύγχρονου γεωλογικού περιβάλλοντος.

Στη στρωματογραφική δομή της περιοχής των Γιαννιτσών συμμετέχουν τεταρτογενή ιζήματα δύο περιόδων. Οι Ολοκαινικές αποθέσεις, οι οποίες κυριαρχούν στο πεδινό τμήμα και συντίθενται κυρίως από λεπτόκοκκα ιζήματα και οι Πλειστοκαινικές αποθέσεις, οι οποίες εντοπίζονται στις παρυφές του όρους Πάικο και στις δυτικές λοφώδεις εκτάσεις (Veranis et al., 2012).

3. ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗ ΤΟΥ ΥΔΡΟΦΟΡΟΥ ΟΡΙΖΟΝΤΑ

Η εκμετάλλευση του υδροφόρου ορίζοντα στον κάμπο των Γιαννιτσών αποτελεί βασικό στοιχείο της υδρογεωλογικής και αγροτικής ανάπτυξης της περιοχής. Ο κάμπος των Γιαννιτσών, που βρίσκεται στον Νομό Πέλλας της Κεντρικής Μακεδονίας, είναι μια εκτεταμένη και ιδιαίτερα εύφορη πεδιάδα με έντονη γεωργική δραστηριότητα. Η μεγάλη ζήτηση νερού για άρδευση έχει οδηγήσει σε

σημαντική αξιοποίηση των υπόγειων υδατικών πόρων.

Η περιοχή του Κάμπου των Γιαννιτσών εντάσσεται στο ευρύτερο γεωμορφολογικό σύστημα της πεδιάδας Θεσσαλονίκης – Γιαννιτσών. Η πεδιάδα αποτελεί ένα σημαντικό τεκτονικό βύθισμα της Κεντρικής Μακεδονίας βάθους 4.000 m, το οποίο γέμισε με τριτογενούς αποθέσεις (θαλάσσιες και χερσαίες) (Κωνσταντινίδης Κ., 1989).

Το βύθισμα αυτό παρουσιάζει σαφή διαίρεση σε δύο κύρια πεδινά τμήματα με διαφορετικά υδρολογικά χαρακτηριστικά. Το δυτικό τμήμα του βυθίσματος Γιαννιτσών – Θεσσαλονίκης αποστραγγίζεται κυρίως προς τον Αλιάκμονα ποταμό, ενώ το ανατολικό τμήμα αποτελεί τη λεγόμενη λεκάνη του Λουδία ποταμού. Η γεωμορφολογική αυτή διάκριση επηρεάζει σημαντικά τη διαμόρφωση των εδαφών, τη ροή των επιφανειακών υδάτων και τη λειτουργία των υπόγειων υδροφορέων της περιοχής (Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων, χ.χ.).

3.1. Αρδευτικά δίκτυα επιφανειακής άρδευσης

Το αρδευτικό σύστημα της πεδιάδας Θεσσαλονίκης - Γιαννιτσών, του οποίου η κατασκευή χρονολογείται από το 1961, αποτελείται από ένα κλιμακωτό δίκτυο διωρύγων. Οι κεντρικοί και οι δευτερεύοντες άξονες εξασφαλίζουν τη μεταφορά και τη διανομή του νερού, ενώ οι τριτεύοντες αγωγοί εφαρμογής είναι τοποθετημένοι στο ανώτερο σημείο της κάθε αγροτικής ιδιοκτησίας.

Τη διανομή του νερού στα αρδευτικά δίκτυα της πεδιάδας Θεσσαλονίκης – Γιαννιτσών την έχει αναλάβει ο Γενικός Οργανισμός Εγγείων Βελτιώσεων (ΓΟΕΒ) Θεσσαλονίκης – Λαγκαδά. Από την πλευρά τους, οι Τοπικοί Οργανισμοί Εγγείων Βελτιώσεων (ΤΟΕΒ), οι οποίοι υπάγονται στην εποπτεία του ΓΟΕΒ, διανέμουν τις επιμέρους ποσότητες νερού στα τοπικά δίκτυα.

3.2. Αρδευτικό δίκτυο της πρώην λίμνης των Γιαννιτσών

Η περιοχή της πρώην λίμνης των Γιαννιτσών περιλαμβάνει έκταση καθαρή αρδευόμενη 164.000 στρέμματα περίπου. Η άρδευση στην έκταση αυτή πραγματοποιείται με μέσω καταιόνησης. Το σύστημα επιλέχθηκε λόγω της περιεκτικότητας των εδαφών σε τύρφη. Αποτελείται από ένα συγκρότημα αντλιοστασίων, το δίκτυο σωληνώσεων και τους εκτοξευτήρες (Κωνσταντινίδης Κ., 1975).

Σήμερα, το δίκτυο αποτελείται από 6 αντλιοστάσια στράγγισης, τα οποία εξυπηρετούν την αντιπλημμυρική προστασία της περιοχής, καθώς και από 46 αντλιοστάσια άρδευσης, εξοπλισμένα με δίκτυο καταιονισμού και σύστημα αυτόματης λειτουργίας σε συνθήκες ελεύθερης ζήτησης (Κωνσταντινίδης Κ., 1989). Το δίκτυο διανομής είναι κλειστού τύπου και υπόγειας εγκατάστασης, κατασκευασμένο από αμιαντοτσιμεντοσωλήνες, ενώ προβλέπεται ένα σημείο υδροληψίας ανά 30 στρέμματα καλλιεργούμενης γης.

Η αποπεράτωση του υπόγειου δικτύου πραγματοποιήθηκε το 1989, επιτρέποντας την άρδευση μιας συνολικής ακαθάριστης έκτασης της τάξης των 174.000 στρεμμάτων. Το υπό εξέταση δίκτυο, το οποίο αναπτύσσεται εντός των ορίων των νομών Πέλλας, Ημαθίας και Θεσσαλονίκης, βασίζει την τροφοδοσία του στους υδάτινους πόρους των φραγμάτων του Αξιού και του Αλιάκμονα (Γοριδάρη Δ., 2023).

3.3. Πιεζομετρική εικόνα

Λόγω της αυξημένης ζήτησης νερού κατά τις περιόδους αιχμής, η οποία υπερβαίνει τη μεταφορική ικανότητα του υφιστάμενου δικτύου, κατέστη αναγκαία η ανάπτυξη ενός εκτεταμένου συστήματος υδροληψιών. Το δίκτυο αυτό αποτελείται από δημόσιες και ιδιωτικές γεωτρήσεις, οι οποίες λειτουργούν συμπληρωματικά για την κάλυψη των αρδευτικών αναγκών της περιοχής (Α.Δ.Μ.Θ., 2026).

Ιστορικά, ο επιφανειακός υδροφόρος ορίζοντας τύγχανε έντονης εκμετάλλευσης μέσω πολυάριθμων γεωτρήσεων μικρού βάθους 10 έως 20 m. Οι αποδόσεις αυτών των σημείων υδροληψίας ήταν αξιόλογες, με τις παροχές άντλησης να κυμαίνονται μεταξύ 10 και 20 m³/h. Τα τελευταία χρόνια, αυτή η εκμετάλλευση έχει σταματήσει λόγω της εκτεταμένης άντλησης από βαθιές υδρογεωτρήσεις και της συνεχιζόμενης μείωσης της στάθμης των υδροφόρων στρωμάτων (Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων. χ.χ.).

Σύμφωνα με τη Ράπτη Δ. (1996), η κύρια υδροφορία της περιοχής αναπτύσσεται εντός του ηφαιστειακού σχηματισμού, ενώ η συμβολή των τεταρτογενών αποθέσεων στις παροχές των υδρογεωτρήσεων είναι περιορισμένη έως αμελητέα. Οι παροχές των υδρογεωτρήσεων κυμαίνονται μεταξύ 55 και 240 m³/h, ενώ το βάθος τους κυμαίνεται από 80 έως 200 m.

4. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Προκειμένου να αποτυπωθεί το πιεζομετρικό καθεστώς της υπό μελέτη περιοχής, αναζητήθηκαν σχετικά δεδομένα από τη Διεύθυνση Υδάτων της Αποκεντρωμένης Διοίκησης Μακεδονίας - Θράκης (Α.Δ.Μ.Θ.). Ωστόσο, η επικοινωνία με την υπηρεσία κατέδειξε την απουσία ιστορικών στοιχείων για την υψομετρική στάθμη του υπόγειου υδροφορέα, μια έλλειψη που αφορά το σύνολο του δικτύου (δημόσια και ιδιωτικά υδροσημεία).

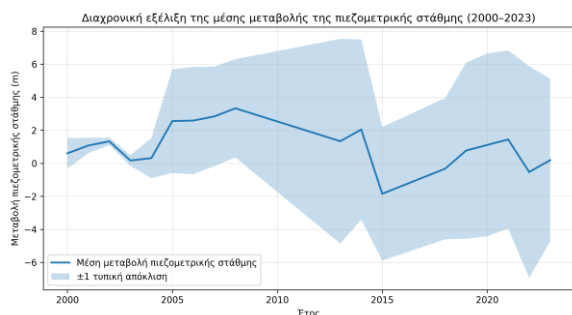
Παρ' όλα αυτά, η υδρογεωλογική μελέτη της περιοχής βασίστηκε σε δεδομένα από δεκαέξι (16) υδροσημεία παρατήρησης. Τα υδροσημεία αυτά είναι ενταγμένα στο Δίκτυο Παρακολούθησης Υπόγειων Νερών της Ελλάδας (ΔΙΠΥΝΕ) και παρακολουθούνται συστηματικά από την Ελληνική Αρχή Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (Ε.Α.Γ.Μ.Ε.), συμβάλλοντας στην καταγραφή

των ποσοτικών και ποιοτικών χαρακτηριστικών των υπόγειων υδάτων.



Χάρτης 1 - Υδρογεωτρήσεις δικτύου παρακολούθησης στην περιοχή μελέτης

Η επεξεργασία των δεδομένων στάθμης ηρεμίας που συλλέχθηκαν από τη Γεωπύλη Δεδομένων της Ε.Α.Γ.Μ.Ε. για τα υδροσημεία της περιοχής μελέτης οδήγησε στην παραγωγή του παρακάτω διαγράμματος, το οποίο παρουσιάζει την διαχρονική εξέλιξη της μέσης μεταβολής της πιεζομετρικής συνθήκης του υδροφορέα για την περίοδο 2000 - 2023.



Σχήμα 1 - Διάγραμμα μέσης πιεζομετρικής στάθμης (2000 - 2023)

Η διαχρονική εξέλιξη της μέσης μεταβολής της πιεζομετρικής στάθμης για την περίοδο 2000–2023 παρουσιάζει σημαντικές διακυμάνσεις, γεγονός που αντανάκλα τη μεταβλητότητα της συμπεριφοράς του υπόγειου υδροφορέα στην περιοχή μελέτης. Η συνολική τάση υποδηλώνει ότι η πιεζομετρική στάθμη δεν παραμένει σταθερή διαχρονικά,

αλλά επηρεάζεται από την ένταση των αντλήσεων, τις κλιματικές συνθήκες και τον βαθμό φυσικού εμπλουτισμού του υδροφορέα.

Η μέση καμπύλη αποτυπώνει τη γενική εξέλιξη του υδροφόρου ορίζοντα, ενώ η σκιασμένη περιοχή εκφράζει τη διακύμανση των μετρήσεων μεταξύ των δεκαέξι γεωτρήσεων. Η αυξημένη διασπορά που παρατηρείται σε ορισμένες χρονικές περιόδους υποδηλώνει ότι οι μεταβολές της πιεζομετρικής στάθμης δεν είναι ομοιόμορφες σε ολόκληρο τον Κάμπο των Γιαννιτσών, αλλά διαφοροποιούνται ανάλογα με τις τοπικές υδρογεωλογικές συνθήκες και την ένταση εκμετάλλευσης των υπόγειων υδάτων.

Τα αποτελέσματα του διαγράμματος συμφωνούν με τις επιτόπιες παρατηρήσεις και τα δεδομένα του European Ground Motion Service (EGMS), σύμφωνα με τα οποία οι μεγαλύτεροι ρυθμοί καθίζησης καταγράφονται στις περιοχές όπου παρατηρούνται οι σημαντικότερες μεταβολές του πιεζομετρικού καθεστώτος. Επομένως, η εξέλιξη της πιεζομετρικής στάθμης αποτελεί βασικό δείκτη για την αξιολόγηση της κατάστασης του υδροφορέα και την ερμηνεία του μηχανισμού πρόκλησης των εδαφικών υποχωρήσεων στον Κάμπο των Γιαννιτσών.

Πίνακας 1 - Συνολική κατακόρυφη μετακίνηση (καθίζηση) από τα δεδομένα EGMS για την περίοδο 2020 - 2024 (EGMS, 2026)

Περιοχή	Περίοδος	Καθίζηση η (cm)	Χαρακτηρισμός
Αλεξάνδρεια	2020–2024	8,0	Πολύ έντονη καθίζηση
Νησί	2020–2024	0,8	Πολύ μικρή καθίζηση
Σχοινιάς	2020–2024	3,0	Μέτρια καθίζηση
Καρυώτισσα	2020–2024	1,4	Μικρή καθίζηση
Γαλατάδες	2020–2024	6,0	Έντονη καθίζηση
Κρύα Βρύση	2020–2024	4,0	Μέτρια προς έντονη καθίζηση

Παραλίμνη	2020–2024	6,0	Έντονη καθίζηση
Άγιος Λουκάς	2020–2024	2,0	Μικρή έως μέτρια καθίζηση

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Μετά από την επεξεργασία των στοιχείων για την πιεζομετρική στάθμη των υπόγειων υδάτων, τα οποία συλλέχθηκαν από την Γεωπύλη της Ε.Α.Γ.Μ.Ε., για 16 υδρογεωτρήσεις στην περιοχή μελέτης διαπιστώνεται μία σχετικά ικανοποιητική κατάσταση του υπόγειου υδροφόρου συστήματος του κάμπου. Παρότι σε επιμέρους περιοχές παρατηρούνται πτωτικές τάσεις, η πλειονότητα των υδροσημείων παρουσιάζει είτε σταθερή είτε ήπια μεταβαλλόμενη συμπεριφορά, γεγονός που υποδηλώνει ότι οι υδροφορείς εξακολουθούν να τροφοδοτούνται επαρκώς.

Παράλληλα, τα δεδομένα του EGMS κατέδειξαν την ύπαρξη περιοχών όπου καταγράφονται αρνητικοί ρυθμοί κατακόρυφης μετακίνησης του εδάφους, γεγονός που υποδηλώνει συνεχιζόμενα φαινόμενα καθίζησης. Σε αρκετές περιπτώσεις οι μεγαλύτερες τιμές καθίζησης εντοπίζονται σε περιοχές έντονης γεωργικής δραστηριότητας, όπου η ζήτηση νερού είναι αυξημένη και η εξάρτηση από τις γεωτρήσεις ιδιαίτερα σημαντική.

Η αξιολόγηση των δεδομένων του European Ground Motion Service (EGMS) για την περίοδο 2020–2024 καταδεικνύει ότι οι ρυθμοί καθίζησης δεν είναι ομοιόμορφοι σε ολόκληρο τον κάμπο των Γιαννιτσών. Οι μεγαλύτερες κατακόρυφες μετακινήσεις καταγράφηκαν στην Αλεξάνδρεια, όπου η συνολική καθίζηση έφτασε περίπου τα 8 cm, ενώ ιδιαίτερα αυξημένες τιμές παρατηρήθηκαν επίσης στους Γαλατάδες και την Παραλίμνη, με μετακινήσεις της τάξης των 6 cm.

Αντίθετα, οι μικρότερες μετακινήσεις καταγράφηκαν στο Νησί και στην Καρυώτισσα, γεγονός που υποδηλώνει

σημαντική χωρική διαφοροποίηση του φαινομένου. Οι διαφοροποιήσεις αυτές πιθανόν σχετίζονται με τις τοπικές γεωλογικές και υδρογεωλογικές συνθήκες, καθώς και με τη διαφορετική ένταση εκμετάλλευσης των υπόγειων υδατικών πόρων στις επιμέρους περιοχές της πεδιάδας.

Η επιτόπια έρευνα επιβεβαίωσε την παρουσία φαινομένων εδαφικών υποχωρήσεων και διαρρήξεων σε διάφορους οικισμούς της περιοχής μελέτης. Κατά την έρευνα καταγράφηκαν ρωγμές σε κτίρια και παραμορφώσεις σε περιφράξεις, οι οποίες επηρεάζουν τόσο τις υποδομές όσο και τις ανθρώπινες δραστηριότητες.

Από τη συνδυαστική αξιολόγηση των πιεζομετρικών δεδομένων, των δορυφορικών μετρήσεων και των παρατηρήσεων πεδίου προκύπτει ότι η μακροχρόνια και εντατική εκμετάλλευση των υπόγειων υδάτων αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους παράγοντες που συμβάλλουν στην εκδήλωση των φαινομένων εδαφικής καθίζησης στον κάμπο των Γιαννιτσών. Η συνεχής μείωση των πιέσεων στους υδροφορείς μπορεί να οδηγήσει στη συμπίεση των λεπτόκοκκων ιζημάτων και κατ' επέκταση στην υποχώρηση της εδαφικής επιφάνειας.

Για τον περιορισμό του φαινομένου κρίνεται αναγκαία η εφαρμογή μέτρων ορθολογικής διαχείρισης των υδατικών πόρων, η συστηματική παρακολούθηση της πιεζομετρικής στάθμης, η αξιοποίηση σύγχρονων δορυφορικών τεχνικών παρακολούθησης και η προώθηση πρακτικών εξοικονόμησης νερού στον αγροτικό τομέα.

Επιπλέον, απαιτείται περαιτέρω διερεύνηση της χωρικής κατανομής των καθιζήσεων και της συσχέτισής τους με τα γεωλογικά και υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά της περιοχής, ώστε να διαμορφωθεί ένα ολοκληρωμένο πλαίσιο πρόληψης και αντιμετώπισης του φαινομένου.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Α.Δ.Μ.Θ., Αποκεντρωμένη Διοίκηση Μακεδονίας Θράκης, (2026). Στοιχεία υδρογεωτρήσεων από το τμήμα Διεύθυνσης Υδάτων. Προσωπική επικοινωνία.
- Γοριδάρη Δ., (2023). Μέθοδοι και πρακτικές εκσυγχρονισμού συλλογικών δικτύων άρδευσης για ορθολογικότερη διαχείριση των υδατικών πόρων και εξοικονόμηση ενέργειας: προτάσεις για το αρδευτικό δίκτυο της πεδιάδας Θεσσαλονίκης. Διπλωματική εργασία. Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο.
- Κωνσταντινίδης Κ., (1989). Τα εγγειοβελτιωτικά Έργα στη Πεδιάδα Θεσσαλονίκης. Θεσσαλονίκη: Έκδοση ΓΕΩΤ.Ε.Ε.
- Κωνσταντινίδης Κ., (1975). Η μέθοδος αρδύσεως δια καταιονήσεως. Θεσσαλονίκη – Αθήναι: Εκδοτικός Οίκος ΑΦΟΙ Π. ΣΑΚΚΟΥΛΑ
- Πανταζοπούλου Ζ., Μουρατίδης Α., & Τσακίρη-Στρατή Μ., (2017). Φυσικές και ανθρωπογενείς διεργασίες στο ευρύτερο οικιστικό συγκρότημα της Θεσσαλονίκης. Στο Ζώντας με τα GIS: Αφιέρωμα στη μνήμη του Καθηγητή Ιωάννη Παρασχάκη, ΑΠΘ. <https://old.topo.auth.gr/wp-content/uploads/sites/111/2021/12/22-Pantazopoulou.pdf>
- Ρόζος Δ., (2007). Εγχειρίδιο Τεχνικής Γεωλογίας Ι, Κατολισθήσεις- Εδαφικές υποχωρήσεις-Καθιζήσεις, Τομέας Γεωλογικών Επιστημών, Εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας-Υδρογεωλογίας, Σχολή Μηχ. Μεταλλείων-Μεταλλουργών, ΕΜΠ, Αθήνα.
- Ρόζος Δ., Λουπασάκης Κ. (2012). Εδαφικές υποχωρήσεις από υπεράντληση υδροφόρων - Ορυκτός Πλούτος της Επιστημονική Εταιρεία Τεχνολόγων Ορυκτού Πλούτου. Σελ.33-46, Αθήνα.
- Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων., (χ.χ.). Υδρογεωλογικά στοιχεία Λεκάνης Λουδία - Μογλενίτσα. Ανακτήθηκε από https://ardeftika.decentral.minagric.gr/files/results/hydro/9.%20HYDRO_LOUDIA_MOGLENITSA.pdf
- Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων., (χ.χ.). Υδρογεωλογικά στοιχεία Λεκάνης Αξιού. Ανακτήθηκε από https://ardeftika.decentral.minagric.gr/files/results/hydro/7.%20HYDRO_AXIOU.pdf
- EGMS, (2026) - <https://egms.land.copernicus.eu/> retrieved 24/06/2026
- Veranis N., Christidis C., Chrysafi A., & Markovasilis K., (2012). Hydrogeological conditions and groundwater qualities of the lower reaches of Aliakmona & Loudia rivers aquifer system, Region of Central Macedonia, Northern Greece. Πρακτικά 9ου Διεθνούς Υδρογεωλογικού Συνεδρίου, σελ. 357–364. https://www.researchgate.net/profile/Christos-Christidis/publication/281289393_.pdf

1. Γενικά Χαρακτηριστικά Περιοχής Μελέτης

Στην παρούσα ενότητα παρατίθεται η αναλυτική περιγραφή της περιοχής έρευνας. Εξετάζονται διεξοδικά οι φυσιογραφικές παράμετροι, όπως η μορφολογία και η γεωλογική δομή, ενώ παράλληλα αναλύονται τα τεκτονικά, σεισμολογικά και υδρογεωλογικά δεδομένα. Τέλος, το κεφάλαιο συμπληρώνεται με την παρουσίαση των κλιματικών συνθηκών και του υφιστάμενου πλαισίου χρήσεων γης.

1.1 Οριοθέτηση περιοχής μελέτης

Η περιοχή μελέτης χωροθετείται στον βορειοελλαδικό χώρο, εντός των διοικητικών ορίων της Περιφέρειας Κεντρικής Μακεδονίας και ανήκει στον νομό Πέλλης. Ευρύτερα γνωστή είναι με το όνομα Πεδιάδα Θεσσαλονίκης – Γιαννιτσών.

Αναλυτικότερα, η Πεδιάδα Θεσσαλονίκης – Γιαννιτσών οριοθετείται βόρεια από τους πρόποδες του όρους Πάικο. Δυτικά συνορεύει με την περιοχή της Έδεσσας και του πρόποδες του όρους Βέρμιο. Ανατολικά ορίζεται από τον Θερμαϊκό κόλπο, ενώ νότια φτάνει έως την περιοχή της Ημαθίας και τις εκβολές των ποταμών Αξιού και Λουδία (Κωνσταντινίδης Κ., 1989).

Σύμφωνα με τον Κωνσταντινίδη Κ. (1989), η πεδιάδα αυτή έχει συντεταγμένες $40^{\circ}25'$ έως $40^{\circ}50'$ βόρειο γεωγραφικό πλάτος κι $-0^{\circ}52'$ έως $-1^{\circ}32'$ δυτικά των Αθηνών. Επίσης, περικλείει τμήματα των Νομών Θεσσαλονίκης, Κιλκίς, Πέλλης, Ημαθίας και Πιερίας.

1.2 Γεωμορφολογία

Ο κάμπος των Γιαννιτσών είναι μία από τις πιο εύφορες και εκτεταμένες πεδινές περιοχές της Ελλάδας. Η περιοχή είναι ιστορικά ταυτισμένη με τη Λίμνη των Γιαννιτσών (ή Βάλτο των Γιαννιτσών), η οποία αποξηράθηκε τη δεκαετία του 1930.

Η ευρύτερη πεδιάδα της Θεσσαλονίκης δεν είχε ανέκαθεν τη σημερινή της μορφή. Κατά τον 5ο αιώνα π.Χ., η περιοχή αυτή δεν ήταν ξηρά, αλλά καλυπτόταν από τη θάλασσα, η οποία εκτεινόταν έως τα όρια της Πέλλας, της τότε πρωτεύουσας του Μακεδονικού κράτους. Οι ποταμοί Γαλλικός, Αξιός και Αλιάκμονας εκβάλλαν στον Θερμαϊκό κόλπο,

συμβάλλοντας σταδιακά στη διαμόρφωση της σημερινής πεδιάδας μέσω των προσχώσεων που δημιουργούσαν (Πανταζοπούλου Ζ. κ.ά., 2017).

Τον 1ο αιώνα π.Χ., τα φερτά υλικά που μετέφεραν οι ποταμοί Αξιός και Αλιάκμονας συσσωρεύονταν ολοένα και περισσότερο, αποκόπτοντας σταδιακά τμήμα της θάλασσας που συνδεόταν με το λιμάνι της Πέλλας. Έτσι, δημιουργήθηκε η λιμνοθάλασσα του Λουδίας. Έως τον 5ο αιώνα μ.Χ., η λιμνοθάλασσα αυτή είχε αποκοπεί ολοκληρωτικά από τη θάλασσα, οδηγώντας στη δημιουργία της Λίμνη Λουδία, η οποία είναι ευρύτερα γνωστή ως Λίμνη των Γιαννιτσών. Στις αρχές του 20ού αιώνα, η λίμνη αυτή περιγραφόταν ως μια ρηχή υδάτινη έκταση με εκτεταμένα έλη και πυκνή βλάστηση, που κάλυπτε σημαντικό μέρος της γύρω πεδιάδας (Πανταζοπούλου Ζ. κ.ά, 2017).



Εικόνα 1 - Μορφή της πεδιάδας Θεσσαλονίκης τον 5ο αιώνα π.Χ. κατά τον Struck (1908). (Πανταζοπούλου Ζ. κ.ά, 2017)



Εικόνα 2 - Μορφή της δυτικής πεδιάδας της Θεσσαλονίκης τον 1ο αιώνα π.Χ. κατά τον Struck (1908). (Πανταζοπούλου Ζ. κ.ά, 2017)



Εικόνα 3 - Μορφή της πεδιάδας Θεσσαλονίκης τον 5ο αιώνα μ.Χ. κατά τον Struck (1908). (Πανταζοπούλου Ζ. κ.ά, 2017)

Το πιο κρίσιμο γεωμορφολογικό στοιχείο είναι η αποξήρανση της Λίμνης, κατά την περίοδο του 1928 με 1932. Πριν λάβουν χώρα τα εγγειοβελτιωτικά έργα που οδήγησαν στην αποξήρανση της, η λίμνη ήταν αποδέκτης όλων των γύρω ποταμών και χειμάρρων. Ακόμη και τα πλημμυρικά νερά των μεγάλων ποταμών Αλιάκμονα και Αξιού κατέληγαν εκεί (Κωνσταντινίδης Κ., 1989).

Η περιοχή ήταν ένας απέραντος βάλτος και μία ρηχή λίμνη με μέσο βάθος μόλις 1 με 2 μέτρα. Για την αποξήρανση της λίμνης χρειάστηκαν αποστραγγιστικά έργα, ώστε να διοχετευτούν τα ύδατα μέσω τεχνητών καναλιών προς τον Θερμαϊκό κόλπο.

Η αποστραγγιστική τάφρος του ποταμού Λουδία αποτέλεσε ένα από τα πιο καθοριστικά έργα, καθώς συνέβαλε ουσιαστικά στην αποξήρανση της λίμνης. Σε συνδυασμό με την Τάφρο 66, μέσω της οποίας διοχετεύονται τα νερά των ποταμών Αλμωπαίου και Εδεσσαίου, καθώς και των πηγών του Βερμίου όρους, διαμορφώθηκε ένα ολοκληρωμένο υδρολογικό σύστημα. Παράλληλα, κατασκευάστηκε εκτεταμένο δίκτυο αποστραγγιστικών τάφρων για τα όμβρια ύδατα, καθώς και αρδευτικών καναλιών για την κάλυψη των αναγκών της περιοχής (Veranis et al., 2012).

1.3 Γεωλογικές συνθήκες

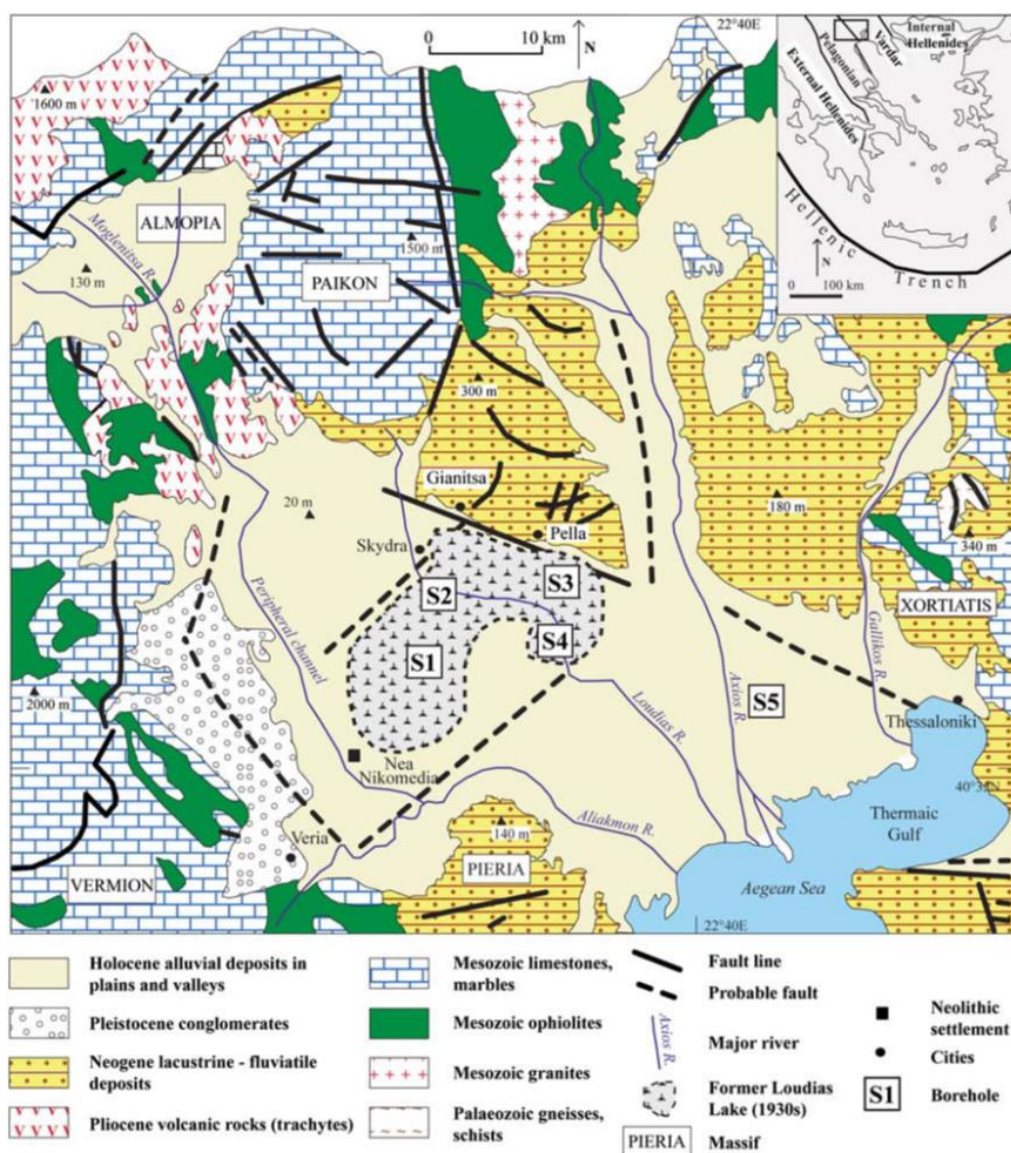
1.3.1 Γεωλογικές συνθήκες της ευρύτερης περιοχής

Από γεωτεκτονική άποψη, η ευρύτερη περιοχή μελέτης υπάγεται στις εσωτερικές Ελληνίδες και ειδικότερα στη ζώνη του Αξιού. Γεωγραφικά, η ζώνη αυτή αναπτύσσεται κατά μήκος μιας επιμήκουσ λωρίδας με διεύθυνση Β ΒΔ–Ν ΝΔ και πλάτος 30–70 km, εκτεινόμενη από τα Σκόπια έως τον Θερμαϊκό κόλπο και το Αιγαίο Πέλαγος. Στα όριά της εντάσσονται και ορισμένα νησιά των Βόρειων Σποράδων, ενώ στη συνέχεια η ζώνη καμπυλώνεται προς τα ανατολικά, κατευθυνόμενη προς τη Μικρά Ασία (Ράπτη Δ., 1995).

Σύμφωνα με το παλαιογεωγραφικό μοντέλο του Mercier (1966), η ευρύτερη Ζώνη του Αξιού κατά τη διάρκεια του Μεσοζωικού οργανώθηκε σε ένα σύστημα παράλληλων τεκτονικών δομών. Συγκεκριμένα, οι υποζώνες της Αλμωπίας και της Παιονίας λειτούργησαν ως βαθιές υποθαλάσσιες αύλακες (basins), ενώ η ενδιάμεση Ζώνη του

Πάικου συγκροτούσε μια ανυψωμένη παλαιογεωγραφική ενότητα, λειτουργώντας ως υποθαλάσσιο ύβωμα.

Σύμφωνα με τα σύγχρονα γεωδυναμικά μοντέλα, ο ορεινός όγκος του Πάικου ερμηνεύεται ως ένα νησιωτικό τόξο ιουρασικής ηλικίας. Η εξέλιξή του χαρακτηρίστηκε από έντονο μαγματισμό, με κυρίαρχες τις εκρήξεις όξινου χαρακτήρα, οι οποίες τροφοδότησαν με σημαντικές ποσότητες πυροκλαστικών υλικών τις γειτονικές υποθαλάσσιες λεκάνες (αύλακες) που περιβάλλανε το τόξο.



Εικόνα 4 - Γεωλογικό υπόβαθρο της Πεδιάδας Θεσσαλονίκης (πηγή: Ghilardi M. et al., 2008)

Το Πάικο ερμηνεύεται ως το αποτέλεσμα της εξέλιξης ενός μεσοζωικού νησιωτικού τόξου, το οποίο αναπτύχθηκε σε καθεστώς έντονης τεκτονικής και μαγματικής δραστηριότητας. Στο πλαίσιο αυτό, εκδηλώθηκε εκτεταμένος όξινος ηφαιστεισμός, με συχνές και ισχυρές εκρηκτικές φάσεις, που συνδέονται με την άνοδο και διαφοροποίηση όξινων μαγμάτων (Mercier, 1966).

Η εκρηκτική αυτή δραστηριότητα παρήγαγε μεγάλες ποσότητες πυροκλαστικού υλικού — όπως τέφρα, λαπίλλι και ηφαιστειακές βόμβες — το οποίο μεταφέρθηκε και αποτέθηκε στις γειτονικές τεκτονικές τάφρους. Κατά τη διάρκεια του Ιουρασικού, τα υλικά αυτά συσσωρεύτηκαν προοδευτικά, σχηματίζοντας παχύς ηφαιστειοϊζηματογενείς σχηματισμούς. Οι αποθέσεις αυτές καταγράφουν τόσο την ένταση της ηφαιστειακής δράσης όσο και το γεωδυναμικό περιβάλλον σύγκλισης και καταβύθισης που επικρατούσε στην περιοχή εκείνη την περίοδο (Κατριβάνος Ε. κ.ά., 2001).

1.3.2 Γεωλογικές συνθήκες της περιοχής μελέτης

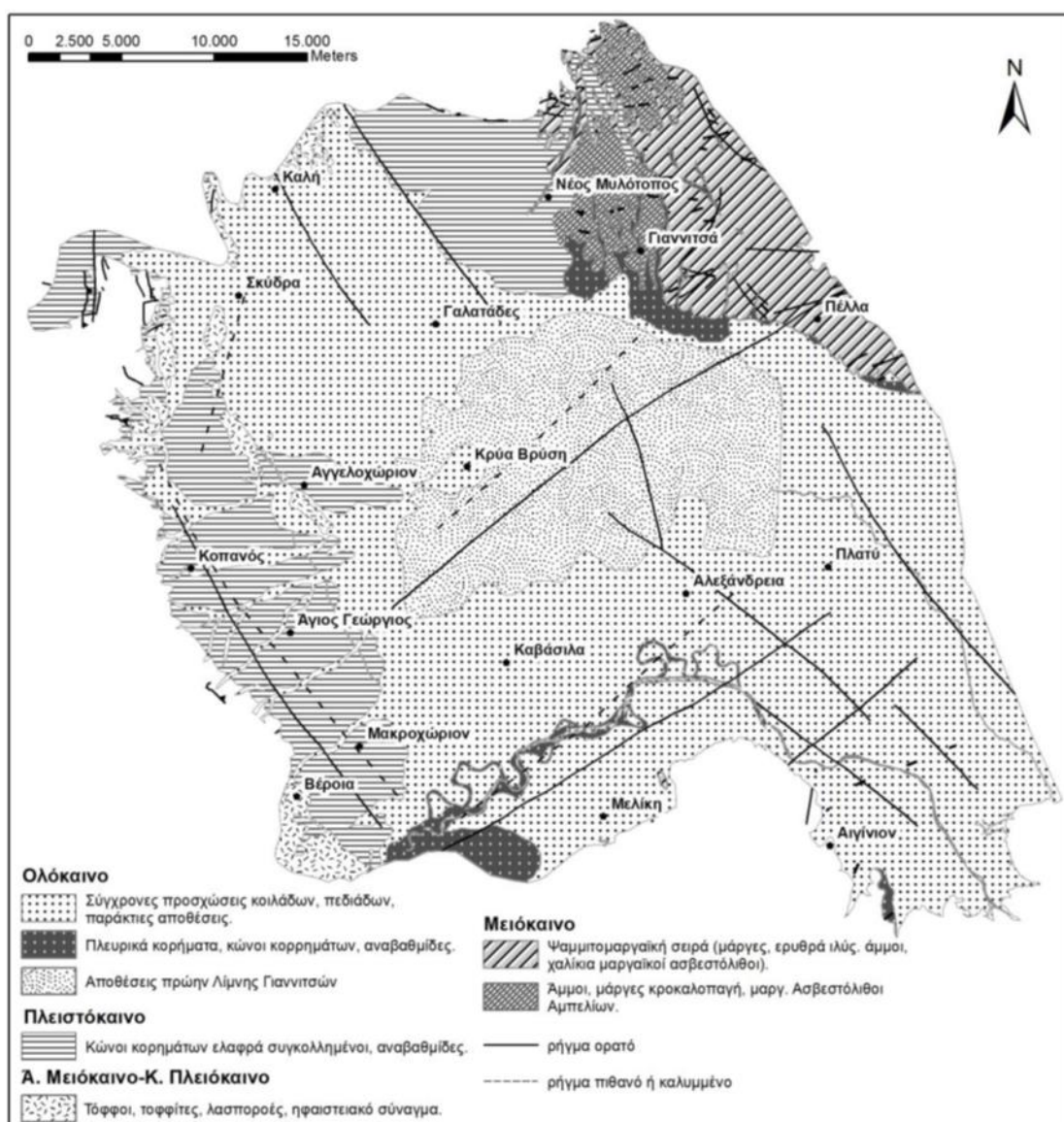
Η περιοχή των Γιαννιτσών ανήκει γεωτεκτονικά στη ζώνη της Κεντρικής Μακεδονίας και αποτελεί τμήμα της ευρύτερης λεκάνης του Αξιού. Η γεωλογική της δομή είναι αποτέλεσμα μακροχρόνιων τεκτονικών διεργασιών και ιζηματογένεσης από το Νεογενές έως το Τεταρτογενές. Η θέση της κοντά στον Αξιό ποταμό και στην πρώην Λίμνη των Γιαννιτσών συνέβαλε καθοριστικά στη διαμόρφωση του σύγχρονου γεωλογικού περιβάλλοντος

Στη στρωματογραφική δομή της περιοχής των Γιαννιτσών συμμετέχουν τεταρτογενή ιζήματα δύο περιόδων (Veranis et al., 2012):

- Ολοκαινικές αποθέσεις, οι οποίες κυριαρχούν στο πεδινό τμήμα και συντίθενται κυρίως από λεπτόκοκκα ιζήματα (άμμοι, πηλοί και αργιλώδεις φάσεις). Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι αποθέσεις της αποξηραμένης λίμνης των Γιαννιτσών, οι οποίες αποτελούνται από ιλύες και αργιλοαμμώδη υλικά. Στο υδρογραφικό δίκτυο εντοπίζονται κοίτες χειμάρρων με κροκαλολατύπες, καθώς και πρόσφατοι κώνοι κορημάτων που αποτελούνται από ασύνδετα, αδιαβάθμητα υλικά.
- Πλειστοκαινικές αποθέσεις, οι οποίες εντοπίζονται στις παρυφές του όρους Πάικο και στις δυτικές λοφώδεις εκτάσεις. Πρόκειται για σχηματισμούς με πάχος που προσεγγίζει τα 100m, οι οποίοι περιλαμβάνουν ερυθροπήλους, συγκολλημένα ασβεστολιθικά

λατυποπαγή και ογκόλιθους. Οι σχηματισμοί αυτοί, ποταμοχειμαρρώδους και κολλουβιακής προέλευσης, εμφανίζονται είτε ως ασύνδετοι είτε ως ελαφρώς λιθοποιημένοι.

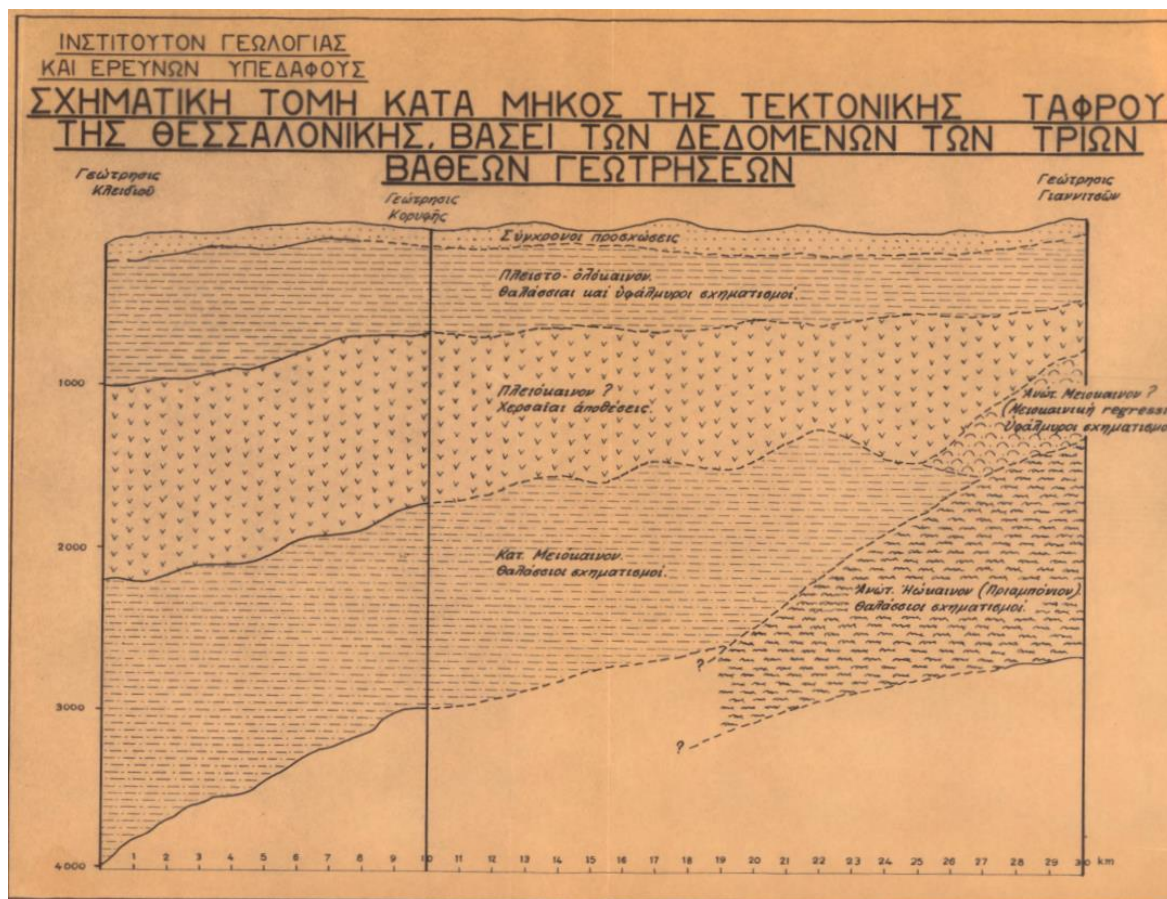
Επιπρόσθετα, στην περιοχή παρατηρούνται κώνοι αποτελούμενοι από συγκολλημένα κορήματα ερυθράς ιλύος, καθώς και ασβεστολιθικά λατυποπαγή με παρουσία μεγάλων ογκόλιθων. Εμφανίζονται επίσης κώνοι χειμαρρώδων αποθέσεων, οι οποίοι απαντούν είτε χαλαροί (ασύνδετοι) είτε ελαφρώς συνεκτικοί. Επιπλέον, αναπτύσσονται κολλουβιακές αποθέσεις ποταμοχειμαρρώδους προέλευσης, που σχετίζονται με τη δράση επιφανειακών ροών. Το πάχος των ιζημάτων ηλικίας Πλειστοκαίνου εκτιμάται ότι μπορεί να φθάνει έως και τα 100 m (Veranis et al., 2012).



Χάρτης 2 - Γεωλογικός χάρτης της ευρύτερης περιοχής Πέλλας-Ημαθίας με διάκριση Νεογενών και Τεταρτογενών σχηματισμών και κύριων ρηγμάτων (Veranis et al., 2012)

Στο πλαίσιο προγράμματος ανεύρεσης πετρελαίου στην Ελλάδα, τη περίοδο 1961 -1962, η εταιρία Forasol Drilling Co πραγματοποίησε τρεις βαθιές γεωτρήσεις στην πεδιάδα Θεσσαλονίκης – Γιαννιτσών. Μία γεώτρηση έλαβε χώρα κοντά στο Κλειδί, μία στην Κορυφή και μία στα Γιαννιτσά.

Το Ινστιτούτο Γεωλογίας και Ερευνών Υπεδάφους κλήθηκε από την εταιρία αυτή να συντάξει μία έκθεση στρωματογραφικών τομών επί των γεωτρήσεων αυτών με συντονιστή τον Χριστοδούλου Γ. Λαμβάνοντας υπόψη τα δεδομένα των τριών γεωτρήσεων και αποτυπώνοντας τα σχηματικά καταλήγουμε σε μία ολοκληρωμένη αποτύπωση της τεκτονικής τάφρου της Θεσσαλονίκης (Σχ. 1).



Σχήμα 1: Σχηματική τομή κατά μήκος της Τεκτονικής Τάφρου της Θεσσαλονίκης (Χριστοδούλου Γ., 1962)

1.4 Υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά

Η υδρολογική λεκάνη της Κεντρικής Μακεδονίας αποτελεί ένα από τα πιο σύνθετα και ζωτικής σημασίας υδατικά συστήματα της Ελλάδας. Το Υδατικό Διαμέρισμα Κεντρικής Μακεδονίας (EL10) καταλαμβάνει συνολική επιφάνεια 10.158 km². Τα φυσικά της όρια καθορίζονται ανατολικά από τα όρη Κερδύλια, Βερτίσκοι, Κρούσια και Μπέλες, δυτικά από το όρος Πάικο και την Περιφερειακή Τάφρο, ενώ προς βορρά εκτείνεται έως την οροσειρά Κερκίνη (Μπέλες) και τα σύνορα μεταξύ Ελλάδας και Βόρειας Μακεδονίας (ΥΔ Κεντρικής Μακεδονίας – EL10 – Σχέδια Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας. 2024).

Ανατολικά γειτνιάζει με το Υδατικό Διαμέρισμα Ανατολικής Μακεδονίας (ΥΔ EL11), ενώ δυτικά συνορεύει με το Υδατικό Διαμέρισμα Δυτικής Μακεδονίας (ΥΔ EL09). Το ΥΔ EL10 περιλαμβάνει εκτεταμένες πεδινές εκτάσεις, κυρίως στο δυτικό τμήμα του, με σημαντικότερες τις πεδιάδες της Θεσσαλονίκης, των Γιαννιτσών και του Λαγκαδά. Στο ανατολικό του τμήμα ξεχωρίζει η λεκάνη της Χαλκιδικής (ΥΔ Κεντρικής Μακεδονίας – EL10 – Σχέδια Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας. 2024).

Η μορφολογία του Υδατικού Διαμερίσματος είναι κατά κύριο λόγο ημιορεινή, με μέσο υψόμετρο περίπου 245 m. Το 36% της συνολικής του έκτασης βρίσκεται σε υψόμετρο χαμηλότερο των 100 m, ενώ μόλις το 3% υπερβαίνει τα 800 m. Οι ακτογραμμές του, συνολικού μήκους 910 km, παρουσιάζουν έντονο γεωμορφολογικό ανάγλυφο, γεγονός που έχει οδηγήσει στον σχηματισμό πολυάριθμων βραχωδών όρμων και κόλπων (ΥΔ Κεντρικής Μακεδονίας – EL10 – Σχέδια Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας. 2024).

Το Υδατικό Διαμέρισμα Κεντρικής Μακεδονίας συγκροτείται από τέσσερις Λεκάνες Απορροής Ποταμών (ΛΑΠ): του Αξιός ποταμός (EL1003), του Γαλλικός ποταμός (EL1004), της Χαλκιδικής (EL1005) και του Άθως (EL1043) (ΥΔ Κεντρικής Μακεδονίας – EL10 – Σχέδια Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας. 2024).

Κυριότεροι ποταμοί του διαμερίσματος είναι ο Αξιός ποταμός, ο Γαλλικός ποταμός και ο Λουδίας ποταμός. Σημαντικοί υδάτινοι αποδέκτες της περιοχής είναι επίσης ο Ανθεμιούντας ποταμός, ο Βατονιάς ποταμός, ο Χαβρίας ποταμός και ο Δενδροπόταμος (ΥΔ Κεντρικής Μακεδονίας – EL10 – Σχέδια Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας. 2024).



Χάρτης 3 - Χάρτης Λεκανών Απορροής Ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος Κεντρικής Μακεδονίας (EL1003, EL1004, EL1005, EL1043) (ΥΔ Κεντρικής Μακεδονίας – EL10 – Σχέδια Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας, 2024)

Η περιοχή μελέτης εντάσσεται στη συνολική λεκάνη απορροής του Αξιός ποταμός, η οποία καλύπτει επιφάνεια 3.327 km². Σε διοικητικό επίπεδο ανήκει στην Περιφέρεια Κεντρικής Μακεδονίας και συγκροτείται κυρίως από τις επιμέρους υδρολογικές λεκάνες των ποταμών Αξιός ποταμός και Λουδίας ποταμός. Τοποθετείται στο δυτικό τμήμα του Υδατικού Διαμερίσματος EL10 και εκτείνεται από τα σύνορα Ελλάδας – Βόρεια Μακεδονία έως τις παράκτιες ζώνες του διαμερίσματος, στα δυτικά του Θερμαϊκός κόλπος (ΥΔ Κεντρικής Μακεδονίας – EL10 – Σχέδια Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας, 2024).

Παρουσιάζει μια σαφή υδρογεωλογική διχοτόμηση βάσει της λιθοστρωματογραφικής της δομής. Διακρίνονται δύο κύριες ενότητες με εκ διαμέτρου αντίθετη υδρολιθολογική συμπεριφορά:

- Η πρώτη ενότητα περιλαμβάνει τους συμπαγείς σχηματισμούς του ορεινού και ημιορεινού αναγλύφου, οι οποίοι συγκροτούνται από κρυσταλλικά μεταμορφωμένα και μαγματικά πετρώματα. Από υδρογεωλογική σκοπιά, οι σχηματισμοί αυτοί παρουσιάζουν περιορισμένο ενδιαφέρον, καθώς χαρακτηρίζονται από χαμηλή υδροπερατότητα έως πλήρη στεγανότητα της μάζας τους. Εντοπισμένα υδροφόρα συστήματα χαμηλής δυναμικότητας

αναπτύσσονται αποκλειστικά σε ζώνες δευτερογενούς πορώδους, δηλαδή σε περιοχές έντονης τεκτονικής διάρρηξης ή επιφανειακής αποσάθρωσης, έχοντας ωστόσο τοπικό χαρακτήρα και περιορισμένη υδραυλική παροχή.

□ Η δεύτερη ενότητα περιλαμβάνει τους χαλαρούς κοκκώδεις σχηματισμούς των πεδινών και λοφωδών εκτάσεων, οι οποίοι αποτελούν το κύριο αντικείμενο υδρογεωλογικού ενδιαφέροντος. Οι σχηματισμοί αυτοί, νεογενούς και τεταρτογενούς ηλικίας, λειτουργούν ως αποταμιευτήρες υπογείων υδάτων με υψηλή παραγωγικότητα.

Η διαφοροποίηση αυτή αντανακλάται στις υδραυλικές παραμέτρους των αντίστοιχων υδροφόρων συστημάτων, οι οποίες εμφανίζουν σημαντική χωρική μεταβλητότητα (Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων, χ.χ.)

Καταλυτικά, τα υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά της περιοχής των Γιαννιτσών είναι στενά συνδεδεμένα με την πρόσφατη γεωλογική εξέλιξη της λεκάνης και τη δράση των μεγάλων ποταμών (Αξιός, Λουδίας, Αλιάκμονας). Η περιοχή παρουσιάζει εξαιρετικό ενδιαφέρον λόγω της ύπαρξης πολλαπλών υδροφόρων οριζόντων και της παρουσίας οργανικών υλικών (τύρφη) που επηρεάζουν την ποιότητα του νερού.

1.5 Κλιματολογικές συνθήκες

Η κλιματική φυσιογνωμία της Ελλάδας εντάσσεται κατά βάση στον μεσογειακό τύπο, παρουσιάζοντας ωστόσο διαφοροποιήσεις που απορρέουν από την τοπογραφική ποικιλότητα και την απόσταση από τη θάλασσα. Ειδικότερα, στις ηπειρωτικές και βόρειες περιοχές παρατηρούνται εντονότερα στοιχεία ηπειρωτικότητας, τα οποία εκδηλώνονται με μεγάλο ετήσιο θερμοκρασιακό εύρος και αυξημένες θερμοκρασιακές διακυμάνσεις μεταξύ χειμώνα και καλοκαιριού.

Κατά τη θερινή περίοδο επικρατούν υψηλές θερμοκρασίες και περιορισμένες βροχοπτώσεις, διαμορφώνοντας συνθήκες ξηρότητας που σε ορισμένες περιπτώσεις ενισχύονται από παρατεταμένα επεισόδια καύσωνα. Η ηλιοφάνεια αποτελεί κυρίαρχο χαρακτηριστικό του ελληνικού κλίματος, με μεγάλο αριθμό ημερών ηλιοφάνειας σε ετήσια βάση, στοιχείο που επηρεάζει τόσο το φυσικό περιβάλλον όσο και τις ανθρώπινες δραστηριότητες.

Αντίθετα, η χειμερινή περίοδος είναι γενικά ήπια, ιδίως στις παράκτιες και νησιωτικές περιοχές, όπου η θαλάσσια επίδραση μετριάζει τις θερμοκρασιακές ακραίες τιμές. Ωστόσο, στις εσωτερικές και ορεινές περιοχές οι θερμοκρασίες είναι χαμηλότερες και οι χιονοπτώσεις συχνότερες. Οι βροχοπτώσεις κατανέμονται κυρίως κατά τους φθινοπωρινούς και χειμερινούς μήνες, ενώ το καλοκαίρι παρατηρείται ελάττωση του υετού, στοιχείο που συνιστά βασικό γνώρισμα του μεσογειακού κλίματος.

Συνολικά, το ελληνικό κλίμα χαρακτηρίζεται από έντονη εποχικότητα, υψηλά επίπεδα ηλιακής ακτινοβολίας και σημαντικές τοπικές διαφοροποιήσεις, οι οποίες οφείλονται στη γεωγραφική θέση της χώρας και στο σύνθετο ανάγλυφό της.

Πιο συγκεκριμένα, το κλίμα της Περιφερειακής Ενότητας Πέλλας, όπου εντάσσεται και η εξεταζόμενη περιοχή, παρουσιάζει έντονα ηπειρωτικά χαρακτηριστικά. Διακρίνεται από σημαντική διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ της χειμερινής και της θερινής περιόδου, ενώ κατά τους θερμούς μήνες παρατηρείται έλλειψη βροχοπτώσεων και συνθήκες σχετικής ξηρασίας (Περιφέρεια Κεντρικής Μακεδονίας, 2023).

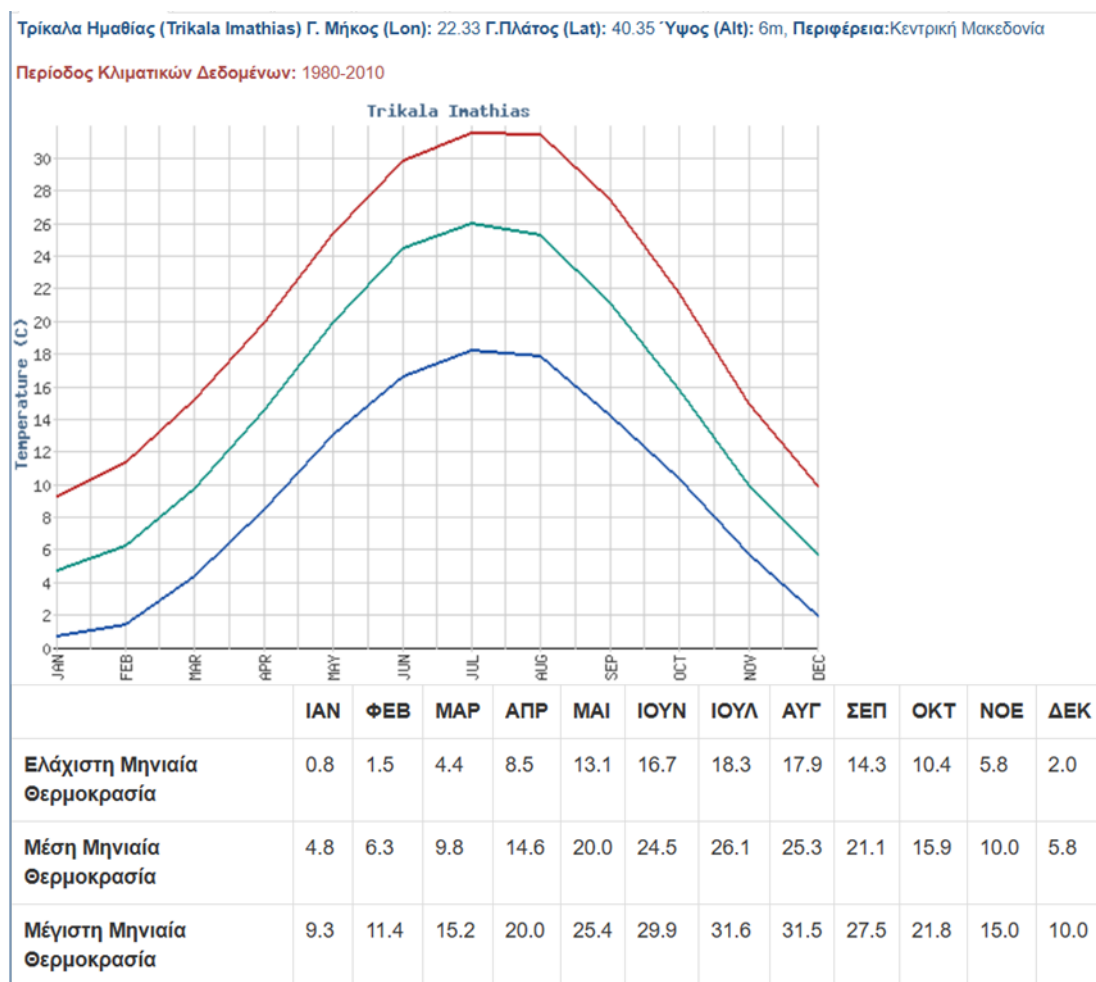
1.5.1 Θερμοκρασία αέρα

Σύμφωνα με τα διαθέσιμα κλιματικά δεδομένα που μας δίνονται από την Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία (2026) της περιόδου 1980–2010 για τα Τρίκαλα Ημαθίας, στην Περιφέρεια Κεντρικής Μακεδονίας, η περιοχή παρουσιάζει έντονα ηπειρωτικά χαρακτηριστικά με σαφή εποχικότητα. Η μέση ετήσια θερμοκρασιακή διακύμανση είναι σημαντική, καθώς η μέση μηνιαία θερμοκρασία κυμαίνεται από 4,8°C τον Ιανουάριο έως 26,1°C τον Ιούλιο, καταγράφοντας ετήσιο θερμοκρασιακό εύρος της τάξης των 21,3°C. Το εύρος αυτό τεκμηριώνει την παρουσία ισχυρής ηπειρωτικότητας, η οποία διαφοροποιεί την περιοχή από τις παράκτιες ζώνες της χώρας.

Κατά τη χειμερινή περίοδο (Δεκέμβριος–Φεβρουάριος), οι μέσες ελάχιστες θερμοκρασίες κυμαίνονται μεταξύ 0,8°C και 2,0°C, υποδηλώνοντας συχνή εμφάνιση παγετού. Οι μέσες μέγιστες τιμές την ίδια περίοδο δεν υπερβαίνουν τους 11–12°C, γεγονός που επιβεβαιώνει τον ψυχρό χαρακτήρα του χειμώνα για τα δεδομένα της νότιας Ευρώπης.

Αντιθέτως, κατά τη θερινή περίοδο (Ιούνιος–Αύγουστος), οι μέσες μέγιστες θερμοκρασίες διαμορφώνονται μεταξύ 29,9°C και 31,6°C, ενώ οι μέσες ελάχιστες κυμαίνονται από 16,7°C έως 18,3°C. Οι τιμές αυτές καταδεικνύουν θερμά έως πολύ θερμά καλοκαίρια, με αυξημένη πιθανότητα εμφάνισης επεισοδίων καύσωνα. Η θερμοκρασιακή κατανομή κατά τις μεταβατικές εποχές (άνοιξη και φθινόπωρο) εμφανίζει ομαλή μεταβολή, αντανακλώντας τη σταδιακή μετάβαση μεταξύ των δύο θερμικών ακραίων περιόδων.

Συνολικά, το θερμοκρασιακό πρότυπο της περιοχής συνάδει με κλίμα ηπειρωτικού τύπου με μεσογειακές επιδράσεις, χαρακτηριστικό των πεδινών εκτάσεων της Κεντρικής Μακεδονίας. Η έντονη εποχικότητα και το μεγάλο θερμοκρασιακό εύρος αποτελούν βασικά γνωρίσματα του τοπικού κλιματικού καθεστώτος και συνιστούν κρίσιμες παραμέτρους για την κατανόηση των περιβαλλοντικών και γεωργικών συνθηκών της περιοχής μελέτης.

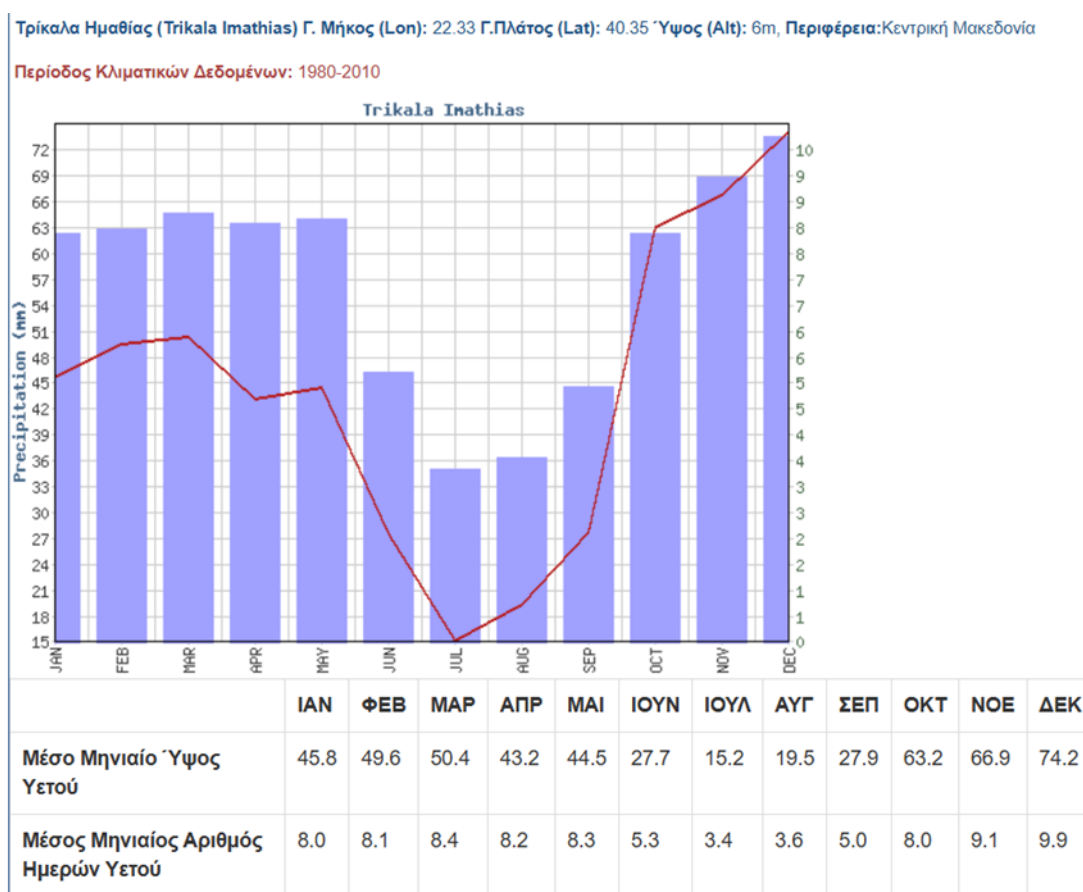


Εικόνα 5 - Κλιματικό διάγραμμα θερμοκρασιών στην περιοχή Τρίκαλα Ημαθίας (1980–2010): Μέσες, μέγιστες και ελάχιστες μηνιαίες τιμές (EMY, 2026)

1.5.2 Ατμοσφαιρικά κατακρηνίσματα

Σύμφωνα με τα διαθέσιμα κλιματικά στοιχεία της περιόδου 1980–2010 για τα Τρίκαλα Ημαθίας, στην Περιφέρεια Κεντρική Μακεδονία, το υετικό καθεστώς της περιοχής χαρακτηρίζεται από μέτριο ετήσιο ύψος βροχόπτωσης και έντονη εποχική διαφοροποίηση. Το συνολικό ετήσιο ύψος υετού ανέρχεται σε περίπου 518 mm, τιμή που κατατάσσει την περιοχή στις μέτρια υγρές ζώνες της Βόρειας Ελλάδας (EMY, 2026).

Η κατανομή των βροχοπτώσεων παρουσιάζει σαφή συγκέντρωση κατά το ψυχρό εξάμηνο του έτους. Ειδικότερα, το φθινόπωρο και οι αρχές του χειμώνα αποτελούν την πλέον υγρή περίοδο, με μέγιστη μέση μηνιαία τιμή τον Δεκέμβριο (74,2 mm) και αυξημένο μέσο αριθμό ημερών υετού (9,9 ημέρες). Κατά τους χειμερινούς μήνες (Ιανουάριος–Φεβρουάριος) οι βροχοπτώσεις διατηρούνται σε σχετικά υψηλά επίπεδα (45–50 mm μηνιαίως), συνοδευόμενες από περίπου οκτώ ημέρες υετού ανά μήνα, στοιχείο που υποδηλώνει σταθερή υετική δραστηριότητα (EMY, 2026).



Εικόνα 6 - Κλιματικό διάγραμμα υετού στην περιοχή Τρίκαλα Ημαθίας (1980–2010) (EMY, 2026)

Κατά τη διάρκεια της άνοιξης παρατηρείται σταδιακή αποκλιμάκωση του ύψους υετού, ενώ η θερινή περίοδος χαρακτηρίζεται από έντονη υετική ελάττωση. Ο Ιούλιος καταγράφει τη χαμηλότερη μέση μηνιαία τιμή (15,2 mm) και τον μικρότερο αριθμό ημερών βροχής (3,4 ημέρες), επιβεβαιώνοντας την παρουσία παρατεταμένων ξηρών συνθηκών. Η περιορισμένη θερινή υετική δραστηριότητα, σε συνδυασμό με τις αυξημένες θερμοκρασίες της ίδιας περιόδου, συμβάλλει στη διαμόρφωση αρνητικού υδατικού ισοζυγίου και συνθηκών υδατικού ελλείμματος (EMY, 2026).

Συνολικά, το υετικό πρότυπο της περιοχής τεκμηριώνει κλίμα μεσογειακού τύπου με εμφανείς ηπειρωτικές επιδράσεις, όπου οι βροχοπτώσεις συγκεντρώνονται κυρίως κατά το ψυχρό εξάμηνο, ενώ το θερμό εξάμηνο χαρακτηρίζεται από σημαντική μείωση της υετικής δραστηριότητας και αυξημένη ξηρότητα.

1.5.3 Σχετική υγρασία αέρα

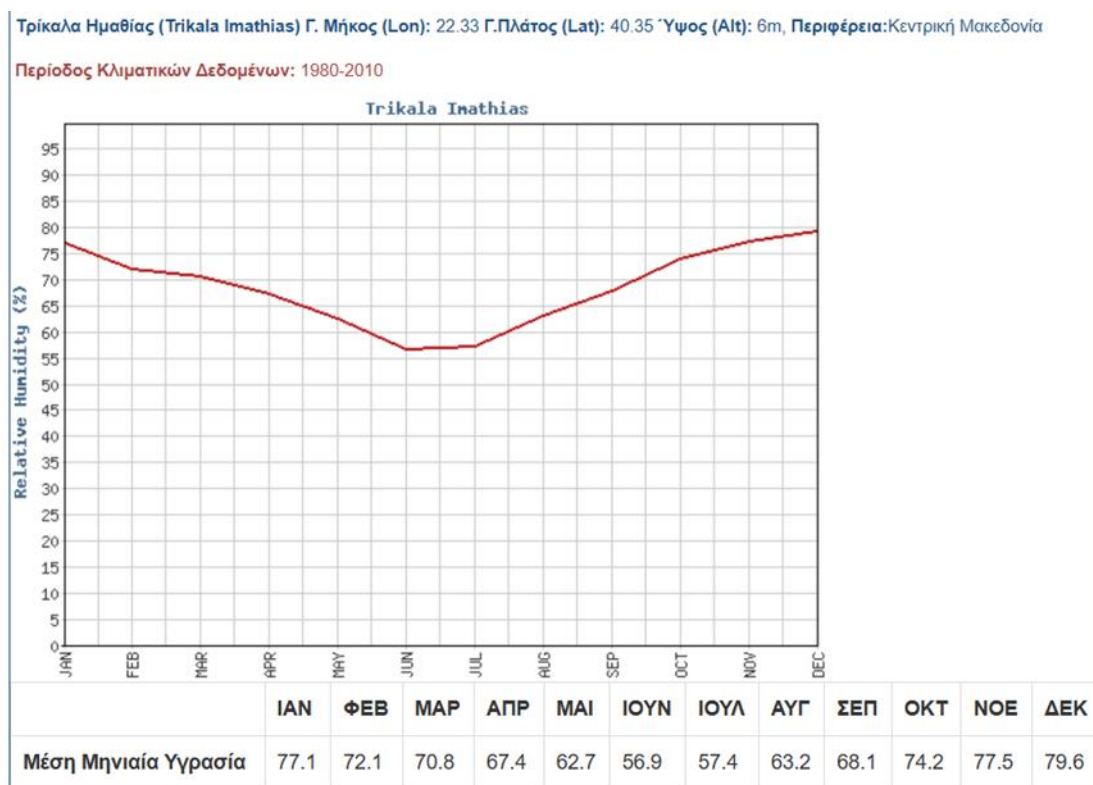
Η κατανομή της σχετικής υγρασίας εμφανίζει έντονη εποχικότητα, ακολουθώντας αντίστροφη πορεία σε σχέση με τη θερμοκρασία. Οι υψηλότερες τιμές καταγράφονται κατά τη χειμερινή περίοδο, με μέγιστη μέση τιμή τον Δεκέμβριο (79,6%) και ιδιαίτερα αυξημένα επίπεδα και τον Ιανουάριο (77,1%) και Νοέμβριο (77,5%). Οι τιμές αυτές αντανακλούν τις χαμηλές θερμοκρασίες, τη μειωμένη εξατμισοδιαπνοή και τη συχνότερη παρουσία υετικών φαινομένων κατά το ψυχρό εξάμηνο (EMY, 2026).

Αντιθέτως, κατά τη θερινή περίοδο παρατηρείται σημαντική μείωση της σχετικής υγρασίας, με ελάχιστη τιμή τον Ιούνιο (56,9%) και χαμηλές τιμές και τον Ιούλιο (57,4%). Η μείωση αυτή συνδέεται άμεσα με τις υψηλές θερμοκρασίες και τη μειωμένη υετική δραστηριότητα, οι οποίες ενισχύουν τις διαδικασίες εξατμισμού και συμβάλλουν στη διαμόρφωση ξηρότερων ατμοσφαιρικών συνθηκών (EMY, 2026).

Το ετήσιο εύρος διακύμανσης της σχετικής υγρασίας ανέρχεται περίπου στο 22,7% (79,6% τον Δεκέμβριο έναντι 56,9% τον Ιούνιο), γεγονός που υποδηλώνει σημαντική εποχική διαφοροποίηση. Κατά τις μεταβατικές εποχές (άνοιξη και φθινόπωρο) παρατηρείται σταδιακή μεταβολή των τιμών, με μείωση την άνοιξη και εκ νέου αύξηση από τον Σεπτέμβριο και έπειτα (EMY, 2026).

Συνολικά, το πρότυπο της σχετικής υγρασίας επιβεβαιώνει τον μεσογειακό χαρακτήρα του κλίματος της περιοχής με εμφανείς ηπειρωτικές επιδράσεις, καθώς η υψηλή υγρασία

συγκεντρώνεται στο ψυχρό εξάμηνο, ενώ κατά το θερμό εξάμηνο επικρατούν ξηρότερες ατμοσφαιρικές συνθήκες, ενισχύοντας το φαινόμενο της θερινής ξηρασίας.



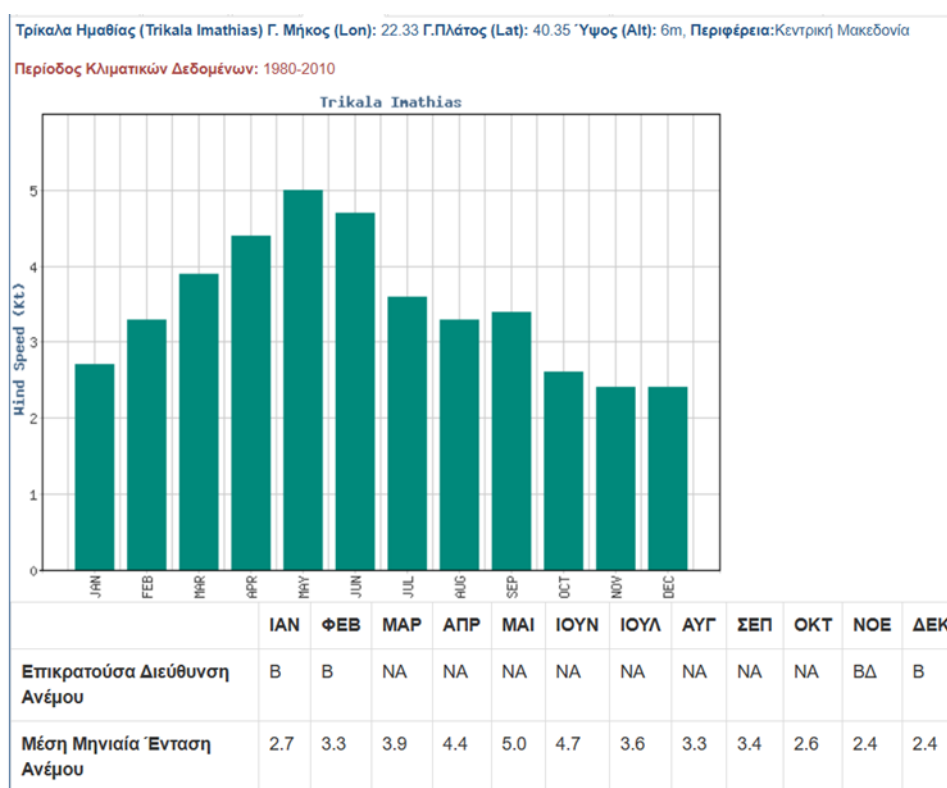
Εικόνα 7 - Κλιματικό διάγραμμα υγρασίας στην περιοχή Τρίκαλα Ημαθίας (1980–2010) (ΕΜΥ, 2026)

1.5.4 Άνεμος

Σύμφωνα με τα διαθέσιμα κλιματικά δεδομένα που μας δίνονται από την Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία (2026) παρατηρούμε ότι η μέση μηνιαία ένταση ανέμου στην περιοχή μελέτης, κυμαίνεται από 2,4 έως 5,0 κόμβους (kt) παρουσιάζοντας μέτρια ετήσια διακύμανση. Οι χαμηλότερες τιμές καταγράφονται κατά την περίοδο Οκτωβρίου–Δεκεμβρίου (2,4–2,6 kt), ενώ η ελάχιστη τιμή εμφανίζεται τον Νοέμβριο και Δεκέμβριο (2,4 kt). Αντιθέτως, η μέγιστη μέση ένταση παρατηρείται τον Μάιο (5,0 kt), με σχετικά αυξημένες τιμές και κατά την άνοιξη (Απρίλιος 4,4 kt, Ιούνιος 4,7 kt). Το ετήσιο εύρος διακύμανσης ανέρχεται σε 2,6 kt, γεγονός που υποδηλώνει ήπιες έως μέτριες ανεμολογικές συνθήκες καθ' όλη τη διάρκεια του έτους.

Ως προς τη διεύθυνση, κατά τους χειμερινούς μήνες επικρατούν κυρίως βόρειοι (Β) άνεμοι, ενώ από την άνοιξη έως και τις αρχές του φθινοπώρου κυριαρχούν βορειοανατολικοί (ΒΑ/ΝΑ) άνεμοι. Η μεταβολή αυτή αντανακλά τη γενικότερη κυκλοφορία των αερίων μαζών στη Βόρεια Ελλάδα και τη διαμόρφωση βαρομετρικών συστημάτων που επηρεάζουν την περιοχή (ΕΜΥ, 2026).

Συνολικά, το ανεμολογικό καθεστώς χαρακτηρίζεται από χαμηλές έως μέτριες εντάσεις ανέμου και σχετική σταθερότητα στη διεύθυνση, με κυριαρχία βόρειων και βορειοανατολικών ρευμάτων. Οι συνθήκες αυτές επηρεάζουν τη διασπορά ατμοσφαιρικών ρύπων, τη θερμική άνεση και το μικροκλίμα της περιοχής, ιδίως κατά τη θερινή περίοδο όπου οι βόρειοι άνεμοι συμβάλλουν στη μερική άμβλυνση των υψηλών θερμοκρασιών (ΕΜΥ, 2026).



Εικόνα 8 - Κλιματικό διάγραμμα ανέμου στην περιοχή Τρίκαλα Ημαθίας (1980–2010) (ΕΜΥ, 2026)

Σαν γενικό συμπέρασμα, οι κλιματικές συνθήκες χαρακτηρίζονται από μια ομαλή ετήσια μεταβολή της θερμοκρασίας του αέρα, η οποία φτάνει στο υψηλότερο σημείο της τον Ιούλιο και στο χαμηλότερο τον Ιανουάριο. Οι περισσότερες βροχοπτώσεις σημειώνονται στα τέλη

του φθινοπώρου και κατά την άνοιξη. Ως αποτέλεσμα, κατά τη διάρκεια του χειμώνα και της άνοιξης προκύπτει ανάγκη αποστράγγισης των επιπλέον υδάτων, ώστε να προστατεύονται οι καλλιέργειες από την υπερβολική υγρασία. Αντίθετα, τους θερινούς μήνες, λόγω της αυξημένης εξάτμισης, απαιτείται επιπλέον άρδευση για την ομαλή ανάπτυξη και την καλή παραγωγή των εαρινών καλλιεργειών.

1.6 Χρήσεις γης

Η κατανομή των χρήσεων γης αποτελεί σημαντικό παράγοντα για την κατανόηση των ανθρωπογενών δραστηριοτήτων και των φυσικών χαρακτηριστικών μιας περιοχής. Στην παρούσα ενότητα εξετάζονται οι χρήσεις γης στον Νομός Πέλλας και ειδικότερα στον Δήμος Πέλλας, ο οποίος περιλαμβάνει τις Δημοτικές Ενότητες Γιαννιτσών, Κρύας Βρύσης, Κύρρου, Μεγάλου Αλεξάνδρου και Πέλλας.

Η συνολική έκταση του Νομού Πέλλας ανέρχεται σε 2.505,8 km². Από την έκταση αυτή, σημαντικό ποσοστό καταλαμβάνουν οι δασικές εκτάσεις, οι οποίες φτάνουν τα 1.065,0 km², ενώ οι καλλιεργούμενες εκτάσεις και οι αγροναυσίες καλύπτουν 1.029,1 km². Οι βοσκότοποι καταλαμβάνουν 266,2 km², ενώ οι εκτάσεις που καλύπτονται από νερό αντιστοιχούν σε 37,9 km². Οι εκτάσεις οικισμών καλύπτουν 46,3 km² και οι λοιπές εκτάσεις ανέρχονται σε 61,4 km². Η κατανομή αυτή υποδηλώνει ότι ο νομός παρουσιάζει έναν συνδυασμό έντονου αγροτικού χαρακτήρα και σημαντικής δασικής κάλυψης, γεγονός που σχετίζεται με τη γεωμορφολογία και τη γεωγραφική του θέση (Χρήσεις γης - Δήμος Πέλλας, 2021).

Ο Δήμος Πέλλας καταλαμβάνει έκταση 666,6 km², η οποία αντιστοιχεί περίπου στο 26,6% της συνολικής έκτασης του Νομού Πέλλας. Στον δήμο κυριαρχούν οι γεωργικές χρήσεις γης, οι οποίες καταλαμβάνουν 498,6 km², δηλαδή περίπου το 74,8% της συνολικής έκτασης. Οι δασικές εκτάσεις καλύπτουν 107,3 km² (16,1%), ενώ οι βοσκότοποι καταλαμβάνουν 28,8 km² (4,33%). Οι εκτάσεις οικισμών ανέρχονται σε 21,6 km² (3,24%), ενώ οι εκτάσεις που καλύπτονται από νερό αντιστοιχούν σε μόλις 2,0 km² (0,29%). Τέλος, οι λοιπές εκτάσεις καλύπτουν 8,2 km² (1,23%). Η κατανομή αυτή καταδεικνύει τον έντονα

γεωργικό χαρακτήρα της περιοχής, καθώς η πλειονότητα της γης χρησιμοποιείται για αγροτικές δραστηριότητες (Χρήσεις γης - Δήμος Πέλλας, 2021).

Πίνακας 2 - Χρήσεις Γης του Νομού Πέλλας (Χρήσεις γης - Δήμος Πέλλας, 2021)

	Σύνολο εκτάσεων	Καλλιεργούμενες εκτάσεις και αγραναπαύσεις	Βοσκότοποι	Δάση	Εκτάσεις καλυπτόμενες από νερά	Εκτάσεις οικισμών	Άλλες εκτάσεις
ΝΟΜΟΣ ΠΕΛΛΑΣ	2.505,8	1.029,1	266,2	1.065,0	37,9	46,3	61,4
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΓΙΑΝΝΙΤΣΩΝ	208,6	186,1	3,9	8,4	1,3	8,4	0,6
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΚΡΥΑΣ ΒΡΥΣΗΣ	76,9	72,6	0,0	0,0	0,4	3,9	0,0
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΚΥΡΡΟΥ	180,7	64,2	13,9	93,1	0,0	3,4	6,1
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΜΕΓΑΛΟΥ ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΥ	88,1	78,5	2,5	4,4	0,0	2,7	0,1
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΠΕΛΛΑΣ	112,3	97,3	8,6	1,5	0,3	3,2	1,4
ΣΥΝΟΛΟ ΔΗΜΟΥ ΠΕΛΛΑΣ	666,6	498,6	28,8	107,3	2,0	21,6	8,2
Ποσοστά	26,6 % του Νομού Πέλλας	74,8%	4,33%	16,1 %	0,29%	3,24%	1,23%

Σε επίπεδο δημοτικών ενοτήτων, η Δημοτική Ενότητα Γιαννιτσών καταλαμβάνει έκταση 208,6 km², εκ των οποίων τα 186,1 km² αντιστοιχούν σε καλλιεργούμενες εκτάσεις, γεγονός που αποδεικνύει τη σημασία της γεωργίας στην ευρύτερη περιοχή της πεδιάδας των Γιαννιτσών. Αντίστοιχα, η Δημοτική Ενότητα Κρύας Βρύσης παρουσιάζει επίσης έντονα γεωργικό χαρακτήρα, καθώς από τα 76,9 km² συνολικής έκτασης τα 72,6 km² αποτελούν καλλιεργούμενες εκτάσεις.

Η Δημοτική Ενότητα Κύρρου παρουσιάζει διαφορετική κατανομή χρήσεων γης, καθώς από τη συνολική έκταση των 180,7 km² σημαντικό μέρος καλύπτεται από δασικές εκτάσεις (93,1 km²), ενώ οι καλλιεργούμενες εκτάσεις ανέρχονται σε 64,2 km² και οι βοσκότοποι σε 13,9 km². Η συγκεκριμένη κατανομή σχετίζεται με τον πιο ημιορεινό χαρακτήρα της περιοχής. Στη Δημοτική Ενότητα Μεγάλου Αλεξάνδρου, από τα 88,1 km² συνολικής έκτασης τα 78,5 km² αποτελούν καλλιεργούμενες εκτάσεις, ενώ μικρότερα ποσοστά αντιστοιχούν σε βοσκότοπους και δασικές εκτάσεις. Τέλος, στη Δημοτική Ενότητα Πέλλας, η συνολική έκταση ανέρχεται σε 112,3 km², από τα οποία τα 97,3 km² είναι

καλλιεργούμενες εκτάσεις, ενώ μικρότερα ποσοστά αντιστοιχούν σε βοσκότοπους και δασικές εκτάσεις (Χρήσεις γης - Δήμος Πέλλας, 2021).

Συμπερασματικά, η ανάλυση των χρήσεων γης δείχνει ότι ο Δήμος Πέλλας χαρακτηρίζεται κυρίως από εκτεταμένες γεωργικές εκτάσεις, ιδιαίτερα στις πεδινές περιοχές, όπως η πεδιάδα των Γιαννιτσών. Αντίθετα, οι ημιορεινές περιοχές εμφανίζουν μεγαλύτερη παρουσία δασικών εκτάσεων και βοσκοτόπων. Η κατανομή αυτή αντανακλά τόσο τα φυσικά χαρακτηριστικά του τοπίου όσο και τη μακροχρόνια ανάπτυξη της γεωργικής δραστηριότητας στην περιοχή.

2. Εκμετάλλευση του Υδροφόρου Ορίζοντα και Πιεζομετρικό Καθεστώς του Κάμπου των Γιαννιτσών

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται η εκμετάλλευση των υπόγειων υδάτων στον κάμπο των Γιαννιτσών, τα κύρια αρδευτικά έργα της περιοχής και το αρδευτικό δίκτυο που αναπτύχθηκε στην έκταση της πρώην λίμνης Γιαννιτσών.

Πραγματοποιείται ανάλυση της πιεζομετρικής εικόνας της περιοχής μελέτης και εξετάζεται η διαχρονική εξέλιξη της στάθμης ηρεμίας δεκαέξι (16) υδρογεωτρήσεων για την περίοδο 2000 – 2023. Η ανάλυση βασίστηκε σε δεδομένα που αντλήθηκαν από τη Γεωπύλη της Ελληνικής Αρχής Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (Ε.Α.Γ.Μ.Ε.).

Η επεξεργασία των δεδομένων οδήγησε στην κατασκευή διαγραμμάτων, τα οποία παρουσιάζουν τον ρυθμό μεταβολής και την πορεία υποχώρησης του υδροφόρου ορίζοντα κατά τη διάρκεια της εξεταζόμενης περιόδου.

2.1 Η εκμετάλλευση του υδροφόρου ορίζοντα στον Κάμπο των Γιαννιτσών

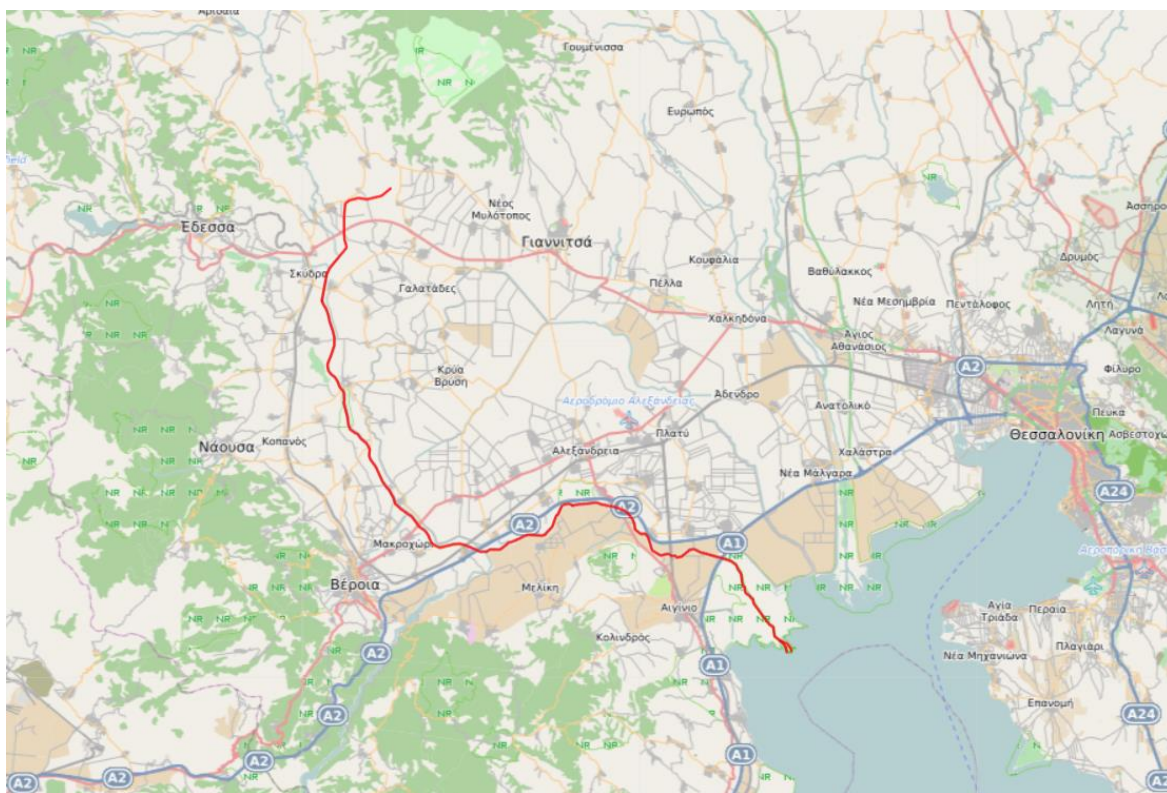
Η εκμετάλλευση του υδροφόρου ορίζοντα στον κάμπο των Γιαννιτσών αποτελεί βασικό στοιχείο της υδρογεωλογικής και αγροτικής ανάπτυξης της περιοχής. Ο κάμπος των Γιαννιτσών, που βρίσκεται στον Νομό Πέλλας της Κεντρικής Μακεδονίας, είναι μια εκτεταμένη και ιδιαίτερα εύφορη πεδιάδα με έντονη γεωργική δραστηριότητα. Η μεγάλη ζήτηση νερού για άρδευση έχει οδηγήσει σε σημαντική αξιοποίηση των υπόγειων υδατικών πόρων.

Η περιοχή του Κάμπου των Γιαννιτσών εντάσσεται στο ευρύτερο γεωμορφολογικό σύστημα της πεδιάδας Θεσσαλονίκης – Γιαννιτσών. Η πεδιάδα αποτελεί ένα σημαντικό τεκτονικό βύθισμα της Κεντρικής Μακεδονίας βάθους 4.000 m, το οποίο γέμισε με τριτογενούς αποθέσεις (θαλάσσιες και χερσαίες) (Κωνσταντινίδης Κ., 1989).

Το βύθισμα αυτό παρουσιάζει σαφή διαίρεση σε δύο κύρια πεδινά τμήματα με διαφορετικά υδρολογικά χαρακτηριστικά. Το δυτικό τμήμα του βυθίσματος Γιαννιτσών – Θεσσαλονίκης αποστραγγίζεται κυρίως προς τον Αλιάκμονας ποταμός, ενώ το ανατολικό τμήμα αποτελεί τη λεγόμενη λεκάνη του Λουδία ποταμού. Η γεωμορφολογική αυτή διάκριση επηρεάζει σημαντικά τη διαμόρφωση των εδαφών, τη ροή των επιφανειακών υδάτων και τη

λειτουργία των υπόγειων υδροφορέων της περιοχής (Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων, χ.χ.).

Η λεκάνη του δυτικού πεδινού τμήματος περιλαμβάνει τις επιμέρους λεκάνες απορροής των χειμάρρων και ποταμών που αναπτύσσονται στη δυτική ορεινή πλευρά του Όρος Βέρμιο. Η περιοχή αυτή αποτελεί τη νότια συνέχεια της ορεινής ζώνης της Αλμωπίας και χαρακτηρίζεται από έντονες υψομετρικές διακυμάνσεις, όπου αναπτύσσεται ένα υδρογραφικό δίκτυο με δενδροειδή μορφή. Οι παρυφές της δυτικής ορεινής ζώνης κατεβαίνουν σταδιακά προς την πεδιάδα μέσω διαδοχικών, σχεδόν παράλληλων αναβαθμίδων. Στα χαμηλότερα τμήματα το ανάγλυφο γίνεται πιο ήπιο, σχηματίζοντας μια μορφολογία που αναπτύσσεται σχεδόν παράλληλα προς την ορεινή ζώνη.



Χάρτης 4 - Χάραξη της Τάφρου 66 στην περιοχή του Κάμπου των Γιαννιτσών (Google Earth, 2026)

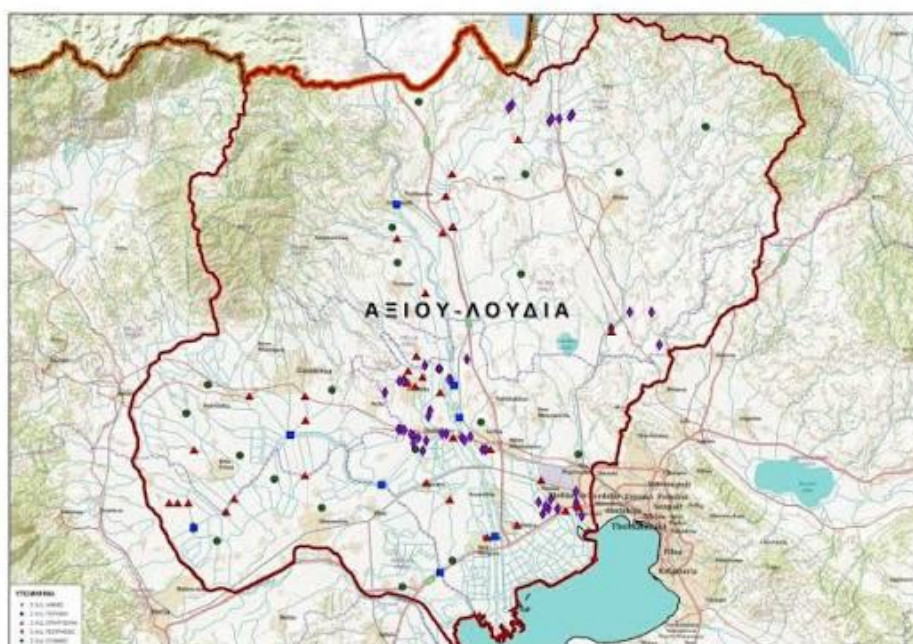
Η λεκάνη επεκτείνεται ανατολικά στην εκτενή πεδινή ζώνη που συνδέει την Έδεσσα, τη Βέροια και τα Γιαννιτσά με τη Θεσσαλονίκη. Το υδρογραφικό δίκτυο της περιοχής αποστραγγίζεται τεχνητά μέσω της Τάφρου 66, η οποία διοχετεύει τα ύδατα στον τελικό αποδέκτη, τον ποταμό Αλιάκμονα.



Εικόνα 9 - Απεικόνιση της Τάφρου 66 (Karatzova, 2024)

Οι κυριότεροι ποταμοί και χείμαρροι που καταλήγουν στη λεκάνη της τάφρου είναι:

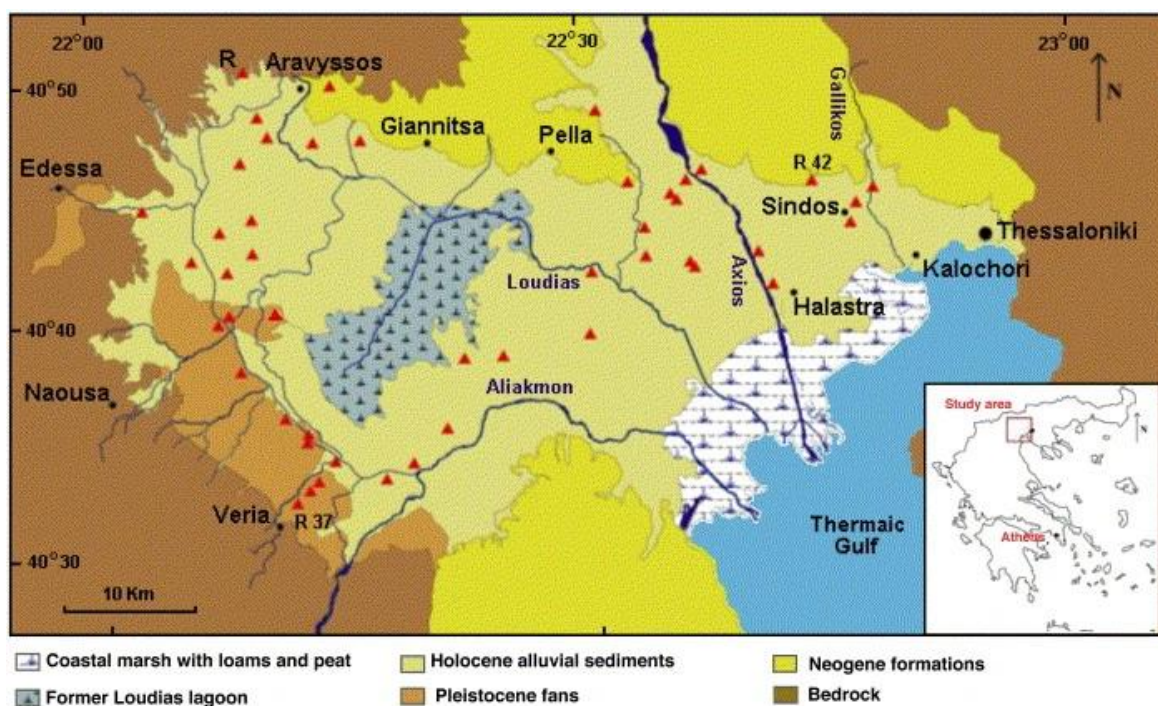
Η λεκάνη του Λουδία, που αποτελεί το ανατολικό πεδινό τμήμα της ευρύτερης βύθισης Γιαννιτσών – Θεσσαλονίκης, οριοθετείται στα βόρεια από ορεινούς και λοφώδεις σχηματισμούς. Συγκεκριμένα, το βόρειο όριό της ταυτίζεται ανατολικά με τις απολήξεις του όρους Πάικο, ενώ στα δυτικά το ανάγλυφο γίνεται ημιορεινό, δημιουργώντας ένα φυσικό γεωγραφικό σύνορο που διαχωρίζει τη λεκάνη της Αλμωπίας από τη νότια πεδινή ζώνη (Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων, χ.χ.).



Εικόνα 10 - Λεκάνη απορροής του Λουδία - Αξίου (Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων, χ.χ.)

Νοτιότερα εκτείνεται το πεδινό τμήμα της περιοχής, το οποίο εντάσσεται στην ευρύτερη πεδιάδα των Γιαννιτσών και της Θεσσαλονίκης. Η ζώνη αυτή οριοθετείται δυτικά από την Τάφρο 66 και ανατολικά από τη λεκάνη του Αξιού, ενώ αναπτύσσεται με νοτιοανατολική κατεύθυνση μέχρι την εκβολή της στον Θερμαϊκό κόλπο. Στο τμήμα αυτό περιλαμβάνεται ολόκληρη η έκταση της αποξηραμένης πλέον λίμνης των Γιαννιτσών, καθώς και οι νότιες παραλίμνιες περιοχές όπου παλαιότερα κυριαρχούσαν εκτεταμένα ελώδη συστήματα.

Κεντρικός άξονας του υδρογραφικού δικτύου της περιοχής είναι ο ποταμός Λουδίας, ο οποίος στο μεγαλύτερο μέρος της διαδρομής του λειτουργεί ως το φυσικό σύνορο μεταξύ των νομών Πέλλας και Ημαθίας. Ο ποταμός αποτελεί τον κύριο αποδέκτη των υδάτων της περιοχής, καθώς τροφοδοτείται από τις πηγές της Αραβησσού και του Ελευθεροχωρίου στις παρυφές του Πάικου, καθώς και από πολυάριθμους χειμάρρους που ρέουν από τις νότιες και νοτιοανατολικές κλιτύες του όρους (Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων, χ.χ.). Παράλληλα, το υδατικό του δυναμικό ενισχύεται μέσω του αρδευτικού δικτύου από τους ποταμούς Μογλενίτσα και Εδεσσαίο, ενώ ο Λουδίας λειτουργεί ως τελικός αποδέκτης των στραγγιστικών καναλιών της αποξηραμένης λίμνης των Γιαννιτσών.



Χάρτης 5 - Απεικόνιση ποταμών Λουδία, Αλιάκμονα και Αξιού (Science Wiki. n.d.)

Ο υπόγειος υδροφορέας της περιοχής συνιστά ένα σύνθετο υδρογεωλογικό σύστημα που αναπτύσσεται εντός των αλλουβιακών αποθέσεων της πεδιάδας της Κεντρικής Μακεδονίας, οι οποίες προέκυψαν και εξελίχθηκαν μετά την αποξήρανση της λίμνης κατά τον 20ο αιώνα. Η υδρογεωλογική δομή του χαρακτηρίζεται από εναλλαγές διαπερατών (άμμοι, χαλίκια) και ημιπερατών έως αδιαπέρατων στρωμάτων (ιλύες, άργιλοι), γεγονός που οδηγεί στην ανάπτυξη τόσο ελεύθερων όσο και υπό πίεση υδροφορέων σε διαφορετικά βάθη.

Οι σημαντικότεροι υδροφόροι ορίζοντες του δικτύου φιλοξενούνται σε Τεταρτογενή ιζήματα και καρστικοποιημένα ανθρακικά πετρώματα, τα οποία παρουσιάζουν υψηλή υδροδοτική ικανότητα. Σε αντίθεση με αυτούς, οι ρωγματωμένοι σχηματισμοί της περιοχής διαθέτουν δευτερεύουσα υδρογεωλογική σημασία.

Σύμφωνα με το Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας (2023), τα υπόγεια ύδατα διακρίνονται σε κύρια και δευτερεύοντα, με κριτήριο την υδροδοτική τους ικανότητα. Στο πλαίσιο της Κεντρικής Μακεδονίας, τα συστήματα αυτά τροφοδοτούν το σύνολο των κοινωνικοοικονομικών δραστηριοτήτων, συμπεριλαμβανομένης της ύδρευσης, της άρδευσης και της παραγωγικής διαδικασίας.

Στη λεκάνη μελέτης διακρίνονται τρεις κύριοι τύποι υδροφορίας: η πορώδης, που σχετίζεται με τις προσχωματικές αποθέσεις, η καρστική και η ρωγματική. Η κατηγοριοποίηση αυτή βασίζεται αφενός στη λιθολογική σύσταση των σχηματισμών και αφετέρου στον τρόπο με τον οποίο το υπόγειο νερό κυκλοφορεί εντός αυτών (Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, 2023).

Πιο συγκεκριμένα, οι προσχωματικοί υδροφορείς εντοπίζονται κυρίως κατά μήκος της κοίτης των ποταμών Λουδία, Αξιού, Γαλλικού και Ανθεμούντα. Τα κοκκώδη υδροφόρα συστήματα δομούνται από διαδοχικές οριζόντιες στρώσεις αδρομερών κλαστικών υλικών, όπως άμμοι, χαλίκια και κροκάλες, με μεταβαλλόμενη συμμετοχή λεπτόκοκκου υλικού, καθώς και από στρώματα λεπτοκλαστικών αποθέσεων, όπως άργιλοι, ιλύες και πηλοί, τα οποία επίσης περιέχουν σε ποικίλα ποσοστά αδρομερή συστατικά.

Η εκφόρτωση των κοκκωδών υπόγειων υδατικών συστημάτων πραγματοποιείται προς περιοχές χαμηλότερου υψομέτρου, όπως επιφανειακά υδατικά σώματα, κοίτες ποταμών και ρεμάτων ή λίμνες. Επιπλέον, στα παράκτια συστήματα η αποστράγγιση κατευθύνεται προς

τη θάλασσα, ενώ σημαντικό μέρος της εκφόρτωσης οφείλεται και στις αντλήσεις που πραγματοποιούνται για την κάλυψη διαφόρων υδατικών αναγκών.

Οι καρστικοί υδροφορείς αναπτύσσονται σε καρστικοποιημένους ανθρακικούς σχηματισμούς. Η ροή του νερού πραγματοποιείται μέσω των καρστικών δομών, όπως διευρυμένες ρωγμές, κοιλότητες και αγωγούς, και επηρεάζεται τόσο από τα γεωμετρικά τους χαρακτηριστικά, όπως το εύρος και τη συνέχεια, όσο και από τον βαθμό πλήρωσής τους. Η αποστράγγιση των καρστικών υδροφορέων πραγματοποιείται κυρίως μέσω καρστικών πηγών, ενώ μπορεί επίσης να κατευθύνεται προς γειτονικά ή άλλα υδατικά συστήματα.

Οι καρστικοί υδροφορείς είναι ιδιαίτερα ευάλωτοι σε ρύπανση, καθώς συνήθως βρίσκονται εκτεθειμένοι στην επιφάνεια του εδάφους, έχουν υψηλό συντελεστή διείσδυσης και το νερό σε αυτούς κινείται γρήγορα. Στον ΥΔ 10, οι καρστικοί υδροφορείς εντοπίζονται κυρίως σε ορεινές, ημιορεινές και λοφώδεις περιοχές, όπου η ανθρώπινη δραστηριότητα είναι είτε περιορισμένη είτε ανύπαρκτη. Στην περίπτωση μας, η καρστική υδροφορία αναπτύσσεται κυρίως στο όρος Πάικο.

Οι ρωγματικοί υδροφορείς σχηματίζονται σε βραχώδεις λιθολογικούς σχηματισμούς μη ανθρακικής προέλευσης, οι οποίοι διαθέτουν εκτεταμένο και συνεκτικό δίκτυο ρωγμών ή ζώνες έντονου κερματισμού, οι οποίες συχνά συμπίπτουν με σημαντικές τεκτονικές δομές.

Στους υδροφορείς αυτούς, το νερό κινείται αποκλειστικά μέσα από τις ασυνέχειες του πετρώματος—κυρίως μέσω των σπασμένων στρωμάτων. Παράλληλα, η ροή διευκολύνεται στο σημείο επαφής ανάμεσα στην επιφανειακή ζώνη αποσαθρωμένου βράχου και το συμπαγές υπόβαθρο που βρίσκεται από κάτω. Η αποστράγγιση των ρωγματικών υδροφορέων πραγματοποιείται με δύο τρόπους: πρώτον, μέσω πηγών που εμφανίζονται κοντά στη βαθιά κοιτή των ρεμάτων ή σε σημεία όπου υπάρχει υγιές βραχώδες υπόβαθρο και δεύτερον, μέσω πλευρικής διήθησης προς τους γειτονικούς σχηματισμούς, οι οποίοι συνήθως είναι κοκκώδεις (Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, 2023).

2.1.1 Αρδευτικά έργα

Η σημερινή εικόνα της πεδιάδας διαμορφώθηκε ύστερα από την ολοκλήρωση σημαντικών αντιπλημμυρικών και αποστραγγιστικών έργων, όπως η κατασκευή της περιφερειακής συλλεκτήριας τάφρου, ο εγκιβωτισμός των κοιτών του Αξιού και του Αλιάκμονα, η

εκβάθυνση και η διευθέτηση του Λουδία, καθώς και η ανάπτυξη στραγγιστικών και αρδευτικών δικτύων και παράκτιων αναχωμάτων (Κωνσταντινίδης Κ., 1989).

Τα έργα αυτά είχαν ως βασικό σκοπό την προστασία των εκτάσεων της πεδιάδας από τις περιοδικές πλημμύρες των ποταμών. Αφού επιτεύχθηκε ο έλεγχος των πλημμυρικών φαινομένων και περιορίστηκαν οι αρνητικές συνέπειές τους, τη δεκαετία του 1960 πραγματοποιήθηκαν επιπλέον αρδευτικά έργα, με στόχο την αξιοποίηση των υδάτινων πόρων για την ενίσχυση της αγροτικής παραγωγής μέσω των αρδεύσεων (Κωνσταντινίδης Κ., 1989).

Τα έργα που λειτουργούν σήμερα περιλαμβάνουν φράγματα για την εκτροπή των νερών του Αξιού και του Αλιάκμονα, αρδευτικά και αποστραγγιστικά αντλιοστάσια, καθώς και δίκτυα μεταφοράς νερού με ανοιχτούς και κλειστούς αγωγούς.

Με βάση αυτές τις υποδομές, η πεδιάδα της Θεσσαλονίκης διαμορφώνεται σε δύο μεγάλες αρδευτικές περιοχές, εκείνη του Αξιού και εκείνη του Αλιάκμονα. Το φυσικό σύνορο ανάμεσά τους είναι ο ποταμός Λουδίας, ο οποίος ξεκίνησε ως αποστραγγιστική τάφρος, αργότερα ονομάστηκε διώρυγα και τελικά αναγνωρίστηκε ως ποταμός. Παράλληλα, αποτελεί το χαμηλότερο σημείο της πεδιάδας και τον κύριο αποδέκτη όλων των νερών που συγκεντρώνονται στην περιοχή (Κωνσταντινίδης Κ., 1989).

Το φράγμα εκτροπής του Αξιού βρίσκεται 2,8 χλμ. πριν από την οδική γέφυρα Έλλης (ανάντη) και περίπου 28 χλμ. μακριά από τις εκβολές του ποταμού στη θάλασσα. Το συνολικό του μήκος φτάνει τα 1.200 μέτρα. Πρόκειται για καθολικό φράγμα που διαθέτει υπερχειλιστή ασφαλείας 920 μέτρων, καθώς και δύο συμμετρικά θυροφράγματα ρύθμισης της παροχής κοντά στις όχθες. Από τη δεξιά όχθη ξεκινά η Δυτική Προσαγωγός Διώρυγα Αξιού (ΔΠΔΑ) με παροχή 20 m³/s, η οποία περνά με σίφωνα κάτω από την τάφρο Βαρδαρόβαση, ενώ από την αριστερή όχθη ξεκινά η Ανατολική Προσαγωγός Διώρυγα Αξιού (ΑΠΔΑ) με παροχή 15 m³/s. (Κωνσταντινίδης Κ., 1989).

Το φράγμα του Αλιάκμονα κατασκευάστηκε στην αρχή της πεδινής κοίτης του ποταμού, κατάντη της γέφυρας Κόκκοβας, περίπου 45 χλμ. ανάντη από την εκβολή του ποταμού στον Θερμαϊκό κόλπο. Πρόκειται για ένα μικρό καθολικό φράγμα εκτροπής, το οποίο διαθέτει υπερχειλιστή από οπλισμένο σκυρόδεμα μήκους 320 μέτρων. Πάνω στον υπερχειλιστή αυτόν στηρίζεται μια οδική γέφυρα πλάτους 5,15 μέτρων. Στην αριστερή όχθη βρίσκεται διώρυγα καθαρισμού με δύο τοξοειδείς θυρίδες. Ανάντη της διώρυγας αυτής βρίσκεται η

υδροληψία για αρδευτικούς σκοπούς με 6 κατακόρυφες ρυθμιστικές θυρίδες (Κωνσταντινίδης Κ., 1989).

2.1.2 Αρδευτικά δίκτυα επιφανειακής άρδευσης

Το αρδευτικό σύστημα της πεδιάδας Θεσσαλονίκης - Γιαννιτσών, του οποίου η κατασκευή χρονολογείται από το 1961, αποτελείται από ένα κλιμακωτό δίκτυο διωρύγων. Οι κεντρικοί και οι δευτερεύοντες άξονες εξασφαλίζουν τη μεταφορά και τη διανομή του νερού, ενώ οι τριτεύοντες αγωγοί εφαρμογής είναι τοποθετημένοι στο ανώτερο σημείο της κάθε αγροτικής ιδιοκτησίας.

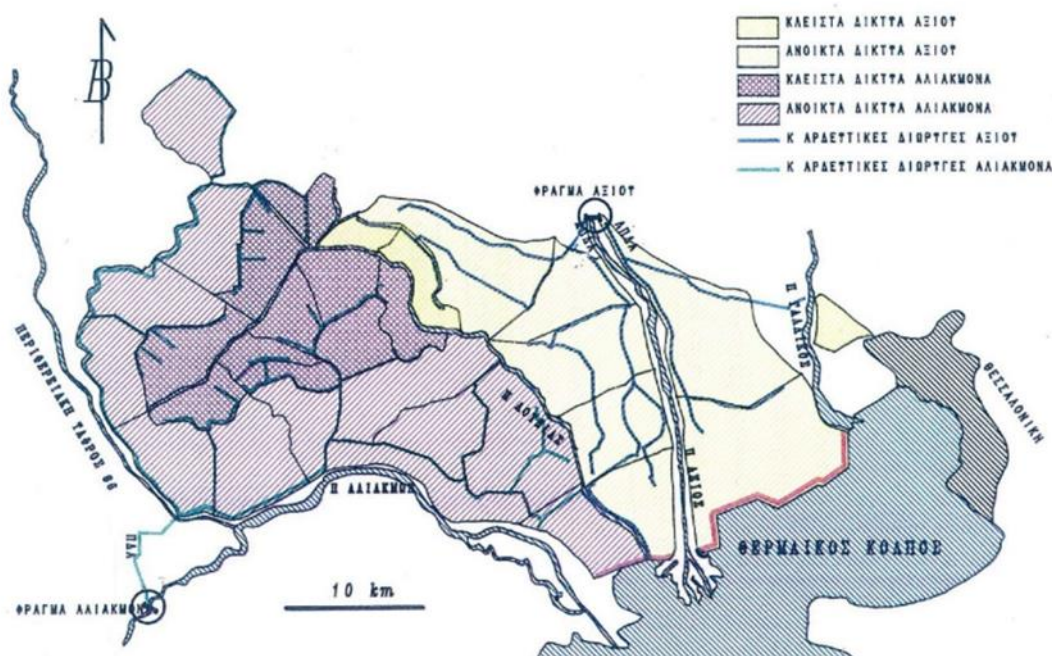
Όπως αναφέρει και ο Κωνσταντινίδης Κ. (1989), οι κεντρικοί άξονες μεταφοράς και διανομής του νερού κατασκευάστηκαν με τραπεζοειδή διατομή, ενώ οι τριτεύοντες αγωγοί κατασκευάστηκαν από προκατασκευασμένους τσιμεντάβλακες (καναλέτα) μήκους 5 μέτρων. Η στεγανότητα των αγωγών αυτών επιτυγχάνεται με κυλινδρικά ελαστικά παρεμβάσματα και επάλειψη του αρμού με στεγανοποιητικό υλικό.

Ο έλεγχος της παροχής νερού προς τις διώρυγες κάθε βαθμίδας πραγματοποιείται μέσω ρυθμιστικών συστημάτων (Module), τα οποία αποτελούνται από διαδοχικά ανοίγματα διαφορετικών διαστάσεων. Η διασφάλιση σταθερού μανομετρικού ύψους (στάθμης) στις θέσεις αυτές επιτυγχάνεται στα κεντρικά κανάλια με τη χρήση εξειδικευμένων θυροφρακτών ελέγχου – συγκεκριμένα, τύπου AMIL για τη ρύθμιση της ανάντη στάθμης και τύπου AVIO για τη ρύθμιση της κατάντη στάθμης (Κωνσταντινίδης Κ., 1989).

Παρά τον αρχικό σχεδιασμό των ανοικτών διωρύγων της πεδιάδας Θεσσαλονίκης για αδιάλειπτη 24ωρη λειτουργία, η κατανάλωση του αρδευτικού νερού παρουσιάζει έντονη ημερήσια διακύμανση ανάλογα με τη ζήτηση. Η διαφοροποίηση αυτή μεγιστοποιείται κατά την έναρξη και τη λήξη της αρδευτικής περιόδου εξαιτίας της περιορισμένης ανάγκης για άρδευση, οι παραγωγοί επιλέγουν τις προμεσημβρινές και απογευματινές ώρες, με αποτέλεσμα η νυχτερινή κατανάλωση να περιορίζεται σε σχεδόν μηδενικά επίπεδα. Η προστασία των υποδομών από τις επιπτώσεις τυχόν υπερχειλίσεων, οι οποίες εκδηλώνονται όταν η παροχή νερού υπερβαίνει την τρέχουσα ζήτηση, εξασφαλίζεται μέσω ενός συστήματος εκχειλιστών ασφαλείας. Οι διατάξεις αυτές είναι εγκατεστημένες σε επιλεγμένες θέσεις του πρωτεύοντος και δευτερεύοντος δικτύου, καθώς και στο κατάντη

Τη διανομή του νερού στα αρδευτικά δίκτυα της πεδιάδας Θεσσαλονίκης – Γιαννιτσών την έχει αναλάβει ο Γενικός Οργανισμός Εγγείων Βελτιώσεων (ΓΟΕΒ) Θεσσαλονίκης – Λαγκαδά. Από την πλευρά τους, οι Τοπικοί Οργανισμοί Εγγείων Βελτιώσεων (ΤΟΕΒ), οι οποίοι υπάγονται στην εποπτεία του ΓΟΕΒ, διανέμουν τις επιμέρους ποσότητες νερού στα τοπικά δίκτυα.

Η διανομή του νερού στα ανοιχτά δίκτυα άρδευσης πραγματοποιείται βάσει των αιτημάτων των καλλιεργητών. Οι ενδιαφερόμενοι αγρότες απευθύνονται στα αρμόδια όργανα του ΤΟΕΒ, τα οποία, σε συνεργασία με τη διοίκηση του οργανισμού, προσδιορίζουν την απαιτούμενη παροχή νερού.



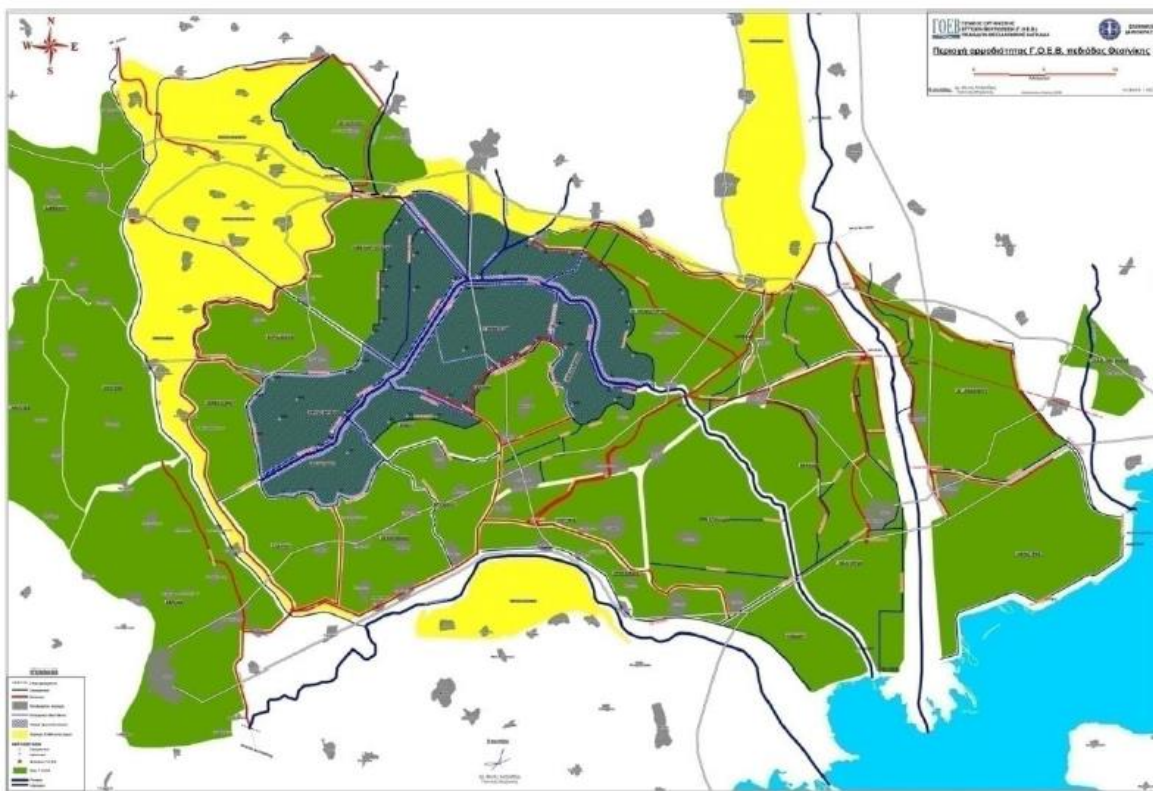
Χάρτης 6 - Αρδευτικά δίκτυα πεδιάδας Θεσσαλονίκης ανά πηγή υδροδότησης και τύπο δικτύου
(Γεωργίου Δ., 2019)

Τα κλειστά αρδευτικά δίκτυα διέπονται από το καθεστώς της ελεύθερης ζήτησης, βάσει του οποίου παρέχεται θεωρητικά η δυνατότητα άμεσης υδροδότησης των καλλιεργειών κατ' επιλογή του παραγωγού. Η παροχευτική ικανότητα των κύριων αγωγών σχεδιάζεται με στατιστικά κριτήρια, συνυπολογίζοντας την πιθανότητα ταυτόχρονης λειτουργίας ενός

αριθμού υδροληψιών κατά τις περιόδους μέγιστης κατανάλωσης. Το σύστημα αυτό αποδίδει καλύτερα σε κλειστά υπόγεια δίκτυα με πίεση. Προτείνεται για περιοχές με μικρό ιδιοκτησιακό κλήρο όπου ο αναδασμός κρίνεται ανέφικτος, με τυπικό παράδειγμα τις εκτάσεις που καλύπτονται από πολυετείς καλλιέργειες (Μπαλιώτη Β., 2009).

2.1.3 Το αρδευτικό δίκτυο της πρώην λίμνης των Γιαννιτσών

Η περιοχή της πρώην λίμνης των Γιαννιτσών περιλαμβάνει έκταση καθαρή αρδευόμενη 164.000 στρέμματα περίπου. Η άρδευση στην έκταση αυτή πραγματοποιείται με μέσω καταίωσης. Το σύστημα επιλέχθηκε λόγω της περιεκτικότητας των εδαφών σε τύρφη. Αποτελείται από ένα συγκρότημα αντλιοστασίων, το δίκτυο σωληνώσεων και τους εκτοξευτήρες (Κωνσταντινίδης Κ., 1975).



Χάρτης 7 - Συνολικό αρδευτικό δίκτυο ΓΟΕΒ Πεδιάδας Θεσσαλονίκης-Γιαννιτσών, με σκούρο μπλε χρώμα φαίνεται η επιφάνεια του υπόγειου δικτύου (Γοριδάρη Δ., 2023)

Σήμερα, το δίκτυο αποτελείται από 6 αντλιοστάσια στράγγισης, τα οποία εξυπηρετούν την αντιπλημμυρική προστασία της περιοχής, καθώς και από 46 αντλιοστάσια άρδευσης,

εξοπλισμένα με δίκτυο καταιονισμού και σύστημα αυτόματης λειτουργίας σε συνθήκες ελεύθερης ζήτησης (Κωνσταντινίδης Κ., 1989). Το δίκτυο διανομής είναι κλειστού τύπου και υπόγειας εγκατάστασης, κατασκευασμένο από αμιαντοσιμεντοσωλήνες, ενώ προβλέπεται ένα σημείο υδροληψίας ανά 30 στρέμματα καλλιεργούμενης γης.

Η αποπεράτωση του υπόγειου δικτύου πραγματοποιήθηκε το 1989, επιτρέποντας την άρδευση μιας συνολικής ακαθάριστης έκτασης της τάξης των 174.000 στρεμμάτων. Το υπό εξέταση δίκτυο, το οποίο αναπτύσσεται εντός των ορίων των νομών Πέλλας, Ημαθίας και Θεσσαλονίκης, βασίζει την τροφοδοσία του στους υδάτινους πόρους των φραγμάτων του Αξιού και του Αλιάκμονα (Γοριδάρη Δ., 2023).

Από το δίκτυο αυτό τροφοδοτούνται οι εξής Τοπικοί Οργανισμοί Εγγείων Βελτιώσεων (ΤΟΕΒ) που παρουσιάζονται στον Πίνακα 2

Πίνακας 3 - Κατανομή εκτάσεων και πηγών υδροδότησης ανά ΤΟΕΒ του υπόγειου δικτύου (ΓΟΕΒ, 2026)

Τοπικός Οργανισμός (ΤΟΕΒ)	Πηγή Υδροδότησης (Ποταμός)	Έκταση (Στρέμματα)	Περιοχή / Δίκτυο
Μικρού Μοναστηρίου	Αξιός	16.943	Ζορμπά και Τσέκρε
Γιαννιτσών	Αλιάκμονας & Αξιός	43.500	Τσέκρε, Χαμηλή Σχοινά και Τρίγωνο
Καρυώτισσας	Αλιάκμονας	23.100	Μπάλιτσας
Κρύας Βρύσης	Αλιάκμονας	23.000	Κρύας Βρύσης
Π. Σκυλιτσίου	Αλιάκμονας	16.800	Καβάσιλα
Νησίου	Αλιάκμονας	9.776	Νησίου Β΄
Σχοινά	Αλιάκμονας	12.098	Χαμηλή Σχοινά
Αλεξάνδρειας	Αλιάκμονας	14.625	Νιχωρίου

Τα τεχνικά μεγέθη και οι προδιαγραφές του υπόγειου δικτύου παρατίθενται στον ακόλουθο πίνακα (Πιν. 3). Σημειώνεται ότι από τα δεδομένα εξαιρούνται τα τρία αντλιοστάσια της περιοχής Καβασιλών, η κατασκευή των οποίων είχε ολοκληρωθεί σε προγενέστερο στάδιο των εγχειοβελτιωτικών έργων.

Πίνακας 4 - Τεχνικά χαρακτηριστικά υπόγειου δικτύου (ΓΟΕΒ., 2026)

Χαρακτηριστικό / Υποδομή	Ποσότητα / Τιμή	Μονάδα Μέτρησης
Εκτάσεις		
Ακαθάριστη έκταση δικτύου	174.000	στρέμματα
Καθαρή έκταση δικτύου	155.000	στρέμματα
Μήκη Δικτύων		
Συνολικό μήκος διωρύγων προσαγωγής νερού	76.000	μέτρα
Συνολικό μήκος υπογείου δικτύου σωληνώσεων	680.000	μέτρα
Μήκος στραγγιστικού δικτύου	700.000	μέτρα
Μήκος αγροτικού οδικού δικτύου	835.000	μέτρα
Μήκος ασφαλοστρωμένου οδικού δικτύου	40.000	μέτρα
Δεξαμενές & Τεχνικά Έργα		
Δεξαμενές συγκέντρωσης νερού	16	τεμάχια
Συνολική χωρητικότητα δεξαμενών	256.000	κυβικά μέτρα (m ³)
Γέφυρες (ανοιγμάτων 10-33 μέτρων)	8	τεμάχια
Κέντρο ελέγχου	1	τεμάχιο
Υποδομές Άρδευσης		
Αντλιοστάσια άρδευσης	43	τεμάχια
Αντλητικά συγκροτήματα άρδευσης	195	τεμάχια
Υδροληψίες άρδευσης	2.750	τεμάχια
Παροχή κάθε αντλίας αντλιοστασίου άρδευσης	92 - 150	λίτρα / δευτερόλεπτο (l/sec)
Συνολική ικανότητα παροχής ύδατος αντλιοστασίων άρδευσης	76.000	κυβικά μέτρα / ώρα (m ³ /h)
Συνολική εγκατεστημένη ισχύς αντλιών άρδευσης	23.000	KW
Πίεση λειτουργίας αντλιοστασίων άρδευσης	6 - 8	ατμόσφαιρες (atm)
Μέση ειδική παροχή 18ώρου	0,08	λίτρα / δευτερόλεπτο / στρέμμα (l/sec/στρ.)
Υποδομές Στράγγισης		
Αντλιοστάσια στράγγισης	6	τεμάχια
Αντλητικά συγκροτήματα αποστράγγισης (παροχής 1.200-2.200 m ³ /h)	18	τεμάχια

Στον παρακάτω πίνακα που ακολουθεί αναφέρονται οι συντεταγμένες των αντλιοστασίων του υπόγειου δικτύου του ΓΟΕΒ πεδιάδων Θεσσαλονίκης – Λαγκαδά.

Πίνακας 5 - Συντεταγμένες Αντλιοστασίων Υπόγειου Δικτύου (ΓΟΕΒ, 2026)

A/A	Τομέας	Αντλιοστάσιο	Συντεταγμένη Χ	Συντεταγμένη Ψ
1	Αξιού	Z1	374521	4508584
2	Αξιού	Z2	374836	4507003
3	Αξιού	Z3	374573	4505603
4	Αξιού	T4	371922	4510961
5	Αξιού	T5	373113	4510127
6	Γιαννιτσών	T1	367573	4511378
7	Γιαννιτσών	T2	369069	4511386
8	Γιαννιτσών	T3	371155	4511144
9	Γιαννιτσών	Γ1	362001	4514625
10	Γιαννιτσών	Γ2	362257	4513034
11	Αλιάκμονα	Σ4	366461	4504027
12	Αλιάκμονα	Σ5	367170	4504527
13	Αλιάκμονα	Σ6	367762	4504849
14	Αλιάκμονα	Σ7	369031	4506614
15	Αλιάκμονα	Σ8	370050	4506582
16	Αλιάκμονα	Σ9	365187	4505332
17	Γιαννιτσών	M1	359828	4506361
18	Γιαννιτσών	M2	360208	4506733
19	Γιαννιτσών	M3	360238	4508416
20	Γιαννιτσών	M4	362048	4508517
21	Γιαννιτσών	M5	360559	4509694
22	Γιαννιτσών	M6	361794	4510634
23	Γιαννιτσών	M7	361299	4512814
24	Γιαννιτσών	M8	362523	4512583
25	Γιαννιτσών	KB1	353076	4499793
26	Γιαννιτσών	KB2	353010	4502511
27	Γιαννιτσών	KB3	354503	4501235
28	Γιαννιτσών	KB4	354017	4503873

29	Γιαννιτσών	KB5	355639	4502627
30	Γιαννιτσών	KB6	357496	4503925
31	Γιαννιτσών	KB7	358486	4504372
32	Αλιάκμονα	K1	354520	4496975
33	Αλιάκμονα	K2	355988	4497078
34	Αλιάκμονα	A1	357981	4497586
35	Αλιάκμονα	A2	359834	4498293
36	Αλιάκμονα	A3	358331	4499440
37	Αλιάκμονα	N1	360790	4501167
38	Αλιάκμονα	N2	361815	4501578
39	Αλιάκμονα	N3	363445	4501563
40	Αλιάκμονα	Σ1	362944	4502873
41	Αλιάκμονα	Σ2	364210	4502314
42	Αλιάκμονα	Σ3	365125	4501925
43	Αλιάκμονα	NX1	373187	4502302
44	Αλιάκμονα	NX2	370980	4502174
45	Αλιάκμονα	NX3	370666	4505467
46	Αλιάκμονα	NX4	363123	4506902

Στον ακόλουθο Πίνακα 5 παρατίθενται τα χαρακτηριστικά στοιχεία των 46 αρδευτικών αντλιοστασίων. Η επιχειρησιακή τους ικανότητα ανά μονάδα παρουσιάζει εύρος από 2.266 έως 6.658 καθαρά στρέμματα, με την ονομαστική μέση τιμή εξυπηρέτησης να διαμορφώνεται στα 3.570 στρέμματα.

Πίνακας 6 - Χαρακτηριστικά αντλιών των 46 αντλιοστασίων άρδευσης της πρώην λίμνης Γιαννιτσών (Κωνσταντίνιδης Κ., 1989)

A/A	Ονομασία	Μον.	Παροχή ανά μονάδα (l/sec)	Συνολική Παροχή (l/sec)	Μανομετρικό σε m	Ισχύς ανά μονάδα (KW)	Συνολική Ισχύς (KW)	Ακαθάριστη έκταση (στρ.)	Καθαρή έκταση (στρ.)
1.	Νησίου N1	5	110	550	58	110	550	3.814	3.333
2.	Νησίου N2	5	110	550	58	110	550	4.647	4.061
3.	Νησίου N3	3	110	330	58	110	330	2.726	2.382
	Σύνολο Νησίου	13	—	1430	—	—	1430	11.187	9.776

4.	Καβασιλών Α1	2 3	44 133	400	40	30 90	330	3.970	3.118
5.	Καβασιλών Α2	2 3	44 133	400	40	30 90	330	3.860	3.808
6.	Καβασιλών Α3	2 3	44 133	400	40	30 90	330	3.970	3.528
7.	Καβασιλών Κ1	4	104	420	60	110	440	3.100	2.805
8.	Καβασιλών Κ2	5	104	520	60	110	550	3.900	3.528
	Σύνολο Καβασιλών	24	—	2140	—	—	1980	18.800	16.787
9.	Χαμ. Σχοινιά Σ1	6	104	620	60	110	660	5.170	4.614
10.	Χαμ. Σχοινιά Σ2	5	104	520	60	110	550	5.300	4.624
11.	Χαμ. Σχοινιά Σ3	4	104	420	60	110	440	3.200	2.860
12.	Χαμ. Σχοινιά Σ4	5	150	750	60	132	660	5.800	5.013
13.	Χαμ. Σχοινιά Σ5	6	104	620	60	110	660	5.000	4.402
14.	Χαμ. Σχοινιά Σ6	6	104	620	60	110	660	4.790	4.148
15.	Χαμ. Σχοινιά Σ7	5	104	520	60	110	550	4.610	4.083
16.	Χαμ. Σχοινιά Σ8	5	104	520	60	110	550	4.350	3.589
17.	Χαμ. Σχοινιά Σ9	4	104	420	60	110	440	3.100	2.700
	Σύνολο Χαμ. Σχοινιά	46	—	5020	—	—	5170	41.320	36.033
18.	Νιχωρίου ΝΧ1	3	110	330	58	110	330	2.690	2.370
19.	Νιχωρίου ΝΧ2	5	110	550	58	110	550	4.487	3.961
20.	Νιχωρίου ΝΧ3	5	110	550	58	110	550	4.194	3.704
21.	Νιχωρίου ΝΧ4	6	104	620	60	110	660	5.200	4.584
	Σύνολο Νιχωρίου	19	—	2050	—	—	2090	16.571	14.625
22.	Κρύας Βρύσης ΚΒ1	5	92	460	79	110	550	4.340	3.817
23.	Κρύας Βρύσης ΚΒ2	4	97	390	77	110	440	3.961	3.485
24.	Κρύας Βρύσης ΚΒ3	5	92	460	79	110	550	4.264	3.752
25.	Κρύας Βρύσης ΚΒ4	4	92	370	79	110	440	3.477	3.059
26.	Κρύας Βρύσης ΚΒ5	6	92	550	79	110	660	5.046	4.438
27.	Κρύας Βρύσης ΚΒ6	5	92	460	79	110	550	3.927	3.455
28.	Κρύας Βρύσης ΚΒ7	5	92	460	79	110	550	4.596	4.042

	Σύνολο Κρ. Βρύσης	34	—	3150	—	—	3740	29.611	26.048
29.	Μπαλίτσας Μ1	4	97	390	77	110	440	3.937	3.448
30.	Μπαλίτσας Μ2	5	90	450	79	110	550	4.072	3.564
31.	Μπαλίτσας Μ3	4	90	360	79	110	440	2.901	2.540
32.	Μπαλίτσας Μ4	3	97	300	77	110	330	2.963	2.592
33.	Μπαλίτσας Μ5	4	90	360	79	110	440	3.253	2.848
34.	Μπαλίτσας Μ6	4	97	390	77	110	440	3.622	3.171
35.	Μπαλίτσας Μ7	3	90	270	79	110	330	2.615	2.290
36.	Μπαλίτσας Μ8	4	97	390	77	110	440	3.442	3.012
	Σύνολο Μπαλιτσας	31	—	2910	—	—	3410	26.805	23.463
37.	Γιαννιτσών Γ1	5	107	530	72	110	550	5.960	5.191
38.	Γιαννιτσών Γ2	6	107	640	72	110	660	7.675	6.658
	Σύνολο Γιαννιτσών	11	—	1270	—	—	1210	13.635	11.849
39.	Ζορμπά Ζ1	3	110	330	58	110	330	2.870	2.583
40.	Ζορμπά Ζ2	6	110	660	60	104	620	5.090	4.581
41.	Ζορμπά Ζ3	5	110	550	58	110	550	4.720	4.248
	Σύνολο Ζορμπά	14	—	1540	—	—	1540	12.680	11.412
42.	Τσεκρέ Τ1	4	110	440	58	110	440	2.540	2.286
43.	Τσεκρέ Τ2	4	110	440	58	110	440	4.250	3.826
44.	Τσεκρέ Τ3	3	110	330	58	110	330	2.518	2.266
45.	Τσεκρέ Τ4	4	110	440	58	110	440	3.183	2.864
46.	Τσεκρέ Τ5	3	110	330	58	110	330	2.964	2.667
	Σύνολο Τσεκρέ	18	—	1980	—	—	1980	15.455	13.909
	ΓΕΝΙΚΟ ΣΥΝΟΛΟ	210		21490			22550	186.064	163.902

2.2 Ανάλυση πιεζομετρικής εικόνας

Λόγω της αυξημένης ζήτησης νερού κατά τις περιόδους αιχμής, η οποία υπερβαίνει τη μεταφορική ικανότητα του υφιστάμενου δικτύου, κατέστη αναγκαία η ανάπτυξη ενός εκτεταμένου συστήματος υδροληψιών. Το δίκτυο αυτό αποτελείται από δημόσιες και ιδιωτικές γεωτρήσεις, οι οποίες λειτουργούν συμπληρωματικά για την κάλυψη των αρδευτικών αναγκών της περιοχής (Α.Δ.Μ.Θ., 2026).

Ιστορικά, ο επιφανειακός υδροφόρος ορίζοντας τύγγανε έντονης εκμετάλλευσης μέσω πολυάριθμων γεωτρήσεων μικρού βάθους 10 έως 20 m. Οι αποδόσεις αυτών των σημείων υδροληψίας ήταν αξιόλογες, με τις παροχές άντλησης να κυμαίνονται μεταξύ 10 και 20 m³/h. Τα τελευταία χρόνια, αυτή η εκμετάλλευση έχει σταματήσει λόγω της εκτεταμένης άντλησης από βαθιές υδρογεωτρήσεις και της συνεχιζόμενης μείωσης της στάθμης των υδροφόρων στρωμάτων (Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων. χ.χ.).

Σύμφωνα με τη Ράπτη Δ. (1996), η κύρια υδροφορία της περιοχής αναπτύσσεται εντός του ηφαιστειακού σχηματισμού, ενώ η συμβολή των τεταρτογενών αποθέσεων στις παροχές των υδρογεωτρήσεων είναι περιορισμένη έως αμελητέα. Οι παροχές των υδρογεωτρήσεων κυμαίνονται μεταξύ 55 και 240 m³/h, ενώ το βάθος τους κυμαίνεται από 80 έως 200 m.

Ωστόσο, κατά τόπους, η εκμετάλλευση των υδατικών πόρων επεκτείνεται σε βαθύτερα στρώματα, φτάνοντας έως και τα 240 μέτρα. Το υδρογεωλογικό περιβάλλον της περιοχής παρουσιάζει υψηλή ετερογένεια, η οποία οφείλεται στην πολυστρωματική δομή των αποθέσεων.

Στο στάδιο της συλλογής στοιχείων για την αποτύπωση του πιεζομετρικού καθεστώτος της περιοχής μελέτης, πραγματοποιήθηκε επικοινωνία το τμήμα Διεύθυνσης Υδάτων της Αποκεντρωμένης Διοίκησης Μακεδονίας Θράκης (Α.Δ.Μ.Θ.). Από την επικοινωνία αυτή προέκυψε ότι δεν υπάρχουν διαθέσιμα στοιχεία σχετικά με το υψόμετρο της στάθμης του υπόγειου νερού. Η έλλειψη αυτή αφορά το σύνολο του δικτύου, τόσο των δημόσιων όσο και ιδιωτικών υδροσημείων της περιοχής.

Παρ' όλα αυτά, η υδρογεωλογική μελέτη της περιοχής βασίστηκε σε δεδομένα από δεκαέξι (16) υδροσημεία παρατήρησης. Τα υδροσημεία αυτά είναι ενταγμένα στο Δίκτυο Παρακολούθησης Υπόγειων Νερών της Ελλάδας (ΔΠΥΝΕ) και παρακολουθούνται συστηματικά από την Ελληνική Αρχή Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών

(Ε.Α.Γ.Μ.Ε.), συμβάλλοντας στην καταγραφή των ποσοτικών και ποιοτικών χαρακτηριστικών των υπόγειων υδάτων.



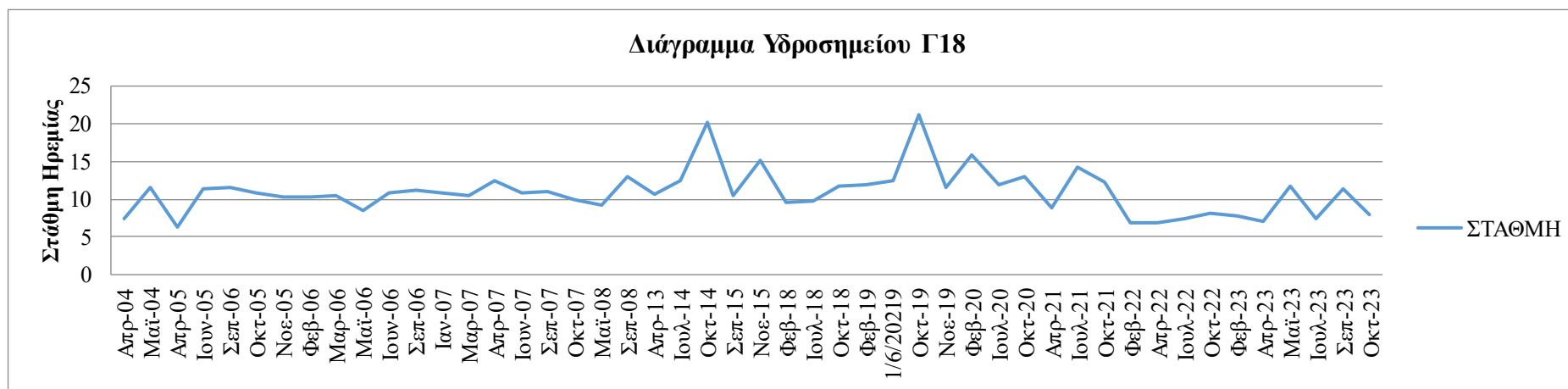
Χάρτης 8 - Υδρογεωτρήσεις δικτύου παρακολούθησης στην περιοχή μελέτης

Τα υδροσημεία που χρησιμοποιήθηκαν για την μελέτη του κάμπου των Γιαννιτσών είναι:

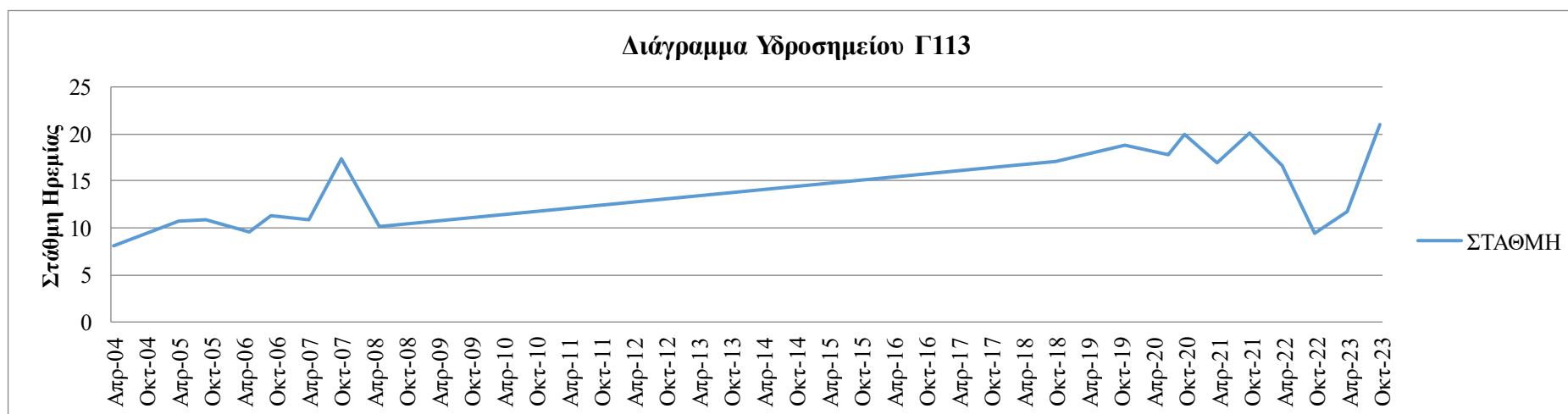
1. Γ18 – Σκύδρα
2. Γ113 – Αγγελοχώρι
3. Γ52 – Άνυδρο
4. Γ11 – Άσπρο
5. H133A – Άγιος Γεώργιος
6. Γ60 – Παλαίφυτο
7. ΓΘ17 – Παλαιός Μυλότοπος
8. 10/Γ2 – Κρύα Βρύση
9. Γ5A – Γιαννιτσά
10. Γ42 – Παραλίμνη
11. H182 – Νεοχώρι
12. 200 – Πέλλα
13. H194 – Λουδίας

- 14. 18 – Πλατύ
- 15. Η245Α – Πλατύ
- 16. ΤΓ16 – Κουφάλια

Η επεξεργασία των δεδομένων στάθμης ηρεμίας που συλλέχθηκαν από τη Γεωπύλη Δεδομένων της Ε.Α.Γ.Μ.Ε. για τα υδροσημεία της περιοχής μελέτης οδήγησε στην παραγωγή των παρακάτω διαγραμμάτων, τα οποία παρουσιάζουν την εξέλιξη των πιεζομετρικών συνθηκών του υδροφορέα.



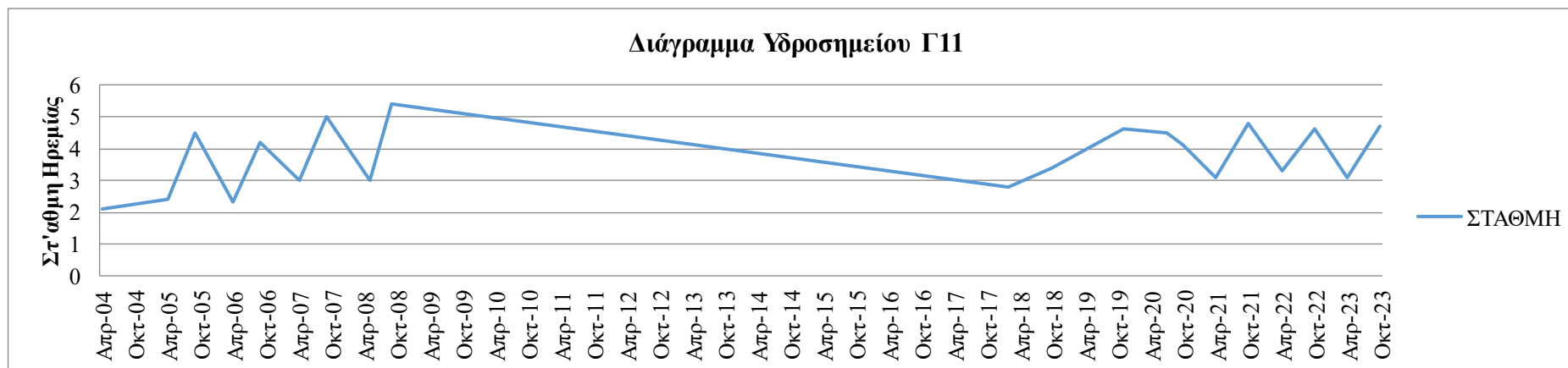
Διάγραμμα 1 - Διακύμανση στάθμης ηρεμίας - χρόνου υδροσημείου Σκύδρας



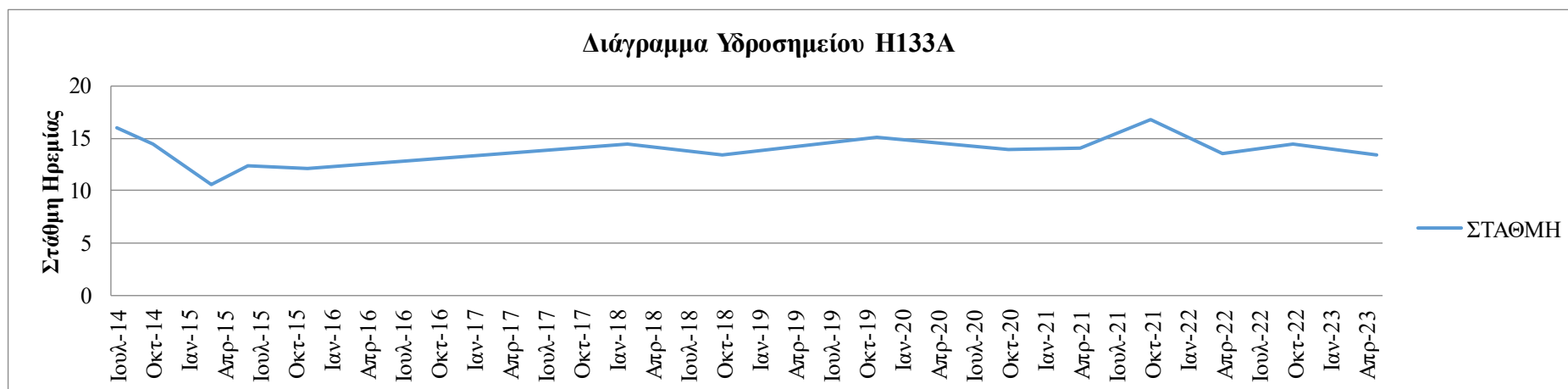
Διάγραμμα 2 - Διακύμανση στάθμης ηρεμίας - χρόνου υδροσημείου Αγγελοχωρίου



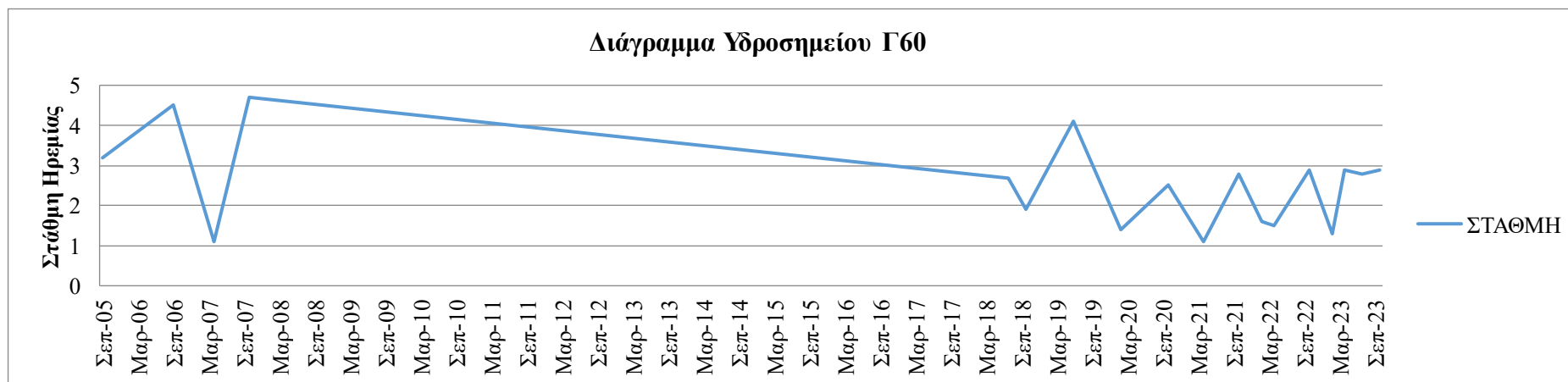
Διάγραμμα 3 - Διακύμανση στάθμης ηρεμίας - χρόνου υδροσημείου Άνυδρου



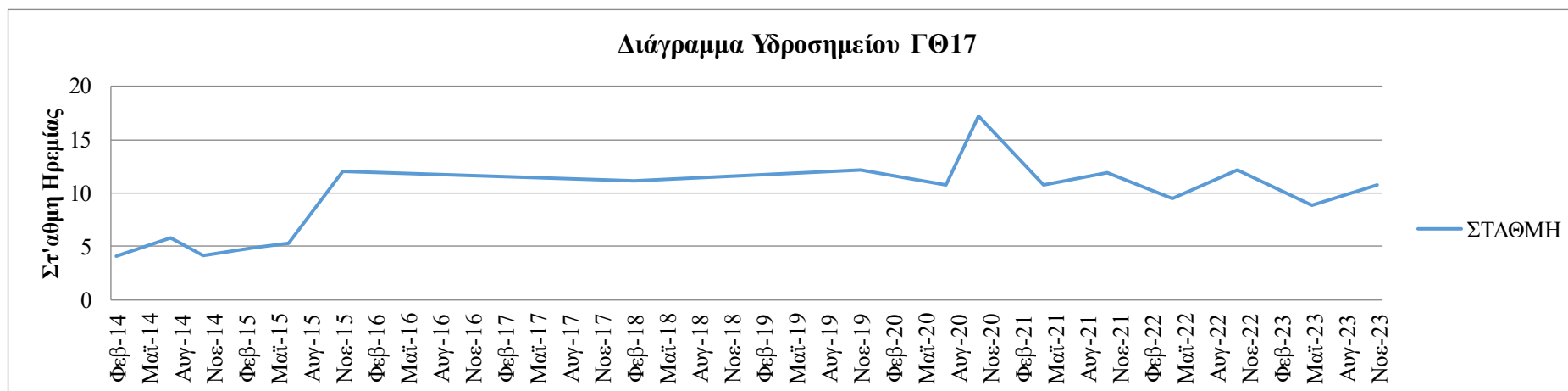
Διάγραμμα 4 - Διακύμανση στάθμης ηρεμίας - χρόνου υδροσημείου Άσπρου



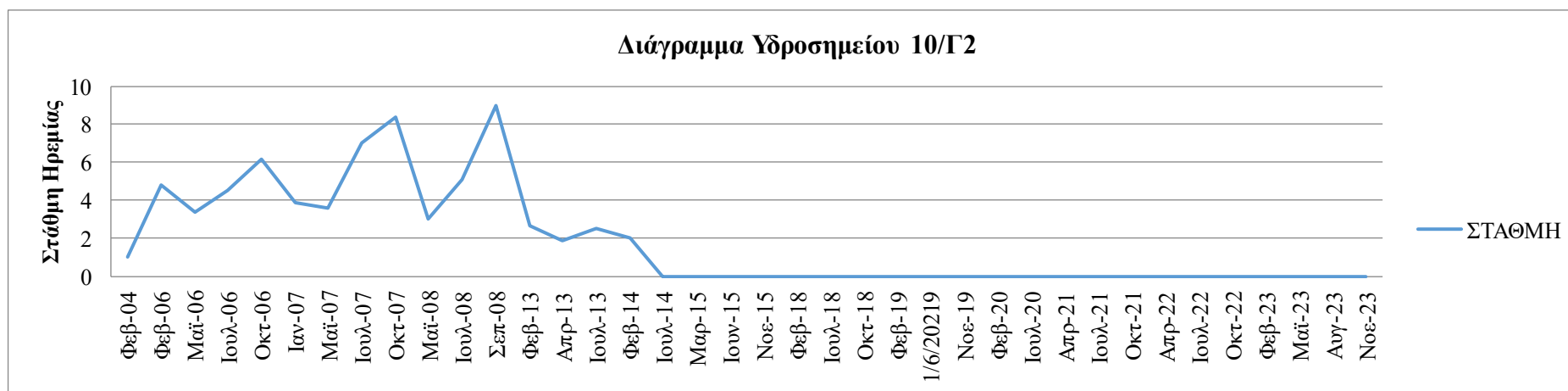
Διάγραμμα 5 - Διακύμανση στάθμης ηρεμίας - χρόνου υδροσημείου Παλαίφυτου



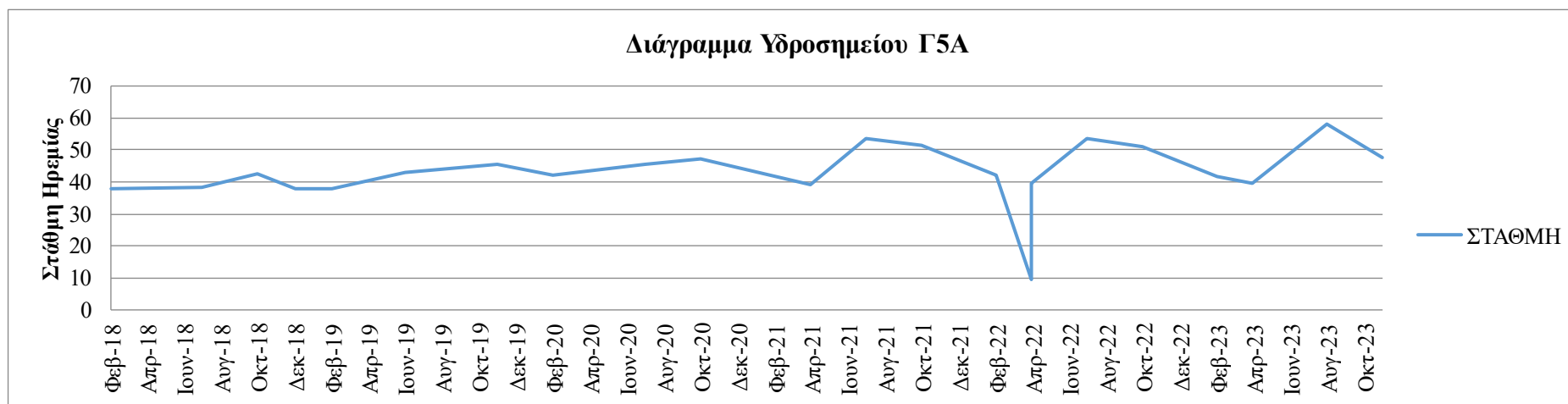
Διάγραμμα 6 - Διακύμανση στάθμης ηρεμίας - χρόνου υδροσημείου Αγίου Γεωργίου



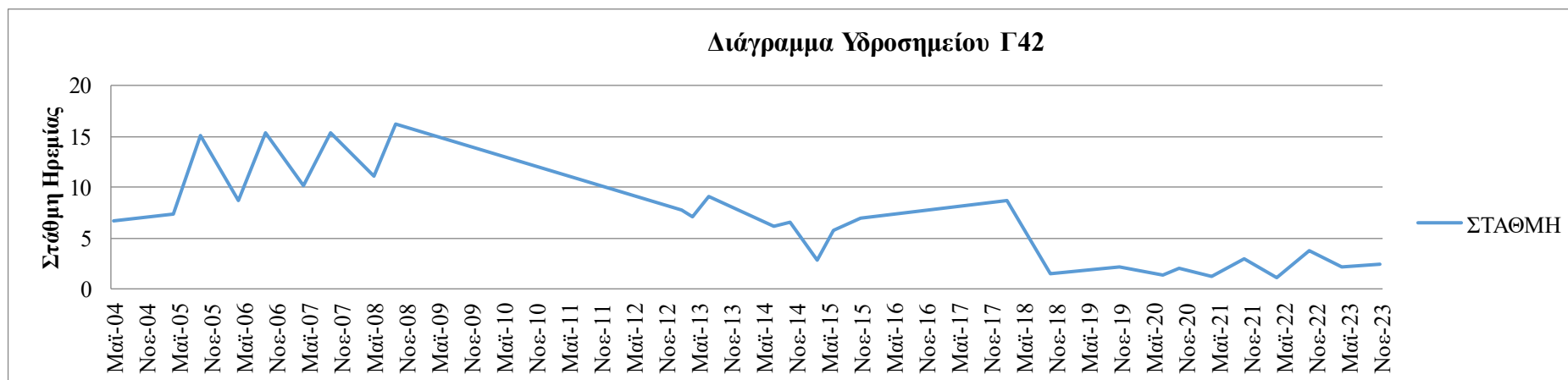
Διάγραμμα 7 - Διακύμανση στάθμης ηρεμίας - χρόνου υδροσημείου Παλαιού Μυλότοπου



Διάγραμμα 8 - Διακύμανση στάθμης ηρεμίας - χρόνου υδροσημείου Κρύας Βρύσης



Διάγραμμα 9 - Διακύμανση στάθμης ηρεμίας - χρόνου υδροσημείου Γιαννιτσών



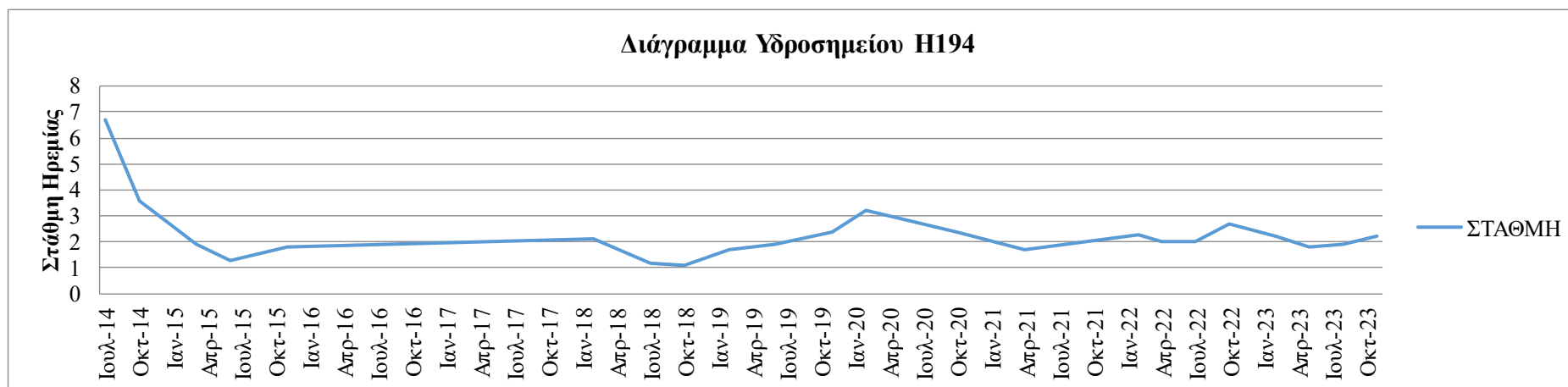
Διάγραμμα 10 - Διακύμανση στάθμης ηρεμίας - χρόνου υδροσημείου Παραλίμνης



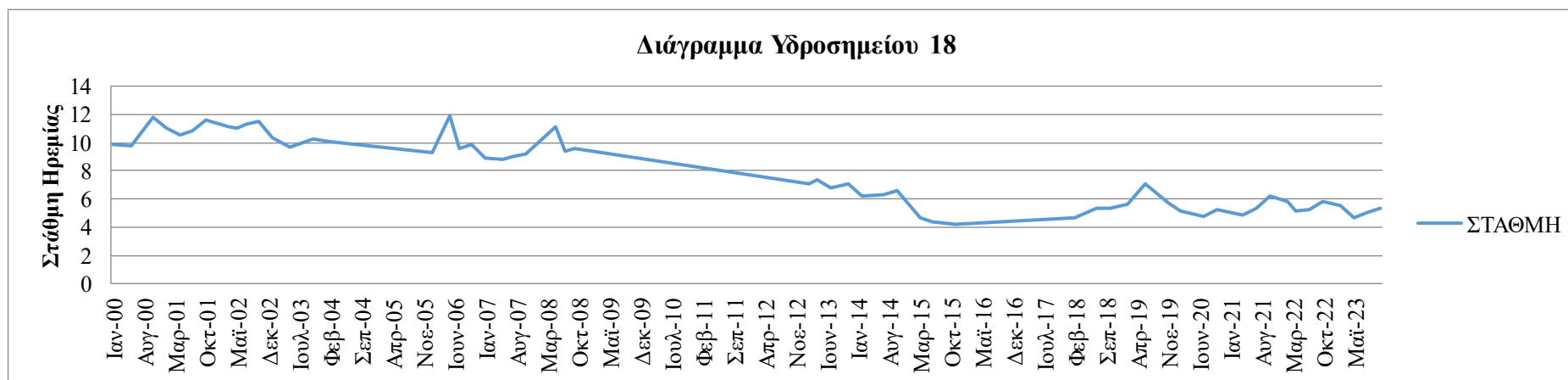
Διάγραμμα 11 - Διακύμανση στάθμης ηρεμίας - χρόνου υδροσημείου Νεοχωρίου



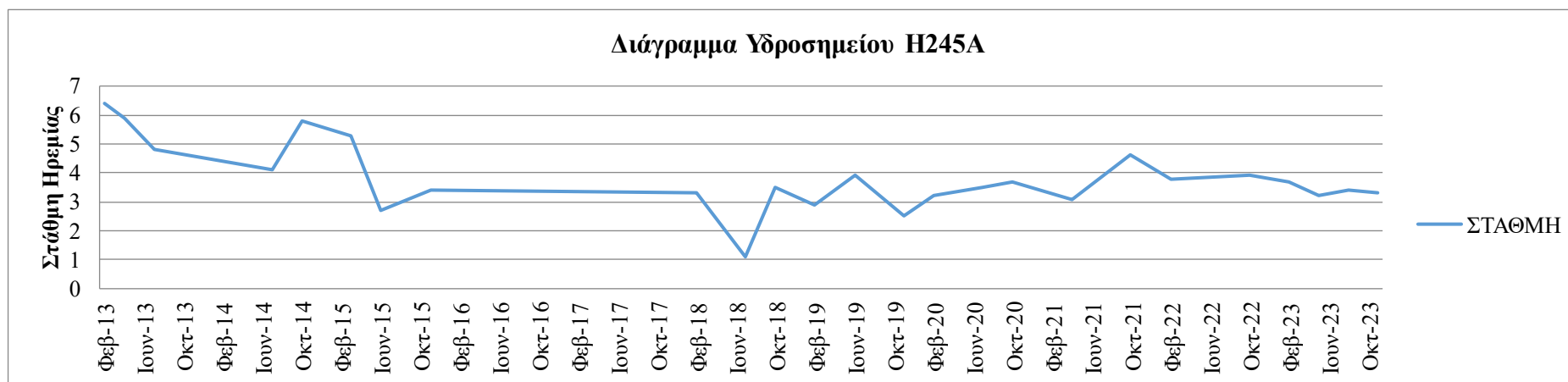
Διάγραμμα 12 - Διακύμανση στάθμης ηρεμίας - χρόνου υδροσημείου Πέλλας



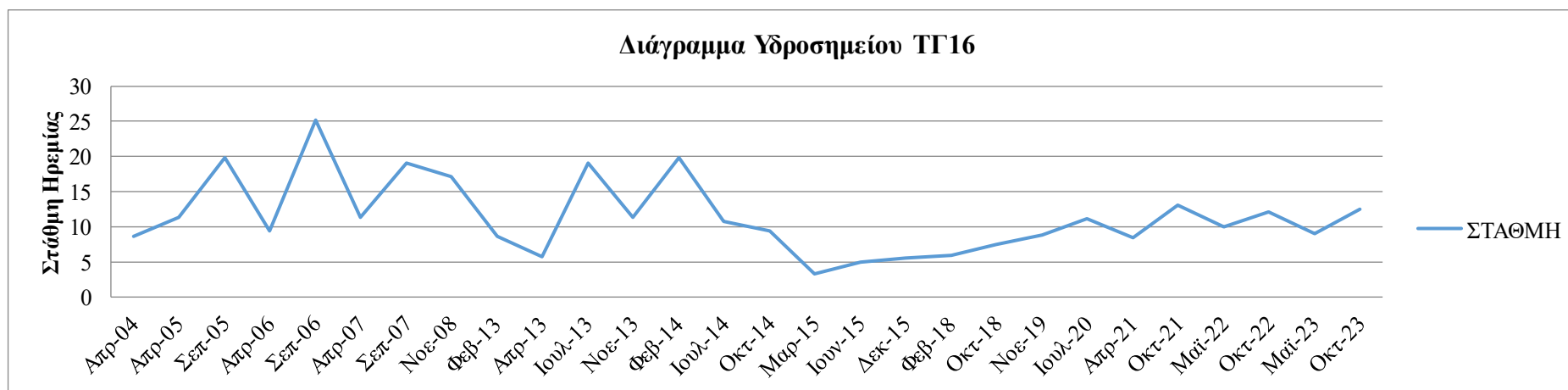
Διάγραμμα 13 - Διακόμανση στάθμης ηρεμίας - χρόνου υδροσημείου Λουδία



Διάγραμμα 14 - Διακόμανση στάθμης ηρεμίας - χρόνου υδροσημείου Πλατύ



Διάγραμμα 15 - Διακύμανση στάθμης ηρεμίας - χρόνου υδροσημείου Πλατύ



Διάγραμμα 16 - Διακύμανση στάθμης ηρεμίας - χρόνου υδροσημείου Κουφαλίων

Γενικά, οι περισσότερες υδρογεωτρήσεις εμφανίζουν εποχικές και διαχρονικές διακυμάνσεις της στάθμης, οι οποίες συνδέονται με τις μεταβολές της τροφοδοσίας των υδροφορέων, τις κλιματικές συνθήκες και την ένταση των αντλήσεων για αρδευτική χρήση. Παρά τις επιμέρους διακυμάνσεις, δεν παρατηρείται γενικευμένη και συνεχής πτωτική τάση σε ολόκληρη την περιοχή, γεγονός που υποδηλώνει ότι οι υδροφορείς εξακολουθούν να αναπληρώνονται σε ικανοποιητικό βαθμό.

Τα υδροσημεία στις περιοχές του Αγγελοχωρίου, του Άσπρου, των Γιαννιτσών και του Παλαιού Μυλότοπου παρουσιάζουν συνολικά ανοδική τάση της στάθμης κατά την περίοδο παρακολούθησης, στοιχείο που υποδηλώνει ευνοϊκές συνθήκες τροφοδοσίας και διατήρησης θετικού υδατικού ισοζυγίου. Ιδιαίτερα στην περιοχή του Αγγελοχωρίου εμφανίζεται αύξηση της στάθμης από περίπου 8 μέτρα, στις αρχικές μετρήσεις, σε τιμές που υπερβαίνουν τα 20 μέτρα στις πρόσφατες καταγραφές.

Αντίθετα, στις περιοχές Παραλίμνη, Πλατύ, Λουδία, Σκύδρα και Άνυδρο καταγράφεται ήπια έως μέτρια πτωτική τάση, η οποία είναι πιθανό να σχετίζεται με την εντατική εκμετάλλευση των υπόγειων υδάτων και τις αυξημένες αρδευτικές απαιτήσεις των περιοχών. Ωστόσο η πτώση αυτή εμφανίζει μόνιμα χαρακτηριστικά εξάντλησης του υδροφορέα.

Το υδροσημείο στην ευρύτερη περιοχή των Κουφαλίων παρουσιάζει σημαντικές διακυμάνσεις μεταξύ των διαδοχικών μετρήσεων, με τιμές που κυμαίνονται από περίπου 3 έως 25 μέτρα. Η συμπεριφορά αυτή υποδηλώνει έντονη ευαισθησία του συγκεκριμένου υδροφορέα στις μεταβολές της τροφοδοσίας και στις τοπικές συνθήκες άντλησης.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι περιοχές Άγιος Γεώργιος, Πέλλα, Παλαίφυτο και Νεοχώρι, όπου οι μεταβολές της στάθμης είναι περιορισμένες και οι τιμές παραμένουν σχετικά σταθερές καθ' όλη τη διάρκεια της περιόδου παρακολούθησης. Η εικόνα αυτή υποδηλώνει μεγαλύτερη υδρογεωλογική σταθερότητα και μικρότερη επίδραση από εξωτερικές πιέσεις.

Στα περισσότερα διαγράμματα καταγράφονται περιοδικές διακυμάνσεις της στάθμης, οι οποίες αντανακλούν την αλληλεπίδραση μεταξύ τροφοδοσίας και αντλήσεων. Κατά τις περιόδους αυξημένων βροχοπτώσεων και μειωμένης άρδευσης παρατηρείται συνήθως ανάκαμψη της στάθμης, ενώ κατά τις ξηρές περιόδους και την αρδευτική περίοδο καταγράφονται μειώσεις.

Η συνολική αξιολόγηση των πιεζομετρικών δεδομένων δείχνει ότι το υπόγειο υδροφόρο σύστημα του κάμπου των Γιαννιτσών βρίσκεται σε σχετικά ικανοποιητική κατάσταση. Παρότι σε επιμέρους περιοχές παρατηρούνται πτωτικές τάσεις, η πλειονότητα των υδροσημείων παρουσιάζει είτε σταθερή είτε ήπια μεταβαλλόμενη συμπεριφορά, γεγονός που υποδηλώνει ότι οι υδροφορείς εξακολουθούν να τροφοδοτούνται επαρκώς.

Οι διαφοροποιήσεις που καταγράφονται μεταξύ των υδροσημείων αντανακλούν τη σύνθετη υδρογεωλογική δομή της πεδιάδας, η οποία χαρακτηρίζεται από εναλλαγές αμμωδών, ιλυωδών και αργιλικών αποθέσεων διαφορετικής υδραυλικής συμπεριφοράς. Επιπλέον, η έντονη γεωργική δραστηριότητα της περιοχής επηρεάζει άμεσα το υδατικό ισοζύγιο των υδροφορέων, καθιστώντας αναγκαία τη συνεχή παρακολούθηση της πιεζομετρικής τους κατάστασης και τη λήψη μέτρων ορθολογικής διαχείρισης των υπόγειων υδάτων.

3. Εδαφικές Υποχωρήσεις: Ανάλυση του φαινομένου, των μηχανισμών εμφάνισης του και αντιπροσωπευτικά παραδείγματα από τον ελληνικό και διεθνή χώρο

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται τα φαινόμενα των εδαφικών υποχωρήσεων και αναλύονται οι βασικοί μηχανισμοί που οδηγούν στην εκδήλωσή τους. Επιπλέον, παρουσιάζονται χαρακτηριστικές περιπτώσεις εμφάνισης του φαινομένου τόσο στον ελληνικό όσο και στον διεθνή χώρο, με στόχο την καλύτερη κατανόηση των αιτίων και των επιπτώσεών του.

3.1 Γενικά

Το φαινόμενο των εδαφικών υποχωρήσεων αποτελεί ένα κρίσιμο γεωτεχνικό και περιβαλλοντικό ζήτημα, ιδιαίτερα για περιοχές όπως ο κάμπος των Γιαννιτσών, όπου η διαχείριση του υδροφόρου ορίζοντα είναι ζωτικής σημασίας. Η εδαφική υποχώρηση αποτελεί ένα σημαντικό γεωλογικό φαινόμενο που επηρεάζει τόσο το φυσικό περιβάλλον όσο και τις ανθρώπινες δραστηριότητες. Πρόκειται για τη σταδιακή ή απότομη κατακόρυφη μεταβολή της επιφάνειας του εδάφους, η οποία μπορεί να προκαλέσει σημαντικές ζημιές σε υποδομές και κατασκευές.

Σύμφωνα με τον Ρόζο (2007), ως εδαφική υποχώρηση ορίζεται η κατακόρυφη μείωση του υψομέτρου της επιφάνειας του εδάφους, η οποία μπορεί να προκύψει είτε από μεταβολές στο φορτίο και στη μηχανική αντοχή του εδάφους λόγω απώλειας της υποστήριξης των βαθύτερων στρωμάτων, είτε από τη μείωση της στάθμης του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα που προκαλείται από την εντατική άντληση υπόγειων ρευστών, όπως νερό ή πετρέλαιο. Το φαινόμενο αυτό συνδέεται συχνά τόσο με φυσικές διεργασίες όσο και με ανθρωπογενείς παρεμβάσεις, γεγονός που καθιστά αναγκαία τη συστηματική μελέτη και παρακολούθησή του.

Οι εδαφικές υποχωρήσεις αποτελούν ένα φαινόμενο που μπορεί να εκδηλωθεί μέσω διαφορετικών μηχανισμών και να προκληθεί από ποικίλες αιτίες. Οποιαδήποτε φυσική διεργασία ή ανθρωπογενής παρέμβαση που είναι δυνατόν να διαταράξει την υφιστάμενη ισορροπία του εδάφους ενδέχεται να οδηγήσει στην εμφάνιση καθιζήσεων διαφορετικής κλίμακας και έντασης (Ρόζος & Λουπασάκης, 2012).

Οι βασικότεροι παράγοντες που οδηγούν στην εκδήλωση εδαφικών υποχωρήσεων είναι οι ακόλουθοι:

- a. Η απομάκρυνση ρευστών από το υπέδαφος, η οποία προκαλεί στερεοποίηση των εδαφικών σχηματισμών εξαιτίας μεταβολών στο γεωστατικό πεδίο των τάσεων.
- b. Η οξείδωση οργανικών εδαφών, η οποία προκύπτει ως αποτέλεσμα της πτώσης της στάθμης των υπόγειων υδροφορέων.
- c. Η κατάρρευση υπόγειων κοιλοτήτων που δημιουργούνται μέσω διαβρωτικών διεργασιών, κυρίως σε εβαποριτικά και, σε μικρότερο βαθμό, σε ανθρακικά πετρώματα, είτε λόγω της σταδιακής διάβρωσης είτε λόγω αύξησης των φορτίσεων στην οροφή των κοιλοτήτων.
- d. Η κατάρρευση κοιλοτήτων ανθρωπογενούς προέλευσης, όπως υπόγειες στοές, θάλαμοι μεταλλευτικών εκμεταλλεύσεων ή θύλακες υδρογονανθράκων (Λουπασάκης Κ., 2013).

Στον ελληνικό χώρο, η κυρία αιτία εκδήλωσης εδαφικών υποχωρήσεων συνδέεται με τη μείωση της πιεζομετρικής στάθμης των υπόγειων υδροφορέων, ένα φαινόμενο που αποδίδεται κατά κύριο λόγο σε ανθρωπογενείς παράγοντες, όπως η ανεξέλεγκτη και εντατική άντληση υπόγειων υδάτων. Παράλληλα, δεν αποκλείεται η συμβολή φυσικών διεργασιών που επηρεάζουν τη στάθμη των υδροφορέων. Οι καθιζήσεις αυτές εμφανίζονται συχνά σε περιοχές με έντονη γεωργική ή βιομηχανική δραστηριότητα, καθώς και σε ζώνες με υψηλή οικιστική ανάπτυξη, υπογραμμίζοντας τη στενή αλληλεπίδραση μεταξύ ανθρώπινων παρεμβάσεων και γεωλογικών συνθηκών.

Εν κατακλείδι, η εκδήλωση εδαφικών υποχωρήσεων αποδίδεται σε συνδυασμό φυσικών και ανθρωπογενών παραγόντων, οι οποίοι επηρεάζουν τόσο εδαφικούς όσο και βραχώδεις γεωλογικούς σχηματισμούς. Το φαινόμενο μπορεί να εξελίσσεται με πολύ αργούς ρυθμούς, καθιστώντας τις μεταβολές δυσδιάκριτες, ή να εμφανίζεται με απότομο και ξαφνικό τρόπο, υπό μορφή αιφνίδιων καταρρεύσεων, γεγονός που υπογραμμίζει την πολυπλοκότητα και τον δυναμικό χαρακτήρα του (Ρόζος & Λουπασάκης, 2012).

3.2 Μηχανισμός εκδήλωσης εδαφικών υποχωρήσεων

Όπως επισημαίνουν οι Ρόζος και Λουπασάκης (2012), η πτώση της στάθμης των υπόγειων υδροφορέων προκαλεί αλλαγές στα γεωστατικά φορτία, οι οποίες οδηγούν στη σταδιακή στερεοποίηση των συμπιεστών στρωμάτων και, κατά συνέπεια, στην εκδήλωση εδαφικών υποχωρήσεων.

Ειδικότερα, η πτώση της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα συνεπάγεται την αντίστοιχη ελάττωση των υδροστατικών πιέσεων, γεγονός που οδηγεί σε αύξηση των ενεργών τάσεων στο εσωτερικό του εδάφους. Μέσω αυτής της διαδικασίας, τα γεωστατικά φορτία μεταφέρονται σταδιακά στον σκελετό του εδάφους. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα οι σχηματισμοί που βρίσκονταν σε κανονική στερεοποίηση να μετατρέπονται πλέον σε στρώματα που βρίσκονται υπό ενεργή στερεοποίηση. Αυτή η μηχανική μεταβολή είναι που προκαλεί τελικά τις παρατηρούμενες κατακόρυφες παραμορφώσεις στην επιφάνεια (Ρόζος & Λουπασάκης, 2012).

Οι εδαφικές υποχωρήσεις που οφείλονται στην εντατική άντληση υπογείων υδάτων εκδηλώνονται συνήθως σε αλλουβιακές αποθέσεις με κανονική ή περιορισμένη υπερστερεοποίηση. Οι σχηματισμοί αυτοί παρουσιάζουν ιδιαίτερη ευπάθεια όταν περιλαμβάνουν στρώματα λεπτόκοκκων υλικών υψηλής συμπιεστότητας, τα οποία είναι επιρρεπή σε σημαντικές παραμορφώσεις υπό τη μεταβολή των ενεργών τάσεων.

Το μέγεθος και η χωρική κατανομή των εδαφικών παραμορφώσεων καθορίζονται πρωτίστως από το εύρος της υποχώρησης του υδροφόρου ορίζοντα, ενώ, σε δευτερεύοντα ρόλο, εξαρτώνται από τις γεωτεχνικές ιδιότητες των σχηματισμών που συγκροτούν το υπέδαφος της περιοχής.

Συνοψίζοντας, η εκδήλωση εδαφικών υποχωρήσεων λόγω της άντλησης ρευστών από το υπέδαφος αποτελεί απόρροια μιας διαδοχική γεωτεχνική διεργασία. Το φαινόμενο ξεκινά με την πτώση της πιεζομετρικής στάθμης, η οποία επιφέρει μείωση των υδροστατικών πιέσεων των πόρων. Ως αποτέλεσμα της αρχής των ενεργών τάσεων, η μείωση αυτή οδηγεί σε αντίστοιχη αύξηση των ενεργών τάσεων που ασκούνται στον εδαφικό σκελετό. Η επακόλουθη αποστράγγιση και η συνακόλουθη ενεργοποίηση της διαδικασίας στερεοποίησης των συμπιεστών οριζόντων οδηγούν σε μόνιμες εδαφικές υποχωρήσεις (Λουπασάκης K., 2013).

3.3 Επιπτώσεις εδαφικών υποχωρήσεων

Οι εδαφικές υποχωρήσεις αποτελούν ένα σημαντικό γεωτεχνικό φαινόμενο, το οποίο μπορεί να επιφέρει σοβαρές επιπτώσεις τόσο στο φυσικό περιβάλλον όσο και στις ανθρώπινες δραστηριότητες. Η καθίζηση του εδάφους, ιδιαίτερα όταν προκαλείται από ανθρωπογενείς παρεμβάσεις όπως η εντατική άντληση υπόγειων υδάτων, μπορεί να επηρεάσει την ευστάθεια των κατασκευών, τη λειτουργία των υποδομών, καθώς και την υδρογεωλογική ισορροπία μιας περιοχής. Οι συνέπειες αυτές συχνά εμφανίζονται σταδιακά, αλλά σε ορισμένες περιπτώσεις μπορούν να εξελιχθούν σε σημαντικό γεωτεχνικό και περιβαλλοντικό πρόβλημα.

Οι πιο συχνά καταγεγραμμένες επιπτώσεις των εδαφικών υποχωρήσεων περιλαμβάνουν:

1. Την εμφάνιση εδαφικών ρηγμάτων και διαρρήξεων στην επιφάνεια του εδάφους.
2. Τις βλάβες ή αστοχίες σε άκαμπτες κτιριακές κατασκευές, λόγω των διαφορικών καθιζήσεων του εδάφους.
3. Τις φθορές σε γραμμικά δίκτυα κοινής ωφέλειας, όπως δίκτυα ηλεκτροδότησης και ύδρευσης, καθώς και σε έργα οδοποιίας.
4. Την εισχώρηση της θάλασσας προς την ενδοχώρα σε παράκτιες περιοχές, ως αποτέλεσμα της μείωσης του υψομέτρου της επιφάνειας του εδάφους.
5. Την καταστροφή ή δυσλειτουργία υδρογεωτρήσεων, εξαιτίας των παραμορφώσεων και των μετακινήσεων των εδαφικών στρωμάτων (Λουπασάκης Κ., 2013).

Αναλυτικότερα, οι εδαφικές υποχωρήσεις συχνά συνοδεύονται από την εμφάνιση ρηγμάτων και διαρρήξεων στην επιφάνεια του εδάφους. Οι ρωγμές αυτές δημιουργούνται ως αποτέλεσμα των διαφορικών καθιζήσεων μεταξύ γειτονικών περιοχών, όπου διαφορετικά εδαφικά στρώματα καθιζάνουν με άνισο ρυθμό. Οι εδαφικές διαρρήξεις μπορεί να εκτείνονται σε σημαντικά μήκη και πλάτη, προκαλώντας αλλοιώσεις στη μορφολογία του εδάφους και επηρεάζοντας αρνητικά τη χρήση της γης, ιδιαίτερα σε αγροτικές ή αστικές περιοχές.

Οι καθιζήσεις του εδάφους μπορούν να επηρεάσουν σημαντικά τη στατική συμπεριφορά των κτιριακών κατασκευών, ιδιαίτερα εκείνων που χαρακτηρίζονται από μεγάλη δυσκαμψία. Οι καθιζήσεις οδηγούν συχνά σε ανάπτυξη τάσεων στα δομικά στοιχεία των κτιρίων, προκαλώντας ρηγματώσεις σε τοίχους, παραμορφώσεις στα θεμέλια και σε

ορισμένες περιπτώσεις σοβαρές δομικές βλάβες. Το πρόβλημα είναι εντονότερο όταν οι κατασκευές δεν έχουν σχεδιαστεί ώστε να προσαρμόζονται σε μετακινήσεις του εδάφους.

Οι εδαφικές υποχωρήσεις δεν επηρεάζουν μόνο τις δύσκαμπτες κτιριακές κατασκευές, αλλά προκαλούν επίσης σημαντικές φθορές στα γραμμικά δίκτυα κοινής ωφέλειας, όπως τα δίκτυα ηλεκτροδότησης, ύδρευσης και άλλων παροχών.

Αγωγοί ύδρευσης, αποχέτευσης, φυσικού αερίου και δίκτυα ηλεκτροδότησης ή τηλεπικοινωνιών ενδέχεται να υποστούν παραμορφώσεις, θραύσεις ή μετατοπίσεις λόγω των καθιζήσεων. Παράλληλα, τα έργα οδοποιίας, όπως δρόμοι και αυτοκινητόδρομοι, μπορεί να παρουσιάσουν ρηγματώσεις, ανωμαλίες στην επιφάνεια και καθιζήσεις, γεγονός που επηρεάζει τη λειτουργικότητα και την ασφάλεια των μεταφορών.

Σε παράκτιες ζώνες, οι εδαφικές υποχωρήσεις μπορούν να οδηγήσουν σε μείωση του υψομέτρου της επιφάνειας του εδάφους σε σχέση με τη στάθμη της θάλασσας. Η μεταβολή αυτή διευκολύνει την προέλαση της θάλασσας προς την ενδοχώρα και αυξάνει την πιθανότητα πλημμυρικών φαινομένων. Επιπλέον, μπορεί να προκληθεί υφαλμύριση των υπόγειων υδροφορέων, γεγονός που επηρεάζει αρνητικά τη διαθεσιμότητα και την ποιότητα των υδατικών πόρων.

Η αντιμετώπιση αυτών των φαινομένων απαιτεί την έγκαιρη κατασκευή αναχωμάτων κατά μήκος της ακτογραμμής, σε συνδυασμό με συνεχή παρακολούθηση, συντήρηση, επισκευές και ανύψωση των αναχωμάτων όταν χρειάζεται. Επίσης, αν το επιβάλλει το υπεδάφιο υπόβαθρο, η χρήση τους μπορεί να συνδυαστεί με εγχύτους διαφραγματικούς τοίχους για να διασφαλιστεί η σταθερότητα της κατασκευής.

Παράλληλα, οι υποχωρήσεις του εδάφους προκαλούν σοβαρές ζημιές στις υδρογεωτρήσεις. Καθώς το γύρω έδαφος καθιζάνει με διαφορετικό ρυθμό σε σχέση με τις σταθερές σωληνώσεις των γεωτρήσεων, οι σωλήνες μπορεί να φαίνεται σαν να αναδύονται, ενώ παράλληλα τα υδροφόρα στρώματα μετατοπίζονται σε σχέση με τα φίλτρα της γεώτρησης.

Βάσει των ανωτέρω, καθίσταται σαφές ότι η αντιμετώπιση των εδαφικών υποχωρήσεων βασίζεται αποκλειστικά στην έγκαιρη ανίχνευση και την πρόληψη μέσω της ορθολογικής διαχείρισης των υπόγειων υδατικών πόρων. Δεδομένου ότι οι εδαφικές παραμορφώσεις φέρουν μη αναστρέψιμο χαρακτήρα, η στρατηγική διαχείρισης πρέπει να εστιάζει στον περιορισμό των αντλήσεων για την ανάσχεση του φαινομένου.

Σε επίπεδο τεχνικού σχεδιασμού, κρίνεται επιβεβλημένη η αποφυγή χωροθέτησης δύσκαμπτων κατασκευών σε ζώνες υψηλής επικινδυνότητας, ενώ για τα γραμμικά έργα υποδομής, η διέλευση από τις πληττόμενες περιοχές συνεπάγεται την αποδοχή ενός διαρκούς κόστους αποκατάστασης των αναπόφευκτων βλαβών.

3.4 Εδαφικές υποχωρήσεις στον ελλαδικό χώρο

Στον ελλαδικό χώρο καταγράφεται ένας σημαντικός αριθμός περιοχών που πλήττονται από το φαινόμενο των εδαφικών υποχωρήσεων. Η συστηματική και εντατική εκμετάλλευση των υπόγειων υδροφορέων, ιδιαίτερα σε πεδινά γεωπεριβάλλοντα που συγκροτούνται από αλλουβιακές αποθέσεις, έχει οδηγήσει στην αύξηση της συχνότητας εμφάνισης τέτοιων φαινομένων κατά τις τελευταίες δεκαετίες.

Ορισμένες από τις πλέον αντιπροσωπευτικές περιπτώσεις εδαφικών καθιζήσεων που αποδίδονται στην υπερεκμετάλλευση των υπόγειων υδατικών πόρων περιλαμβάνουν τις εξής περιοχές:

Περιοχή Καλοχωρίου, Ν. Θεσσαλονίκης

Σύμφωνα με την έρευνα των Ρόζου, Χατζηνάκου και Αποστολίδη (1992), η απαρχή των εδαφικών υποχωρήσεων στην περιοχή του Καλοχωρίου τοποθετείται χρονικά στο 1965. Ως πρωταρχικό αίτιο εκδήλωσης του φαινομένου αναγνωρίστηκε η εντατική εκμετάλλευση των υπό πίεση υδροφόρων οριζόντων, η οποία προκλήθηκε από τις αυξημένες καταναλώσεις των βιομηχανικών μονάδων της περιοχής, σε συνδυασμό με τις αντλήσεις του τότε Οργανισμού Ύδρευσης Θεσσαλονίκης.

Η επακόλουθη κατακόρυφη πτώση της πιεζομετρικής στάθμης οδήγησε σε έντονη εδαφική υποχώρηση, μεταβάλλοντας δραστικά τη γεωμορφολογία της περιοχής. Ως αποτέλεσμα, κατά τη διάρκεια έντονων βροχοπτώσεων το 1969, η υποβαθμισμένη επιφάνεια του εδάφους κατέστη εξαιρετικά ευάλωτη, επιτρέποντας στη θάλασσα να υπερπηδήσει τα φυσικά εμπόδια και να εισχωρήσει έως και ένα χιλιόμετρο στην ενδοχώρα, φτάνοντας μέχρι τις κατοικημένες ζώνες του οικισμού.

Στο πλαίσιο της αντιμετώπισης των πλημμυρικών φαινομένων στο Καλοχώρι, δρομολογήθηκαν επανειλημμένες τεχνικές παρεμβάσεις για την αποκατάσταση των

κατακλυζόμενων εκτάσεων, οι οποίες βασίστηκαν στη θωράκιση του παραλιακού μετώπου μέσω συστήματος αναχωμάτων.

Η κατασκευαστική δραστηριότητα κορυφώθηκε το 1980 με την ολοκλήρωση του υφιστάμενου αντιπλημμυρικού έργου, το οποίο καθόρισε τη χωροταξική και παραγωγική ανάπτυξη της περιοχής. Η συγκεκριμένη τεχνική υποδομή συνέβαλε στον μετριασμό των κινδύνων από τη θαλάσσια εισβολή, δημιουργώντας τις απαραίτητες συνθήκες για την περαιτέρω επέκταση του οικιστικού ιστού και της βιομηχανικής ζώνης.

Ένα ιδιαίτερο γεωτεχνικό χαρακτηριστικό των εδαφικών υποχωρήσεων στην περιοχή είναι η υψηλή χωρική ομοιομορφία του φαινομένου, η οποία αποδίδεται στο σημαντικό πάχος και την ομοιογένεια της στρωματογραφικής ακολουθίας των προσχώσεων. Η εν λόγω δομή διασφαλίζει την απουσία διαφορικών καθιζήσεων, γεγονός που ερμηνεύει την περιορισμένη εμφάνιση εδαφικών διαρρήξεων σε σύγκριση με άλλες περιοχές (Λουπασάκης Κ., 2013).

Πέραν της εμφανής σταδιακής πτώσης της στάθμης του εδάφους, η οποία καθίσταται ιδιαίτερα κρίσιμη στην περιοχή των παραθαλάσσιων αναχωμάτων, η εξέλιξη των υποχωρήσεων επιβεβαιώνεται εμπειρικά από την προοδευτική ανάδυση των σωληνώσεων των βαθιών υδρογεωτρήσεων, αποτελώντας ένα χαρακτηριστικό δείκτη της εδαφικής συμπίεσης που συντελείται στο υπέδαφος.



Εικόνα 11 - Επιπτώσεις της εδαφικής καθίζησης στην περιοχή του Καλοχωρίου: βλάβες στο δίκτυο ηλεκτροδότησης. (Svigkas N. et al, 2016)



Εικόνα 12 - Επιπτώσεις της εδαφικής καθίζησης στην περιοχή του Καλοχωρίου: ανύψωση σωληνώσεων. (Svigkas N. et al, 2016)

Περιοχή Περαιάς, Ν. Θεσσαλονίκης

Εντός των διοικητικών ορίων του Δήμου Θερμαϊκού, και ειδικότερα στην περιοχή του οικισμού της Άνω Περαιάς, έχει παρατηρηθεί έντονη δραστηριότητα εδαφικών διαρρήξεων. Η εμφάνιση του φαινομένου χρονολογείται από τον Οκτώβριο του 2005, όταν καταγράφηκαν οι πρώτες σημαντικές αστοχίες του εδάφους στο δομημένο περιβάλλον της περιοχής.

Οι εμφανιζόμενες εδαφικές διαρρήξεις εντοπίζονται εντός μιας χαρακτηριστικής ζώνης με γενική διεύθυνση Ανατολής-Δύσης, της οποίας το εύρος περιορίζεται σε λίγα μέτρα. Η ιχνηλάτηση των διαρρήξεων στην εδαφική επιφάνεια αποκαλύπτει μια διάταξη που ακολουθεί πορεία παράλληλη ή υποπαράλληλη προς τον κύριο άξονα της ζώνης αυτής (Λουπασάκης Κ., 2013).

Παρά τον βραδεία εξελισσόμενο χαρακτήρα των εδαφικών διαρρήξεων και το περιορισμένο εύρος των ρηγματώσεων, η επίπτωσή τους στις κατασκευές είναι ιδιαίτερα σημαντική, προκαλώντας εκτεταμένες δομικές ζημιές.

Οι εμφανιζόμενες εδαφικές διαρρήξεις αποδίδονται σε φαινόμενα εδαφικών υποχωρήσεων, τα οποία πυροδοτούνται από την εντατική εκμετάλλευση των υπόγειων υδατικών πόρων στις παραλιακές ζώνες της Περαιάς. Η εν λόγω υπερεκμετάλλευση δεν περιορίζεται

αποκλειστικά στον συγκεκριμένο οικισμό, αλλά χαρακτηρίζει το σύνολο της λεκάνης απορροής του Ανθεμούντα, όπου παρατηρείται συστηματική πτώση της πιεζομετρικής στάθμης (Λουπασάκης Κ., 2013).



Εικόνα 13 - Εμφανιζόμενες εδαφικές διαρρήξεις στην περιοχή Περαίας, Ν. Θεσσαλονίκης (Λουπασάκης Κ., 2013)



Εικόνα 14 - Εμφανιζόμενες εδαφικές διαρρήξεις στην περιοχή Περαίας, Ν. Θεσσαλονίκης (Λουπασάκης Κ., 2013)

Στο πλαίσιο της Άνω Περαίας, η εκδήλωση των εδαφικών διαρρήξεων δεν οφείλεται αποκλειστικά στην πτώση της πιεζομετρικής στάθμης, αλλά ενισχύεται από την παρουσία ενός ενεργού τεκτονικού ρήγματος. Η παρουσία του ρήγματος προκαλεί μια ασυνέχεια στο πάχος των αλλουβιακών αποθέσεων εκατέρωθεν αυτού, γεγονός που οδηγεί σε ανομοιόμορφη συμπεριφορά του εδάφους κατά τη διαδικασία της συμπίεσης. Αυτές οι διαφορικές εδαφικές υποχωρήσεις, οι οποίες εκδηλώνονται λόγω της τεκτονικής δομής του υπεδάφους, αποτελούν τον κύριο μηχανισμό δημιουργίας των επιφανειακών διαρρήξεων στην περιοχή (Λουπασάκης Κ., 2013).

Περιοχή Δυτικά του Ορυχείου Αμυνταίου, Ν. Φλώρινας

Σύμφωνα με τους Ρόζου και Λουπασάκη (2012), η περιοχή δυτικά του λιγνιτωρυχείου Αμυνταίου παρουσίασε, από το 2005 και έπειτα, έντονη γεωτεχνική δραστηριότητα, η οποία χαρακτηρίστηκε από ραγδαίες κατακόρυφες διαφορικές παραμορφώσεις. Οι παραμορφώσεις αυτές, λόγω της ασυνέχειας που προκάλεσαν στο έδαφος, υπήρξαν ο άμεσος γενεσιουργός παράγοντας για την εκδήλωση εκτεταμένων εδαφικών διαρρήξεων.

Οι εν λόγω παραμορφώσεις εκδηλώθηκαν αρχικά στον οικισμό των Αναργύρων, ο οποίος είναι χωροθετημένος κατά μήκος της ιχνογραμμής του ομώνυμου ρήγματος, στις παρυφές μιας λοφώδους έξαρσης. Σχεδόν παράλληλα, ανάλογα γεωτεχνικά φαινόμενα καταγράφηκαν στους οικισμούς Βαλτόνερα, τοποθετημένο στο κέντρο της πεδινής έκτασης, και Φανό, ο οποίος βρίσκεται στα όρια της λεκάνης του Αμυνταίου.

Η χωρική κατανομή των εδαφικών υποχωρήσεων εμφανίζεται να περιορίζεται αυστηρά εντός του κώνου υποβιβασμού της πιεζομετρικής στάθμης, ο οποίος αναπτύσσεται περιμετρικά του λιγνιτωρυχείου, με ακτίνα επιρροής που προσεγγίζει τα 45 χιλιόμετρα.

Η ανάπτυξη του κώνου υποβιβασμού της πιεζομετρικής επιφάνειας είναι το άμεσο αποτέλεσμα της συνδυαστικής απόληψης υδάτων από τον υδροφόρο ορίζοντα. Οι επιμέρους παράγοντες που συμβάλλουν στη διαμόρφωση του φαινομένου, ιεραρχημένοι βάσει της υδρογεωλογικής τους επιρροής, είναι:

- I. Η εντατική άντληση για την ευστάθεια των πρανών του ορυχείου, όπου αποτελεί τον κύριο παράγοντα μείωσης της στάθμης.

II. Η υδροδυναμική εκφόρτωση των υδροφόρων στρωμάτων απευθείας μέσω των πρανών του ορυχείου και

III. Η άντληση υδάτων για την κάλυψη των αναγκών του πρωτογενούς τομέα στην ευρύτερη περιοχή (Λουπασάκης Κ., 2013).

Το μέγεθος του άλματος των εδαφικών διαρρήξεων σχετίζεται άμεσα με την πτώση της στάθμης των υπόγειων υδάτων. Σε περιοχές που βρίσκονται κοντά στο ορυχείο, όπου η στάθμη έχει μειωθεί περίπου κατά 50 m, τα άλματα των διαρρήξεων μπορούν να φτάσουν ακόμη και το 1 μέτρο. Αντίθετα, σε περιοχές που βρίσκονται πλησιέστερα στη λίμνη Χειμαδίτιδα, σε ακτίνα περίπου 3 km από τις εγκαταστάσεις του ορυχείου, η πτώση της στάθμης περιορίζεται έως και μηδενίζεται, με αποτέλεσμα οι εδαφικές διαρρήξεις να εξασθενούν και σταδιακά να παύουν να εμφανίζονται (Λουπασάκης Κ., 2013).



Εικόνα 15 - Παρατηρήσεις εδαφικών υποχωρήσεων στην περιοχή Βαλτόνερα (Λουπασάκης Κ., 2013)

Τα φαινόμενα αυτά χαρακτηρίζονται μη αναστρέψιμα και με περιορισμένη δυνατότητα ελέγχου. Ακόμη και στην υποθετική περίπτωση ολικής παύσης των αντλήσεων (γεωργικών ή άλλων χρήσεων) στην ευρύτερη περιοχή, ο κίνος υποβιβασμού της πιεζομετρικής στάθμης θα εξακολουθήσει να υφίσταται. Η διατήρησή του αποδίδεται στη λειτουργία του ορυχείου ως ένα φρέαρ εξαιρετικά μεγάλης διαμέτρου, το οποίο προκαλεί συνεχή φυσική εκφόρτωση και αποστράγγιση των υδροφόρων στρωμάτων εντός της λεκάνης.

Παράκτια Ζώνη Ν. Φαλήρου – Μοσχάτου – Καλλιθέας, Ν. Αττικής

Στην παράκτια περιοχή των Δήμων Νέου Φαλήρου, Μοσχάτου και Καλλιθέας έχουν παρατηρηθεί σημαντικές καθιζήσεις του εδάφους ήδη από τα μέσα της δεκαετίας του 1960. Η ζώνη όπου εμφανίζονται οι πιο έντονες κατακόρυφες μετακινήσεις βρίσκεται ανάμεσα στις εκβολές του Κηφισού και του Ιλισού. Πρόκειται για μια περιοχή που αποτελείται από χαλαρές αλλουβιακές αποθέσεις των ποταμών (Σαμπατακάκης, 1991).

Ειδικότερα, οι εν λόγω αποθέσεις χαρακτηρίζονται από την παρουσία παχέων οριζόντων μαλακής αργίλου μελανότεφρης απόχρωσης, καθώς και από εναλλαγές ιλυωδών άμμων και αμμοδών ιλύων. Τα εδαφικά αυτά υλικά, ακόμη και υπό συνθήκες κανονικής στερεοποίησης, παρουσιάζουν ιδιαίτερα υψηλές τιμές του δείκτη συμπίεστότητας, γεγονός που συνεπάγεται την εκδήλωση σημαντικών παραμορφώσεων υπό την επίδραση πρόσθετων φορτίων ή μεταβολών της υδροστατικής πίεσης.

Σύμφωνα με τον επαναπροσδιορισμό των απόλυτων υψομέτρων σε ιστορικές αφετηρίες (benchmarks), οι εδαφικές υποχωρήσεις που καταγράφηκαν έως το 1989 ανήλθαν τοπικά στα 118 mm. Κατά την επακόλουθη περίοδο (1989-2008), το φαινόμενο παρέμεινε ενεργό, παρουσιάζοντας ωστόσο αξιοσημείωτες διακυμάνσεις στον ρυθμό εξέλιξής του. Στο διάστημα αυτό ανιχνεύθηκαν περαιτέρω καθιζήσεις, οι οποίες έφτασαν κατ' ανώτατο όριο τα 4 mm, υποδηλώνοντας μια σημαντική επιβράδυνση του φαινομένου σε σύγκριση με τις προηγούμενες δεκαετίες (Λουπασάκης Κ., 2013).

Η υπερεκμετάλλευση των υδροφόρων οριζόντων, ως απόρροια της εντατικής αγροτικής και βιομηχανικής δραστηριότητας, θεωρήθηκε ο κύριος μηχανισμός ενεργοποίησης των καθιζήσεων στην περιοχή. Η υπόθεση αυτή ενισχύεται από την παρατηρούμενη επιτάχυνση των εδαφικών υποχωρήσεων μετά το 2001. Η χρονική αυτή στιγμή συμπίπτει με την έναρξη

των έργων πλήρους εγκιβωτισμού της κοίτης του Κηφισού, μια παρέμβαση που περιόρισε τη φυσική επαναφόρτιση του υδροφόρου συστήματος και επέτεινε τις υδρογεωλογικές ανισορροπίες (Λουπασάκης Κ., 2013).

Εκτιμάται ότι ο πλήρης αποκλεισμός της φυσικής τροφοδοσίας των υδροφόρων οριζόντων από τον Κηφισό, σε συνδυασμό με τις συνεχιζόμενες τοπικές αντλήσεις (όπως αυτές για την αποστράγγιση και την προστασία υπόγειων τεχνικών έργων), προκάλεσε εκ νέου υποβιβασμό της πιεζομετρικής στάθμης. Η εξέλιξη αυτή οδήγησε στην επαναδραστηριοποίηση των εδαφικών καθιζήσεων, καθώς η μείωση των πόρων του συστήματος ανέτρεψε την προϋπάρχουσα υδραυλική ισορροπία.

Περιοχή Δυτικού Θεσσαλικού Κάμπου

Η εκδήλωση των εδαφικών αστοχιών τοποθετείται χρονολογικά στο 2001, επηρεάζοντας αρχικά την πόλη των Φαρσάλων και τον οικισμό του Σταυρού στο ανατολικό τμήμα της λεκάνης. Στη συνέχεια, το 2009, το φαινόμενο επεκτάθηκε στον οικισμό του Αγίου Γεωργίου, ο οποίος βρίσκεται στην πεδινή ζώνη μεταξύ των δύο προαναφερθέντων περιοχών. Η χωρική εξάπλωση των διαρρήξεων συνεχίστηκε το 2011, πλήττοντας τους γειτονικούς οικισμούς Ανωχώρι και Κατοχώρι (Λουπασάκης Κ., 2013).

Στην ευρύτερη περιοχή των Φαρσάλων, η σημαντική πτώση της πιεζομετρικής στάθμης άρχισε να τεκμηριώνεται από τα μέσα της δεκαετίας του 1990. Το φαινόμενο κατέστη αρχικά αντιληπτό μέσω της σταδιακής μείωσης της παροχής και της τελικής αποστράγγισης των πηγών του ποταμού Απιδανού, οι οποίες αναβλύζουν εντός του αστικού ιστού (Ρόζος και Τζίτζιρας, 2002).

Η κύρια αιτία των εδαφικών υποχωρήσεων αποδίδεται στην παρουσία, μέσα στις υπερκείμενες αλλουβιακές αποθέσεις, παχιών στρωμάτων μελανότεφρης αργίλου με υψηλή συμπίεστότητα. Το φαινόμενο αυτό ενισχύθηκε από τη σημαντική πτώση της πιεζομετρικής επιφάνειας, η οποία ξεπέρασε τα 30 m κατά την περίοδο 1980–2010 (Λουπασάκης Κ., 2013).

Η εντατική άντληση των υπόγειων υδροφορέων προκάλεσε συνεχή μείωση της στάθμης τους. Αρχικά επηρεάστηκε ο ρηχός υδροφόρος ορίζοντας, ο οποίος τελικά εξαντλήθηκε, και στη συνέχεια άρχισαν να υποβαθμίζονται σταδιακά και οι βαθύτεροι υδροφορείς.

Η συνολική πτώση της στάθμης έφτασε σε αρκετές δεκάδες μέτρα κάτω από την επιφάνεια του εδάφους, με αποτέλεσμα τη συμπίεση συγκεκριμένων στρωμάτων των προσχωσιγενών αποθέσεων στην πεδινή περιοχή. Από το 2002, στην περιοχή Σταυρού–Φαρσάλων της Δυτικής Θεσσαλίας καταγράφονται έντονα φαινόμενα εδαφικών υποχωρήσεων.

Τα φαινόμενα εδαφικών υποχωρήσεων εκδηλώνονται κυρίως στα περιθώρια της λεκάνης με τη μορφή ρηγματώσεων στο έδαφος. Οι ρηγματώσεις αυτές προκαλούν βλάβες και αστοχίες σε κατασκευές και γίνονται εύκολα αντιληπτές τόσο στα κτίρια όσο και στα ασφαλτοστρωμένα τμήματα του οδικού δικτύου.



Εικόνα 16 - Ρηγματώσεις στην τοιχοποιία κτιρίου στην περιοχή Σταυρού του δυτικού Θεσσαλικού κάμπου (Σιδέρη Δ., 2016)

Στον Δυτικό Θεσσαλικό κάμπο τα φαινόμενα αυτά βρίσκονται ακόμη σε αρχικό στάδιο εξέλιξης και πρόκειται για μια περιοχή όπου, με την άμεση εφαρμογή κατάλληλων μέτρων, είναι δυνατόν να περιοριστούν ή και να ανασταλούν.

Περιοχή Ανατολικού Θεσσαλικού Κάμπου

Στο ανατολικό τμήμα του θεσσαλικού κάμπου, και ειδικότερα στη ζώνη νότια της Λάρισας, η έντονη ξηρασία της περιόδου 1990-1993 είχε ως αποτέλεσμα την εκδήλωση εδαφικών καθιζήσεων, οι οποίες αποδίδονται στην υπεράντληση των υπόγειων υδάτων.

Το φαινόμενο εκδηλώθηκε με τη μορφή επιφανειακών εδαφικών διαρρήξεων, οι οποίες εντοπίστηκαν τόσο στις παρυφές όσο και στο κέντρο της λεκάνης —περιοχές που χαρακτηρίζονται από έντονες μεταβολές στο πάχος των αλλουβιακών σχηματισμών. Οι αστοχίες αυτές έπληξαν σημαντικό αριθμό οικισμών, συμπεριλαμβανομένων των Χάλκης, Γλαύκης, Μόδεστου, Σωτηρίου, Μελιάς, Μέλισσας, Κιελέρ, Νίκης, Αχίλλειου, Καλαμακίου, Καστρίου, Στεφανοβικείου και Ριζομύλου (Λουπασάκης Κ., 2013).

Η επιβεβαιωμένη ενεργή τεκτονική δραστηριότητα, σε συνδυασμό με τα διαδοχικά ισχυρά σεισμικά γεγονότα που έπληξαν την περιοχή την περίοδο 1930–1980, δημιούργησαν σύγχυση ως προς την ερμηνεία των φαινομένων. Πολλοί γεωεπιστήμονες υποστήριξαν ότι οι εδαφικές ρηγματώσεις οφείλονται αποκλειστικά σε τεκτονικές διεργασίες και, προσπαθώντας να εξηγήσουν το μεγάλο κατακόρυφο άλμα, κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι αυτό σχετίζεται με σεισμική ολίσθηση των ρηγμάτων (Λουπασάκης Κ., 2013).

Συνοψίζοντας, η κύρια αιτία για την εμφάνιση των έντονων διαφορικών παραμορφώσεων ήταν η σημαντική μείωση της πιεζομετρικής στάθμης, η οποία μέσα σε 20 χρόνια έφτασε έως και τα 50 m.



Εικόνα 17 - Ρωγμές στην τοιχοποιία περίφραξης στον οικισμό της Χάλκης (Κεραμοπούλου Β., 2014)



Εικόνα 18 - Εδαφικές διαρρήξεις στο οδόστρωμα και ρωγμές στην τοιχοποιία περίφραξης στον οικισμό της Χάλκης (Κεραμοπούλου Β., 2014)



Εικόνα 19 - Εδαφικές διαρρήξεις στο οδόστρωμα και ρωγμές στην τοιχοποιία περίφραξης στον οικισμό της Χάλκης (Κεραμοπούλου Β., 2014)



Εικόνα 20 - Εδαφικές διαρρήξεις στο οδόστρωμα και ρωγμές στην τοιχοποιία περίφραξης στον οικισμό της Χάλκης (Κεραμοπούλου Β., 2014)

3.5 Χαρακτηριστικά παραδείγματα στο διεθνή χώρο

Πολλές πόλεις στο εξωτερικό αντιμετωπίζουν εδαφικές υποχωρήσεις, οι οποίες οφείλονται στην υπεράντληση των υπόγειων υδάτων.

Ακολουθούν ορισμένα χαρακτηριστικά παραδείγματα περιοχών όπου παρατηρούνται έντονες εδαφικές υποχωρήσεις, οι οποίες οφείλονται στην υπεράντληση των υπόγειων υδροφορέων.

Βενετία, Ιταλία

Πολλές περιοχές της Ιταλίας επηρεάζονται από καθίζηση εδάφους. Μεταξύ αυτών βρίσκεται και η Βενετία. Η πόλη της Βενετίας και η περιβάλλουσα περιοχή αποτελούν τμήμα του δέλτα του ποταμού Πάδου.

Το γεωλογικό υπόβαθρο της παράκτιας πεδιάδας συντίθεται από τεταρτογενείς αποθέσεις με πάχος που υπερβαίνει τα 1000 μέτρα. Πρόκειται για χαλαρούς, μη στερεοποιημένους σχηματισμούς άμμου, ιλύος και αργίλου, οι οποίοι παρουσιάζουν μια ήπια κλίση προς τη θαλάσσια λεκάνη. Εντός των αμμωδών στρωμάτων εντοπίζονται υδροφόροι ορίζοντες υπό πίεση, οι οποίοι επεκτείνονται γεωγραφικά κάτω από το σύνολο της Βενετίας.

Η συνολική εδαφική υποχώρηση της Βενετίας αποτελεί ένα σύνθετο φαινόμενο που αποδίδεται στον συνδυασμό φυσικών και ανθρωπογενών παραγόντων. Σε γεωλογικό επίπεδο, η πόλη υπόκειται σε μια αργή φυσική καθίζηση (της τάξης του 1 mm/έτος) λόγω της τεκτονικής δραστηριότητας και της σταδιακής συμπίκνωσης των αργιλικών και ιλυωδών ιζημάτων της.

Παράλληλα, η ευστατική άνοδος της στάθμης της θάλασσας, ως απόρροια της κλιματικής αλλαγής, επιδεινώνει τη σχετική βύθιση της περιοχής. Ωστόσο, ο καταλυτικότερος παράγοντας κατά τον 20ό αιώνα υπήρξε η ανθρωπογενής παρέμβαση, καθώς η εντατική άντληση υπόγειων υδάτων μέσω αρτεσιανών γεωτρήσεων προκάλεσε απότομη πτώση της υδροστατικής πίεσης στους υδροφορείς, οδηγώντας σε ταχεία και έντονη στερεοποίηση των υποκείμενων αργιλικών στρωμάτων.

Στη δεκαετία του 1950 και 1960, η ταχεία βιομηχανική ανάπτυξη στο Porto Marghera απαιτούσε τεράστιες ποσότητες νερού. Η υπεράντληση από τα βαθιά υδροφόρα στρώματα ήταν τόσο έντονη που προκάλεσε την υποχώρηση της πόλης κατά περίπου 10–14 εκατοστά μέσα σε λίγες δεκαετίες. Αυτή η απότομη καθίζηση, σε συνδυασμό με την άνοδο της

θάλασσας, κατέστησε τις πλημμύρες πολύ πιο συχνές και καταστροφικές, με κορυφαίο γεγονός την πλημμύρα του 1966 (Carbognin et al., 1977).



Εικόνα 21 - Πλημμύρα στην πλατεία του Αγίου Μάρκου λόγω εδαφικών καθιζήσεων (Reporter, 2020)

Πόλη του Μεξικό

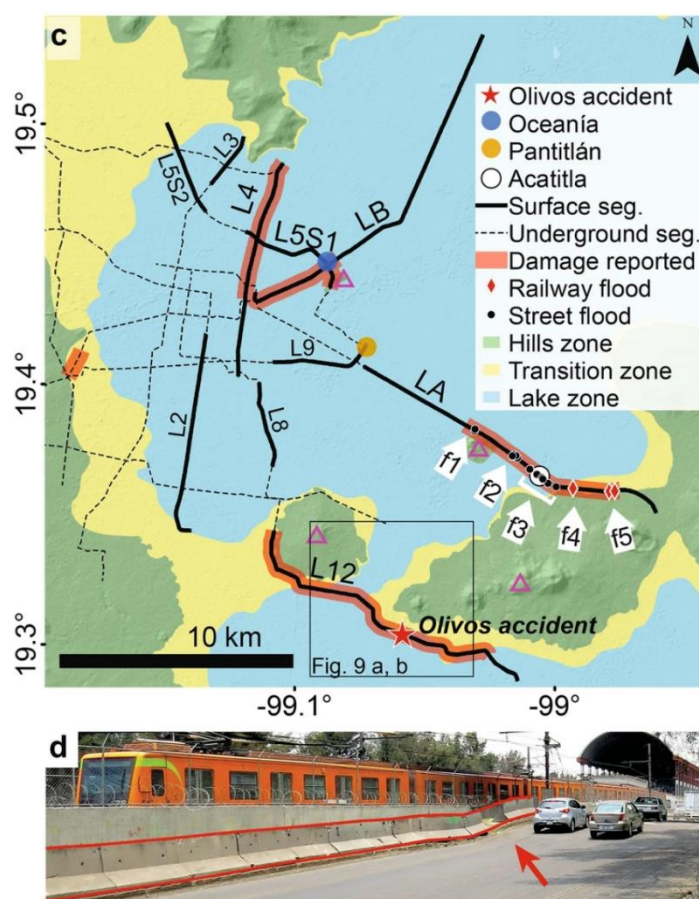
Η πόλη του Μεξικό είναι η πρωτεύουσα του Μεξικού και η πιο πυκνοκατοικημένη πόλη στη Βόρεια Αμερική. Σε αυτή την πόλη ζουν 9,2 εκατομμύρια άνθρωποι και πάνω από 21 εκατομμύρια ζουν στην μητροπολιτική της περιοχή.

Η πόλη βρίσκεται στην κοιλάδα του Μεξικού, μια κλειστή λεκάνη που στο παρελθόν καταλαμβάνόταν από τη λίμνη Texcoco. Το υπέδαφος της περιοχής αποτελείται από αποθέσεις του Πλειστοκαίνου, οι οποίες καλύπτονται από λεπτόκοκκα λιμναία και ποτάμια ιζήματα, καθώς και από στρώματα ηφαιστειακής στάχτης. Το γεωλογικό υπόβαθρο της περιοχής σχηματίζεται κυρίως από ηφαιστειακά πετρώματα.

Η πρωταρχική αιτία της καθίζησης στην Πόλη του Μεξικού εντοπίζεται στην υπερεκμετάλλευση των υδροφόρων οριζόντων για την κάλυψη των αναγκών ύδρευσης του πληθυσμού, η οποία πυροδοτεί έναν μηχανισμό μόνιμης εδαφικής παραμόρφωσης.

Συγκεκριμένα, η αφαίρεση του νερού από τους πόρους του εδάφους προκαλεί δραματική μείωση της υδροστατικής πίεσης, με αποτέλεσμα το βάρος της υπερκείμενης πόλης να μην υποστηρίζεται πλέον από την πίεση των πόρων. Αυτό οδηγεί στη σταδιακή στερεοποίηση και τη μόνιμη συμπίεση των υποκείμενων αργιλικών σχηματισμών, μια διαδικασία που χαρακτηρίζεται από πλήρη μη αναστρεψιμότητα λόγω της λεπτόκοκκης φύσης της αργίλου, η δομή του εδάφους καταρρέει οριστικά, καθιστώντας αδύνατη την επαναφορά της αρχικής στάθμης ακόμα και στην περίπτωση παύσης των αντλήσεων.

Το ιστορικό καθιζήσεων στο κέντρο της πόλης είναι καλά τεκμηριωμένο και χαρακτηρίζεται από τρεις διακριτές περιόδους. Πρώτη περίοδος παρατήρησης πραγματοποιήθηκε μεταξύ 1935 έως 1948 με καθίζηση 8 cm/έτος. Η δεύτερη περίοδος παρατήρησης πραγματοποιήθηκε μεταξύ 1947 έως 1958, όπου η καθίζηση λόγω της αφυδάτωσης των υδροφορέων έφτασε τα 29 cm/έτος. Τέλος μετά το 1959 η καθίζηση παρατηρήθηκε στα 5 με 9 cm/έτος (Chaussard et al., 2021).



Εικόνα 22 - Χωρική κατανομή εδαφικών υποχωρήσεων και επιπτώσεων στο δίκτυο μετρό στην Πόλη του Μεξικού (Solano-Rojas et al. 2024)

Οι εκτεταμένες αντλήσεις προκάλεσαν δραματική πτώση της πιεζομετρικής στάθμης του υδροφορέα, με τον μέσο ρυθμό ετήσιας ταπείνωσης να ανέρχεται στα 0,90 μέτρα. Η έντονη αυτή διατάραξη των υδραυλικών φορτίων οδήγησε σε σημαντική συμπίεση των ιλυωδών αργιλικών οριζόντων, η οποία μεταφράστηκε επιφανειακά σε καθιζήσεις μεγάλης κλίμακας.

Οι εδαφικές αυτές υποχωρήσεις επέφεραν σοβαρές δυσλειτουργίες στις υποδομές της περιοχής, προκαλώντας δομητικές ρωγμές σε κτίρια, φθορές σε ιστορικά μνημεία και εκτεταμένες καταστροφές στο δίκτυο αποχέτευσης (Chaussard et al., 2021).

Κουιάδα San Joaquin, Καλιφόρνια (ΗΠΑ)

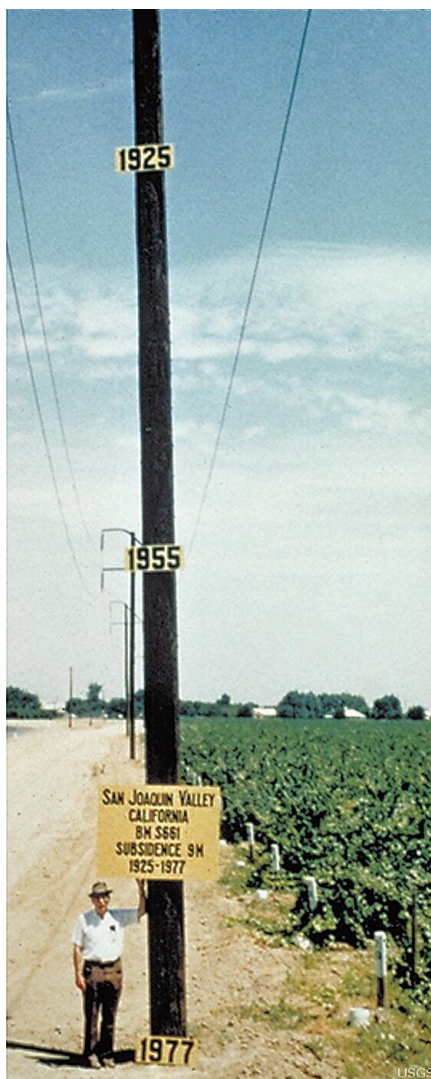
Η Κουιάδα San Joaquin, στο νότιο τμήμα της Κεντρικής Κουιάδας της Καλιφόρνιας, αποτελεί ένα από τα πιο μελετημένα παραδείγματα εδαφικής καθίζησης παγκοσμίως, λόγω της κλίμακας του φαινομένου και της άμεσης σύνδεσής του με την εντατική γεωργία. Κατά το διάστημα 1922-1972, η πιεζομετρική επιφάνεια υποχώρησε σε κρίσιμα επίπεδα ως άμεση συνέπεια των υπεραντλήσεων.

Από τη δεκαετία του 1920, η περιοχή βασίζεται σε υπερβολικό βαθμό στην άντληση υπογείων υδάτων για την άρδευση καλλιεργειών μεγάλης αξίας. Η καθίζηση στην κουιάδα San Joaquin έχει χαρακτηριστεί από το Γεωλογικό Ινστιτούτο των ΗΠΑ ως η μεγαλύτερη ανθρωπογενής μεταβολή της επιφάνειας της Γης παγκοσμίως. Σε ορισμένα σημεία, το έδαφος έχει υποχωρήσει πάνω από 9 μέτρα καθίζησης μέσα σε 50 χρόνια. Παρά τη λήψη μέτρων, σε περιόδους έντονης ξηρασίας, ορισμένες περιοχές συνεχίζουν να βυθίζονται με ρυθμό έως και 0,3 έως 0,6 μέτρα ετησίως (Galloway & Riley, 1999).

Στην κουιάδα San Joaquin αναγνωρίζονται τέσσερις κύριοι μηχανισμοί εδαφικής καθίζησης, οι οποίοι ιεραρχούνται βάσει της έντασης των επιπτώσεών τους. Η σημαντικότερη αιτία αφορά τη μόνιμη στερεοποίηση των υδροφορέων λόγω της συνεχιζόμενης υπεράντλησης και της συνεπαγόμενης πτώσης της πιεζομετρικής στάθμης, ενώ ακολουθεί η υδροσυμπύκνωση ακόρεστων αποθέσεων που χαρακτηρίζονται από έλλειψη υγρασίας.

Επιπλέον, το φαινόμενο επηρεάζεται από την απόσυρση ρευστών από πεδία πετρελαίου και φυσικού αερίου, καθώς και από νεοτεκτονικές κινήσεις του φλοιού. Ωστόσο, από τη

δεκαετία του 1920, η δραματική υποχώρηση της επιφάνειας του εδάφους στην κοιλάδα αποδίδεται κυρίως στη συμπίεση των υδροφορικών συστημάτων και την υδροσυμπύκνωση, παράγοντες στους οποίους εστιάζει και η παρούσα ανασκόπηση.



Εικόνα 23 - Εδαφικές Καθιζήσεις στην Κοιλάδα Σαν Χοακίν (Land Subsidence in the San Joaquin Valley, 2019)

Η εξέλιξη του φαινομένου κατέστη εμφανής μέσω μιας σειράς σοβαρών δυσλειτουργιών στις υποδομές, όπως οι συχνές θραύσεις των υπόγειων δικτύων σωληνώσεων και η καταστροφή των στελεχών των γεωτρήσεων λόγω της ασκούμενης συμπίεσης. Ιδιαίτερα κρίσιμη υπήρξε η υποβάθμιση των αρδευτικών συστημάτων, καθώς οι εδαφικές υποχωρήσεις μετέβαλαν τις κλίσεις των καναλιών, οδηγώντας ακόμα και σε αναστροφή της

κατεύθυνσης ροής των υδάτων. Τέλος, στις παράκτιες περιοχές, η καθίζηση εκδηλώθηκε με τη μόνιμη κατάκλυση των εκτάσεων χαμηλού υψομέτρου από τη θάλασσα (Galloway & Riley, 1999).

Τζακάρτα, Ινδονησία

Η Τζακάρτα είναι η πρωτεύουσα της Ινδονησίας με πληθυσμό περίπου 9,6 εκατομμύρια κατοίκους, που κατοικούν σε μια έκταση περίπου 660 τετραγωνικών χιλιομέτρων. Τις τελευταίες τρεις δεκαετίες, η αστική ανάπτυξη της Τζακάρτα έχει αναπτυχθεί πολύ ραγδαία στους τομείς της βιομηχανίας, του εμπορίου, των μεταφορών, των ακινήτων και πολλών άλλων.

Αυτή η εκθετικά αυξημένη αστική ανάπτυξη εισάγει πολλά περιβαλλοντικά προβλήματα. Η καθίζηση του εδάφους είναι ένα από αυτά. Η προκύπτουσα καθίζηση του εδάφους θα επηρεάσει επίσης το σχέδιο και τη διαδικασία αστικής ανάπτυξης. Έχει αναφερθεί εδώ και πολλά χρόνια ότι πολλά μέρη στην Τζακάρτα υποχωρούν με διαφορετικούς ρυθμούς.



Εικόνα 24 - Αντληση υπόγειων υδάτων για τις καθημερινές ανάγκες υδροδότησης των πολιτών (Gabrielle S., 2023)

Η Τζακάρτα είναι χτισμένη σε μια πεδινή περιοχή που αποτελείται από νεαρά, ασύνδετα ιζήματα, όπως άμμο, ιλύ και άργιλο. Λόγω της ελλιπούς παροχής νερού από το δημόσιο δίκτυο, εκατομμύρια κάτοικοι και επιχειρήσεις βασίζονται σε παράνομες ή ανεξέλεγκτες ιδιωτικές γεωτρήσεις.

Η εδαφική υποχώρηση στην Τζακάρτα αποτελεί ένα σύνθετο φαινόμενο, το οποίο δεν περιορίζεται μόνο στην υπεράντληση υδάτων, αλλά είναι το αποτέλεσμα της αλληλεπίδρασης τριών διακριτών παραγόντων. Η ανθρωπογενής καθίζηση αναδεικνύεται ως ο πρωταρχικός καταλύτης. Η εντατική άντληση υπόγειων υδάτων οδηγεί σε μόνιμη συμπίεση των υποκείμενων αργιλικών σχηματισμών, με τον ρυθμό υποχώρησης στο βόρειο τμήμα της μητρόπολης να αγγίζει τα 25 εκατοστά ετησίως.

Παράλληλα, η γεωτεχνική φόρτιση που επιβάλλεται από τη ραγδαία αστικοποίηση και την ανέγερση πυκνών δομημάτων πάνω σε χαλαρά, μη στερεοποιημένα ιζήματα προκαλεί περαιτέρω στατική συμπίεση. Τέλος, η περιοχή, ως δελταϊκή απόθεση, υπόκειται στη συνεχή φυσική διεργασία συμπύκνωσης των ιζημάτων, η οποία είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με τη γεωλογική ηλικία και τη σύσταση των εδαφικών σχηματισμών της.

Οι συνέπειες της εδαφικής καθίζησης στην Τζακάρτα εκδηλώνονται μέσω μιας σειράς δομικών και λειτουργικών αστοχιών που πλήττουν το σύνολο της πόλης. Οι εμφανέστερες ενδείξεις περιλαμβάνουν την εμφάνιση ρωγμών σε οικοδομήματα και οδικά δίκτυα, καθώς και τη διατάραξη της γεωμετρίας των κοιτών των ποταμών και των αποχετευτικών υποδομών.

Ως απόρροια αυτών των αλλαγών, παρατηρείται επέκταση των πλημμυρικών ζωνών τόσο στο εσωτερικό του αστικού ιστού όσο και στις παράκτιες περιοχές. Παράλληλα, η υποβάθμιση του συστήματος αποστράγγισης σε συνδυασμό με τη σχετική άνοδο της θαλάσσιας στάθμης καθιστούν την πόλη ολοένα και πιο ευάλωτη στις εισροές υδάτων (Abidin et al., 2011).

Μπανγκόκ, Ταϊλάνδη

Η Μπανγκόκ, χτισμένη στο δέλτα του ποταμού Chao Phraya, αποτελεί ένα ακόμη χαρακτηριστικό παράδειγμα μεγαλούπολης που βρίσκεται αντιμέτωπη με τη σταδιακή βύθιση, συνδυάζοντας γεωλογική ευπάθεια και έντονη ανθρωπογενή δραστηριότητα.

Η Μπανγκόκ, η πρωτεύουσα της Ταϊλάνδης, είναι χτισμένη στις χαμηλές πεδιάδες του νότιου τμήματος της κεντρικής χώρας. Διασχίζεται από τον ποταμό Τσάο Πράγια, ο οποίος ξεκινά από τα βόρεια και εκβάλλει στον Κόλπο της Ταϊλάνδης, μόλις 25 χιλιόμετρα νοτιότερα. Τις τελευταίες τέσσερις δεκαετίες, η πόλη αναπτύχθηκε ραγδαία και στις δύο πλευρές του ποταμού. Ωστόσο, το υψόμετρο είναι πολύ χαμηλό και η εγγύτητα στη θάλασσα καθιστά τις ετήσιες πλημμύρες σοβαρή απειλή—ένα πρόβλημα που επιδεινώνεται από την έντονη δόμηση, η οποία έχει καταστρέψει τις φυσικές διόδους αποστράγγισης.

Το γεωλογικό υπόβαθρο της Μπανγκόκ χαρακτηρίζεται από την παρουσία παχιών στρωμάτων μαλακής αργίλου, ενός σχηματισμού με ιδιαίτερα υψηλό πορώδες και μεγάλη συμπιεστότητα. Η συγκεκριμένη εδαφική σύσταση, σε συνδυασμό με το χαμηλό υψόμετρο της πόλης, το οποίο κυμαίνεται μόλις μεταξύ 0,5 m και 1,5 m από την επιφάνεια της θάλασσας, καθιστά την πόλη ιδιαίτερα επιρρεπή σε καθιζήσεις.



Εικόνα 25 - Κατάρρευση πεζοδρομίου από εδαφική υποχώρηση σε αστικό περιβάλλον (Reporters O., 2015)

Η έντονη καθίζηση του εδάφους στην πόλη ξεκίνησε τη δεκαετία του 1970. Εντείνει τον κίνδυνο πλημμύρας και δημιουργεί πολλά προβλήματα στην πρακτική των θεμελιώσεων. Το 1984, ανακηρύχθηκε ότι η καθίζηση του εδάφους είχε γίνει σοβαρή απειλή για την πόλη. Ελήφθη μια σειρά μέτρων για τον μετριασμό του φαινομένου, ωστόσο, η καθίζηση συνεχίζεται. Η επιφάνεια του εδάφους σε ορισμένες περιοχές της πόλης έχει βυθιστεί κάτω από τη μέση στάθμη της θάλασσας, γεγονός που καθιστά την αποστράγγιση των πλημμυρών πιο δύσκολη και δαπανηρή (Phien-Wej et al., 2005).

4. Διερεύνηση των εδαφικών υποχωρήσεων στον Κάμπο των Γιαννιτσών και αξιολόγηση των επιπτώσεων στο φυσικό και δομημένο περιβάλλον.

Η εκδήλωση εδαφικών υποχωρήσεων στην εξεταζόμενη περιοχή αποτελεί ένα διαπιστωμένο γεγονός, τεκμηριωμένο από την επιστημονική κοινότητα και τις τοπικές αρχές. Η χωρική κατανομή των φαινομένων αυτών καλύπτει τόσο το δομημένο όσο και το φυσικό περιβάλλον της περιοχής.

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται οι εδαφικές υποχωρήσεις που εντοπίστηκαν στους οικισμούς της περιοχής μελέτης, κατόπιν επιτόπιας έρευνας που πραγματοποιήθηκε κατά την περίοδο Μαΐου – Ιουνίου 2026. Παράλληλα, πραγματοποιείται η χαρτογραφική αποτύπωση των φαινομένων και καταγράφονται οι θέσεις παρατήρησης.

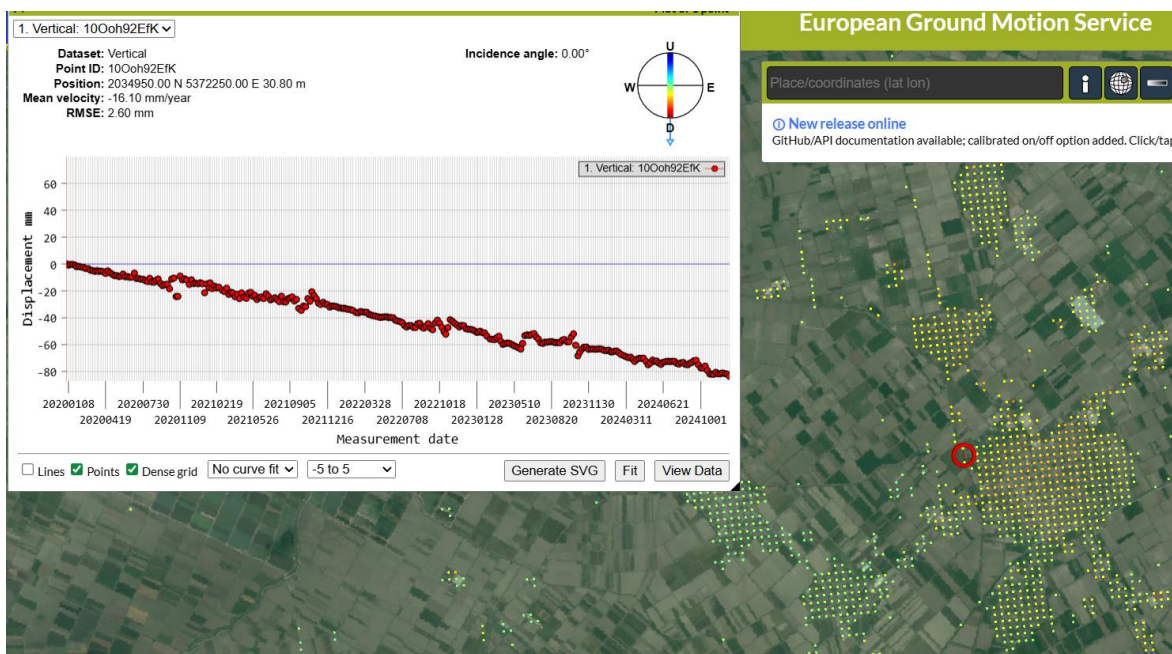
4.1 Εδαφικές υποχωρήσεις στην ευρύτερη περιοχή της πόλης της Αλεξάνδρειας

Η Αλεξάνδρεια είναι πόλη της Περιφερειακής Ενότητας Ημαθίας στην Κεντρική Μακεδονία και αποτελεί έδρα του Δήμου Αλεξάνδρειας. Βρίσκεται στο δυτικό τμήμα της πεδιάδας Θεσσαλονίκης - Γιαννιτσών, σε μια εκτεταμένη πεδινή και ιδιαίτερα εύφορη περιοχή με έντονο αγροτικό χαρακτήρα.

Η πόλη της Αλεξάνδρειας κατατάσσεται τρίτη στην πληθυσμιακή ιεραρχία του Νομού Ημαθίας. Σύμφωνα με τα επίσημα δεδομένα της Ελληνικής Στατιστικής Αρχής (ΕΛΣΤΑΤ) για το έτος 2021, ο μόνιμος πληθυσμός της ανέρχεται σε περίπου 15.000 άτομα.

Λόγω της εντατικής γεωργικής δραστηριότητας και της αυξημένης άντλησης υπόγειων υδάτων, στην ευρύτερη περιοχή έχουν παρατηρηθεί φαινόμενα πτώσης της στάθμης των υπόγειων υδροφορέων και τοπικών εδαφικών καθιζήσεων, όπως αυτά παρατηρούνται στον παρακάτω χάρτη.

Η εδαφική υποχώρηση σε ορισμένα σημεία φτάνει στο 1,6cm ετησίως με αποτέλεσμα να προκληθούν ρωγμές σε τοιχοποιία, περιφράξεις, πεζοδρόμια και διαρρήξεις σε οδοστρώματα. Σύμφωνα με τη European Ground Motion Service (2026), για την περίοδο 2020 – 2024 καταγράφηκε πως η συνολική καθίζηση στην περιοχή έφτασε τα 8 cm.



Εικόνα 26 - Διάγραμμα κατακόρυφης εδαφικής μετακίνησης σημείου παρακολούθησης από το EGMS στην περιοχή της Αλεξάνδρειας (EGMS, 2026)



Εικόνα 27 - Ρωγμές σε περίφραξη κατοικίας (προσωπικό αρχείο)



Εικόνα 28 - Καθίζηση και παραμόρφωση περίφραξης λόγω εδαφικής υποχώρησης (προσωπικό αρχείο)



Εικόνα 29 - Ρωγμές στην τοιχοποιία αποθήκης (προσωπικό αρχείο)

4.2 Εδαφικές υποχωρήσεις στην ευρύτερη περιοχή του οικισμού Νησί

Ο οικισμός Νησί βρίσκεται σε μικρή απόσταση νοτιοανατολικά της Αλεξάνδρειας και αποτελεί έναν από τους πιο ιστορικούς οικισμούς του Δήμου. Ο οικισμός ονομάστηκε «Νησί» επειδή παλαιότερα, πριν την αποστράγγιση της λίμνης των Γιαννιτσών ήταν χτισμένος πάνω σε εκτάσεις που έμοιαζαν με νησίδες μέσα στο ελώδες περιβάλλον του Βάλτου.

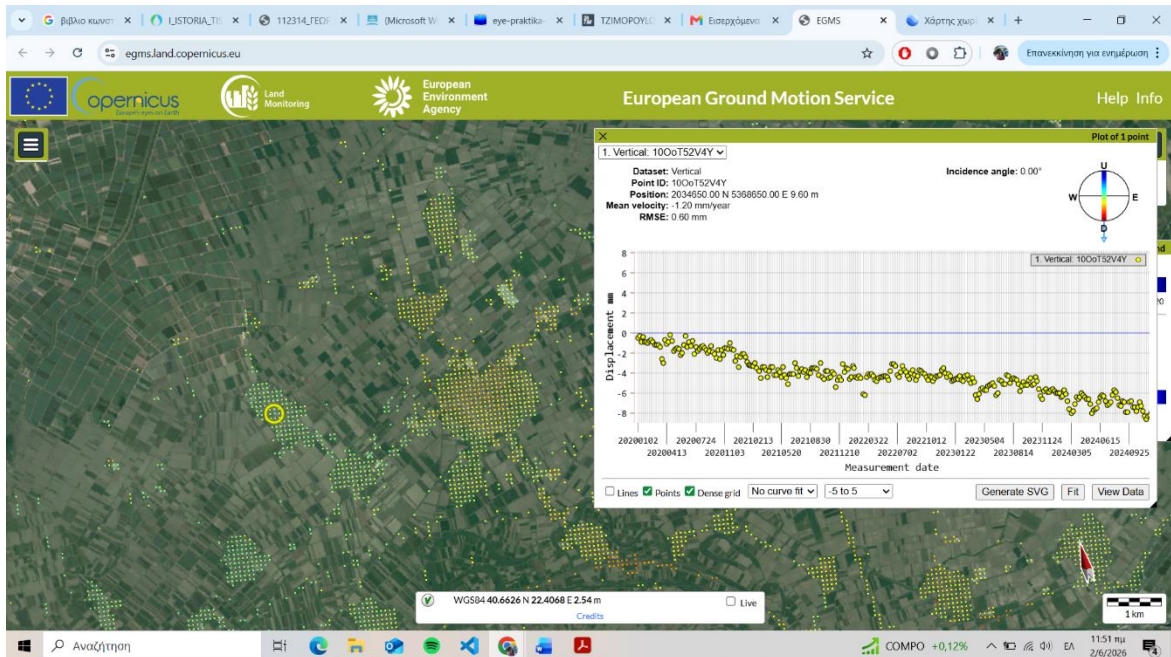
Επιπρόσθετα, έπαιξε κομβικό ρόλο στον Μακεδονικό Αγώνα (1904-1908). Λόγω της θέσης του στις παρυφές της λίμνης. Αποτελούσε τη σημαντικότερη βάση των ελληνικών σωμάτων και την κύρια είσοδο προς τον Βάλτο. Οι κάτοικοι ήταν έμπειροι οδηγοί μέσα στις πλάβες (βάρκες χωρίς καρίνα) και βοήθησαν καθοριστικά οπλαρχηγούς όπως ο Τέλος Άγρας.

Σήμερα, με βάση την απογραφή της ΕΛΣΤΑΤ (2021), ο πληθυσμός του ανέρχεται περίπου στους 1.400 κατοίκους. Η οικονομία του οικισμού βασίζεται κυρίως στη γεωργία και στις αρδευόμενες καλλιέργειες. Εξαιτίας τις εντατικής αγροτικής δραστηριότητας και των αυξημένων αναγκών άρδευσης, στην ευρύτερη περιοχή έχουν καταγραφεί φαινόμενα εδαφικών υποχωρήσεων.

Κατά την επιτόπια καταγραφή, διαπιστώθηκε ότι η μετακίνηση του εδάφους έχει προκαλέσει εμφανείς παραμορφώσεις και ρηγματώσεις στα κτίσματα του οικισμού. Σύμφωνα με τη European Ground Motion Service (2026), για την περίοδο 2020 – 2024 καταγράφηκε πως η συνολική καθίζηση στην περιοχή έφτασε τα 0,8 cm.



Εικόνα 30 - Ρωγμές σε περίφραξη κατοικίας και καθίζηση (προσωπικό αρχείο)



Εικόνα 31 - Διάγραμμα κατακόρυφης εδαφικής μετακίνησης σημείου παρακολούθησης από το EGMS στην περιοχή του οικισμού Νησιού (EGMS, 2026)



Εικόνα 32 - Ρωγμές σε περίφραξη κατοικίας (προσωπικό αρχείο)

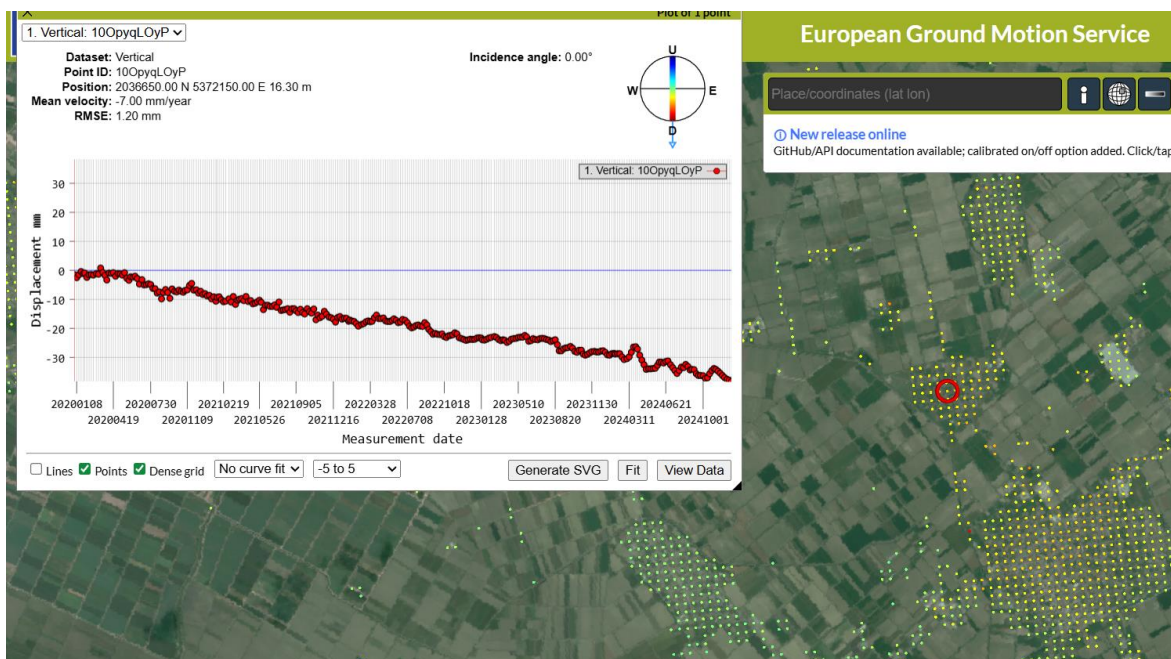
4.3 Εδαφικές υποχωρήσεις στην ευρύτερη περιοχή του οικισμού Σχοινά

Ο Σχοινάς είναι ένας οικισμός που βρίσκεται σε πολύ μικρή απόσταση ανατολικά από την Αλεξάνδρεια. Σύμφωνα με την ΕΛΣΤΑΤ (2021), ο πληθυσμός του ανέρχεται περίπου στους 450 μόνιμους κατοίκους. Οι κάτοικοι ασχολούνται παραδοσιακά με τη γεωργία. Στην περιοχή του Σχοινά κυριαρχούν οι καλλιέργειες σπυροφόρων δέντρων και βαμβακιού.

Ο οικισμός βρίσκεται πολύ κοντά στην κοίτη του ποταμού Αλιάκμονα. Αυτό έχει καθορίσει τη γεωμορφολογία του εδάφους του, το οποίο αποτελείται κυρίως από αλλουβιακές αποθέσεις.

Λόγω της εγγύτητας στον ποταμό, η περιοχή έχει πλούσιο υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα, ο οποίος όμως επηρεάζεται άμεσα από τις διακυμάνσεις της στάθμης του ποταμού και τις εντατικές αντλήσεις για άρδευση.

Η εδαφική υποχώρηση σε ορισμένα σημεία φτάνει στο 0,7cm ετησίως με αποτέλεσμα να προκληθούν ρωγμές σε τοιχοποιία, περιφράξεις, πεζοδρόμια και διαρρήξεις σε οδοστρώματα. Συνολικά, για την περίοδο 2020–2024 καταγράφεται κατακόρυφη μετακίνηση της τάξης των 3 cm (EGMS, 2026).



Εικόνα 33 -Διάγραμμα κατακόρυφης εδαφικής μετακίνησης σημείου παρακολούθησης από το EGMS στην περιοχή του οικισμού Σχοινά (EGMS, 2026)



Εικόνα 34 - Ρωγή σε τοιχοποιία περίφραξης (προσωπικό αρχείο)

4.4 Εδαφικές υποχωρήσεις στην ευρύτερη περιοχή του οικισμού Νεοχώρι

Ο οικισμός του Νεοχωρίου βρίσκεται περίπου 5 χιλιόμετρα βορειοανατολικά της Αλεξάνδρειας. Ο πληθυσμός του κυμαίνεται γύρω στους 500 – 600 κατοίκους. Ο οικισμός είναι χτισμένος στην καρδιά του κάμπου, σε περιοχή με εξαιρετικά γόνιμα εδάφη. Λόγω αυτού η οικονομία του βασίζεται σχεδόν αποκλειστικά στον πρωτογενή τομέα.

Το Νεοχώρι βρίσκεται κοντά σε κανάλια και αποστραγγιστικά έργα που καταλήγουν προς τον Αζιό και τον Λουδία. Η διαχείριση του νερού ήταν πάντα κρίσιμη για την περιοχή, τόσο για την προστασία από πλημμύρες όσο και για την άρδευση.

Στον οικισμό του Νεοχωρίου, η επιτόπια έρευνα ανέδειξε σημαντικά ευρήματα που σχετίζονται με την εδαφική αστάθεια. Η παρουσία αργιλωδών σχηματισμών σε συνδυασμό με την έντονη υδροληψία για αγροτική χρήση φαίνεται να αποτελεί τον κύριο μηχανισμό πρόκλησης των καθιζήσεων, οι οποίες αποτυπώθηκαν κυρίως ως ρηγματώσεις σε κτίρια παλαιάς κατασκευής και καθιζήσεις στο οδόστρωμα.



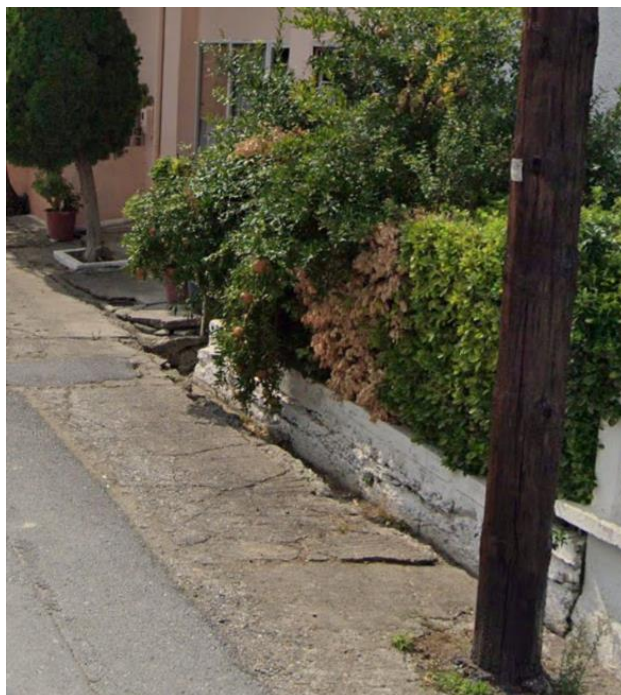
Εικόνα 35 - Καθίζηση και παραμόρφωση περίφραξης λόγω εδαφικής υποχώρησης (προσωπικό αρχείο)

4.5 Εδαφικές υποχωρήσεις στην ευρύτερη περιοχή του οικισμού Καρυώτισσα

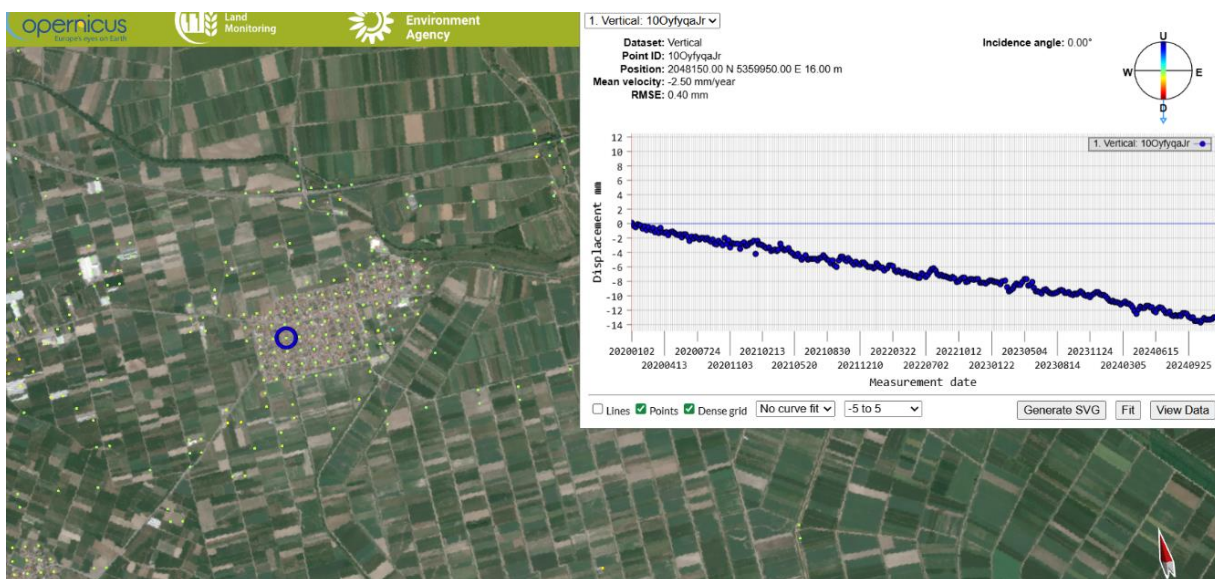
Η Καρυώτισσα είναι ένας από τους μεγαλύτερους οικισμούς του Δήμου Πέλλας, σε απόσταση περίπου 10 χιλιομέτρων δυτικά των Γιαννιτσών. Είναι ένα χωριό με έντονη αγροτική δραστηριότητα. Είναι ένας κατεξοχήν προσφυγικός οικισμός. Μετά το 1922, εγκαταστάθηκαν εκεί πρόσφυγες από την Καρυώτιδα της Ανατολικής Θράκης.

Ο οικισμός αυτός αποτελούσε το βόρειο όριο της πρώην λίμνης των Γιαννιτσών. Μετά την αποστράγγιση της, το χωριό απέκτησε πρόσβαση σε εξαιρετικά εύφορες εκτάσεις. Τα εδάφη είναι κυρίως προσχωσιγενή και πλούσια σε οργανική ύλη. Επιπρόσθετα, η περιοχή διασχίζεται από ένα εκτεταμένο δίκτυο αποστραγγιστικών καναλιών που καταλήγουν στον ποταμό Λουδία.

Η εδαφική υποχώρηση στον οικισμό παρουσιάζει μία σταθερότητα γύρω στα 0,25cm ετησίως με αποτέλεσμα να προκληθούν ρωγμές σε τοιχοποιία, περιφράξεις, πεζοδρόμια και διαρρήξεις σε οδοστρώματα. Επιπλέον, σύμφωνα με τα δεδομένα του European Ground Motion Service (EGMS), για την περίοδο 2020–2024 καταγράφεται κατακόρυφη μετακίνηση της τάξης των 1,4 cm.



Εικόνα 36 - Ρωγμές σε περίφραξη κατοικίας και καθίζηση (προσωπικό αρχείο)



Εικόνα 37 - Διάγραμμα κατακόρυφης εδαφικής μετακίνησης σημείου παρακολούθησης από το EGMS στην περιοχή του οικισμού Καρυώτισσα (EGMS, 2026)



Εικόνα 38 - Ρωγμές σε περίφραξη κατοικίας (προσωπικό αρχείο)

4.6 Εδαφικές υποχωρήσεις στην ευρύτερη περιοχή του οικισμού Μελίσσι

Ο οικισμός του Μελισσίου απέχει περίπου 5 χιλιόμετρα από τα Γιαννιτσά, πάνω στον οδικό άξονα προς την Έδεσσα. Είναι χτισμένο στα βόρεια όρια της παλαιάς, αποστραγγισθείσας λίμνης των Γιαννιτσών, όπως και η Καρυώτισσα.

Μετά από επιτόπια παρατήρηση και με τη βοήθεια χρήσης του προγράμματος EGMS (European Ground Motion Service), παρατηρήθηκε ότι το έδαφος στο βόρειο τμήμα του οικισμού είναι πιο στιβαρό με μηδενικές υποχωρήσεις. Ενώ στο νότιο τμήμα του, το οποίο αποτελούσε κομμάτι της πρώην λίμνης, οι υποχωρήσεις είναι έντονες και παρουσιάζονται με τη μορφή ρωγμών στο οδικό δίκτυο καθώς και σε τοίχους περιφράξεων.



Εικόνα 39 - Ρωγμές σε τοιχοποιία αποθήκης (προσωπικό αρχείο)



Εικόνα 40 - Καθίζηση και παραμόρφωση περίφραξης λόγω εδαφικής υποχώρησης (προσωπικό αρχείο)



Εικόνα 41 - Καθίζηση και παραμόρφωση περίφραξης λόγω εδαφικής υποχώρησης (προσωπικό αρχείο)



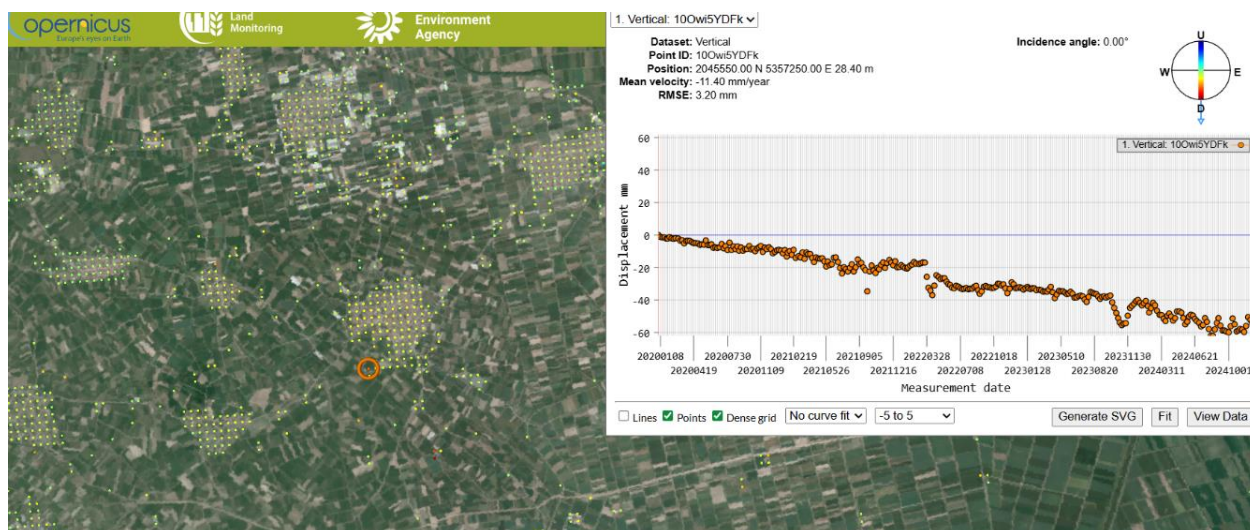
Εικόνα 42 - Ρωγμές σε περίφραξη κατοικίας (προσωπικό αρχείο)

4.7 Εδαφικές υποχωρήσεις στην ευρύτερη περιοχή του οικισμού Γαλατάδων

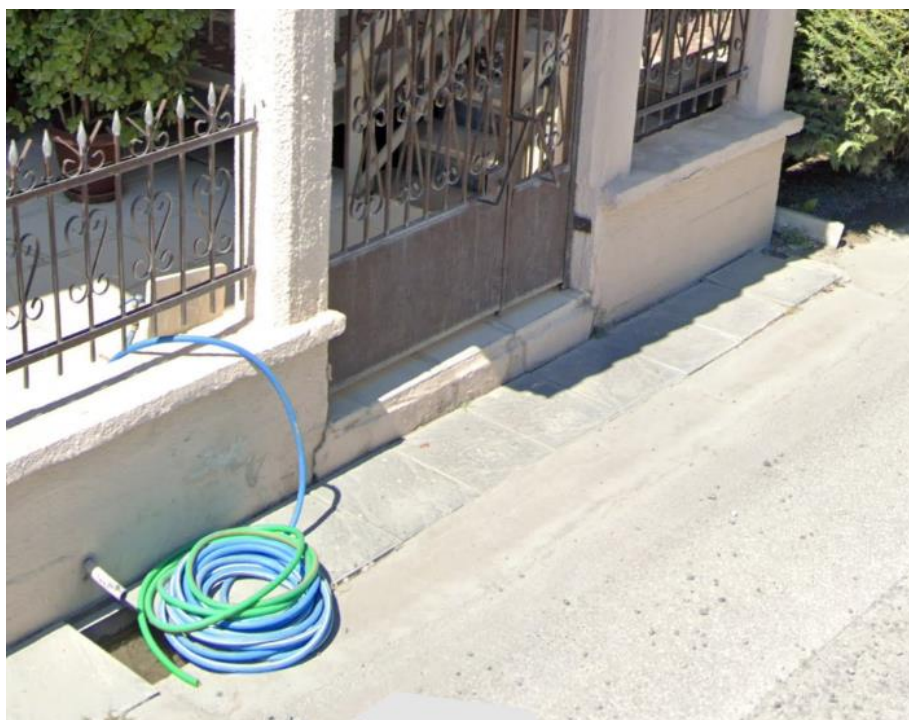
Οι Γαλατάδες είναι ένας από τους μεγαλύτερους και πιο εύπορους οικισμούς του Δήμου Πέλλας, σε απόσταση περίπου 12 χιλιομέτρων δυτικά των Γιαννιτσών. Βρίσκεται στην καρδιά της αποστραγγισθείσας λίμνης.

Ο πληθυσμός του ανέρχεται περίπου στους 2.000 κατοίκους σύμφωνα με την τελευταία απογραφή της ΕΛΣΤΑΤ (ΕΛΣΤΑΤ, 2021). Λόγω του πληθυσμού του διαθέτει πλήρεις υποδομές, όπως σχολεία, καταστήματα και υπηρεσίες.

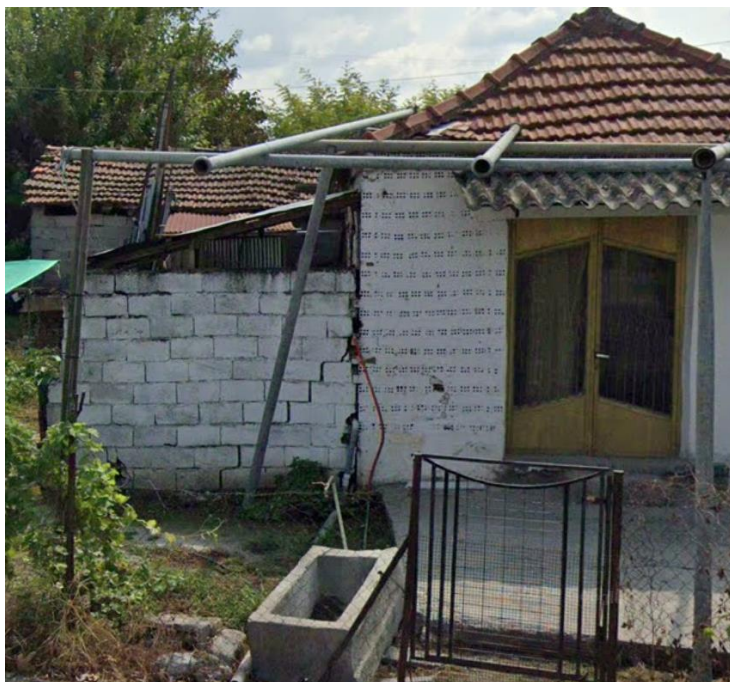
Οι μεγαλύτεροι ρυθμοί εδαφικής υποχώρησης που καταγράφηκαν στην περιοχή φτάνουν τα 1,14 cm ετησίως, με εμφανείς επιπτώσεις σε κτίρια και τεχνικές υποδομές. Παράλληλα, τα δεδομένα του EGMS δείχνουν ότι κατά την περίοδο 2020–2024 η συνολική καθίζηση έφτασε περίπου τα 6 cm.



Εικόνα 43 - Διάγραμμα κατακόρυφης εδαφικής μετακίνησης σημείου παρακολούθησης από το EGMS στην περιοχή του οικισμού Γαλατάδες (EGMS, 2026)



Εικόνα 44 - Ρωγμές σε περίφραξη κατοικίας και καθίζηση (προσωπικό αρχείο)



Εικόνα 45 - Ρωγμές σε τοιχοποιία αποθήκης (προσωπικό αρχείο)



Εικόνα 46 - Ρωγμές σε πεζοδρόμιο (προσωπικό αρχείο)

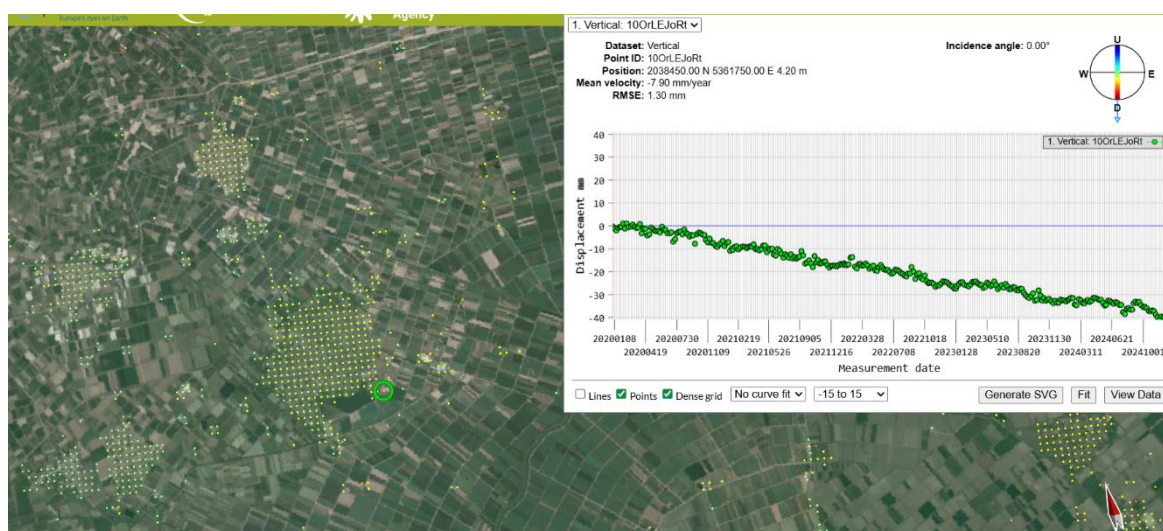
4.8 Εδαφικές υποχωρήσεις στην ευρύτερη περιοχή του οικισμού Κρύας Βρύσης

Η κρύα βρύση είναι οικισμός του Δήμου Πέλλας. Απέχει περίπου 15 χιλιόμετρα νοτιοδυτικά των Γιαννιτσών. Πριν από την αποστράγγιση της λίμνης των Γιαννιτσών, η περιοχή ήταν ένας μικρός βάλτος. Ο σύγχρονος οικισμός άρχισε να διαμορφώνεται τη δεκαετία του 1920 και του 1930 με την έλευση προσφύγων από την Ανατολική Θράκη, τη Μικρά Ασία και τον Πόντο.

Σήμερα, η Κρύα Βρύση έχει τη δομή μιας κωμόπολης, με πληθυσμό που αγγίζει περίπου τους 5.000 κατοίκους (ΕΛΣΤΑΤ, 2021). Λειτουργεί ως το κεντρικό εμπορικό και διοικητικό σημείο για όλα τα γύρω χωριά.

Η κρύα βρύση είναι χτισμένη σχεδόν στο βαθύτερο σημείο της αποστραγγισθείσας λίμνης, γι' αυτό το υπέδαφος της χαρακτηρίζεται από ένα μεγάλο πάχος λιμναίων αποθέσεων. Η σύσταση του εδάφους σε συνδυασμό με την έντονη αγροτική δραστηριότητα της περιοχής συμβάλουν στην συνεχή πτώση της στάθμης του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα.

Κατόπιν παρατήρησης και με τη βοήθεια του προγράμματος EGMS παρατηρήσαμε καθίζηση που ανέρχεται στο 0.8cm το έτος. Στις επιτόπιες καταγραφές εντοπίστηκαν καθιζήσεις σε κεντρικούς ασφαλτοστρωμένους δρόμους καθώς και ρηγματώσεις σε παλαιά κτίρια. Επιπρόσθετα, για την περίοδο 2020 – 2024, τα δεδομένα παρουσιάζουν συνολική καθίζηση ίση με 4 cm (EGMS, 2026).



Εικόνα 47 - Διάγραμμα κατακόρυφης εδαφικής μετακίνησης σημείου παρακολούθησης από το EGMS στην περιοχή του οικισμού Κρύα Βρύση (EGMS, 2026)



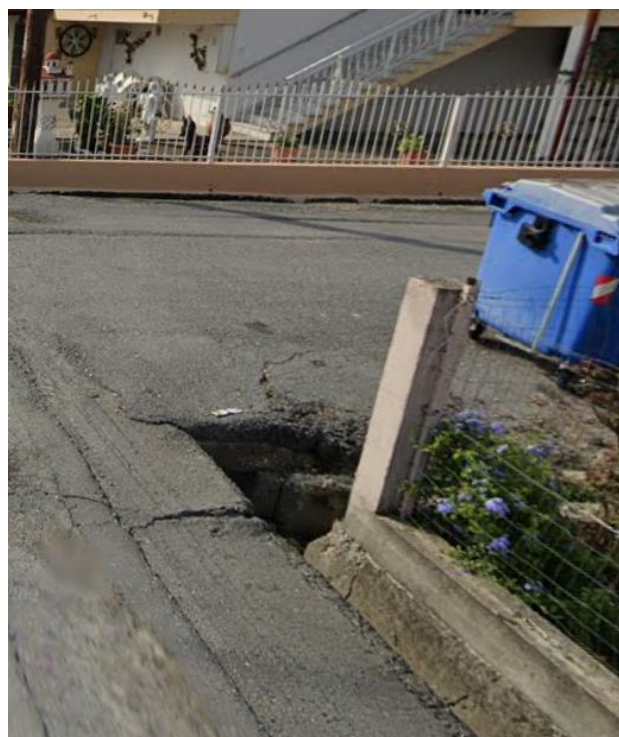
Εικόνα 48 - Ρωγμές στο οδικό δίκτυο (προσωπικό αρχείο)



Εικόνα 49 - Ρωγμές σε περίφραξη κατοικίας και καθίζηση (προσωπικό αρχείο)



Εικόνα 50 - Ρωγμές σε περίφραξη κατοικίας (προσωπικό αρχείο)



Εικόνα 51 - Καθίζηση και παραμόρφωση περίφραξης λόγω εδαφικής υποχώρησης και διαρρήξεις οδοστρώματος (προσωπικό αρχείο)

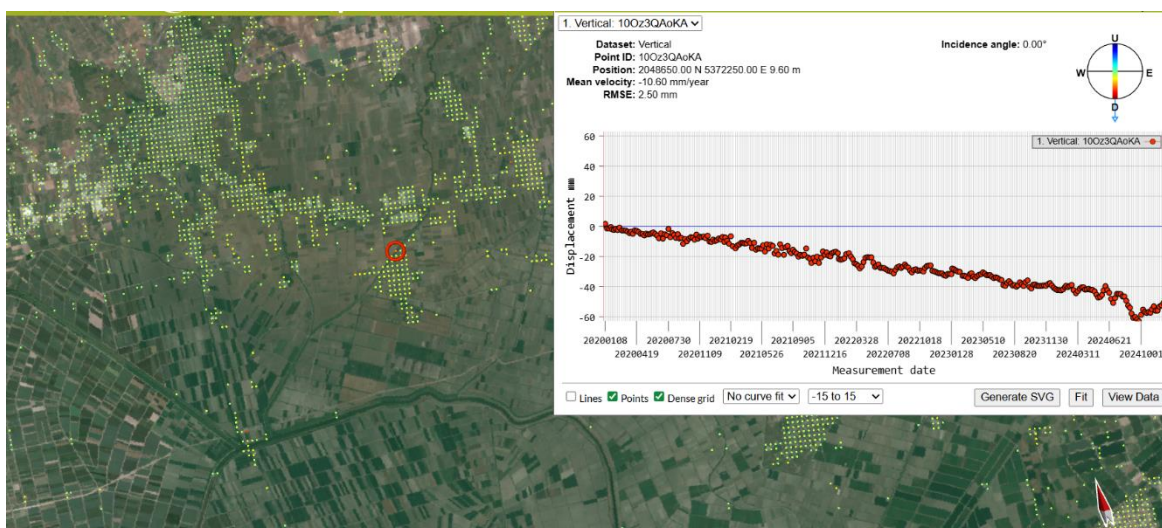
4.9 Εδαφικές υποχωρήσεις στην ευρύτερη περιοχή του οικισμού Παραλίμνης

Ο οικισμός της Παραλίμνης αποτελεί χαρακτηριστική περίπτωση περιοχής που αναδύθηκε απευθείας από την αποστράγγιση της λίμνης. Απέχει περίπου 10 χιλιόμετρα από την πόλη των Γιαννιτσών και ο πληθυσμός της ανέρχεται περίπου στους 800 κατοίκους (ΕΛΣΤΑΤ, 2021).

Η Παραλίμνη είναι χτισμένη κυριολεκτικά δίπλα και πάνω στα όρια του παλαιού λιμναίου πυθμένα. Γι' αυτό το λόγω το έδαφος της παρουσιάζει υψηλή συγκέντρωση οργανικών υλικών και είναι εξαιρετικά συμπιεστό. Επιπλέον, σύμφωνα με τα δεδομένα του European Ground Motion Service (EGMS), η περιοχή εμφανίζει σχετικά σταθερό ρυθμό καθίζησης, ο οποίος ανέρχεται περίπου σε 1,06 cm ανά έτος, με αποτέλεσμα να προκληθούν ρωγμές σε τοιχοποιία, περιφράξεις και διαρρήξεις σε οδοστρώματα. Συνολικά, για την περίοδο 2020–2024 καταγράφεται κατακόρυφη μετακίνηση της τάξης των 6 cm.



**Εικόνα 52 - Ρωγμές σε τοιχοποιία αποθήκης
(προσωπικό αρχείο)**



Εικόνα 53 - Διάγραμμα κατακόρυφης εδαφικής μετακίνησης σημείου παρακολούθησης από το EGMS στην περιοχή του οικισμού Παραλίμνη (EGMS, 2026)



Εικόνα 54 - Ρωγμές σε περίφραξη και σε τοιχοποιία κατοικίας (προσωπικό αρχείο)

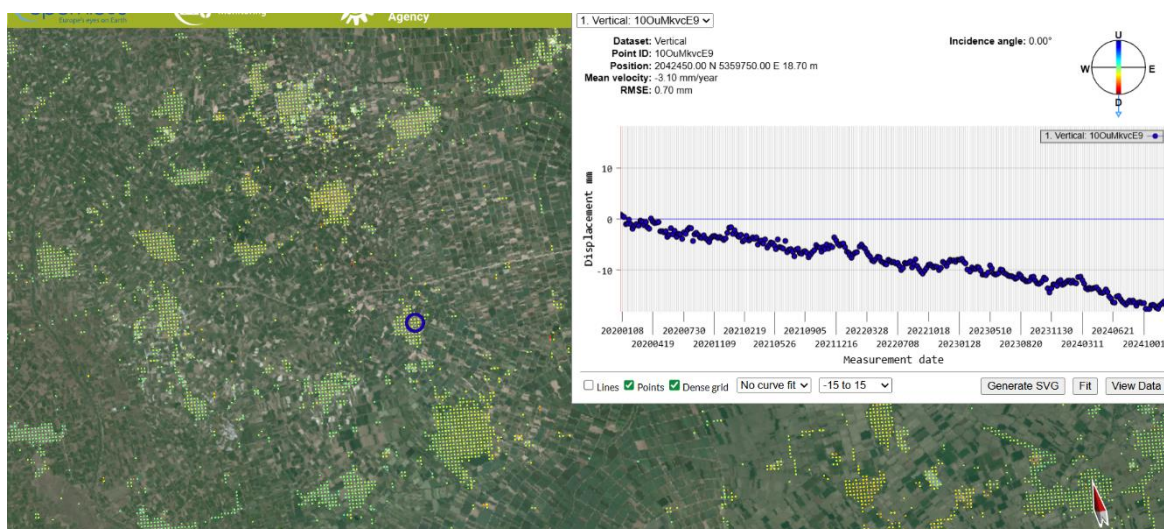
4.10 Εδαφικές υποχωρήσεις στην ευρύτερη περιοχή του οικισμού Αγίου Λουκά

Ο οικισμός του Αγίου Λουκά χωροθετείται εντός του πυρήνα της αποστραγγισθείσας λεκάνης των Γιαννιτσών, παρουσιάζοντας κοινά γεωτεχνικά χαρακτηριστικά με την γειτονική Κρύα Βρύση.

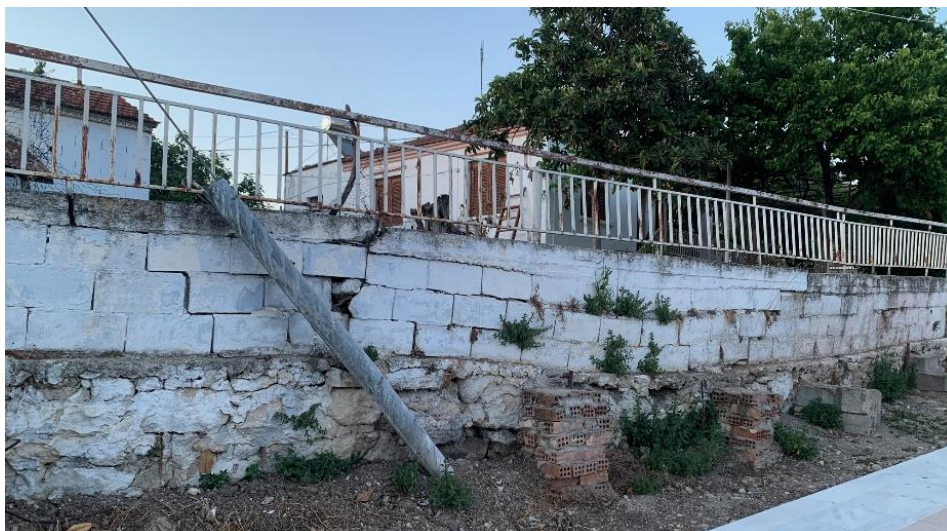
Όπως και η πλειονότητα των χωριών του κάμπου, ο σύγχρονος οικισμός αναπτύχθηκε σημαντικά μετά το 1922 και την αποστράγγιση της λίμνης, υποδεχόμενος προσφυγικούς πληθυσμούς. Σήμερα, σύμφωνα με την τελευταία απογραφή της ΕΛΣΤΑΤ (2021), ο πληθυσμός του ανέρχεται γύρω στους 900 μόνιμους κατοίκους.

Γεωλογικά ο οικισμός αυτός έχει τα ίδια χαρακτηριστικά με την Κρύα Βρύση και τον οικισμό των Γαλατάδων. Όπως και οι δύο προαναφερθέντες οικισμοί, έτσι κι αυτός είναι χτισμένος σε λιμναίες και ελκώδεις αποθέσεις. Το υπέδαφος του αποτελείται από παχιά στρώματα μαλακής αργίλου, ιλύος και τύρφης.

Ύστερα από επιτόπια έρευνα παρατηρήθηκαν έντονες ρηγματώσεις και «καθίσματα» στις άκρες των ασφαλτοστρωμένων αγροτικών και εσωτερικών δρόμων, καθώς και ρωγμές σε περιφράξεις. Παράλληλα, η ανάλυση των δεδομένων του EGMS δείχνει ότι στην περιοχή επικρατεί σχετικά σταθερός ρυθμός εδαφικής υποχώρησης, της τάξης των 0,3 cm ετησίως. Κατά την περίοδο 2020–2024 η συνολική κατακόρυφη μετακίνηση ανήλθε περίπου στα 2 cm (EGMS, 2026).



Εικόνα 55 - Διάγραμμα κατακόρυφης εδαφικής μετακίνησης σημείου παρακολούθησης από το EGMS στην περιοχή του οικισμού Άγιο Λουκά (EGMS, 2026)



Εικόνα 56 - Ρωγμές σε περίφραξη κατοικίας και καθίζηση (προσωπικό αρχείο)



Εικόνα 57 - Ρωγμές σε τοιχοποιία περίφραξης (προσωπικό αρχείο)

5. Συμπεράσματα και προτάσεις

Στο κεφάλαιο αυτό συνοψίζονται τα βασικά συμπεράσματα που προέκυψαν από την παρούσα έρευνα, ενώ παράλληλα διατυπώνονται προτάσεις για την περαιτέρω διερεύνηση του φαινομένου των εδαφικών υποχωρήσεων και την εφαρμογή κατάλληλων μέτρων αντιμετώπισης, με στόχο τον περιορισμό των επιπτώσεων που συνδέονται με την υπερεκμετάλλευση των υπόγειων υδροφορέων.

5.1 Συμπεράσματα

Η πεδιάδα Θεσσαλονίκης – Γιαννιτσών είναι η εκτεταμένη πεδινή ζώνη που βρίσκεται δυτικά της Θεσσαλονίκης. Τα φυσικά της όρια είναι ο Θερμαϊκός Κόλπος στα ανατολικά, η οροσειρά του Πάικου στα βόρεια, το όρος Βέρμιο στα δυτικά, καθώς και τα Πιέρια Όρη στα νότια.

Η περιοχή του Κάμπου των Γιαννιτσών αποτελεί τμήμα της ευρύτερης πεδιάδας Θεσσαλονίκης – Γιαννιτσών. Παρουσιάζει τη μορφή τεκτονικής τάφρου, η γένεση της οποίας συνδέεται με κυρίαρχες καθοδικές ηπειρογενετικές κινήσεις που προκάλεσαν την καταβύθιση εδαφικών τμημάτων.

Η πεδιάδα δεν είχε ανέκαθεν τη σημερινή της μορφή. Κατά τον 5ο αιώνα π.Χ., η περιοχή αυτή καλυπτόταν από θάλασσα έως τα όρια της Πέλλας. Με την πάροδο του χρόνου, οι προσχώσεις των ποταμών Αξιού και Αλιάκμονα σύγκλιναν μεταξύ τους δημιουργώντας έτσι τη λίμνη των Γιαννιτσών που σταδιακά αποκόπηκε εξ ολοκλήρου από την θάλασσα.

Η περιοχή ανήκει γεωτεκτονικά στη ζώνη της Κεντρικής Μακεδονίας και αποτελεί τμήμα της ευρύτερης λεκάνης του Αξιού. Στη στρωματογραφική δομή συμμετέχουν κυρίως Τεταρτογενή ιζήματα. Παράλληλα, σε ορισμένες θέσεις απαντώνται λιμναίες και ελώδεις αποθέσεις, οι οποίες σχετίζονται με την παλαιότερη παρουσία της λίμνης των Γιαννιτσών και των γύρω υδροτοπικών οικοσυστημάτων.

Η περιοχή εμφανίζει εύκρατο μεσογειακό κλίμα με έντονες ηπειρωτικές επιδράσεις, οι οποίες διαμορφώνουν σημαντικό ετήσιο θερμομετρικό εύρος και διαφοροποιήσεις στις θερμοκρασιακές συνθήκες μεταξύ των εποχών. Κατά τους θερινούς μήνες, η περιοχή χαρακτηρίζεται από υψηλές θερμοκρασίες και χαμηλά επίπεδα βροχόπτωσης. Γεγονός που δημιουργεί συνθήκες έντονης ξηρασίας, οι οποίες συχνά επιδεινώνονται από περιόδους παρατεταμένου καύσωνα.

Ο κάμπος των Γιαννιτσών συγκαταλέγεται στις μεγαλύτερες και πιο παραγωγικές πεδινές εκτάσεις της χώρας. Η οικονομική δραστηριότητα των κατοίκων συνδέεται σε μεγάλο βαθμό με τη γεωργία, η οποία γνώρισε σημαντική ανάπτυξη μετά την υλοποίηση αντιπλημμυρικών και αποστραγγιστικών έργων. Τα έργα αυτά συνέβαλαν στην αξιοποίηση ολοένα και μεγαλύτερων εκτάσεων για καλλιέργεια, ενισχύοντας έτσι τον αγροτικό χαρακτήρα της περιοχής. Η συνεχής ανάπτυξη του αγροτικού τομέα οδήγησε σε αυξημένες απαιτήσεις άρδευσης, οι οποίες ξεπέρασαν τις δυνατότητες παροχής του υφιστάμενου αρδευτικού δικτύου. Για την αντιμετώπιση του προβλήματος αυτού, αναπτύχθηκε ένα ευρύ σύστημα γεωτρήσεων με σκοπό την αξιοποίηση των υπόγειων υδατικών πόρων.

Μετά από την επεξεργασία των στοιχείων για την πιεζομετρική στάθμη των υπόγειων υδάτων, τα οποία συλλέχθηκαν από την Γεωπύλη της Ε.Α.Γ.Μ.Ε., για 16 υδρογεωτρήσεις στην περιοχή μελέτης διαπιστώνεται μία σχετικά ικανοποιητική κατάσταση του υπόγειου υδροφόρου συστήματος του κάμπου. Παρότι σε επιμέρους περιοχές παρατηρούνται πτωτικές τάσεις, η πλειονότητα των υδροσημείων παρουσιάζει είτε σταθερή είτε ήπια μεταβαλλόμενη συμπεριφορά, γεγονός που υποδηλώνει ότι οι υδροφορείς εξακολουθούν να τροφοδοτούνται επαρκώς.

Παράλληλα, τα δεδομένα του EGMS κατέδειξαν την ύπαρξη περιοχών όπου καταγράφονται αρνητικοί ρυθμοί κατακόρυφης μετακίνησης του εδάφους, γεγονός που υποδηλώνει συνεχιζόμενα φαινόμενα καθίζησης. Σε αρκετές περιπτώσεις οι μεγαλύτερες τιμές καθίζησης εντοπίζονται σε περιοχές έντονης γεωργικής δραστηριότητας, όπου η ζήτηση νερού είναι αυξημένη και η εξάρτηση από τις γεωτρήσεις ιδιαίτερα σημαντική.

Στον παρακάτω πίνακα αναφέρεται η συνολική κατακόρυφη μετακίνηση για την περίοδο 2020 – 2024, σύμφωνα με τα δεδομένα από τη European Ground Motion Service (2026).

Πίνακας 7 - Συνολική κατακόρυφη μετακίνηση (καθίζηση) από τα δεδομένα EGMS για την περίοδο 2020 – 2024

Περιοχή	Περίοδος	Συνολική καθίζηση (cm)	Χαρακτηρισμός
Αλεξάνδρεια	2020–2024	8,0	Πολύ έντονη καθίζηση
Νησί	2020–2024	0,8	Πολύ μικρή καθίζηση
Σχοινάς	2020–2024	3,0	Μέτρια καθίζηση
Καρυώτισσα	2020–2024	1,4	Μικρή καθίζηση
Γαλατάδες	2020–2024	6,0	Έντονη καθίζηση
Κρύα Βρύση	2020–2024	4,0	Μέτρια προς έντονη καθίζηση
Παραλίμνη	2020–2024	6,0	Έντονη καθίζηση
Άγιος Λουκάς	2020–2024	2,0	Μικρή έως μέτρια καθίζηση

Η αξιολόγηση των δεδομένων του European Ground Motion Service (EGMS) για την περίοδο 2020–2024 καταδεικνύει ότι οι ρυθμοί καθίζησης δεν είναι ομοιόμορφοι σε ολόκληρο τον κάμπο των Γιαννιτσών. Οι μεγαλύτερες κατακόρυφες μετακινήσεις καταγράφηκαν στην Αλεξάνδρεια, όπου η συνολική καθίζηση έφτασε περίπου τα 8 cm, ενώ ιδιαίτερα αυξημένες τιμές παρατηρήθηκαν επίσης στους Γαλατάδες και την Παραλίμνη, με μετακινήσεις της τάξης των 6 cm.

Αντίθετα, οι μικρότερες μετακινήσεις καταγράφηκαν στο Νησί και στην Καρυώτισσα, γεγονός που υποδηλώνει σημαντική χωρική διαφοροποίηση του φαινομένου. Οι διαφοροποιήσεις αυτές πιθανόν σχετίζονται με τις τοπικές γεωλογικές και υδρογεωλογικές συνθήκες, καθώς και με τη διαφορετική ένταση εκμετάλλευσης των υπόγειων υδατικών πόρων στις επιμέρους περιοχές της πεδιάδας.

Η επιτόπια έρευνα επιβεβαίωσε την παρουσία φαινομένων εδαφικών υποχωρήσεων και διαρρήξεων σε διάφορους οικισμούς της περιοχής μελέτης. Κατά την έρευνα

καταγράφηκαν ρωγμές σε κτίρια και παραμορφώσεις σε περιφράξεις, οι οποίες επηρεάζουν τόσο τις υποδομές όσο και τις ανθρώπινες δραστηριότητες.

Από τη συνδυαστική αξιολόγηση των πιεζομετρικών δεδομένων, των δορυφορικών μετρήσεων και των παρατηρήσεων πεδίου προκύπτει ότι η μακροχρόνια και εντατική εκμετάλλευση των υπόγειων υδάτων αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους παράγοντες που συμβάλλουν στην εκδήλωση των φαινομένων εδαφικής καθίζησης στον κάμπο των Γιαννιτσών. Η συνεχής μείωση των πιέσεων στους υδροφορείς μπορεί να οδηγήσει στη συμπίεση των λεπτόκοκκων ιζημάτων και κατ' επέκταση στην υποχώρηση της εδαφικής επιφάνειας.

Για τον περιορισμό του φαινομένου κρίνεται αναγκαία η εφαρμογή μέτρων ορθολογικής διαχείρισης των υδατικών πόρων, η συστηματική παρακολούθηση της πιεζομετρικής στάθμης, η αξιοποίηση σύγχρονων δορυφορικών τεχνικών παρακολούθησης και η προώθηση πρακτικών εξοικονόμησης νερού στον αγροτικό τομέα.

Επιπλέον, απαιτείται περαιτέρω διερεύνηση της χωρικής κατανομής των καθιζήσεων και της συσχέτισής τους με τα γεωλογικά και υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά της περιοχής, ώστε να διαμορφωθεί ένα ολοκληρωμένο πλαίσιο πρόληψης και αντιμετώπισης του φαινομένου.

5.2 Προτάσεις

Συνεπώς, προτείνεται η επέκταση των υποδομών παρακολούθησης του υδροφόρου ορίζοντα, καθώς τα διαθέσιμα στοιχεία παρουσιάζουν ελλείψεις που περιορίζουν τη δυνατότητα διεξαγωγής μιας πλήρως ολοκληρωμένης και εις βάθος αποτύπωσης του πιεζομετρικού καθεστώτος.

Η εγκατάσταση νέων πιεζομετρικών σταθμών και η συστηματική συλλογή δεδομένων στάθμης θα επιτρέψει την ακριβέστερη παρακολούθηση της εξέλιξης των υδροφορέων και τον έγκαιρο εντοπισμό περιοχών όπου παρατηρούνται σημαντικές πτώσεις της πιεζομετρικής στάθμης.

Παράλληλα, είναι αναγκαίος ο εμπλουτισμός της ήδη υπάρχον ψηφιακής βάσης δεδομένων της Ε.Α.Γ.Μ.Ε. στην οποία καταγράφονται οι στάθμες των υπόγειων υδάτων, τα στοιχεία

των γεωτρήσεων και τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων, ώστε να διευκολύνεται η διαχρονική αξιολόγηση της κατάστασης των υδροφορέων.

Καθώς η γεωργική δραστηριότητα ευθύνεται για το μεγαλύτερο ποσοστό κατανάλωσης νερού στον κάμπο των Γιαννιτσών, είναι απαραίτητη η εφαρμογή πρακτικών ορθολογικής διαχείρισης των υδατικών πόρων.

Για τον σκοπό αυτό προτείνεται

- η σταδιακή μείωση της εξάρτησης από τις γεωτρήσεις και η κάλυψη των αρδευτικών αναγκών μέσω των οργανωμένων ανοικτών και κλειστών δικτύων άρδευσης. Αυτό απαιτεί την επέκταση και τον εκσυγχρονισμό των υφιστάμενων συλλογικών αρδευτικών δικτύων, μέσω των αρμόδιων ΤΟΕΒ και ΓΟΕΒ, με σκοπό την πλήρη εξάλειψη των απωλειών διήθησης και εξάτμισης που παρατηρούνται στις ανοιχτές διώρυγες
- η αυστηριοποίηση του πλαισίου ελέγχου από τη Διεύθυνση Υδάτων της Αποκεντρωμένης Διοίκησης Μακεδονίας – Θράκης (Α.Δ.Μ.Θ.), με υποχρεωτική τοποθέτηση υδρομέτρων στις ιδιωτικές και δημόσιες γεωτρήσεις, προκειμένου να αποτρέπεται η αλόγιστη υπεράντληση
- η επιλογή λιγότερο υδροβόρων καλλιεργειών σε περιοχές όπου παρατηρούνται έντονες πτώσεις της στάθμης, καθώς και
- η εκπαίδευση των παραγωγών σε θέματα βιώσιμης διαχείρισης των υδατικών πόρων

Επιπρόσθετα, προτείνεται η μακροχρόνια και συστηματική παρακολούθηση της περιοχής μέσω δορυφορικών δεδομένων, με στόχο την καταγραφή της εξέλιξης των καθιζήσεων και την έγκαιρη αναγνώριση περιοχών όπου παρατηρούνται αυξημένοι ρυθμοί εδαφικής υποχώρησης.

Παράλληλα, η συνδυαστική αξιοποίηση των δορυφορικών δεδομένων με πιεζομετρικές μετρήσεις και στοιχεία αντλήσεων από γεωτρήσεις μπορεί να προσφέρει πολύτιμες πληροφορίες σχετικά με τη σχέση μεταξύ της υπερεκμετάλλευσης των υπόγειων υδάτων και της εκδήλωσης καθιζήσεων. Μέσα από αυτή τη συσχέτιση θα είναι δυνατός ο εντοπισμός των περιοχών όπου οι υδροφορείς υφίστανται τις μεγαλύτερες πιέσεις, καθώς και η αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας πιθανών μέτρων διαχείρισης.

Επιπλέον, τα δεδομένα που προκύπτουν από τις δορυφορικές παρατηρήσεις μπορούν να αξιοποιηθούν για τη δημιουργία θεματικών χαρτών επικινδυνότητας, οι οποίοι θα

αποτυπώνουν τις ζώνες αυξημένου κινδύνου εμφάνισης εδαφικών υποχωρήσεων. Οι χάρτες αυτοί μπορούν να αποτελέσουν χρήσιμο εργαλείο για τις τοπικές αρχές, τους φορείς διαχείρισης υδάτων και τον πολεοδομικό σχεδιασμό της περιοχής.

Τέλος, η αντιμετώπιση των εδαφικών υποχωρήσεων στον κάμπο των Γιαννιτσών δεν μπορεί να βασιστεί σε ένα μόνο μέτρο, αλλά απαιτεί ένα ολοκληρωμένο σύστημα διαχείρισης που θα συνδυάζει την παρακολούθηση των υπόγειων υδάτων, τον έλεγχο των αντλήσεων, τη χρήση σύγχρονων δορυφορικών τεχνικών και την ορθολογική αξιοποίηση των υδατικών πόρων. Η συνεργασία μεταξύ επιστημονικών φορέων, τοπικής αυτοδιοίκησης και χρηστών νερού αποτελεί βασική προϋπόθεση για τον περιορισμό των καθιζήσεων και τη διασφάλιση της μακροχρόνιας βιωσιμότητας του φυσικού και παραγωγικού περιβάλλοντος της περιοχής.

Βιβλιογραφία

Ελληνική Βιβλιογραφία

Α.Δ.Μ.Θ., Αποκεντρωμένη Διοίκηση Μακεδονίας Θράκης, (2026). Στοιχεία υδρογεωτρήσεων από το τμήμα Διεύθυνσης Υδάτων. Προσωπική επικοινωνία.

ΓΟΕΒ, Γενικός Οργανισμός Εγγείων Βελτιώσεων πεδιάδας Θεσσαλονίκης, (2026). Στοιχεία στατιστικά από το αρχείο του ΓΟΕΒ πεδιάδας Θεσσαλονίκης. Προσωπική επικοινωνία.

Γοριδάρη Δ., (2023). Μέθοδοι και πρακτικές εκσυγχρονισμού συλλογικών δικτύων άρδευσης για ορθολογικότερη διαχείριση των υδατικών πόρων και εξοικονόμηση ενέργειας: προτάσεις για το αρδευτικό δίκτυο της πεδιάδας Θεσσαλονίκης. Διπλωματική εργασία. Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο.

ΕΛΣΤΑΤ, (2021) - <https://www.statistics.gr/2021-census-res-pop-results>

ΕΜΥ, (2026). Κλιματικά Δεδομένα ανά Πόλη- ΜΕΤΕΩΓΡΑΜΜΑΤΑ, ΕΜΥ, Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία.
http://oldportal.emy.gr/emyl/climatology/climatology_city?perifereia=Central%20Macedonia&poli=Trikala_Imathia

Κατριβάνος Ε., Μουντράκης Δ., Κιλίας Α. & Παυλίδης Σ., (2001). Preliminary results of the geological structure and kinematics of deformation in Mt. Tzena (Paikon subzone, Central Macedonia, Greece). Bulletin of the Geological Society of Greece, 34(1), 137-147.
<https://doi.org/10.12681/bgsg.16953>

Κεραμοπούλου Β., (2014). Η υπεράντληση των υπόγειων υδροφόρων και οι διαχρονικές επιπτώσεις των εδαφικών υποχωρήσεων στο φυσικό και δομημένο περιβάλλον του ανατολικού θεσσαλικού κάμπου. Διδακτορική διατριβή. Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο.

Κωνσταντινίδης Κ., (1989). Τα εγχειοβελτιωτικά Έργα στη Πεδιάδα Θεσσαλονίκης. Θεσσαλονίκη: Έκδοση ΓΕΩΤ.Ε.Ε.

Κωνσταντινίδης Κ., (1975). Η μέθοδος αρδεύσεως δια καταιονήσεως. Θεσσαλονίκη – Αθήναι: Εκδοτικός Οίκος ΑΦΟΙ Π. ΣΑΚΚΟΥΛΑ

Λουπασάκης Κ., (2013). Τεχνική Γεωλογία Ι. Τομέας Γεωλογικών Επιστημών. Σχολή Μηχ. Μεταλλείων – Μεταλλουργών. ΕΜΠ. Αθήνα.

<http://www.legah.metal.ntua.gr/pdf/tex1/2013/.pdf>

Μπαλιώτη Β., (2009). Διαχείριση αρδευτικών δικτύων με τη βοήθεια του γραμμικού προγραμματισμού. Εφαρμογή στο αρδευτικό δίκτυο Γέφυρας. Μεταπτυχιακή Διατριβή. ΑΠΘ.

Πανταζοπούλου Ζ., Μουρατίδης Α., & Τσακίρη-Στρατή Μ., (2017). Φυσικές και ανθρωπογενείς διεργασίες στο ευρύτερο οικιστικό συγκρότημα της Θεσσαλονίκης. Στο Ζώντας με τα GIS: Αφιέρωμα στη μνήμη του Καθηγητή Ιωάννη Παρασχάκη, ΑΠΘ. <https://old.topo.auth.gr/wp-content/uploads/sites/111/2021/12/22-Pantazopoulou.pdf>

Περιφέρεια Κεντρικής Μακεδονίας, (2023). “ΣΥΜΒΟΥΛΟΣ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΚΠΟΝΗΣΗ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΟΥ ΣΧΕΔΙΟΥ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ ΣΤΗΝ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ (ΠΕΣΠΚΑ) ΣΤΗΝ ΚΕΝΤΡΙΚΗ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑ” ΠΕΣΠΚΑ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΣ ΚΕΝΤΡΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ Φεβρουάριος 2023. https://pkm.gov.gr/wp-content/uploads/2023/05/Paradoteo_7_PESPKA_PKM_s-1.pdf

Ράπτη Δ., (1995) ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΕΡΕΥΝΕΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΣΚΥΔΡΑΣ-ΕΠΙΣΚΟΠΗΣ (ΚΕΝΤΡΙΚΗ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑ). (n.d.-b). <https://freader.ekt.gr/eadd/index.php?doc=3766&lang=el#p=19>

Ράπτη Δ., (1996). Το πρόβλημα της πτώσης της στάθμης και της ποιοτικής υποβάθμισης των υπόγειων νερών του ηφαιστειακού υδροφορέα της ευρύτερης περιοχής Σκύδρας – Επισκοπής. Πρακτικά Ημερίδας Υδατικοί Πόροι Νομού Πέλλας Διαχείριση – Προβλήματα – Προοπτικές, Έδεσσα, Σελ. 35-51

Ρόζος Δ., Χατζηνάκος Ι., Αποστολίδης Ε., (1992): Τεχνικογεωλογικές συνθήκες των σχηματισμών στην ευρύτερη βιομηχανική περιοχή της πόλης της Θεσσαλονίκης. Πρακτικά 2ου Πανελλήνιου Συνεδρίου Γεωτεχνικής Μηχανικής, Θεσσαλονίκη, Σελ. 261-268.

Ρόζος Δ. και Τζιτζιρας Α., (2002), Έκθεση τεχνικογεωλογικής εξέτασης εδαφικών αστοχιών στο Δημοτικό Διαμέρισμα Φαρσάλων του Δήμου Φαρσάλων, Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών, Αθήνα.

Ρόζος Δ., (2007). Εγχειρίδιο Τεχνικής Γεωλογίας Ι, Κατολισθήσεις- Εδαφικές υποχωρήσεις-Καθιζήσεις, Τομέας Γεωλογικών Επιστημών, Εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας-Υδρογεωλογίας, Σχολή Μηχ. Μεταλλείων-Μεταλλουργών, ΕΜΠ, Αθήνα.

Ρόζος Δ., Λουπασάκης Κ. (2012). Εδαφικές υποχωρήσεις από υπεράντληση υδροφόρων - Ορυκτός Πλούτος της Επιστημονική Εταιρεία Τεχνολόγων Ορυκτού Πλούτου. Σελ.33-46, Αθήνα.

Σαμπατακάκης Ν., (1991), Τεχνικογεωλογική Έρευνα Λεκανοπεδίου Αθηνών , διδακτορική διατριβή, Αθήνα1991.

Σιδέρη Δ., (2016). Διερεύνηση των εδαφικών υποχωρήσεων από υπεράντληση υδροφορέων στον δυτικό θεσσαλικό κάμπο, με βάση τη γεωτεχνική συμπεριφορά των σχηματισμών και τη συμβολή γεωστατιστικού μοντέλου. Διδακτορική διατριβή. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο. <https://dspace.lib.ntua.gr>

Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων., (χ.χ.). Υδρογεωλογικά στοιχεία Λεκάνης Λουδίας - Μογλενίτσα. Ανακτήθηκε από https://ardeftika.decentral.minagric.gr/files/results/hydro/9.%20HYDRO_LOUDIA_MOGLENITSA.pdf

Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων., (χ.χ.). Υδρογεωλογικά στοιχεία Λεκάνης Αξιού. Ανακτήθηκε από https://ardeftika.decentral.minagric.gr/files/results/hydro/7.%20HYDRO_AXIOU.pdf

ΥΔ Κεντρικής Μακεδονίας – EL10 – Σχέδια Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας., (2024). Ypeka.gr. <https://floods.ypeka.gr/sdkp-lap/maps-2round/sdkp-el10-2round/>

Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας., (2023). Σχέδιο Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας Λεκανών Απορροής Ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος Κεντρικής Μακεδονίας (EL10). Ανακτήθηκε από https://floods.ypeka.gr/wp-content/uploads/2023/12/P11_GR10.pdf

Χριστοδούλου Γ., (1962). Επί των γεωτρήσεων της πεδιάδος Θεσσαλονίκης (Γιαννιτσών, Κορυφής, Κλειδίου) : έκθεσής / υπό Δρ. Γ. Χριστοδούλου. Αθήναι : Ινστιτούτο Γεωλογίας και Ερευνών Υπεδάφους. <https://geoportal.eagme.gr/Library/%CE%951065.pdf>

Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία

Abidin H. Z., Andreas H., Gumilar I., Fukuda Y., Pohan Y. E., & Deguchi T., (2011). Land subsidence of Jakarta (Indonesia) and its relation with urban development. *Natural Hazards*, 59(3), 1753–1771. <https://doi.org/10.1007/s11069-011-9866-9>

Carbognin L., Gatto P., Mozzi G., National Research Council, Gambolati G., IBM Scientific Center, Ricceri G., Mozzi G., Gambolati G., & Ricceri G., (1977). Case History No. 9.3. Venice, Italy. In IAHS-AISH Publication (pp. 65–81). <https://wwwrcamnl.wr.usgs.gov/rgws/Unesco/PDF-Chapters/Chapter9-3.pdf>

Chaussard E., Havazli E., Fattahi H., Cabral-Cano E., & Solano-Rojas D., (2021). Over a century of sinking in Mexico City: No hope for significant elevation and storage capacity recovery. *Journal of Geophysical Research Solid Earth*, 126(4). <https://doi.org/10.1029/2020jb020648>

EGMS, (2026) - <https://egms.land.copernicus.eu/>

Galloway D. & Riley F. S., (1999). San Joaquin Valley, California: Largest human alteration of the Earth's surface. U.S. Geological Survey. https://www.researchgate.net/publication/313157507_San_Joaquin_Valley_California_Largest_human_alteration_of_the_Earth's_surface

Ghilardi M., Kunesch S., Styllas M., & Fouache E., (2008). Reconstruction of Mid-Holocene sedimentary environments in the central part of the Thessaloniki Plain (Greece), based on microfaunal identification, magnetic susceptibility and grain-size analyses. *Geomorphology*, 97(3-4), 617–630. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2007.09.007>

Gabrielle S., (2023). From Jakarta to Nusantara: Land subsidence and other pressing water challenges in a sinking mega city. Space4Water Portal. <https://www.space4water.org/news/jakarta-nusantara-land-subsidence-and-other-pressing-water-challenges-sinking-mega-city>

Google Earth, (2026). <https://earth.google.com/web/>

Karatzova. (2024). Αντιπλημμυρικά έργα στην Τάφρο 66 και στον ποταμό Λουδία – Αρχίζουν εντός του 2025. <https://www.karatzova.com/2024/11/66-2025.html>

Land subsidence in the San Joaquin Valley., (2019). USGS. Retrieved March 23, 2026, from <https://www.usgs.gov/media/images/land-subsidence-san-joaquin-valley>

Mercier J., (1966). Étude géologique des zones internes des Hellénides en Macédoine centrale (Grèce). Paris: Annales Géologiques des Pays Helléniques.

Phien-Wej N., Giao P. & Nutalaya P., (2005). Land subsidence in Bangkok, Thailand. Engineering Geology, 82(4), 187–201. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2005.10.004>

Reporters O., (2015). Bangkok sinking 10mm every year. <https://www.bangkokpost.com>.
<https://www.bangkokpost.com/thailand/general/597616/bangkok-sinking-10mm-every-year>

Reporter G. S., (2020). Flooding in Venice - in pictures. The Guardian. https://www.theguardian.com/weather/gallery/2019/nov/13/flooding-in-venice-in-pictures?utm_source=chatgpt.com

Science Wiki. (n.d.). Λουδίας Ποταμός. Fandom. <https://science.fandom.com/el/wiki/>

Svigkas N., Papoutsis I., Loupasakis C., Tsangaratos P., Kiratzi A. & Kontoes C., (2016). Land subsidence rebound detected via multi-temporal InSAR and ground truth data in Kalochori and Sindos regions, Northern Greece. Engineering Geology 209, 175–186. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enggeo.2016.05.017>

Solano-Rojas D., Wdowinski S., Cabral-Cano E., & Osmanoglu B., (2024). Geohazard assessment of Mexico City's Metro system derived from SAR interferometry observations. Scientific Reports, 14(1), 6035. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-53525-y>

Veranis N., Christidis C., Chrysafi A., & Markovasili K., (2012). Hydrogeological conditions and groundwater qualities of the lower reaches of Aliakmona & Loudia rivers aquifer system, Region of Central Macedonia, Northern Greece. Πρακτικά 9ου Διεθνούς Υδρογεωλογικού Συνεδρίου, σελ. 357–364. https://www.researchgate.net/profile/Christos-Christidis/publication/281289393_.pdf

Παράρτημα Α

Πίνακας 8 - Υδροσημεία δημοτικών αρδευτικών έργων και ΟΕΒ της Περιφέρειας Πέλλας (Α.Δ.Μ.Θ., 2026)

Π.Ε.	Δ.Κ./Τ.Κ.	ΥΔ	ΛΑΠ	Χ	Υ	ΒΑΘΟΣ ΣΩΛ. (m)	ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΣΩΛ. (ΙΝΤΣΕΣ)	ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΝΕΡΟΥ
ΠΕΛΛΑΣ	ΜΥΛΟΤΟΠΟΣ	ΕΛ10	ΕΛ1003	360565	4519030	220	10	143.370
ΠΕΛΛΑΣ	ΚΡΥΑΣ ΒΡΥΣΗΣ	ΕΛ10	ΕΛ1003	352181	4508565	180	10	528.000
ΠΕΛΛΑΣ	ΚΡΥΑΣ ΒΡΥΣΗΣ	ΕΛ10	ΕΛ1003	350848	4508902	180	10	
ΠΕΛΛΑΣ	ΠΛΑΓΙΑΡΙΟΥ	ΕΛ10	ΕΛ1003	354283	4520248	219	10	240.000
ΠΕΛΛΑΣ	ΑΜΠΕΛΙΑ	ΕΛ10	ΕΛ1003	364233	4518652	280	10	1.553.500
ΠΕΛΛΑΣ	ΑΜΠΕΛΙΑ	ΕΛ10	ΕΛ1003	364605	4518915	250	10	
ΠΕΛΛΑΣ	ΑΜΠΕΛΙΑ	ΕΛ10	ΕΛ1003	364274	4519239	280	10	
ΠΕΛΛΑΣ	ΑΜΠΕΛΙΑ	ΕΛ10	ΕΛ1003	363834	4519937	250	8	
ΠΕΛΛΑΣ	ΑΜΠΕΛΙΑ	ΕΛ10	ΕΛ1003	364393	4520207	270	10	
ΠΕΛΛΑΣ	ΑΜΠΕΛΙΑ	ΕΛ10	ΕΛ1003	363140	4520142	240	10	
ΠΕΛΛΑΣ	ΑΜΠΕΛΙΑ	ΕΛ10	ΕΛ1003	363513	4520538	190	10	
ΠΕΛΛΑΣ	ΑΜΠΕΛΙΑ	ΕΛ10	ΕΛ1003	364883	4520499	320	10	
ΠΕΛΛΑΣ	ΑΜΠΕΛΙΑ	ΕΛ10	ΕΛ1003	364674	4519322	250	10	
ΠΕΛΛΑΣ	ΑΡΑΒΗΣΣΟΣ	ΕΛ10	ΕΛ1003	356129	4524046	250	8	687.000
ΠΕΛΛΑΣ	ΑΡΑΒΗΣΣΟΣ	ΕΛ09	ΕΛ0902	356033	4523663	250	8	
ΠΕΛΛΑΣ	ΑΡΑΒΗΣΣΟΣ	ΕΛ10	ΕΛ1003	357821	4523710	250	8	
ΠΕΛΛΑΣ	ΠΑΛΑΙΦΥΤΟ	ΕΛ10	ΕΛ1003	352196	4515263	150	10	2.580.000
ΠΕΛΛΑΣ	ΠΑΛΑΙΦΥΤΟ	ΕΛ10	ΕΛ1003	353330	4514876	180	10	
ΠΕΛΛΑΣ	ΠΑΛΑΙΦΥΤΟ	ΕΛ10	ΕΛ1003	353901	4514307	180	10	
ΠΕΛΛΑΣ	ΠΑΛΑΙΦΥΤΟ	ΕΛ10	ΕΛ1003	354718	4515432	150	8	
ΠΕΛΛΑΣ	ΠΑΛΑΙΦΥΤΟ	ΕΛ10	ΕΛ1003	356156	4514799	180	10	
ΠΕΛΛΑΣ	ΠΑΛΑΙΦΥΤΟ	ΕΛ10	ΕΛ1003	355714	4513809	180	10	
ΠΕΛΛΑΣ	ΑΚΡΟΛΙΜΝΗΣ	ΕΛ10	ΕΛ1003	354290	4506762	60	5	33.620
ΠΕΛΛΑΣ	ΕΣΩΒΑΛΤΩΝ	ΕΛ10	ΕΛ1003	352587	4507089	50	4	
ΠΕΛΛΑΣ	ΣΤΑΥΡΟΔΡΟΜΙΟΥ	ΕΛ10	ΕΛ1003	350067	4507588	50	6	
ΠΕΛΛΑΣ	ΑΓΙΟΥ ΛΟΥΚΑ	ΕΛ10	ΕΛ1003	355537	4506987	60	6	
ΠΕΛΛΑΣ	ΑΚΡΟΛΙΜΝΗΣ	ΕΛ10	ΕΛ1003	353384	4504745	50	4	
ΠΕΛΛΑΣ	ΑΚΡΟΛΙΜΝΗΣ	ΕΛ10	ΕΛ1003	353006	4505085	50	6	
ΠΕΛΛΑΣ	ΓΑΛΑΤΑΔΩΝ	ΕΛ10	ΕΛ1003	354583	4507949	45	4	
ΠΕΛΛΑΣ	ΚΑΡΥΩΤΙΣΣΑΣ	ΕΛ09	ΕΛ1003	358988	4509448	50	4	1.350
ΠΕΛΛΑΣ	ΚΡΥΑΣ ΒΡΥΣΗΣ	ΕΛ09	ΕΛ1003	360715	4505539	50	4	2.800
ΠΕΛΛΑΣ	ΚΡΥΑΣ ΒΡΥΣΗΣ	ΕΛ10	ΕΛ1003	359680	4504256	42	5	3.500
ΠΕΛΛΑΣ	ΚΡΥΑΣ ΒΡΥΣΗΣ	ΕΛ10	ΕΛ1003	358300	4502906	42	5	2.150
ΠΕΛΛΑΣ	ΚΡΥΑΣ ΒΡΥΣΗΣ	ΕΛ10	ΕΛ1003	357715	4508211	50	4	4.790
ΠΕΛΛΑΣ	ΓΙΑΝΝΙΤΣΑ	ΕΛ10	ΕΛ1003	361797	4506649	50	4	6.280
ΠΕΛΛΑΣ	ΚΑΡΥΩΤΙΣΣΑΣ	ΕΛ10	ΕΛ1003	359034	4511531	100	4	4.790
ΠΕΛΛΑΣ	ΚΑΡΥΩΤΙΣΣΑΣ	ΕΛ10	ΕΛ1003	360559	4511538	100	4	4.790

ΠΕΛΛΑΣ	ΚΑΡΥΩΤΙΣΣΑΣ	ΕΛ10	ΕΛ1003	357785	4512011	100	4	4.790
ΠΕΛΛΑΣ	ΑΓΙΟΥ ΛΟΥΚΑ	ΕΛ10	ΕΛ1003	356474	4509029	50	4	4.790
ΠΕΛΛΑΣ	ΚΡΥΑΣ ΒΡΥΣΗΣ	ΕΛ10	ΕΛ1003	358977	4507696	100	4	4.790
ΠΕΛΛΑΣ	ΓΙΑΝΝΙΤΣΑ	ΕΛ10	ΕΛ1003	363468	4508793	100	4	6.280
ΠΕΛΛΑΣ	ΓΙΑΝΝΙΤΣΑ	ΕΛ10	ΕΛ1003	364562	4510153	100	4	6.280
ΠΕΛΛΑΣ	ΓΙΑΝΝΙΤΣΑ	ΕΛ10	ΕΛ1003	361566	4505174	100	4	6.280
ΠΕΛΛΑΣ	ΑΓΙΟΥ ΓΕΩΡΓΙΟΥ	ΕΛ10	ΕΛ1003	352709	4514188	120	10	460.000
ΠΕΛΛΑΣ	ΑΓΙΟΥ ΓΕΩΡΓΙΟΥ	ΕΛ10	ΕΛ1003	351701	4514326	120	10	
ΠΕΛΛΑΣ	ΠΛΑΓΙΑΡΙΟΥ	ΕΛ10	ΕΛ1003	353687	4521738	220	10	410.000
ΠΕΛΛΑΣ	ΠΛΑΓΙΑΡΙΟΥ	ΕΛ10	ΕΛ1003	353786	4522171	220	10	
ΠΕΛΛΑΣ	ΠΛΑΓΙΑΡΙΟΥ	ΕΛ10	ΕΛ1003	355261	4522383	180	10	
ΠΕΛΛΑΣ	ΠΛΑΓΙΑΡΙΟΥ	ΕΛ10	ΕΛ1003	354316	4522309	220	10	
ΠΕΛΛΑΣ	ΤΡΙΦΥΛΛΙΟΥ	ΕΛ10	ΕΛ1003	353816	4517179	180	10	687.000
ΠΕΛΛΑΣ	ΤΡΙΦΥΛΛΙΟΥ	ΕΛ10	ΕΛ1003	353486	4516835	180	10	
ΠΕΛΛΑΣ	ΤΡΙΦΥΛΛΙΟΥ	ΕΛ10	ΕΛ1003	352399	4516877	180	10	
ΠΕΛΛΑΣ	ΤΡΙΦΥΛΛΙΟΥ	ΕΛ10	ΕΛ1003	352703	4515798	180	10	
ΠΕΛΛΑΣ	ΔΡΟΣΕΡΟΥ	ΕΛ10	ΕΛ1003	353459	4522760	130	8	674.000
ΠΕΛΛΑΣ	ΔΡΟΣΕΡΟΥ	ΕΛ10	ΕΛ1003	353377	4522918	155	8	
ΠΕΛΛΑΣ	ΔΡΟΣΕΡΟΥ	ΕΛ10	ΕΛ1003	353510	4522365	200	8	
ΠΕΛΛΑΣ	ΔΡΟΣΕΡΟΥ	ΕΛ10	ΕΛ1003	353039	4521905	190	8	
ΠΕΛΛΑΣ	ΔΡΟΣΕΡΟΥ	ΕΛ10	ΕΛ1003	352156	4521843	180	8	
ΠΕΛΛΑΣ	ΔΡΟΣΕΡΟΥ	ΕΛ10	ΕΛ1003	351610	4521686	180	8	
ΠΕΛΛΑΣ	ΔΡΟΣΕΡΟΥ	ΕΛ10	ΕΛ1003	350770	4521272	200	8	
ΠΕΛΛΑΣ	ΔΡΟΣΕΡΟΥ	ΕΛ10	ΕΛ1003	352703	4520503	200	8	
ΠΕΛΛΑΣ	ΑΡΑΒΗΣΣΟΥ	ΕΛ10	ΕΛ1003	355125	4520410	50	5	2.900
ΠΕΛΛΑΣ	ΛΑΚΚΑΣ	ΕΛ10	ΕΛ1003	351182	4523339	200	10	432.000
ΠΕΛΛΑΣ	ΛΑΚΚΑΣ	ΕΛ10	ΕΛ1003	353000	4522933	200	10	
ΠΕΛΛΑΣ	ΛΑΚΚΑΣ	ΕΛ10	ΕΛ1003	351441	4523158	200	10	
ΠΕΛΛΑΣ	ΑΞΟΥ	ΕΛ10	ΕΛ1003	362770	4517931	220	10	840.000
ΠΕΛΛΑΣ	ΑΞΟΥ	ΕΛ10	ΕΛ1003	362318	4517912	220	10	
ΠΕΛΛΑΣ	ΑΞΟΥ	ΕΛ10	ΕΛ1003	361757	4519029	220	10	
ΠΕΛΛΑΣ	ΑΞΟΥ	ΕΛ10	ΕΛ1003	363025	4518423	220	10	
ΠΕΛΛΑΣ	ΑΞΟΥ	ΕΛ10	ΕΛ1003	362304	4519926	220	10	328.500
ΠΕΛΛΑΣ	ΤΡΙΦΥΛΛΙΟΥ	ΕΛ10	ΕΛ1003	353409	4518819	180	10	
ΠΕΛΛΑΣ	ΤΡΙΦΥΛΛΙΟΥ	ΕΛ10	ΕΛ1003	353865	4517980	180	10	1.160.000
ΠΕΛΛΑΣ	ΓΑΛΑΤΑΔΩΝ	ΕΛ10	ΕΛ1003	355153	4513922	220	10	
ΠΕΛΛΑΣ	ΓΑΛΑΤΑΔΩΝ	ΕΛ10	ΕΛ1003	354334	4513738	125	10	
ΠΕΛΛΑΣ	ΓΑΛΑΤΑΔΩΝ	ΕΛ10	ΕΛ1003	355612	4511487	220	10	
ΠΕΛΛΑΣ	ΓΑΛΑΤΑΔΩΝ	ΕΛ10	ΕΛ1003	353243	4512806	125	10	3.370
ΠΕΛΛΑΣ	ΚΡΥΑΣ ΒΡΥΣΗΣ	ΕΛ10	ΕΛ1003	357068	4502957	42	4	
ΠΕΛΛΑΣ	ΓΙΑΝΝΙΤΣΑ	ΕΛ10	ΕΛ1003	364983	4513382	110	4	9.600
ΠΕΛΛΑΣ	ΓΙΑΝΝΙΤΣΑ	ΕΛ10	ΕΛ1003	363270	4513406	160	4	9.600
ΠΕΛΛΑΣ	ΓΙΑΝΝΙΤΣΑ	ΕΛ10	ΕΛ1003	364153	4510988	150	4	9.600
ΠΕΛΛΑΣ	ΓΙΑΝΝΙΤΣΑ	ΕΛ10	ΕΛ1003	365854	4512303	160	4	9.600
ΠΕΛΛΑΣ	ΓΙΑΝΝΙΤΣΑ	ΕΛ10	ΕΛ1003	367170	4511321	120	4	9.600

ΠΕΛΛΑΣ	ΓΙΑΝΝΙΤΣΑ	ΕΛ10	ΕΛ1003	370070	4510607	120	4	9.600
ΠΕΛΛΑΣ	ΓΙΑΝΝΙΤΣΑ	ΕΛ10	ΕΛ1003	368716	4511978	180	4	9.600
ΠΕΛΛΑΣ	ΓΙΑΝΝΙΤΣΑ	ΕΛ10	ΕΛ1003	365299	4509378	120	4	14.400
ΠΕΛΛΑΣ	ΓΙΑΝΝΙΤΣΑ	ΕΛ10	ΕΛ1003	364896	4506789	120	4	9.600
ΠΕΛΛΑΣ	ΓΙΑΝΝΙΤΣΑ	ΕΛ10	ΕΛ1003	366468	4506465	120	4	9.600
ΠΕΛΛΑΣ	ΓΙΑΝΝΙΤΣΑ	ΕΛ10	ΕΛ1003	367390	4506750	120	4	9.600
ΠΕΛΛΑΣ	ΓΙΑΝΝΙΤΣΑ	ΕΛ10	ΕΛ1003	368721	4507321	120	4	9.600
ΠΕΛΛΑΣ	ΓΙΑΝΝΙΤΣΑ	ΕΛ10	ΕΛ1003	369015	4508221	120	4	9.600
ΠΕΛΛΑΣ	ΓΙΑΝΝΙΤΣΑ	ΕΛ10	ΕΛ1003	369446	4509136	120	4	9.600
ΠΕΛΛΑΣ	ΜΕΛΙΣΣΙ	ΕΛ10	ΕΛ1003	360595	4514151			218.000
ΗΜΑΘΙΑΣ	ΑΛΕΞΑΝΔΡΕΙΑΣ	ΕΛ10	ΕΛ1003	371061	4498485	96	6	10.000
ΗΜΑΘΙΑΣ	ΝΗΣΙ	ΕΛ10	ΕΛ1003	360896	4501106	110	4	10.000
ΗΜΑΘΙΑΣ	ΝΗΣΙ	ΕΛ10	ΕΛ1003	361797	4501517	108	6	10.000
ΗΜΑΘΙΑΣ	ΝΗΣΙ	ΕΛ10	ΕΛ1003	366298	4499842	90	6	10.000
ΗΜΑΘΙΑΣ	ΝΗΣΙ	ΕΛ10	ΕΛ1003	361932	4500080	102	6	10.000
ΗΜΑΘΙΑΣ	ΑΛΕΞΑΝΔΡΕΙΑΣ	ΕΛ10	ΕΛ1003	371562	4500072	102	6	10.000
ΗΜΑΘΙΑΣ	ΑΛΕΞΑΝΔΡΕΙΑΣ	ΕΛ10	ΕΛ1003	373145	4502348	54	4	10.000
ΗΜΑΘΙΑΣ	ΑΛΕΞΑΝΔΡΕΙΑΣ	ΕΛ10	ΕΛ1003	370645	4505462	80	4	10.000
ΗΜΑΘΙΑΣ	ΣΧΟΙΝΑ	ΕΛ10	ΕΛ1003	364257	4502270	72	4	10.000
ΗΜΑΘΙΑΣ	ΣΧΟΙΝΑ	ΕΛ10	ΕΛ1003	366642	4502685	96	4	10.000

Παράρτημα Β

Πίνακας 9 - Υδροσημεία δημοτικών υδρευτικών έργων Περιφέρειας Πέλλας (Α.Δ.Μ.Θ., 2026)

ΦΟΡΕΑΣ /ΔΗΜΟΣ	Χ	Υ	ΕΙΔΟΣ ΥΔΡΟΛΗ ΨΙΑΣ	Δ.Κ/Τ.Κ.	ΥΔ	ΒΑΘΟΣ ΣΩΛ. (m)	ΔΙΑΜΕ- ΤΡΟΣ ΣΩΛ. (ΙΝΤΣΕΣ)	ΠΟΣΟΤ ΗΤΑ (m ³ /yr)	ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΑΔΕΙΑΣ
ΠΕΛΛΑ	370269	4516575	Γ	ΓΙΑΝΝΙΤΣΑ	ΕΛ10	200	8		ΥΔΡΕΥΣΗ
ΠΕΛΛΑ	370205	4516448	Γ	ΓΙΑΝΝΙΤΣΑ	ΕΛ10	270	10		ΥΔΡΕΥΣΗ
ΠΕΛΛΑ	378647	4518502	Γ	ΑΘΥΡΑ	ΕΛ10	250	8		ΥΔΡΕΥΣΗ
ΠΕΛΛΑ	376752	4518416	Γ	ΡΑΧΩΝΑ	ΕΛ10	220	8		ΥΔΡΕΥΣΗ
ΠΕΛΛΑ	377113	4513999	Γ	ΠΕΛΛΑ	ΕΛ10	220	8		ΥΔΡΕΥΣΗ
ΠΕΛΛΑ	377680	4512446	Γ	ΠΕΛΛΑ	ΕΛ10	220	10		ΥΔΡΕΥΣΗ
ΠΕΛΛΑ	377362	4512429	Γ	ΠΕΛΛΑ	ΕΛ10	250	8		ΥΔΡΕΥΣΗ
ΠΕΛΛΑ	372593	4513909	Γ	Ν.ΠΕΛΛΑ	ΕΛ10	190	8		ΥΔΡΕΥΣΗ
ΠΕΛΛΑ	372773	4514028	Γ	Ν.ΠΕΛΛΑ	ΕΛ10	160	8		ΥΔΡΕΥΣΗ
ΠΕΛΛΑ	354466	4512696	Γ	ΓΑΛΑΤΑΔΕΣ	ΕΛ10	180	10		ΥΔΡΕΥΣΗ
ΠΕΛΛΑ	354823	4512258	Γ	ΓΑΛΑΤΑΔΕΣ	ΕΛ10	200	10		ΥΔΡΕΥΣΗ
ΠΕΛΛΑ	354115	4516183	Γ	ΠΑΛΑΙΦΥΤΟ	ΕΛ10	170	10		ΥΔΡΕΥΣΗ
ΠΕΛΛΑ	353494	4516477	Γ	ΤΡΙΦΥΛΛΙ	ΕΛ10	150	10		ΥΔΡΕΥΣΗ
ΠΕΛΛΑ	353500	4516466	Γ	ΤΡΙΦΥΛΛΙ	ΕΛ10	200	10		ΥΔΡΕΥΣΗ
ΠΕΛΛΑ	352008	4520411	Γ	ΔΡΟΣΕΡΟ	ΕΛ10	100	8		ΥΔΡΕΥΣΗ
ΠΕΛΛΑ	352418	4513849	Γ	ΑΓ.ΓΕΩΡΓΙΟΣ	ΕΛ10	100	8		ΥΔΡΕΥΣΗ
ΠΕΛΛΑ	360704	4519616	Γ	Ν.ΜΥΛΟΤΟΠΟΣ	ΕΛ10	210	8		ΥΔΡΕΥΣΗ
ΠΕΛΛΑ	361756	4520029	Γ	Ν.ΜΥΛΟΤΟΠΟΣ	ΕΛ10	186	8		ΥΔΡΕΥΣΗ
ΠΕΛΛΑ	362011	4520160	Γ	Ν.ΜΥΛΟΤΟΠΟΣ	ΕΛ10	210	8		ΥΔΡΕΥΣΗ
ΠΕΛΛΑ	361988	4520157	Γ	Ν.ΜΥΛΟΤΟΠΟΣ	ΕΛ10	100	8		ΥΔΡΕΥΣΗ
ΠΕΛΛΑ	361926	4519396	Γ	ΑΞΟΣ	ΕΛ10	195	10		ΥΔΡΕΥΣΗ
ΠΕΛΛΑ	360879	4517724	Γ	ΠΑΝΤΟΧΩΡΙ	ΕΛ10	-	8		ΥΔΡΕΥΣΗ
ΠΕΛΛΑ	360434	4521937	Γ	ΑΧΛΑΔΟΧΩΡΙ	ΕΛ10	220	8		ΥΔΡΕΥΣΗ
ΠΕΛΛΑ	351668	4522922	Γ	ΛΑΚΚΑ	ΕΛ09	220	8		ΥΔΡΕΥΣΗ
ΠΕΛΛΑ	355779	4508979	Γ	ΑΓ. ΛΟΥΚΑΣ	ΕΛ10	130	10	215000	ΥΔΡΕΥΣΗ
ΠΕΛΛΑ	355864	4508810	Γ	ΑΓ. ΛΟΥΚΑΣ	ΕΛ10	90	8		ΥΔΡΕΥΣΗ
ΠΕΛΛΑ	353378	4504353	Γ	ΑΚΡΟΛΙΜΝΗ	ΕΛ10	70	8		ΥΔΡΕΥΣΗ
ΠΕΛΛΑ	353426	4504425	Γ	ΑΚΡΟΛΙΜΝΗ	ΕΛ10	60	6		ΥΔΡΕΥΣΗ
ΠΕΛΛΑ	353101	4507382	Γ	ΕΣΩΒΑΛΤΑ	ΕΛ10	70	6		ΥΔΡΕΥΣΗ
ΠΕΛΛΑ	353102	4507376	Γ	ΕΣΩΒΑΛΤΑ	ΕΛ10	50	6		ΥΔΡΕΥΣΗ
ΠΕΛΛΑ	350369	4508493	Γ	ΣΤΑΥΡΟΔΡΟΜΙ	ΕΛ10	70	8		ΥΔΡΕΥΣΗ
ΠΕΛΛΑ	349460	4508096	Γ	ΣΤΑΥΡΟΔΡΟΜΙ	ΕΛ10	150	8		ΥΔΡΕΥΣΗ
ΠΕΛΛΑ	373696	4523035	Γ	ΑΓΡΟΣΥΚΙΑ	ΕΛ10	180	8		ΥΔΡΕΥΣΗ
ΠΕΛΛΑ	374796	4523691	Γ	ΔΥΤΙΚΟ	ΕΛ10	250	8		ΥΔΡΕΥΣΗ
ΠΕΛΛΑ	351423	4521322	Γ	ΔΡΟΣΕΡΟ	ΕΛ09	110	8		ΥΔΡΕΥΣΗ
ΠΕΛΛΑ	376748	4518429	Γ	ΡΑΧΩΝΑ	ΕΛ09	220±20	8		ΥΔΡΕΥΣΗ
ΠΕΛΛΑ	353399	4507568	Γ	ΕΣΩΒΑΛΤΑ	ΕΛ10	110	10		ΥΔΡΕΥΣΗ

ΠΕΛΛΑ	355017	4516359	Γ	ΠΑΛΑΙΦΥΤΟ	ΕΛ10	140	8		ΥΔΡΕΥΣΗ
ΠΕΛΛΑ	378854	4518356	Γ	ΡΑΧΩΝΑ	ΕΛ10	220	10		ΥΔΡΕΥΣΗ
ΠΕΛΛΑ	356346	4505328	Γ	ΚΡΥΑ ΒΡΥΣΗ	ΕΛ10	80	10		ΥΔΡΕΥΣΗ
ΠΕΛΛΑ	356350	4505334	Γ	ΚΡΥΑ ΒΡΥΣΗ	ΕΛ10	85	8		ΥΔΡΕΥΣΗ
ΠΕΛΛΑ	357060	4505614	Γ	ΚΡΥΑ ΒΡΥΣΗ	ΕΛ10	80	10		ΥΔΡΕΥΣΗ
ΠΕΛΛΑ	356313	4505656	Γ	ΚΡΥΑ ΒΡΥΣΗ	ΕΛ10	80	8		ΥΔΡΕΥΣΗ
ΠΕΛΛΑ	353331	4507612	Γ	ΕΣΩΒΑΛΤΑ	ΕΛ10	110±20	10		ΥΔΡΕΥΣΗ
ΑΛΕΞΑΝΔΡΕΙΑ	375421	4498976	Γ	ΠΛΑΤΥ	ΕΛ10	140	8		ΥΔΡΕΥΣΗ
ΑΛΕΞΑΝΔΡΕΙΑ	375356	4498935	Γ	ΠΛΑΤΥ	ΕΛ10	170	8		ΥΔΡΕΥΣΗ
ΑΛΕΞΑΝΔΡΕΙΑ	376280	4499846	Γ	ΠΛΑΤΥ	ΕΛ10	120	8		ΥΔΡΕΥΣΗ
ΑΛΕΞΑΝΔΡΕΙΑ	367437	4497804	Γ	ΑΛΕΞΑΝΔΡΕΙΑ	ΕΛ10	230	8		ΥΔΡΕΥΣΗ
ΑΛΕΞΑΝΔΡΕΙΑ	366875	4497313	Γ	ΑΛΕΞΑΝΔΡΕΙΑ	ΕΛ10	120	8		ΥΔΡΕΥΣΗ
ΑΛΕΞΑΝΔΡΕΙΑ	366859	4497189	Γ	ΑΛΕΞΑΝΔΡΕΙΑ	ΕΛ10	130	8		ΥΔΡΕΥΣΗ
ΑΛΕΞΑΝΔΡΕΙΑ	368934	4498766	Γ	ΑΛΕΞΑΝΔΡΕΙΑ	ΕΛ10	130	8		ΥΔΡΕΥΣΗ
ΑΛΕΞΑΝΔΡΕΙΑ	343788	4484154	Π	ΑΛΕΞΑΝΔΡΕΙΑ	ΕΛ09				ΥΔΡΕΥΣΗ
ΑΛΕΞΑΝΔΡΕΙΑ	373501	4498474	Γ	ΑΡΑΧΟΣ	ΕΛ10	130	8		ΥΔΡΕΥΣΗ
ΑΛΕΞΑΝΔΡΕΙΑ	374124	4501687	Γ	ΑΡΑΧΟΣ	ΕΛ10	102	8		ΥΔΡΕΥΣΗ
ΑΛΕΞΑΝΔΡΕΙΑ	373139	4495103	Γ	ΚΟΡΥΦΗ	ΕΛ10	120	8		ΥΔΡΕΥΣΗ
ΑΛΕΞΑΝΔΡΕΙΑ	373238	4495157	Γ	ΚΟΡΥΦΗ	ΕΛ10	170	8		ΥΔΡΕΥΣΗ
ΑΛΕΞΑΝΔΡΕΙΑ	372311	4494089	Γ	ΚΟΡΥΦΗ	ΕΛ10	360	8		ΥΔΡΕΥΣΗ
ΑΛΕΞΑΝΔΡΕΙΑ	374432	4491637	Γ	ΠΡΑΣΙΝΑΔΑ	ΕΛ10	160	8		ΥΔΡΕΥΣΗ
ΑΛΕΞΑΝΔΡΕΙΑ	373218	4499080	Γ	ΛΙΑΝΟΒΕΡΓΙ	ΕΛ10	102	8		ΥΔΡΕΥΣΗ
ΑΛΕΞΑΝΔΡΕΙΑ	373205	4499098	Γ	ΛΙΑΝΟΒΕΡΓΙ	ΕΛ10	120	8		ΥΔΡΕΥΣΗ
ΑΛΕΞΑΝΔΡΕΙΑ	380801	4491008	Γ	ΚΛΕΙΔΙ	ΕΛ10	150	8		ΥΔΡΕΥΣΗ
ΑΛΕΞΑΝΔΡΕΙΑ	377585	4490669	Γ	ΠΛΑΤΑΝΟΣ, ΤΡΙΚΑΛΑ	ΕΛ10	120	8		ΥΔΡΕΥΣΗ
ΑΛΕΞΑΝΔΡΕΙΑ	377234	4490575	Γ	ΠΛΑΤΑΝΟΣ, ΤΡΙΚΑΛΑ	ΕΛ10	130	8		ΥΔΡΕΥΣΗ
ΑΛΕΞΑΝΔΡΕΙΑ	377829	4495226	Γ	ΠΛΑΤΑΝΟΣ, ΤΡΙΚΑΛΑ	ΕΛ10	130	8		ΥΔΡΕΥΣΗ
ΑΛΕΞΑΝΔΡΕΙΑ	375739	4492042	Γ	ΠΛΑΤΑΝΟΣ, ΤΡΙΚΑΛΑ	ΕΛ10	180	8		ΥΔΡΕΥΣΗ
ΑΛΕΞΑΝΔΡΕΙΑ	363798	4485271	Γ	ΜΕΛΙΚΗ	ΕΛ09	57	8		ΥΔΡΕΥΣΗ
ΑΛΕΞΑΝΔΡΕΙΑ	363633	4485285	Γ	ΜΕΛΙΚΗ	ΕΛ09	120	8		ΥΔΡΕΥΣΗ
ΑΛΕΞΑΝΔΡΕΙΑ	364003	4485081	Γ	ΜΕΛΙΚΗ	ΕΛ09	180	8		ΥΔΡΕΥΣΗ
ΑΛΕΞΑΝΔΡΕΙΑ	370639	4490759	Γ	ΑΓΚΑΘΙΑ	ΕΛ09	80	8		ΥΔΡΕΥΣΗ
ΑΛΕΞΑΝΔΡΕΙΑ	370645	4490754	Γ	ΑΓΚΑΘΙΑ	ΕΛ09	80	8		ΥΔΡΕΥΣΗ
ΑΛΕΞΑΝΔΡΕΙΑ	371003	4489876	Γ	ΑΓΚΑΘΙΑ	ΕΛ09	80	8		ΥΔΡΕΥΣΗ
ΑΛΕΞΑΝΔΡΕΙΑ	368982	4489031	Γ	ΑΓΚΑΘΙΑ	ΕΛ09	80	8		ΥΔΡΕΥΣΗ
ΑΛΕΞΑΝΔΡΕΙΑ	372250	4490001	Γ	ΚΥΨΕΛΗ	ΕΛ09	120	8		ΥΔΡΕΥΣΗ
ΑΛΕΞΑΝΔΡΕΙΑ	372186	4489997	Γ	ΚΥΨΕΛΗ	ΕΛ09	90	8		ΥΔΡΕΥΣΗ
ΑΛΕΞΑΝΔΡΕΙΑ	372204	4489804	Γ	ΚΥΨΕΛΗ	ΕΛ09	120	8		ΥΔΡΕΥΣΗ
ΑΛΕΞΑΝΔΡΕΙΑ	364590	4484419	Γ	ΝΕΟΚΑΣΤΡΟ	ΕΛ09	120	8		ΥΔΡΕΥΣΗ
ΑΛΕΞΑΝΔΡΕΙΑ	364568	4484494	Γ	ΝΕΟΚΑΣΤΡΟ	ΕΛ09	120	8		ΥΔΡΕΥΣΗ
ΑΛΕΞΑΝΔΡΕΙΑ	367406	4488176	Γ	ΠΡΟΔΡΟΜΟΣ	ΕΛ09	100	8		ΥΔΡΕΥΣΗ
ΑΛΕΞΑΝΔΡΕΙΑ	364529	4490198	Γ	ΠΡΟΔΡΟΜΟΣ	ΕΛ09	80	8		ΥΔΡΕΥΣΗ
ΑΛΕΞΑΝΔΡΕΙΑ	364541	4490350	Γ	ΠΡΟΔΡΟΜΟΣ	ΕΛ09	40	8		ΥΔΡΕΥΣΗ
ΑΛΕΞΑΝΔΡΕΙΑ	359024	4494639	Γ	ΚΑΒΑΣΙΛΑ	ΕΛ09	130	8		ΥΔΡΕΥΣΗ
ΑΛΕΞΑΝΔΡΕΙΑ	361263	4494866	Γ	ΕΠΙΣΚΟΠΗ	ΕΛ10	140	8		ΥΔΡΕΥΣΗ

ΑΛΕΞΑΝΔΡΕΙΑ	361659	4492288	Γ	ΚΕΦΑΛΟΧΩΡΙ	ΕΛ10	140	8		ΥΔΡΕΥΣΗ
ΑΛΕΞΑΝΔΡΕΙΑ	359434	4492285	Γ	ΞΕΧΑΣΜΕΝΗ	ΕΛ10	140	8		ΥΔΡΕΥΣΗ
ΑΛΕΞΑΝΔΡΕΙΑ	359457	4492289	Γ	ΞΕΧΑΣΜΕΝΗ	ΕΛ10	140	8		ΥΔΡΕΥΣΗ
ΑΛΕΞΑΝΔΡΕΙΑ	360020	4490988	Γ	ΞΕΧΑΣΜΕΝΗ	ΕΛ10	150	8		ΥΔΡΕΥΣΗ
ΑΛΕΞΑΝΔΡΕΙΑ	358733	4495567	Γ	Π. ΣΚΥΛΙΤΣΙ	ΕΛ10	140	8		ΥΔΡΕΥΣΗ
ΑΛΕΞΑΝΔΡΕΙΑ	357112	4493984	Γ	ΣΤΑΥΡΟΣ	ΕΛ10	140	8		ΥΔΡΕΥΣΗ
ΑΛΕΞΑΝΔΡΕΙΑ	357151	4494118	Γ	ΣΤΑΥΡΟΣ	ΕΛ10	140	8		ΥΔΡΕΥΣΗ

Υπέθυνη Δήλωση Συγγραφέα:

Δηλώνω ρητά ότι, σύμφωνα με το άρθρο 8 του Ν. 1599/1986 και τα άρθρα 2,4,6 παρ. 3 του Ν. 1256/1982, η παρούσα εργασία αποτελεί αποκλειστικά προϊόν προσωπικής εργασίας και δεν προσβάλλει κάθε μορφής πνευματικά δικαιώματα τρίτων και δεν είναι προϊόν μερικής ή ολικής αντιγραφής, οι πηγές δε που χρησιμοποιήθηκαν περιορίζονται στις βιβλιογραφικές αναφορές και μόνον.