



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ



ANNA ΔΟΣΙΟΥ

ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΣΥΝΕΠΕΙΕΣ ΤΗΣ ΚΑΚΟΚΑΙΡΙΑΣ ΙΑΝΟΣ ΣΤΗΝ
ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΟΥ ΣΠΕΡΧΕΙΟΥ ΠΟΤΑΜΟΥ, ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ
ΕΝΟΤΗΤΑΣ ΦΘΙΩΤΙΔΑΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ



ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ
2022





ANNA ΔΟΣΙΟΥ
Φοιτήτρια Τμήματος Γεωλογίας, ΑΕΜ: 5670

ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΣΥΝΕΠΕΙΕΣ ΤΗΣ ΚΑΚΟΚΑΙΡΙΑΣ ΙΑΝΟΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ
ΤΟΥ ΣΠΕΡΧΕΙΟΥ ΠΟΤΑΜΟΥ, ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΕΝΟΤΗΤΑΣ ΦΘΙΩΤΙΔΑΣ

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας, Τομέας Φυσικής και Περιβαλλοντικής
Γεωγραφίας

Επιβλέπων

Κακλής Τριαντάφυλλος, Δρ. Γεωλόγος ΕΔΙΠ Τμ. Γεωλογίας ΑΠΘ



© Άννα Δόσιου, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ., Τομέας Φυσικής και Περιβαλλοντικής Γεωγραφίας, 2022

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΣΥΝΕΠΕΙΕΣ ΤΗΣ ΚΑΚΟΚΑΙΡΙΑΣ ΙΑΝΟΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΟΥ ΣΠΕΡΧΕΙΟΥ ΠΟΤΑΜΟΥ, ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΕΝΟΤΗΤΑΣ ΦΘΙΩΤΙΔΑΣ – Διπλωματική Εργασία

© Anna Dosiou, School of Geology, Dept. of Physical and Environmental Geography, 2022

All rights reserved.

ANALYSIS AND CONSEQUENCES OF THE IANOS EXTREME STORM IN THE AREA OF SPERCHIOS RIVER, FTHIOTIDA REGIONAL UNIT – *Bachelor Thesis*

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς το συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν το συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευτεί ότι εκφράζουν τις επίσημες θέσεις του Α.Π.Θ.

Εικόνα Εξωφύλλου: «Καταστροφές στην Κοιλιάδα του Σπερχειού - Drone Video», LamiaReport. Ανάκτηση από <https://www.youtube.com/watch?v=FXGiebSToTI>

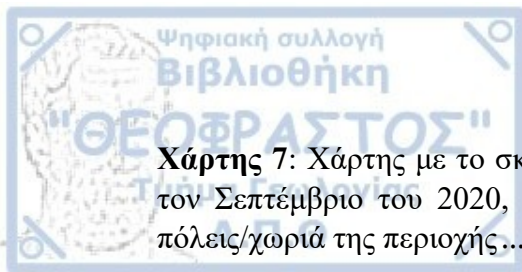


Περιεχόμενα

Πρόλογος	1
Περίληψη	2
Abstract	3
1. Εισαγωγή	4
1.1 Σκοπός εκπόνησης της εργασίας	4
1.2 Διάρθρωση κεφαλαίων	4
2. Στοιχεία για την λεκάνη του Σπερχειού	6
2.1 Γεωγραφική θέση και γεωμορφολογία της περιοχής	6
2.2 Γεωλογικά - Γεωτεκτονικά χαρακτηριστικά	9
2.3 Χρήσεις γης	15
3. Υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά της περιοχής	16
4. Πλημμύρες και τεχνικά έργα στην περιοχή	18
5. Ο Μεσογειακός Κυκλώνας Ιανός (Σεπτέμβριος 2020)	20
5.1 Μετεωρολογικά στοιχεία	20
5.2 Συνέπειες του Ιανού στην περιοχή	21
6. Μεθοδολογία	34
7. Αποτελέσματα	41
8. Συμπεράσματα	48
Βιβλιογραφία	50

Περιεχόμενα Χαρτών

Χάρτης 1: Γεωλογικός χάρτης της λεκάνης απορροής του Σπερχειού ποταμού (Ψωμάδης, 2010)	11
Χάρτης 2: Χάρτης υψομετρικού μοντέλου της λεκάνης απορροής του Σπερχειού ποταμού για τον Σεπτέμβριο του 2019	41
Χάρτης 3: Χάρτης υψομετρικού μοντέλου της λεκάνης απορροής του Σπερχειού ποταμού για τον Σεπτέμβριο του 2020	42
Χάρτης 4: Χάρτης των κλίσεων της λεκάνης απορροής του Σπερχειού ποταμού για τον Σεπτέμβριο του 2019, και του υδρογραφικού δικτύου	43
Χάρτης 5: Χάρτης των κλίσεων της λεκάνης απορροής του Σπερχειού ποταμού για τον Σεπτέμβριο του 2020, και του υδρογραφικού δικτύου	43
Χάρτης 6: Χάρτης με το σκιασμένο ανάγλυφο της μικρότερης περιοχής μελέτης για τον Σεπτέμβριο του 2019, με τις ισοϋψείς καμπύλες ισοδιάστασης 100 m και τις πόλεις/χωριά της περιοχής	44



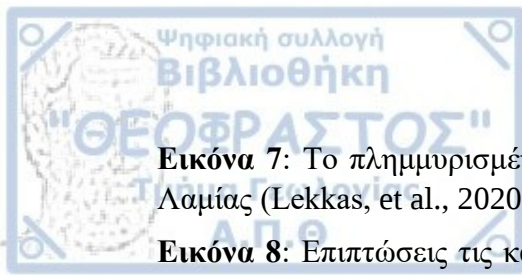
Χάρτης 7: Χάρτης με το σκιασμένο ανάγλυφο της μικρότερης περιοχής μελέτης για τον Σεπτέμβριο του 2020, με τις ισοϋψείς καμπύλες ισοδιάστασης 100 m και τις πόλεις/χωριά της περιοχής.....	45
Χάρτης 8: Χάρτης των χρήσεων γης στην λεκάνη απορροής του Σπερχειού ποταμού για το 2018 με τις πόλεις/χωριά της περιοχής	46
Χάρτης 9: Χάρτης των χρήσεων γης στην περιοχή μελέτης για το 2018 με τις πόλεις/χωριά της περιοχής	46
Χάρτης 10: Χάρτης της διαφοράς των υψομετρικών μοντέλων της λεκάνης απορροής του Σπερχειού ποταμού με τις πόλεις/χωριά της περιοχής	47

Περιεχόμενα Πινάκων

Πίνακας 1: Η τάξη και το μήκος των ρεμάτων του Σπερχειού κατά Strahler (Ψωμιάδης, 2010).	17
Πίνακας 2: Κλιματολογικές συνθήκες Σεπτεμβρίου 2019 στην Λαμία	30
Πίνακας 3: Κλιματολογικές συνθήκες Σεπτεμβρίου 2020 στην Λαμία	31
Πίνακας 4: Κλιματολογικές συνθήκες τον Σεπτέμβριο του 2019 στην Μακρακώμη	32
Πίνακας 5: Κλιματολογικές συνθήκες τον Σεπτέμβριο του 2020 στην Μακρακώμη	33

Περιεχόμενα Εικόνων

Εικόνα 1: Διάγραμμα απεικόνισης των υψομετρικών καμπυλών ύψους-αθροιστικού εμβαδού(%) (Ψωμιάδης, 2010).....	8
Εικόνα 2: α) Χάρτης που απεικονίζει τις δομές που επηρεάζουν την λεκάνη απορροής του Σπερχειού, και τη σχέση των ρηγμάτων του Σπερχειού (SFS) με την τάφρο Βορείου Αιγαίου (NAT), το σύστημα ρηγμάτων Καλλίδρομου (KFS), το σύστημα ρηγμάτων Κορινθιακού κόλπου (CGFS) και το ρήγμα μετασχηματισμού Κεφαλλονιάς (CTF). b) Η σύνδεση των ρηγμάτων Σπερχειού και Καλλίδρομου με την τάφρο Βορείου Αιγαίου και το ρήγμα μετασχηματισμού Κεφαλλονιάς (Michail & Chatzipetros, 2013).	14
Εικόνα 3: Η θεωρία των τεκτονικών δίπολων. Οι αριθμοί δείχνουν τα τρία κομμάτια που βασίζεται η θεωρία (Psomiadis et al., 2020).....	15
Εικόνα 4: Οι χρήσεις γης του υδατικού διαμερίσματος στην Ανατολική Στερεά Ελλάδα (Ειδική Γραμματεία Υδάτων, 2013).	15
Εικόνα 5: Η διαδρομή του Μεσογειακού Κυκλώνα Ιανού από τις 15/09/2020 στις 02:00 έως τις 21/09/2020 στις 02:00. Η χρωματική ακολουθία δείχνει την επιφανειακή θερμοκρασία της θάλασσας, όπως επίσης φαίνονται σύμβολα φυσικών καταστροφών στις ανάλογες περιοχές που επηρεάστηκαν (Lagouvardos et al., 2021).....	21
Εικόνα 6: Πλημμυρισμένες καλλιεργήσιμες εκτάσεις και φθορές σε έργα οδοποιίας (Lekkas, et al., 2020).....	22



Εικόνα 7: Το πλημμυρισμένο αεροδρόμιο και οι καλλιέργειες δίπλα στην πόλη της Λαμίας (Lekkas, et al., 2020).....	23
Εικόνα 8: Επιπτώσεις τις κακοκαιρίας Ιανός στην ευρύτερη περιοχή της Λαμίας: a) Διαβρωμένη όχθη και κατεστραμμένο επίχωμα του δρόμου, b) Το φαινόμενο της στερεοπαροχής, c) Διαβρωμένα θεμέλια της σιδηροδρομικής γέφυρας βόρεια της Στίρφακας, d) Διαβρωμένη όχθη ποταμού, e) Κατεστραμμένο επίχωμα δρόμου παράλληλου στην Εθνική Οδό Λαμίας – Καρπενησίου (Zekkos et al., 2020).....	24
Εικόνα 9: Οι διαβρωμένες κοίτες στην πεδιάδα του Σπερχειού ποταμού: a & b) Κοντά στο Παλιούρι, e) Ανάμεσα στο Ζηλευτό και στο Λειανοκλάδι, f) Βόρεια από το χωριό Ζηλευτό (Zekkos et al., 2020).....	25
Εικόνα 10: Οι ημερήσιες βροχοπτώσεις του Σεπτεμβρίου στην πόλη της Λαμίας, για τα έτη 2019 και 2020 (IERSD/National Observatory of Athens, 2017).....	26
Εικόνα 11: Το ύψος βροχής και ο ρυθμός βροχόπτωσης στην Λαμία στις 18/09/2020 (IERSD/National Observatory of Athens, 2017).	27
Εικόνα 12: Οι ημερήσιες βροχοπτώσεις του Σεπτεμβρίου στην κωμόπολη Μακρακώμη, για τα έτη 2019 και 2020 (IERSD/National Observatory of Athens, 2017).	28
Εικόνα 13: Το ύψος βροχής και ο ρυθμός βροχόπτωσης στην Μακρακώμη στις 18/09/2020 (IERSD/National Observatory of Athens, 2017).	29
Εικόνα 14: Οι κάθετες στήλες απεικονίζουν τα sub-swaths, ενώ οι οριζόντιες γραμμές τα bursts	35
Εικόνα 15: Το DEM της ευρύτερης περιοχής έρευνας για το 2019 στο λογισμικό Google Earth. Παράχθηκε από εικόνες του δορυφόρου Sentinel-1 των ημερομηνιών 21/09/19 και 27/09/19.	37
Εικόνα 16: Το DEM της ευρύτερης περιοχής έρευνας για το 2020 στο λογισμικό Google Earth. Παρά-χθηκε από εικόνες του δορυφόρου Sentinel-1 των ημερομηνιών 21/09/20 και 27/09/20.	37
Εικόνα 17: Η λεκάνη απορροής του Σπερχειού σε σχέση με τον χάρτη “Bing Road” της Ελλάδας. Με πορτοκαλί περίγραμμα είναι σχηματισμένη όλη η λεκάνη απορροής, ενώ με κόκκινο περίγραμμα είναι η μικρότερη περιοχή μελέτης.	39



Πρόλογος

Οι φυσικές καταστροφές πλήττουν όλο και πιο συχνά περιοχές είτε πολύ σοβαρά είτε σε μικρό βαθμό. Οι λόγοι που έχουν παρουσιάσει αυξητική τάση είναι η διαρκής οικιστική επέκταση, η κλιματική αλλαγή και η παράβλεψη των κινδύνων που επισημαίνουν οι επιστήμονες. Εάν η πολιτεία δώσει τη δέουσα σημασία στην επιστημονική κοινότητα θα μπορέσουν να πραγματοποιηθούν ορθές περιβαλλοντικές μελέτες και τεχνικά έργα. Έτσι θα αντιμετωπιστεί μια επικείμενη φυσική καταστροφή αποτελεσματικά και με τις λιγότερες δυνατές απώλειες. Οι πλημμύρες αποτελούν την πιο συχνή καταστροφή παγκοσμίως με ανυπολόγιστες ζημιές αλλά και θανάτους.

Η παρούσα πτυχιακή εργασία μελετάει τις περιβαλλοντικές και γεωλογικές συνθήκες της λεκάνης απορροής του Σπερχειού ποταμού, καθώς αυτές αποτελούν τη βάση για να αποτραπούν με κάθε μέσο νέες πλημμύρες και απώλειες στο μέλλον. Σημαντικοί χάρτες συνοδεύουν την εργασία και προτείνονται τεχνικά έργα για την προστασία της λεκάνης.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον Γεωλόγο Ε.ΔΙ.Π του Τμήματος Γεωλογίας του ΑΠΘ κ/Κακλή Τριαντάφυλλο για την ευκαιρία που μου έδωσε, τις γνώσεις, τις συμβουλές και τον χρόνο του. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον Επίκουρο Καθηγητή κ. Φουμέλη Μιχαήλ για την πολύτιμη βοήθεια του στον τομέα της τηλεπισκόπησης.

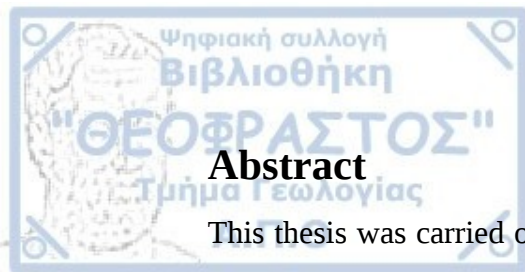


Περίληψη

Η παρούσα πτυχιακή εργασία πραγματοποιήθηκε κατά τη διάρκεια των προπτυχιακών μου σπουδών στο τμήμα Γεωλογίας του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης (Α.Π.Θ.). Το έναυσμα για αυτή την εργασία αποτέλεσαν οι καταστροφές που προκλήθηκαν από τον μεσογειακό κυκλώνα Ιανό σε πολλά μέρη της Ελλάδας, όπως και στη λεκάνη απορροής του Σπερχειού ποταμού. Η πολύ σημαντική αυτή λεκάνη βρίσκεται στο νομό Φθιώτιδας.

Στα κεφάλαια που ακολουθούν αναλύονται τα γενικά χαρακτηριστικά της ευρύτερης περιοχής έρευνας και οι συνθήκες που επικράτησαν λόγω της κακοκαιρίας Ιανός. Ειδικότερα, περιγράφεται η μορφολογία της πεδιάδας του Σπερχειού και των βουνών γύρω από αυτήν, η γεωμορφολογική εξέλιξη καθώς και η επίδραση τεκτονικών διεργασιών. Επίσης, γίνεται ανάλυση της γεωλογίας της λεκάνης σχετικά με το είδος των πετρωμάτων, τις γεωτεκτονικές ζώνες, και το ποια είναι η θέση τους σήμερα. Οι κατηγορίες των πετρωμάτων της λεκάνης συνδυάζονται με την ανάλυση του υδρογραφικού δικτύου, την περατότητα των σχηματισμών, τις μορφολογικές κλίσεις, και τα ρήγματα. Στη συνέχεια, εξετάζεται ο μεσογειακός κυκλώνας Ιανός και τα προβλήματα που προκάλεσε στην περιοχή μελέτης. Παρατίθενται για τα έτη 2019, 2020 συγκριτικά διαγράμματα σχετικά με την βροχόπτωση, αλλά και πίνακες οι οποίοι κατασκευάστηκαν με μηνιαία κλιματολογικά δεδομένα της περιοχής.

Επιπροσθέτως, στο κεφάλαιο της μεθοδολογίας αναπτύσσεται το πως δημιουργήθηκαν δύο ψηφιακά υψομετρικά μοντέλα (DEM) της περιοχής από δορυφορικές εικόνες Sentinel-1 στο λογισμικό SNAP, και το πως επεξεργάστηκαν για να παραχθούν χρήσιμοι χάρτες για την περιοχή έρευνας στο λογισμικό QGIS. Αυτοί οι χάρτες παρατίθενται στην ενότητα των αποτελεσμάτων και συγκρίνονται καθώς αφορούν τον Σεπτέμβριο του 2019 και του 2020. Καταληκτικά, τα πορίσματα επικεντρώνονται στα μέτρα που χρειάζεται να ληφθούν για την εύρυθμη λειτουργία της λεκάνης και την αποφυγή πλημμυρικών φαινομένων.



Abstract

This thesis was carried out during my undergraduate studies at the Department of Geology of the Aristotle University of Thessaloniki (AUTH). The motivation for this dissertation thesis was the disasters caused by the Mediterranean cyclone Ianos in many parts of Greece, as well as in the catchment area of Sperchios river. This very important basin locates in the regional unit of Fthiotida, central Greece.

The following chapters analyze the general characteristics of the wider research area and the conditions that prevailed due to the bad weather Ianos. This thesis describes the morphology of Sperchios plain and the mountains around it, how the river basin was formed and how it moves due to the intense tectonic activity. It also delves into the geology of the basin regarding the type of rocks, the geotectonic zones, and their location today. The categories of basin rocks are combined with the analysis of the hydrographic network, the permeability of the formations, the morphological slopes, and the faults. Moreover, the next chapter examines the Mediterranean cyclone Ianos and the problems it caused in the study area. For the years 2019, 2020 comparative diagrams are presented regarding the rainfall, but also tables which were produced with monthly climatic data of the area.

In addition, the methodology chapter presents how two digital elevation models (DEM) of the area were created from Sentinel-1 satellite imagery in SNAP software, and how they were processed to produce useful maps for the area of interest in QGIS software. These maps are presented in the results section and are compared to each other as they relate to September 2019 and 2020. Finally, the conclusions focus on the measures that need to be taken for the smooth operation of the basin and the avoidance of floods.

1. Εισαγωγή

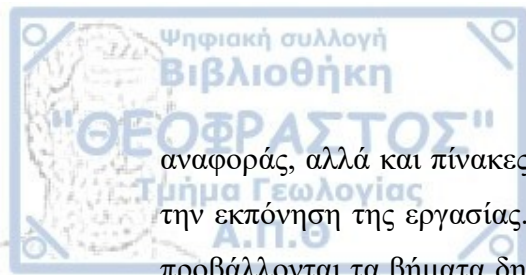
1.1 Σκοπός εκπόνησης της εργασίας

Η λεκάνη απορροής του Σπερχειού ποταμού λόγω του μεγέθους της και των καλλιεργειών που περιέχει, είναι πολύ σημαντική για το περιβάλλον αλλά και τα έσοδα των περισσότερων κατοίκων της περιοχής. Εξαιτίας πολλών παραγόντων οι πλημμύρες στην λεκάνη είναι πολύ συχνές με σημαντικές επιπτώσεις στις ζωές και στις περιουσίες των ανθρώπων. Ο μεσογειακός κυκλώνας Ιανός τον Σεπτέμβριο του 2020 προκάλεσε μεγάλες καταστροφές σε διάφορες περιοχές της Ελλάδας, ενώ έπληξε την λεκάνη του Σπερχειού κυρίως στις 18/09/2020.

Σκοπός αυτής της εργασίας είναι να αναδειχτούν τα γεωλογικά, γεωμορφολογικά, υδρολογικά χαρακτηριστικά της περιοχής έρευνας, και να δημιουργηθούν ψηφιακά υψομετρικά μοντέλα (DEM) και χάρτες της λεκάνης απορροής του Σπερχειού ποταμού για την εν λόγω περίοδο αναφοράς. Οι ενέργειες αυτές συντελούν στην αξιολόγηση των συνθηκών και την εξαγωγή συμπερασμάτων αναφορικά με τα μέτρα που πρέπει να ληφθούν άμεσα. Είναι πολύ σημαντικό για τους ανθρώπους της περιοχής αλλά και την ίδια την λεκάνη να αποτραπούν κατά το μέγιστο δυνατό μελλοντικές πλημμύρες. Αυτό μπορεί να συμβεί κατανοώντας αναλυτικά τα χαρακτηριστικά της λεκάνης απορροής, ώστε να κατασκευασθούν αποτελεσματικά τεχνικά έργα και να δημιουργηθούν ορθά σχέδια πρόληψης και αντιμετώπισης.

1.2 Διάρθρωση κεφαλαίων

Στο 1^ο κεφάλαιο της εργασίας παρουσιάζονται οι σκοποί πραγματοποίησής της και ο τρόπος διαμόρφωσης των επόμενων κεφαλαίων. Στο 2^ο κεφάλαιο αναλύονται η γεωγραφική θέση της λεκάνης, η γεωμορφολογία της τμηματικά, τα υψόμετρα και οι κλίσεις που επικρατούν, καθώς και οι κλιματικές συνθήκες. Επιπλέον, περιγράφονται η γεωλογία της περιοχής, οι γεωτεκτονικές ζώνες που συναντώνται σε αυτήν, το πως εξελίχθηκε και κινείται η λεκάνη, τα τεκτονικά χαρακτηριστικά, και οι χρήσεις γης. Στο επόμενο κεφάλαιο, το 3^ο, αναπτύσσονται η υδρογεωλογία της περιοχής, οι σχηματισμοί και η υδροπερατότητά τους, οι υδροφορείς, και η κατανομή του υδρογραφικού δικτύου. Στο 4^ο κεφάλαιο επισημαίνονται οι λόγοι που πλημμυρίζει η περιοχή και τα αντιπλημμυρικά έργα που υπάρχουν σε αυτήν. Στη συνέχεια, στο 5^ο κεφάλαιο προσδιορίζονται τα χαρακτηριστικά του μεσογειακού κυκλώνα Ιανός, οι καταστροφές που προκάλεσε στην περιοχή μελέτης, παρατίθενται διαγράμματα βροχόπτωσης της περιόδου



αναφοράς, αλλά και πίνακες κλιματολογικών συνθηκών που κατασκευάστηκαν κατά την εκπόνηση της εργασίας. Επίσης, στο κεφάλαιο της μεθοδολογίας, δηλαδή το 6^ο, προβάλλονται τα βήματα δημιουργίας δύο ψηφιακών υψομετρικών μοντέλων (DEM) για τον Σεπτέμβριο του 2019 και του 2020 από δορυφορικές εικόνες Sentinel-1 στο λογισμικό SNAP, και έπειτα, τα στάδια επεξεργασίας των DEM στο λογισμικό QGIS για να παραχθούν χάρτες. Οι χάρτες αυτοί παρουσιάζονται στο 7^ο κεφάλαιο των αποτελεσμάτων. Τέλος, στα συμπεράσματα της εργασίας, στο κεφάλαιο 8, προτείνονται τεχνικά έργα και μέτρα προστασίας που μπορούν να υλοποιηθούν για να αποφευχθεί μια νέα καταστροφική πλημμύρα.

2. Στοιχεία για την λεκάνη του Σπερχειού

2.1 Γεωγραφική θέση και γεωμορφολογία της περιοχής

Η λεκάνη απορροής του Σπερχειού ποταμού βρίσκεται στον Νομό Φθιώτιδας, στην Στερεά Ελλάδα. Η έκτασή της ισούται με 2031 km^2 , το οποίο είναι καίριας σημασίας για τον νομό. Ο ποταμός εκβάλλει στον Μαλιακό κόλπο, που είναι το ανατολικό όριο της λεκάνης απορροής. Αυτή χωρικά ορίζεται από τέσσερα βουνά, τον Τυμφρηστό (2316 m) στα δυτικά, τον Όθρυ (1727 m) στα βορειοανατολικά, το Καλλίδρομο (1372 m) στα νοτιοανατολικά, και την Οίτη (2152 m) στα νότια (Stathopoulos et al., 2017). Ακόμη, βόρεια εξ αυτής βρίσκεται η λεκάνη της Ξυνιάδας. Το μέσο υψόμετρο της λεκάνης ισούται με 605 m , το μήκος της κυμαίνεται στα $60\text{-}80 \text{ km}$, ενώ το πλάτος της δεν ξεπερνά τα $20\text{-}30 \text{ km}$. Στο βουνό Τυμφρηστό βρίσκονται οι πηγές του Σπερχειού ποταμού (Ψωμιάδης, 2010).

Η λεκάνη απορροής χαρακτηρίζεται ως ένα ασύμμετρο τεκτονικό βύθισμα που διαμορφώνεται από μεγάλα ΒΔ-ΝΑ, Δ-Α ρήγματα, που είναι παράλληλα με την ζώνη κανονικών ρηγμάτων της Αταλάντης. Στο βόρειο κομμάτι της λεκάνης παρατηρούνται ήπιες κλίσεις και μικρά υψόμετρα, σε σύγκριση με τα αντίστοιχα μεγαλύτερα του δυτικού και νότιου μέρους της. Πιο συγκεκριμένα, στο νότιο τμήμα της λεκάνης το ανάγλυφο είναι πολύ απότομο με διακυμάνσεις υψομέτρου σε κοντινά σημεία έως και 300 m , ενώ η πεδιάδα του Σπερχειού ποταμού στα ανατολικά χαρακτηρίζεται από πολύ ήπιες πλαγιές και ένα μακρύ σύστημα μαιάνδρων (Psomiadis et al., 2020). Στα $2/3$ του συνολικού μήκους του ποταμού οι κλίσεις είναι υψηλές και έτσι η τοπογραφία χαρακτηρίζεται ορεινή, με μεγάλες αποθέσεις ιζημάτων. Επιπλέον, το τελευταίο κομμάτι που διατρέχει ο ποταμός, είναι πεδινό με σοβαρά προβλήματα πλημμυρών ανά τα έτη (Stathopoulos et al., 2017).

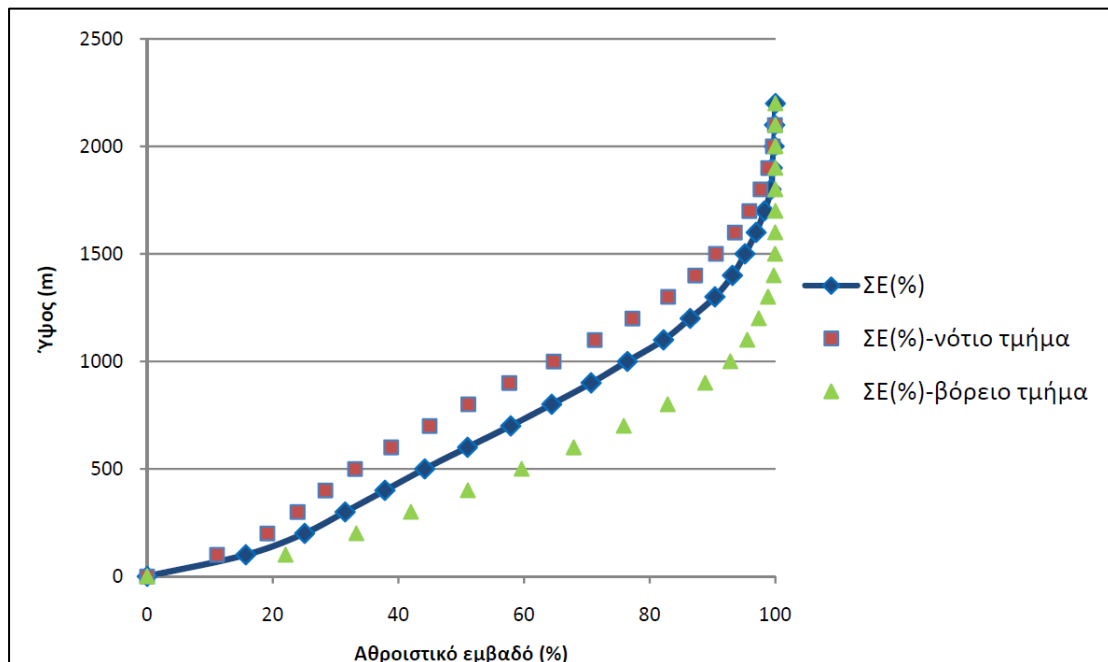
Το δελταϊκό αλλουβιακό κομμάτι της κοιλάδας κατέχει 200 km^2 , και επεκτείνεται με ρυθμό περίπου 520 στρεμμάτων ετησίως, ο οποίος είναι μοναδικός για τα δεδομένα της Ελλάδας. Συμπληρωματικά, μορφολογικές κλίσεις από 12% έως 35% χαρακτηρίζουν την πλειονότητα της περιοχής μελέτης (767 km^2). Κλίσεις μεγαλύτερες από 35% εντοπίζονται σε εμβαδό 539 km^2 , ενώ κλίσεις μικρότερες από 12% σε τμήματα συνολικού εμβαδού 690 km^2 . Στο νοτιοδυτικό τμήμα της λεκάνης του Σπερχειού παρατηρούνται οι υψηλότερες μορφολογικές κλίσεις, δηλαδή με τιμή μεγαλύτερη από 35% . Η κοίτη του Σπερχειού διαμορφώνεται σε πεδιάδα συνολικού εμβαδού 42 km^2 (Stathopoulos et al., 2017).

Το υδρογραφικό δίκτυο χαρακτηρίζεται ως επίμηκες δενδριτικό και ο Σπερχειός θεωρείται ποταμός 7^{ης} τάξης (Stathopoulos et al., 2017). Η διαδρομή που ακολουθεί ο ποταμός έχει αλλάξει αρκετές φορές, με την σημερινή του θέση να οφείλεται στην μετατόπιση του πιο βόρεια λόγω ενός πλημμυρικού γεγονότος που έλαβε χώρα το 1889. Ακόμη, το βόρειο τμήμα του Μαλιακού κόλπου προσχώθηκε την περίοδο του 1960-1986 εξαιτίας της κατασκευής του Αγωγού Εκτροπής, ή αλλιώς Υπερχειλιστή, τα έτη 1957-58 (Ψωμιάδης, 2010).

Τα βουνά Τυμφρηστός, Οίτη και Καλλίδρομο εκτείνονται σε διεύθυνση ΒΒΔ-NNA, η οποία συνδέεται άρρηκτα με την επίδραση των μετεωρολογικών συνθηκών στην περιοχή. Κλιματικά η κοιλάδα του Σπερχειού εντάσσεται στην υποτροπική μεσογειακή ζώνη, όπου από το τέλος της άνοιξης έως την αρχή του φθινοπώρου επικρατούν θερμές και ξηρές συνθήκες, ενώ το υπόλοιπο διάστημα εμφανίζονται βροχοπτώσεις. Αναλυτικότερα, στην λεκάνη του Σπερχειού το κλίμα είναι πεδινό ηπειρωτικό σε χαμηλά υψόμετρα, σε αντίθεση με υψόμετρα μεγαλύτερα των 500 m όπου είναι ορεινό ηπειρωτικό, με κρύους και έντονους χειμώνες. Η μέση μηνιαία θερμοκρασία που παρατηρείται στην Λαμία κυμαίνεται στους 7.1 – 27 °C και η μέση τιμή βροχόπτωσης ανά μήνα όλη της λεκάνης απορροής είναι 575 mm – 1426 mm ανά έτος (Ψωμιάδης, 2010). Επίσης, η βροχόπτωση και τα υψόμετρα συνδέονται γραμμικά, οπότε η πρώτη κυμαίνεται από 400 mm στις πεδινές περιοχές – 1600 mm στα ορεινά. Η μέση ετήσια απορροή είναι 62 m³s⁻¹, που κυμαίνεται από 22 m³s⁻¹ τον Αύγουστο έως 110 m³s⁻¹ τον Ιανουάριο (Psomiadis et al., 2020).

Αναφορικά με τη σχέση ανάμεσα στα υψόμετρα και στα εμβαδά μια πολύ σημαντική μέθοδος απεικόνισης τους είναι η υψομετρική καμπύλη, η οποία αντιπροσωπεύει τα απόλυτα εμβαδά της περιοχής μεταξύ των ισοϋψών. Από την εικόνα 1 που ακολουθεί για την περιοχή έρευνας συμπεραίνεται ότι στο βόρειο τμήμα της λεκάνης παρατηρούνται χαμηλότερα υψόμετρα από αυτά του νότιου και ότι για τα 200-1000 m στα βόρεια η καμπύλη είναι πιο κοίλη από τα νότια που είναι πιο κυρτή. Η καμπυλότητα στο συγκεκριμένο σημείο αντικατοπτρίζει μια ανωμαλία στο υψόμετρο λόγω της έντονης τεκτονικής δραστηριότητας της περιοχής, κυρίως προς τα νότια. Ειδικότερα, στα 200-1000 m το υψόμετρο αυξάνεται ανάλογα με το εμβαδό, όμως θα έπρεπε το εμβαδό να μειώνεται ψηλότερα. Επίσης, η έντονη εξάπλωση της κεντρικής κοίτης του ποταμού και των αποθέσεων του δέλτα φαίνονται ξεκάθαρα στην εικόνα 1 στις περιοχές με υψόμετρο < 100 m, όπου παρουσιάζουν πολύ μεγάλο εμβαδό. Το γεγονός ότι οι υψομετρικές καμπύλες των δύο τμημάτων της λεκάνης διαφέρουν τόσο οφείλεται στην

μορφολογία της λεκάνης η οποία όπως προαναφέρθηκε χαρακτηρίζεται ως ένα τεκτονικό βύθισμα, με το βόρειο τμήμα να βυθίζεται, αντίθετα με το νότιο που ανυψώνεται (Ψωμιάδης, 2010).



Εικόνα 1: Διάγραμμα απεικόνισης των υψομετρικών καμπυλών ύψους-αθροιστικού εμβαδού(%) (Ψωμιάδης, 2010)

Σύμφωνα με το κύκλο του Davis (1899) ο Σπερχειός ποταμός διανύει σήμερα το στάδιο ωριμότητας. Πριν από αυτό υπήρχε το στάδιο νεότητας κατά το οποίο ο ποταμός σχημάτιζε την κοίτη του διαβρώνοντας, συνήθως ξεκινώντας ανάμεσα σε βουνά. Έπειτα στα στάδια ωρίμανσης το απότομο ανάγλυφο αναδιαμορφώνεται και γίνεται πιο ήπιο, με τον ποταμό να θεωρείται ότι βρίσκεται στο στάδιο ωριμότητας όταν κινείται σε μια πλημμυρική πεδιάδα. Εν τέλει, ο ποταμός ρέει κατά το στάδιο γήρανσης σε κοιλάδες μεγάλου μεγέθους και σχηματίζει μαϊάνδρους (Ψωμιάδης, 2010).

Η μορφολογία της περιοχής μελέτης είναι πολύ ιδιαίτερη. Η λεκάνη απορροής του Σπερχειού μπορεί να χωριστεί στο βόρειο και νότιο τμήμα της, και εκτενέστερα σε οκτώ υπολεκάνες, με τέσσερεις από αυτές να ανήκουν στο κάθε τμήμα. Οι υπολεκάνες του βόρειου κομματιού είναι φαρδιές, σχήματος V, κατέχουν μικρό μήκος και βρίσκονται σε υψόμετρα από 650 m, έως 200 m προς την έξοδό τους. Στην έξοδο έχουν σχηματιστεί πολύ μικρά ριπίδια που δεν είναι ενεργά, καθώς τα ρέματα έχουν πολύ λίγο νερό πλέον. Όλο το βόρειο μέρος της λεκάνης βυθίζεται, προκαλώντας έτσι ελάχιστη κατά βάθος διάβρωση στα νότια άκρα του όρους Όθρυς (Ψωμιάδης, 2010).

Αντιθέτως, η μορφολογία στο νότιο μέρος της λεκάνης παρουσιάζει μεγάλη διαφορά εξαιτίας της ανύψωσης που υφίσταται. Οι υπολεκάνες αυτού του κομματιού είναι

πιο επίπεδες και μεγαλύτερες στα ανάντη συγκριτικά με τα κατάντη, όμως κεντρικά έχουν μεγάλες, απότομες κλίσεις και παρουσιάζουν έντονα διαβρωτικά φαινόμενα με φαράγγια μεγάλου βάθους, όπως ο Γοργοπόταμος. Λόγω των ανυψωτικών κινήσεων οι υπολεκάνες είναι μικρές και επιμήκεις, ανάμεσα στις οποίες σχηματίζονται τριγωνικά πρηνή. Ακόμη, στην έξοδό τους εντοπίζονται μεγάλα αλλουβιακά ριπίδια με κλίση προς τον ποταμό, τα οποία είναι ενεργά (Ψωμιάδης, 2010).

Οι λεκάνες αυτές κατά μέσο όρο είναι μικρές με υψηλή μορφολογική κλίση, οπότε όταν βρέχει έντονα παροχετεύεται στον Σπερχειό πολύ νερό απότομα και πλημμυρίζει, εξαιτίας και των μαιάνδρων στα τέλη του ποταμού που αποτρέπουν την γρήγορη αποστράγγισή του προς την θάλασσα. Επιπλέον, στη λεκάνη παρατηρείται έντονα σε περίοδο καταιγίδων το φαινόμενο της στερεοπαροχής, λόγω των αυξημένων μορφολογικών κλίσεων και της μεγάλης διάβρωσης. Οι κλίσεις μικραίνουν όσο μειώνονται τα υψόμετρα έως την κύρια κοίτη του ποταμού, όπου αυξάνεται εν τέλει η ταχύτητα σε αυτήν και ανεβαίνει ραγδαία η στάθμη του νερού. Έτσι το ποτάμι υπερχειλίζει και αυτό το φαινόμενο εντείνεται και από την στερεοπαροχή η οποία μειώνει την ταχύτητα ροής του νερού στην κύρια κοίτη άρα και τον χρόνο αποστράγγισης των υδάτων στον Μαλιακό κόλπο (Ψωμιάδης, 2010).

2.2 Γεωλογικά - Γεωτεκτονικά χαρακτηριστικά

Ως τεκτονικό βύθισμα η κοιλάδα του Σπερχειού καθορίζεται από κανονικά ρήγματα μεγάλης γωνίας κλίσης διεύθυνσης Α-Δ, και από ανάστροφα ρήγματα μικρής κλίσης διεύθυνσης ΒΔ-ΝΑ. Ειδικότερα, στο κεντρικό και νότιο κομμάτι της λεκάνης η διεύθυνση των κανονικών ρηγμάτων μεγάλης γωνίας κλίσης είναι Δ-Α και ΒΔ-ΝΑ, ενώ είναι ΒΑ-ΝΔ στο βόρειο τμήμα. Οι τεκτονικές διεργασίες που συνδέονται με αυτά τα ρήγματα πραγματοποιήθηκαν στο τέλος του Πλειόκαινου και στις αρχές του Πλειστόκαινου (Psomiadis et al, 2013).

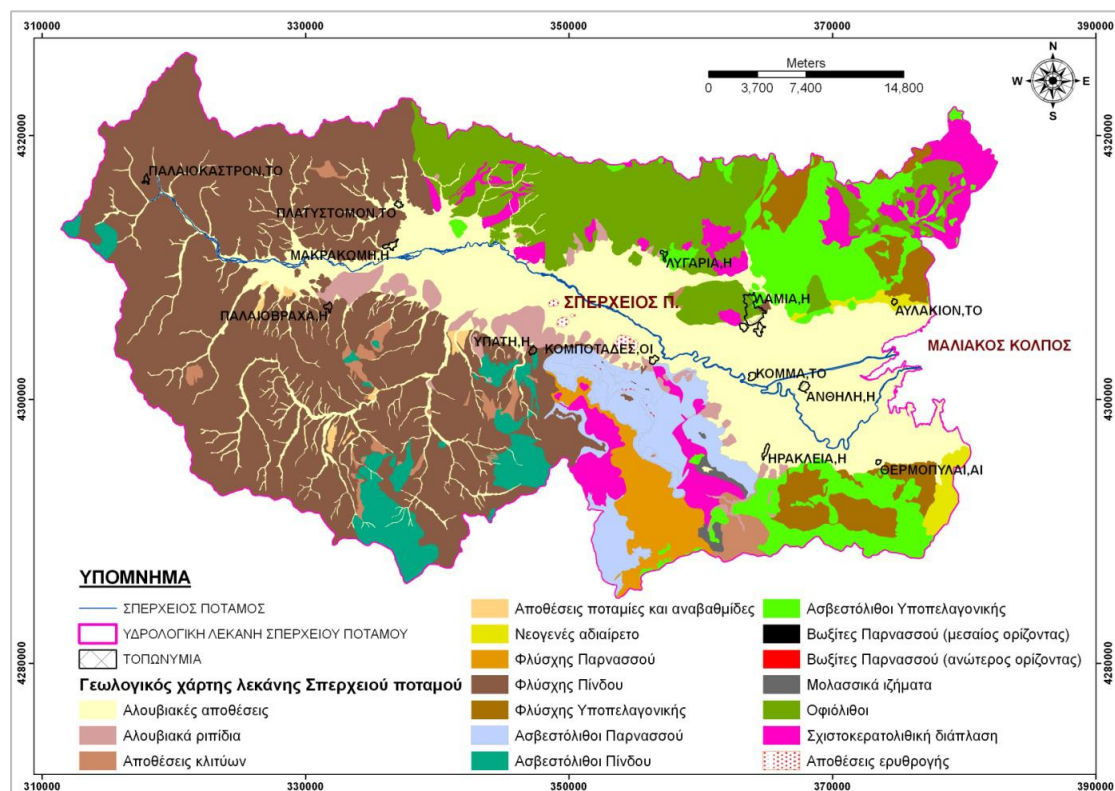
Στην ευρύτερη λεκάνη απορροής του Σπερχειού διακρίνονται τρεις διαφορετικές λιθολογίες. Αρχικά, στο δυτικό τμήμα της παρατηρείται φλύσχης Παλαιοκαινικής – Ηωκαινικής ηλικίας από τις γεωτεκτονικές ζώνες του Παρνασσού και της ανατολικής Πίνδου, και περιέχει εναλλαγές αργιλίτη, ιλυόλιθου, λεπτού κροκαλοπαγούς και παρεμβολές σχιστόλιθου. Επίσης, υπάρχει μικρή εμφάνιση πελαγικών και μαργαϊκών ασβεστόλιθων της ζώνης Βαρδουσίων. Η λιθολογία όμως στο νοτιοανατολικό τμήμα της λεκάνης διαφέρει και χαρακτηρίζεται από: α) συμπαγείς ασβεστόλιθους και

δολομίτες της Πελαγονικής, Μέσο Τριαδικής – Ιουρασικής ηλικίας, β) φλύσχη Ανώτερου Κρητιδικού από χοντρόκοκκο ψαμμίτη σε εναλλαγές με αμμώδη μάργα και σχιστόλιθο, που ανήκουν στη ζώνη της Βοιωτίας, γ) παχυστρωματώδεις Ανωτέρου Κρητιδικού ασβεστόλιθους και φλύσχη Ηωκαινικής ηλικίας, ο οποίος περιέχει ψαμμίτη, άργιλο και μάργα της γεωτεκτονικής ζώνης του Παρνασσού. Ακόμη, το βόρειο – βορειοανατολικό τμήμα της λεκάνης συνίσταται από ένα οφιολιθικό σύμπλεγμα σε σχιστολιθικό – πυριτολιθικό σχηματισμό. Αυτός ο σχηματισμός αποτελείται από σχιστόλιθους, μάργες, ασβεστόλιθους και υπερβασικά – βασικά πυριγενή πετρώματα όπως, δουνίτες, περιδοτίτες, γάββρους, πυροξενίτες, σερπεντινίτες, διαβάσες, δολερίτες, και μεταμορφωμένους φυλλίτες και σχιστόλιθους. Τέλος, τα υψόμετρα που είναι μικρότερα από 500 m στο κεντρικό και χαμηλότερο κομμάτι της επιμήκους λεκάνης απορροής του ποταμού συγκροτούνται από Νεογενείς και Τεταρτογενείς αποθέσεις (Psomiadis, et al, 2013).

Συμπεραίνεται λοιπόν ότι τα πετρώματα της περιοχής έρευνας είναι εκρηξιγενούς και ιζηματογενούς προέλευσης, ενώ παρέρχονται τα πετρώματα κρυσταλλοσχιστώδους και μεταμορφωσιγενούς φύσης. Κατά τη διάρκεια του Μειοκαίνου ο χώρος αναφοράς ξεκίνησε να ταφροποιείται με την συμβολή ρηγμάτων διεύθυνσης Α-Δ, ορισμένα από τα οποία στις περιοχές Καμένα Βούρλα και Αταλάντη είναι ενεργά ακόμη. Έπειτα, ποταμοχερσαία ιζήματα, από την διαβρωμένη γύρω περιοχή, ξεκίνησαν να γεμίζουν τα βυθίσματα και στη συνέχεια το περιβάλλον των βυθισμάτων άλλαξε σε λιμνώδες όσο ακόμα εξελισσόταν η λεκάνη. Τότε οι αποθέσεις ήταν από λεπτόκοκκα ιζήματα που επηρεάστηκαν τεκτονικά αργότερα, κατά το Κατώτερο – Μέσο Τεταρτογενές. Ακόμη, στο Τεταρτογενές επικράτησαν μόνο οι ιζηματογενέσεις λιμνοδελταϊκού και ποταμοχερσαίου τύπου και τα άκρα της λεκάνης καλύφθηκαν από την δράση των πλευρικών ριπιδίων (Ψωμιάδης, 2010).

Η λεκάνη απορροής του Σπερχειού ποταμού (Χάρτης 1) περιέχει κάποιους σημαντικούς γεωλογικούς σχηματισμούς και αποθέσεις: α) Ο πρώτος είναι οι βωξίτες που προέρχονται από τον μεσαίο και ανώτερο ορίζοντα της Υποπελαγονικής ζώνης, με πηλολιθική υφή, που περιέχουν πολύ SiO_2 και Al_2O_3 , δεν διαλύονται και έχουν ερυθροφαιό χρώμα. Έχουν Νεοκρητιδική ηλικία, με κάποιους να αποτελούν κοιτάσματα του Ιουρασικού, και εντοπίζονται στο νότιο κομμάτι του Σπερχειού και στην παρώρεια της Οίτης. β) Ακόμη, πολύ σημαντικός σχηματισμός είναι η σχιστοκερατολιθική διάπλαση, που συγκροτείται από αργιλικούς σχιστόλιθους, κερατόλιθους σε εναλλαγές με λεπτά στρώματα μαργαϊκού ασβεστόλιθου, όπου μέσα τους εντοπίζεται η οφιολιθική σειρά

που περιέχει πετρώματα όπως μαξιλαροειδείς λάβες και σερπεντινίτες. γ) Άλλη σημαντική γεωλογική εμφάνιση αποτελούν τα φλύσχη ιζήματα που εντοπίζονται στις περιοχές Στυλίδα, Λαμία και Σπερχειάδα. Στην Στυλίδα παρατηρούνται κροκαλοπαγή μέσα στον φλύσχη Ανωκρητιδικής ηλικίας, και ψαμμιτικός φλύσχη που αποτελείται από αργιλικούς ψαμμίτες, κροκάλες, αργιλικούς σχιστόλιθους και παρενστρωμένους ασβεστόλιθους. Στην Λαμία τον φλύσχη σχηματίζουν αδρόκοκκοι ψαμμίτες σε εναλλαγές με ψαμμούχες μάργες και αργιλικούς σχιστόλιθους. δ) Τα μολασσικά ιζήματα από κροκαλοπαγή και οι ψαμμίτες με μάργα που εντοπίζονται στην Λαμία, βρίσκονται πάνω από τους αλπικούς σχηματισμούς και παρουσιάζουν μικρή πτύχωση. ε) Στα νοτιοανατολικά της περιοχής έρευνας υπάρχουν αποθέσεις Νεογενούς και κυρίως Πλειοκαίνου, που συγκροτούνται από αργίλους, μάργες, χαλίκια, κροκαλοπαγή, ψαμμίτες και μαργαϊκούς ασβεστόλιθους. Ακόμη, εντοπίζονται απολιθωματοφόρες αποθέσεις Νεογενούς λιμναίας και θαλάσσιας φάσης, που όμως εξαιτίας των πλημμυρικών φαινομένων που έχει υποστεί ο ποταμός σε πολλά σημεία δεν φαίνονται και βρίσκονται κάτω από προσχώσεις και αλλουβιακές αποθέσεις (Ψωμιάδης, 2010).



Χάρτης 1: Γεωλογικός χάρτης της λεκάνης απορροής του Σπερχειού ποταμού (Ψωμιάδης, 2010)

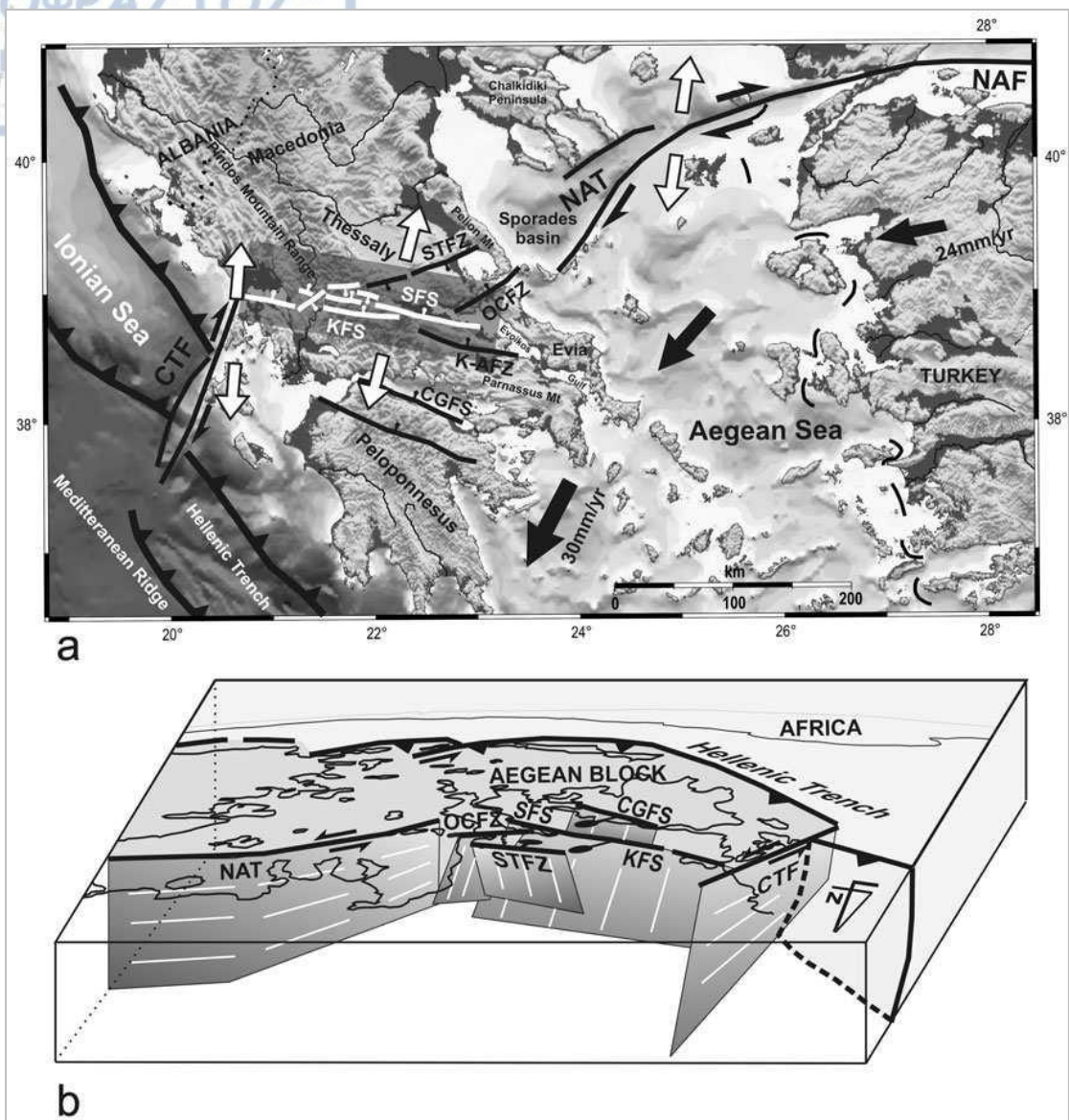
Η πιο σημαντική και συχνή γεωλογική εμφάνιση στην λεκάνη του Σπερχειού ποταμού είναι οι ποτάμιες αποθέσεις του και οι τελευταίες προσχώσεις. Πιο συγκεκριμένα, εμφανίζεται διλούβιο και αλούβιο Τεταρτογενούς ηλικίας, με προσχώσεις και λοφώδη κορήματα αργίλων, άμμων, κροκαλών και λατυπών, ενώ στην ακτή υπάρχουν προσχώσεις με κροκαλοπαγή. Ακόμα, οι αναβαθμοί σε υψόμετρο 20 m πάνω από την κοιλάδα αποτελούνται από ερυθρό πηλό συνδυασμένο με άμμο και χάλικες (Ψωμιάδης, 2010).

Καίριας σημασίας είναι και η σχέση που παρουσιάζουν οι γεωλογικοί σχηματισμοί με τις μορφολογικές κλίσεις της λεκάνης απορροής. Έτσι, ο φλύσχης και τα ανθρακικά πετρώματα βρίσκονται στις απότομες και πολύ απότομες κλίσεις, όπου συχνά παρατηρούνται κατολισθήσεις, εξαιτίας των χαρακτηριστικών των σχηματισμών, των ρηγμάτων, των πολλών βροχοπτώσεων και της καμπυλότητας του πρσανούς. Επίσης, φαίνεται ότι στα βορειοανατολικά της λεκάνης, όπου η κλίση είναι ηπιότερη συγκριτικά με τις νότιες περιοχές, εντοπίζονται σχιστοκερατόλιθοι και οφιόλιθοι σε λίγο απότομες κλίσεις. Οι σχεδόν επίπεδες κλίσεις καταλαμβάνονται από αλλουβιακές αποθέσεις (Ψωμιάδης, 2010).

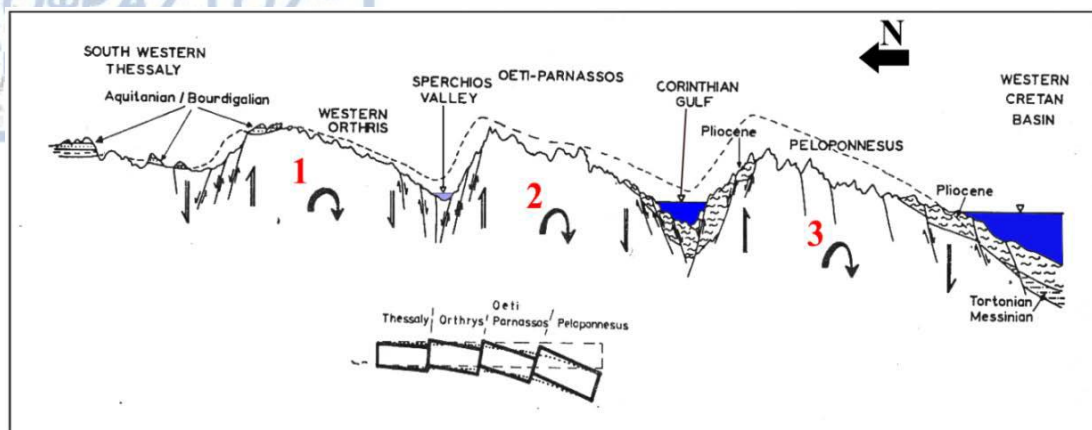
Η περιοχή μελέτης αποτελεί ένα ασύμμετρο τεκτονικό βύθισμα που το διατρέχει μια ΒΔ – ΝΑ ρηξιγενής ζώνη με ρήγματα Α – Δ διεύθυνσης και ΒΒΔ – ΝΝΑ διαρρήξεις κεντρικά της έκτασης (Εικόνα 2). Οι διαρρήξεις αυτές και το κανονικό ρήγμα της Αταλάντης είναι παράλληλα. Οι πτυχές και οι επαφές πολλών σχηματισμών κόβονται καθέτως από τα ρήγματα που προαναφέρθηκαν. Επιπλέον, στην λεκάνη διαπιστώνεται επώθηση γεωτεκτονικών ζωνών, και συγκεκριμένα των Εσωτερικών Ελληνίδων στις Εξωτερικές, δηλαδή της ζώνης Πίνδου στην Υποπελαγονική. Στο δυτικό κομμάτι ο χώρος καταλαμβάνεται από την ζώνη της Πίνδου, στο βόρειο – βορειοανατολικό από την υποζώνη Μαλιακή, στο κεντρικό από την Βοιωτική και στο κεντρικό – νότιο από την Παρνασσού – Γκιώνας. Η ζώνη Πίνδου βρίσκεται ανάμεσα στη ζώνη Γαβρόβου – Τριπόλεως και της Υποπελαγονικής, και την χαρακτηρίζουν οι έντονες πτυχές, οι μεγάλες λεπιώσεις και το γεγονός ότι κατά την αλπική περίοδο ήταν θάλασσα μεγάλου βάθους. Η Υποπελαγονική ζώνη βρίσκεται δυτικά της Πελαγονικής και περιλαμβάνει τις υποζώνες Μαλιακή, Παρνασσού – Γκιώνας, Βοιωτική και Θεόπετρας – Γρεβενών. Χαρακτηριστικό της δεύτερης υποζώνης είναι οι βωξιτικοί ορίζοντες τριών στρωματογραφικών αξόνων ανάμεσα στα ανθρακικά πετρώματα, και ότι στα Αλπικά έτη ήταν ύβωμα (Ψωμιάδης, 2010).



Κατά τη διάρκεια της παλαιογεωγραφικής εξέλιξης της λεκάνης στο νότιο κομμάτι της τα ιζήματα Πλειοκαινικής ηλικίας ανυψώθηκαν πάνω από 500 m, ενώ οι ορεινοί όγκοι που επηρεάστηκαν τεκτονικά κατά το Τεταρτογενές, ανυψώθηκαν κατά 1800 m. Όλες αυτές οι κινήσεις συνδυαστικά με τα ρήγματα της περιοχής εξηγούνται με την θεωρία για τα τεκτονικά δίπολα (Εικόνα 3). Βάσει αυτής το βορειοανατολικό κομμάτι της λεκάνης ανυψώνεται και το νοτιοδυτικό βυθίζεται, επειδή τα όρη Όθρυς και Οίτη περιστρέφονται προς τα νοτιοδυτικά. Τα δύο βουνά χωρίζει η λεκάνη του Σπερχειού, όπου το κύριο ρήγμα της εντοπίζεται στα νότια, είναι κανονικό, δεξιόστροφο με διεύθυνση Α – Δ και μπορεί να διαιρεθεί σε μικρότερα κομμάτια, όπως και το ρήγμα των Κομποτάδων (Ψωμιάδης, 2010).



Εικόνα 2: α) Χάρτης που απεικονίζει τις δομές που επηρεάζουν την λεκάνη απορροής του Σπερχειού, και τη σχέση των ρηγμάτων του Σπερχειού (SFS) με την τάφρο Βορείου Αιγαίου (NAT), το σύστημα ρηγμάτων Καλλίδρομου (KFS), το σύστημα ρηγμάτων Κορινθιακού κόλπου (CGFS) και το ρήγμα μετασχηματισμού Κεφαλλονιάς (CTF). β) Η σύνδεση των ρηγμάτων Σπερχειού και Καλλίδρομου με την τάφρο Βορείου Αιγαίου και το ρήγμα μετασχηματισμού Κεφαλλονιάς (Michail & Chatzipetros, 2013).

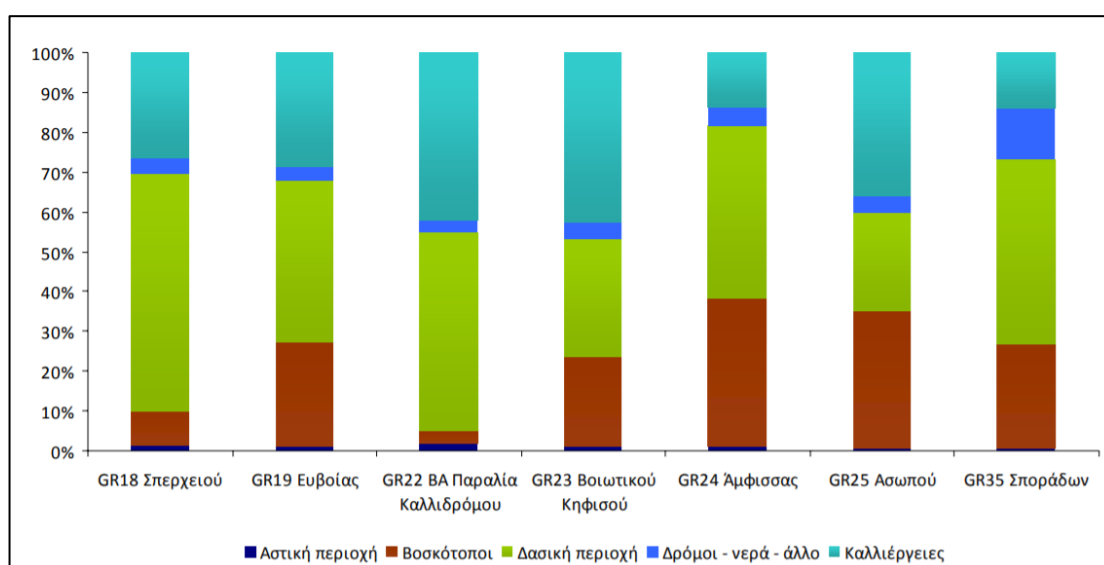


Εικόνα 3: Η θεωρία των τεκτονικών δίπολων. Οι αριθμοί δείχνουν τα τρία κομμάτια που βασίζεται η θεωρία (Psomiadis *et al.*, 2020).

2.3 Χρήσεις γης

Στην πεδιάδα του Σπερχειού η γεωργία είναι πολύ ανεπτυγμένη και σημαντική για την οικονομία της περιοχής. Οι θερινές καλλιέργειες είναι βαμβάκια, ρύζια, καπνά, αραβόσιτα κ.α., ενώ οι χειμερινές είναι σιτάρια, κριθάρια κ.α. Στα βόρεια της λεκάνης με τις μικρές μορφολογικές κλίσεις επικρατεί θαμνώδης βλάστηση, ενώ στις ορεινές περιοχές στα νότια και δυτικά υπάρχουν δάση (Ψωμιάδης, 2010).

Όπως φαίνεται από την εικόνα 4 η λεκάνη απορροής του Σπερχειού, με κωδικό GR18, καλύπτεται στο 60% της από δάση, στο 25% από τις καλλιέργειες καίριας σημασίας για την περιοχή, ενώ οι αστικές περιοχές κατέχουν περίπου το ποσοστό μόνο του 2%.



Εικόνα 4: Οι χρήσεις γης του υδατικού διαμερίσματος στην Ανατολική Στερεά Ελλάδα (Ειδική Γραμματεία Υδάτων, 2013).

3. Υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά της περιοχής

Ο ποταμός Σπερχειός είναι το κύριο επιφανειακό υδατικό σύστημα που συναντάται στην περιοχή. Τον τροφοδοτούν πάνω από εξήντα ποτάμια και χείμαρροι που λειτουργούν είτε μόνιμα είτε παροδικά, τα οποία συντελούν στο να ισούται η μέση ετήσια παροχή του ποταμού με $62 \text{ m}^3/\text{s}$. Οι βασικοί χείμαρροι που ενισχύουν τον Σπερχειό είναι οι Ίναχος, Ασωπός, Ρουστιανίτης, Γοργοπόταμος και Ξηριάς. Ο βασικός άξονας του ποταμού εκτείνεται σε 85.2 km (Ψωμιάδης, 2010).

Ακόμη, κάποια σημαντικά στατιστικά στοιχεία σχετικά με τον Σπερχειό είναι ότι παρατηρήθηκε κατά τα έτη 1950 – 1990 μια μείωση της αποστράγγισής του κατά 48%. Η ποταμός τροφοδοτείται περίπου κατά 69% από τις βροχές, κατά 19% από το λιώσιμο του χιονιού, και στο υπόλοιπο ποσοστό από τους παραπόταμους και τους χείμαρρους. Επίσης, η ροή των ιζημάτων στην λεκάνη του Σπερχειού ποταμού ισούται περίπου με 2 Mt/year (Skoulikidis et al., 2009).

Οι σχηματισμοί που συγκροτούν την λεκάνη απορροής του Σπερχειού διαφέρουν σε πολλά χαρακτηριστικά τους για αυτό χωρίζονται σε κατηγορίες. Αρχικά, οι περατοί σχηματισμοί απαρτίζονται από αποθέσεις ηλικίας Πλειστοκαίνου, λιμναία κροκαλοπαγή, λατυποπαγή, πετρώματα ανθρακικής φύσης, αλλά και νέες αποθέσεις του ποταμού. Επίσης, εντοπίζονται ημιπερατοί – περατοί σχηματισμοί, δηλαδή οφιολιθικοί σχηματισμοί με δευτερογενές πορώδες, δελταϊκές αποθέσεις, και εναλλαγές από άργιλους, χαλίκια και άμμο που συμβάλλουν στην σύσταση ημιαρτεσιανών και αρτεσιανών υδροφόρων. Ο τρίτος τύπος σχηματισμών που υπάρχει στη λεκάνη είναι οι ημιπερατοί, και πιο συγκεκριμένα οι αποθέσεις Τεταρτογενούς ηλικίας τόσο από λεπτόκοκκα όσο και από αδρόκοκκα υλικά, που είναι καθοριστικός παράγοντας για τον σχηματισμό ασυνεχών υδροφόρων. Τέλος, ως αδιαπέρατοι σχηματισμοί της λεκάνης ορίζονται ο φλύσχης, οι σχιστόλιθοι, οι ασβεστολιθικοί τόφοι που προέρχονται από τις θερμές πηγές, καθώς και παλιές αποθέσεις του ποταμού αργίλου και ιλύος (Stathopoulos, et al, 2013).

Επιπρόσθετα, λόγω των σχηματισμών της λεκάνης που αναφέρθηκαν καθώς και πολλών άλλων χαρακτηριστικών της, σε αυτήν εντοπίζονται δύο τύποι υδροφόρων. Ο πρώτος είναι οι ανθρακικοί υδροφόροι, που σχετίζονται με τους ασβεστόλιθους των βουνών Καλλίδρομο, Οίτη και Όθρυς. Αυτοί από την έντονη τεκτονική δράση εμφανίζουν μεγάλο βαθμό καρστικοποίησης και κατακερματισμού, και αύξηση στην περατότητα και στο πορώδες. Επίσης, από τα καρστικά συστήματα της ευρύτερης περιοχής,

στην πηγή Μαυρονέρια εκρέει αυτό των Οίτης – Καλλίδρομου, στην πηγή Κομποτάδων – Μεξιατών το σύστημα της Οίτης, και το καρστικό σύστημα Στυλίδας – Λαμίας αποφορτίζεται στις πηγές Σφαγείων, Αγίας Παρασκευής και Μαυρομαντήλας (Stathopoulos, et al, 2013).

Επιπλέον, όπως έχει αναφερθεί ήδη το υδρογραφικό δίκτυο του Σπερχειού χαρακτηρίζεται δενδριτικό. Από ροδοδιαγράμματα έχει προκύψει ότι στις υπολεκάνες του νότιου τμήματος της λεκάνης το υδρογραφικό δίκτυο ρέει κυρίως με προσανατολισμό $A - \Delta$, και σε μικρότερο βαθμό σε $A/NA - \Delta/B\Delta$, $A/BA - \Delta/N\Delta$, και έτσι φαίνεται η ανάπτυξη του δικτύου σύμφωνα με τα κανονικά ρήγματα μεγάλης γωνίας κλίσης. Όπως είναι αναμενόμενο λόγω της μεγάλης διαφοροποίησης του βόρειου και νότιου τμήματος της λεκάνης, στο βόρειο κομμάτι της το υδρογραφικό δίκτυο εκτείνεται σε μεγαλύτερο βαθμό $N/NA - B/B\Delta$ από ότι σε $BA - N\Delta$, αφού κινείται σύμφωνα με τα ανάστροφα ρήγματα μικρής γωνίας κλίσης. Την μοναδική εξαίρεση αποτελεί μια περιοχή στα δυτικά που εκεί το υδρογραφικό δίκτυο καθορίζεται από κανονικά ρήγματα $A - \Delta$. Έτσι συνδυαστικά με τους σχηματισμούς ισχύει ότι στα νότια – νοτιοανατολικά της λεκάνης το υδρογραφικό δίκτυο, που ρέει σε περατά πετρώματα, είναι αραιό, ενώ στα δυτικά – νοτιοδυτικά, που η περιοχή συγκροτείται από αδιαπέρατα πετρώματα το δίκτυο είναι πυκνό (Psomiadis et al., 2020).

Πολύ σημαντική για κάθε ποταμό είναι η ταξινόμηση του υδρογραφικού δικτύου του, έτσι για τον Σπερχειό ποταμό έγινε η ταξινόμησή του κατά Strahler. Από αυτήν συμπεραίνεται ότι ο Σπερχειός εκβάλλει ως ποταμός 8^{ης} τάξης. Στον πίνακα 1 φαίνονται όλες οι τάξεις ρεμάτων και τα μήκη τους, και προκύπτει ότι πολλοί κλάδοι 3^{ης}, 4^{ης}, 6^{ης} τάξης έρχονται σε επαφή είτε με ταξικά υψηλότερους κλάδους είτε κατευθείαν με τον κύριο κλάδο του Σπερχειού, που είναι 7^{ης}, 8^{ης} τάξης. Αυτό συμβαίνει επειδή η τεκτονική έχει επηρεάσει πολύ την λεκάνη, και ο ποταμός είναι πολύ επιμηκυμένος (Ψωμιάδης, 2010).

Πίνακας 1: Η τάξη και το μήκος των ρεμάτων του Σπερχειού κατά Strahler (Ψωμιάδης, 2010).

Τάξη ρεμάτων	Αριθμός κλάδων	Μήκος (km)
1η	8.222	2.766,3
2η	2.066	1.129,1
3η	467	557,8
4η	109	339,3
5η	30	210,5
6η	7	80,4
7η	2	36,5
8η	1	60,3
Σύνολο	10.904	5.180,2

4. Πλημμύρες και τεχνικά έργα στην περιοχή

Το ποσοστό των πλημμυρών που λαμβάνουν χώρα ανά τον κόσμο αυξάνεται δραματικά συνεχώς. Οποιοδήποτε γεγονός όπου ποσότητα νερού καλύπτει παροδικά εδάφη στα οποία δεν εντοπιζόταν πριν νερό, ονομάζεται πλημμύρα. Οι πλημμύρες μπορούν να προκληθούν από έντονες και πολύωρες βροχοπτώσεις, από παλιρροιακά φαινόμενα, από θαλάσσια σεισμογενή κύματα, από χιόνια και παγετώνες αν λιώσουν ξαφνικά, και από τη θραύση ενός φράγματος σε λίμνη (Κουγιουμτζίδου, 2011). Ακόμη, σημαντικό ρόλο στην εκδήλωση πλημμυρών διαδραματίζουν η μορφολογία και η κάλυψη του εδάφους, η ανεξέλεγκτη επέκταση των οικισμών, και τα κατεστραμμένα δάση (Σταθόπουλος, et al., 2017). Οι επιπτώσεις από τέτοιου είδους φαινόμενα μπορεί να είναι τεράστιες, καθώς πλήττονται το περιβάλλον, οι άνθρωποι, τα ζώα και η οικονομία.

Η ευρύτερη περιοχή έρευνας ταλανίζεται πολύ συχνά από πλημμυρικά φαινόμενα. Μέρη της λεκάνης που είναι πολύ ευαίσθητα σε πλημμύρες είναι οι πεδιάδες της, που συγκροτούνται από αλλουβιακές αποθέσεις, και αυτές που τις διατρέχει το κομμάτι του ποταμού με την υψηλότερη ροή νερού. Επίσης, οι περιοχές που βρίσκονται σε πολύ μικρή απόσταση από την φυσική κοίτη του ποταμού, αυτές που είναι πολύ κοντά στην ακτογραμμή, και κυρίως όσες είναι σε δελταϊκούς υδροβιότοπους (Stathopoulos, et al., 2018).

Κατά τη διάρκεια μιας έντονης βροχόπτωσης το νότιο τμήμα της λεκάνης απορροής διοχετεύει στον ποταμό μεγάλο όγκο νερού πολύ σύντομα με αποτέλεσμα το κομμάτι του Σπερχειού που παρουσιάζει μαιανδρισμό στα ανατολικά να πλημμυρίζει. Ακόμα, στην περιοχή έρευνας η υδρογραφική συχνότητα είναι μεγάλη και ισούται με 5.97, αριθμός που αντικατοπτρίζει τα συχνά πλημμυρικά φαινόμενα που συμβαίνουν. Αυτό σημαίνει ότι στην περιοχή παρατηρείται μεγάλη επιφανειακή απορροή και μεγάλος ρυθμός διάβρωσης των πετρωμάτων. Έτσι εντείνεται και το φαινόμενο της στερεοπαροχής που δημιουργεί μεγάλα προβλήματα και καταστροφές, καθώς τα μεταφερόμενα υλικά αποτίθενται σε κώνους προσχώσεων, σε παράπλευρες και στην κεντρική κοίτη του ποταμού, και στο δέλτα. Επίσης, η πυκνότητα του υδρογραφικού δικτύου στην λεκάνη απορροής του Σπερχειού ποταμού είναι ίση με 2.87, δηλαδή σχετικά μικρή λόγω του ανάγλυφου, της παχιάς βλάστησης και των πολλών διαφορετικών πετρωμάτων που συναντώνται (Ψωμιάδης, 2010).

Στη ευρύτερη περιοχή μελέτης έχουν υλοποιηθεί ανά τα έτη διάφορα αντιπλημμυρικά έργα όπως η τεχνητή κοίτη – Υπερχειλιστής του ποταμού, η Γερμανική Τάφρος της Λαμίας, πολλές εργασίες διατήρησης την εύρυθμης λειτουργίας της νέας και παλιάς κοίτης, ο καινούριος Μεριστής στην αρχή της νέας κοίτης, και ο εγκιβωτισμός του Σπερχειού. Το τελευταίο έργο βρίσκεται ανάμεσα στη γέφυρα του σιδηρόδρομου και σε αυτή του χωριού Κόμμα. Όμως το υδρογραφικό σύστημα της λεκάνης του Σπερχειού δεν αποστραγγίζεται ορθά λόγω της εξάπλωσης και της προβληματικής κατασκευής των έργων οδοποιίας, αλλά και εξαιτίας των ελλιπών αποστραγγιστικών έργων. Επιπλέον, ένας ιδιαίτερος Μεριστής στο χωριό Κόμμα δεσμεύει τα νερά του Σπερχειού για να μην πλημμυρίσουν οι δρόμοι και ο σιδηρόδρομος, με αποτέλεσμα να έχει δημιουργηθεί μια σχετικά μικρής έκτασης λίμνη. Εξαιτίας αυτού όμως έχει ανέβει σημαντικά η στάθμη του ποταμού, περίπου 7 μέτρα συγκριτικά με το έτος 2003, και τα ιζήματα και φερτά υλικά κατακλύζουν αυτή την περιοχή (Ψωμιάδης, et al, 2017).

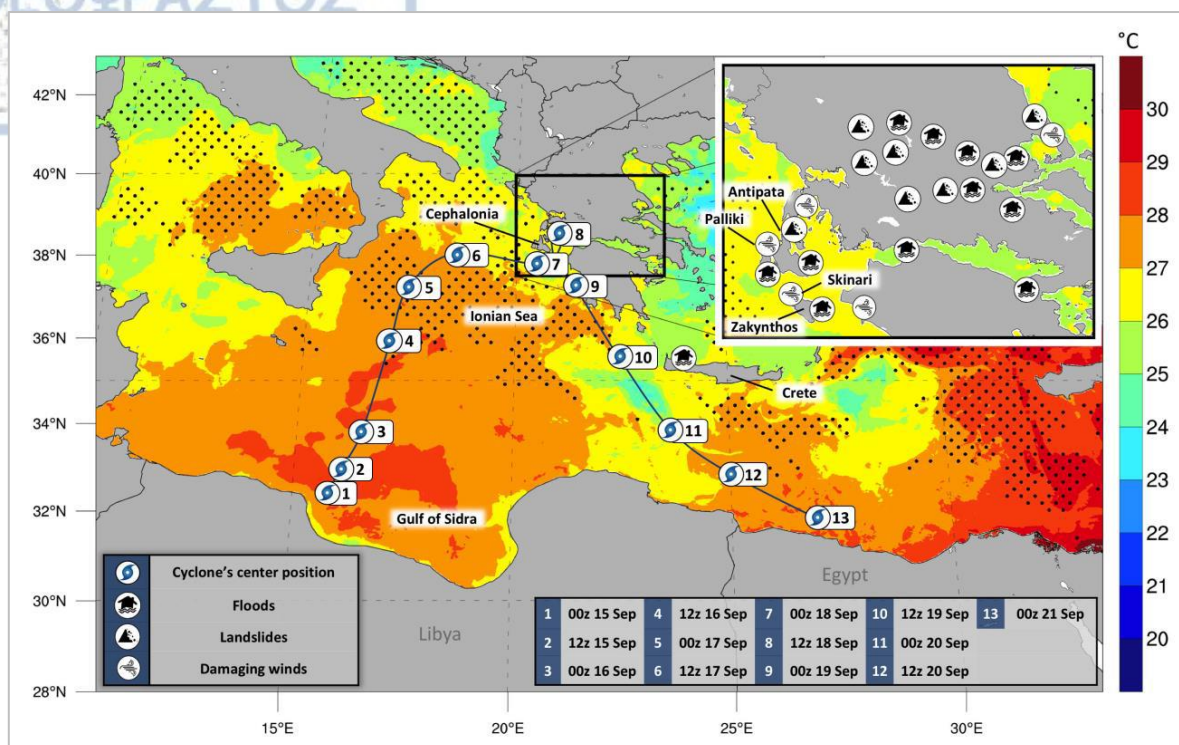
5. Ο Μεσογειακός Κυκλώνας Ιανός (Σεπτέμβριος 2020)

5.1 Μετεωρολογικά στοιχεία

Οι Μεσογειακού τύπου Κυκλώνες με τροπικά χαρακτηριστικά, όπως ο Ιανός, είναι σχετικά μεσαίου μεγέθους συγκριτικά με άλλους και η διάμετρός τους δεν ξεπερνά τα 300 km. Κατά την εκδήλωση τους παρατηρούνται έντονοι άνεμοι και καταιγίδες, και η επιφάνεια της θάλασσας παρουσιάζει εξαιρετικά χαμηλή πίεση. Στην Ελλάδα από το 1982 – 2020 συνέβησαν έξι μεσογειακοί κυκλώνες, όπου οι τέσσερεις έλαβαν χώρα τα έτη 2016 – 2020 (Lekkas, et al., 2020).

Οι μεσογειακοί κυκλώνες αφορούν ένα βαρομετρικό χαμηλό μεγάλου βάθους, η ενέργεια του οποίου προέρχεται από την θερμότητα τόσο των νερών της Μεσογείου Θάλασσας, όσο και από την θερμότητα που προκαλούν καταιγίδες που συμβαίνουν κοντά στον πυρήνα του. Αυτού του είδους οι κυκλώνες παρουσιάζουν πολλές κοινές ιδιότητες με τους κυκλώνες τροπικού και εξωτροπικού τύπου. Επίσης, γεννιούνται καθώς μεταφέρεται ένα αυτόνομο βαρομετρικό χαμηλό στην ανώτερη ατμόσφαιρα μιας περιοχής. Για να συντηρηθεί αυτός ο ανεβαίνουν και ψύχονται αέριες μάζες, με αποτέλεσμα να δημιουργούνται υγρά και ψυχρά κύματα αέρα κάτω από το βαρομετρικό χαμηλό, που έρχονται σε σύγκρουση με τη θάλασσα από κάτω που είναι πιο θερμή (Lekkas, et al., 2020).

Ο μεσογειακός κυκλώνας Ιανός ξεκίνησε να σχηματίζεται στη βόρεια Λιβύη και εθεάθη πρώτη φορά σε δορυφορικές εικόνες στον κόλπο της Σύρτης. Η συνολική διαδρομή που διένυσε ανά την Μεσόγειο θάλασσα (εικόνα 5) ξεπέρασε τα 1900 km. Ακόμα, ο αέρας έφτασε τα 54 ms^{-1} , η πίεση που επικράτησε στο κέντρο του ήταν 984.3 hPa, και η βροχόπτωση ήταν πολύ έντονη. Ειδικότερα, στην δυτική Ελλάδα μετρήθηκε βροχή πάνω από 600 mm και στην κεντρική Ελλάδα 300 mm, γεγονός που προκάλεσε εκτεταμένες ζημιές, κατολισθήσεις και πλημμύρες στις πληγείσες περιοχές. Στο κεντρικό κομμάτι της χώρας σε διάστημα δύο ημερών καταγράφηκαν 1400 κατολισθήσεις (Lagouvardos et al., 2021).



Εικόνα 5: Η διαδρομή του Μεσογειακού Κυκλώνα Ιανού από τις 15/09/2020 στις 02:00 έως τις 21/09/2020 στις 02:00. Η χρωματική ακολουθία δείχνει την επιφανειακή θερμοκρασία της θάλασσας, όπως επίσης φαίνονται σύμβολα φυσικών καταστροφών στις ανάλογες περιοχές που επηρεάστηκαν (Lagouvardos et al., 2021).

5.2 Συνέπειες του Ιανού στην περιοχή

Η κακοκαιρία Ιανός έπληξε σε σημαντικό βαθμό την ευρύτερη περιοχή μελέτης, περιβαλλοντικά, οικονομικά αλλά και σε ανθρωπιστικό επίπεδο. Έντονα πλημμυρικά φαινόμενα παρατηρήθηκαν στην πεδιάδα του Σπερχειού, δηλαδή σε σημεία δυτικά της πόλης της Λαμίας, όπως στα Λουτρά Υπάτης, στο Ζηλευτό, στο Λειανοκλάδι, στο Κόμμα, στο Παλιούρι και στα Στίρφακα. Πάρα πολλές καλλιέργειες καταστράφηκαν μερικώς ή ολοσχερώς (εικόνα 6). Ακόμη, σημειώθηκαν πλημμύρες νότια της Λαμίας στην Ηράκλεια, στη Δαμάστα και στο Μοσχοχώρι, όπως και στο αεροδρόμιο της Λαμίας (εικόνα 7), με τη στάθμη του νερού να είναι πάνω από τα 60 cm (Lekkas, et al., 2020).



Εικόνα 6: Πλημμυρισμένες καλλιεργήσιμες εκτάσεις και φθορές σε έργα οδοποιίας (Lekkas, et al., 2020).

Επιπλέον, εγκλωβίστηκαν πολλοί κάτοικοι σε διάφορους οικισμούς. Αυτοί βρίσκονταν στο Τρίλοφο, στο Παλιούρι, στο Λειανοκλάδι και στην ευρύτερη περιοχή, όπου εντοπίστηκαν μέσα σε σπίτια, αφού πάρα πολλά υπόγεια και ισόγεια πλημμύρησαν. Άνθρωποι εγκλωβίστηκαν επίσης και σε αυτοκίνητα που παρασύρθηκαν. Σοβαρές επιπτώσεις του Ιανού παρουσιάστηκαν και σε πολλούς δρόμους και έργα, όπως στην Μακρακώμη, όπου μικρές γέφυρες και δρόμοι καταστράφηκαν, αλλά και κοντά στην Λαμία οι δρόμοι Λαμίας – Καρπενησίου και η ΠΕΟ Λαμίας – Αθηνών έκλεισαν για πολλές ώρες (Lekkas, et al., 2020).



Εικόνα 7: Το πλημμυρισμένο αεροδρόμιο και οι καλλιέργειες δίπλα στην πόλη της Λαμίας (Lekkas, et al., 2020).

Επιπλέον, στο κομμάτι της κοιλάδας του Σπερχειού ανάμεσα στη Λαμία και στη Μακρακώμη καταγράφηκαν σημαντικές πλημμύρες άνω και κάτω του ποταμού, αστοχίες σε αναχώματα στον δρόμο και σε σήραγγες, και διάβρωση τόσο των όχθων του Σπερχειού όσο και των θεμελίων γεφυρών (εικόνα 8, εικόνα 9). Οι δομικές αυτές αστοχίες παρατηρήθηκαν κυρίως στο κομμάτι της λεκάνης που ορίζουν τα χωριά Μοσχοκαριά, Λειανοκλάδι, Ζηλευτό, Στίρφακα και Λυγαριά, σε αντίθεση με το νότιο κομμάτι της πεδιάδας που επηρεάστηκε μόνο ως προς το κομμάτι των πλημμυρών. Οι επιπτώσεις της κακοκαιρίας αποτυπώθηκαν και στα θεμέλια της σιδηροδρομικής γέφυρας που βρίσκεται βόρεια από την Στίρφακα. Επίσης, το φαινόμενο της στερεοπαροχής κατέκλυσε κοίτες και ρέματα με μεγάλο όγκο φερτών υλικών, μεγέθους έως 30 cm (Zekkos et al., 2020).



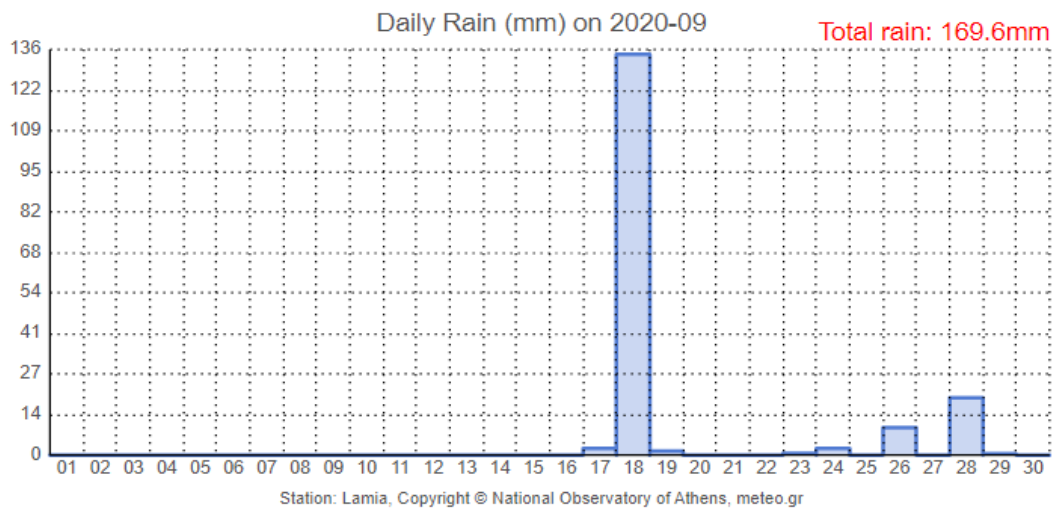
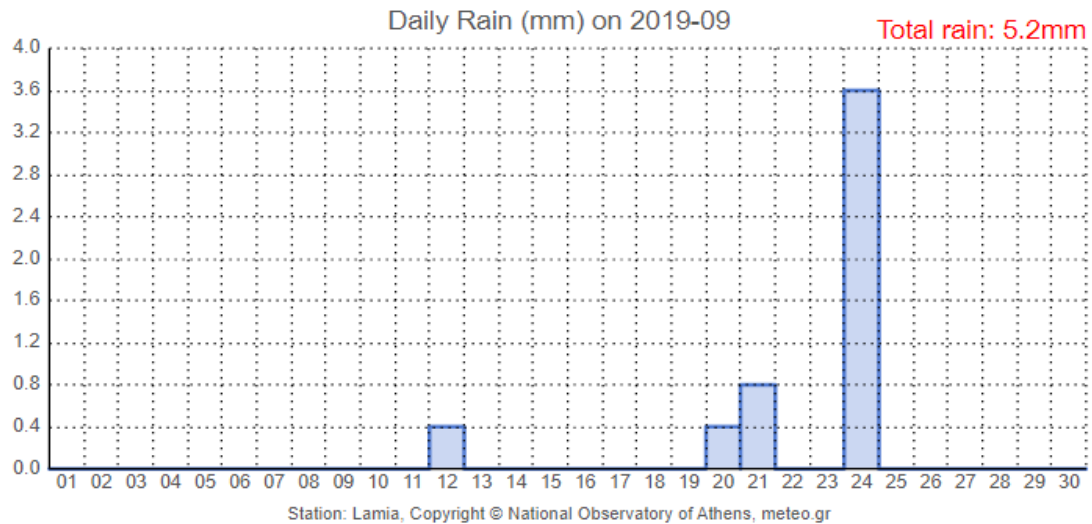
Εικόνα 8: Επιπτώσεις τις κακοκαιρίας Ιανός στην ευρύτερη περιοχή της Λαμίας: α) Διαβρωμένη όχθη και κατεστραμμένο επίχωμα του δρόμου, β) Το φαινόμενο της στερεοπαροχής, γ) Διαβρωμένα θεμέλια της σιδηροδρομικής γέφυρας βόρεια της Στίρφακας, δ) Διαβρωμένη όχθη ποταμού, ε) Κατεστραμμένο επίχωμα δρόμου παράλληλου στην Εθνική Οδό Λαμίας – Καρπενησίου (Zekkos *et al.*, 2020).



Εικόνα 9: Οι διαβρωμένες κοίτες στην πεδιάδα του Σπερχειού ποταμού: a & b) Κοντά στο Παλιούρι, e) Ανάμεσα στο Ζηλευτό και στο Λειανοκλάδι, f) Βόρεια από το χωριό Ζηλευτό (Zekkos et al., 2020).

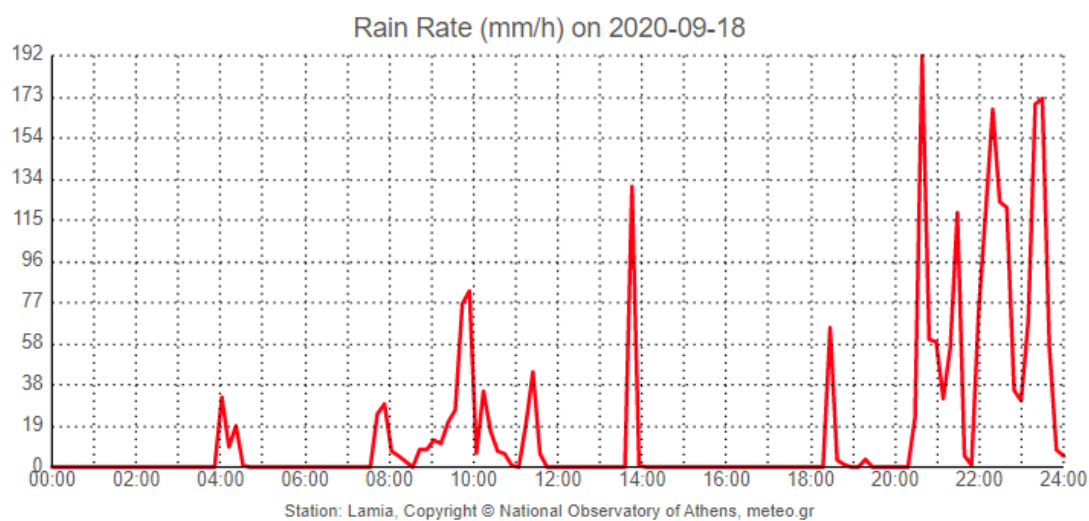
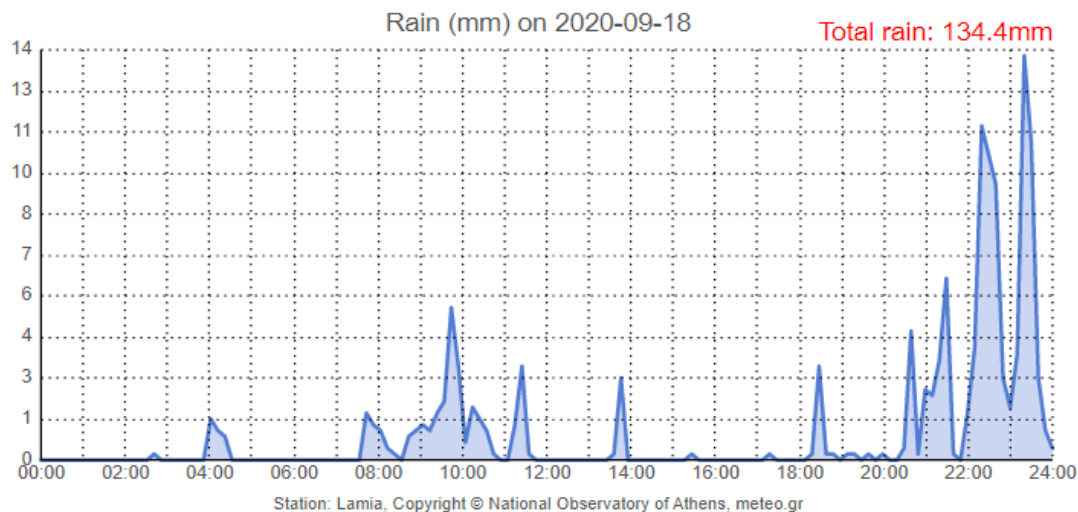
Η λεκάνη απορροής του Σπερχειού ποταμού δέχθηκε πολύ μεγάλο όγκο βροχής από την κακοκαιρία Ιανός, που δημιούργησε πολλά προβλήματα και καταστροφές. Τα εντονότερα φαινόμενα στην περιοχή έλαβαν χώρα στις 18/09/2020. Ακολουθούν αναλυτικά συγκριτικά διαγράμματα με μετεωρολογικά δεδομένα από τον Σεπτέμβριο του 2019 και του 2020, τόσο από την Λαμία όσο και από την Μακρακώμη.

Αναφορικά με την πόλη της Λαμίας, όπως φαίνεται στην εικόνα 10, η συνολική βροχόπτωση τον Σεπτέμβριο του 2019 έφτασε μόλις τα 5.2 mm, ενώ τον ίδιο μήνα του 2020 στην περιοχή το συνολικό ύψος βροχής ισούται με 169.6 mm. Ακόμη, η εικόνα 11 δείχνει τις συνθήκες που επικράτησαν στις 18/09/20 στη Λαμία. Σχεδόν όλες τις ώρες της ημέρας έβρεχε στην περιοχή όμως το φαινόμενο κλιμακώθηκε από τις 20:00 έως τις 23:30. Συνολικά ο βροχογράφος κατέγραψε 134.4 mm βροχής μόνο εκείνη την ημέρα.

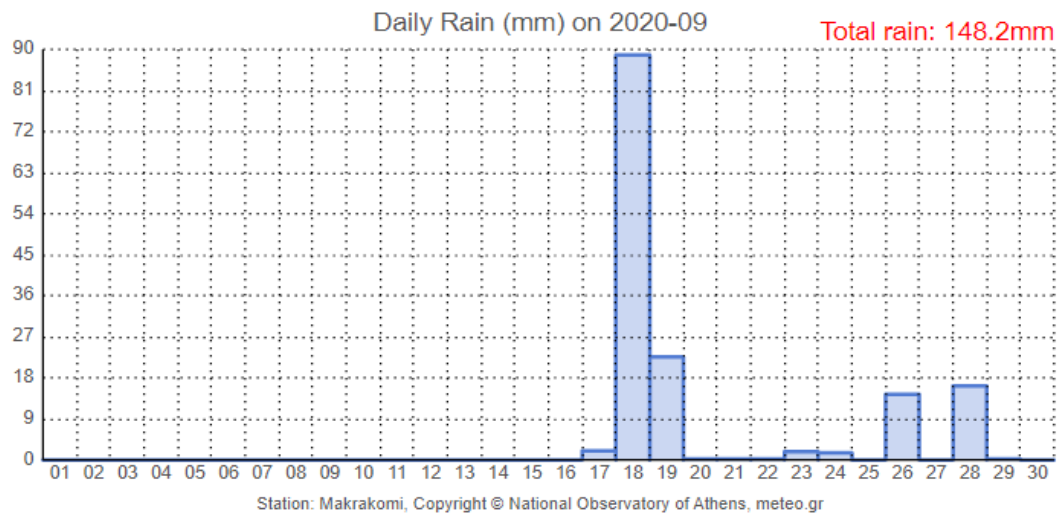
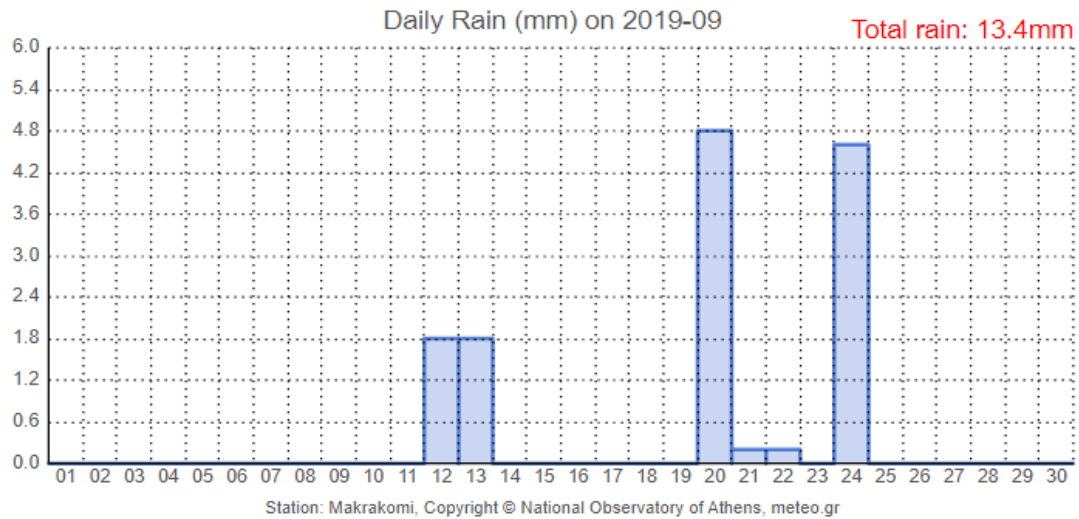


Εικόνα 10: Οι ημερήσιες βροχοπτώσεις του Σεπτεμβρίου στην πόλη της Λαμίας, για τα έτη 2019 και 2020 (IERSD/National Observatory of Athens, 2017).

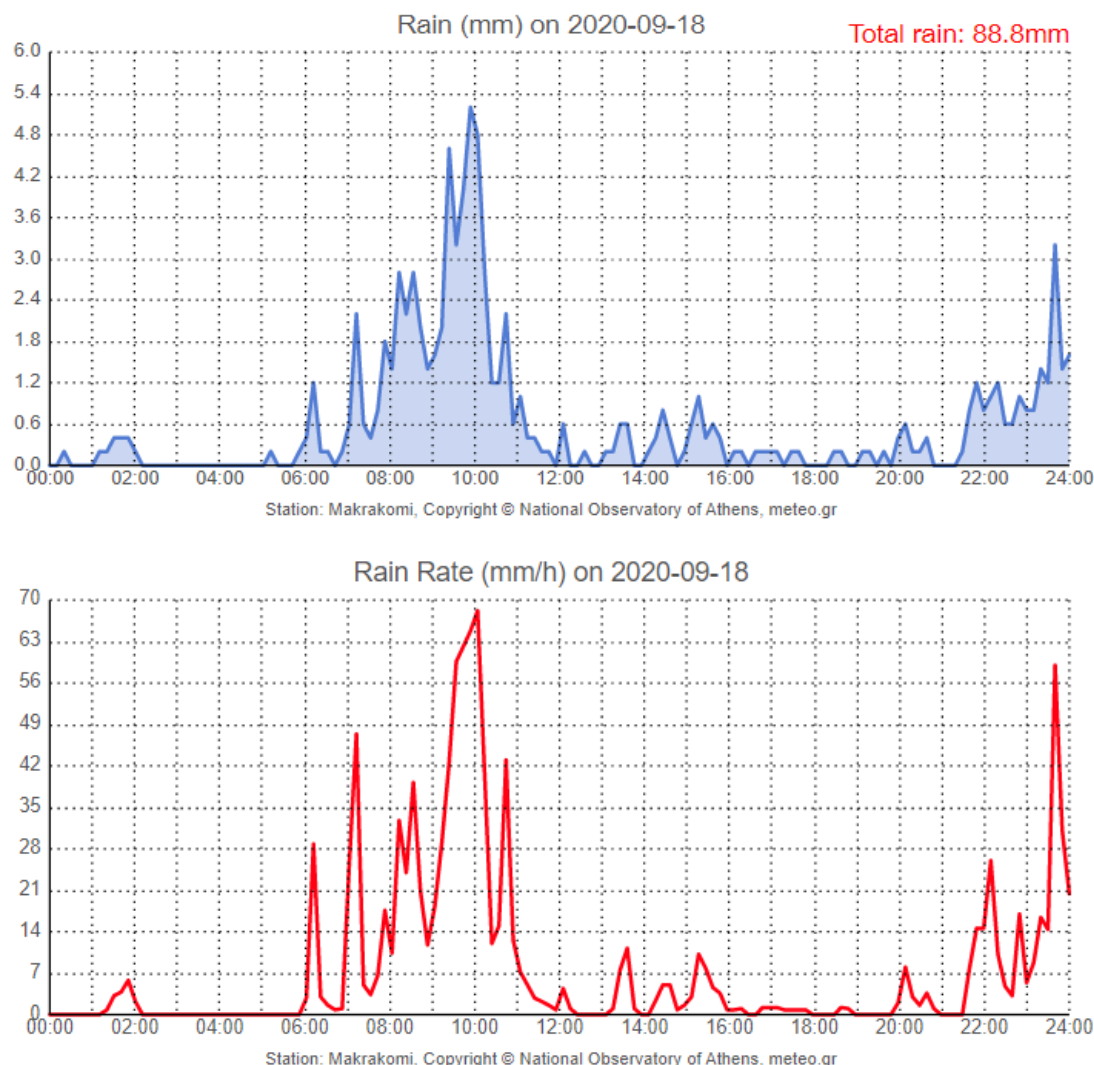
Επιπλέον, πολύ έντονη βροχόπτωση καταγράφηκε και στην κομόπολη Μακρακώμη. Πιο συγκεκριμένα, τον Σεπτέμβριο του 2019 το ύψος βροχής που έπεσε στην περιοχή ήταν 13.4 mm, ενώ τον ίδιο μήνα του επόμενου έτους έβρεξε συνολικά 148.2 mm με μέγιστη καταγραφή στις 18/09/20 (εικόνα 12). Επιπρόσθετα, στην εικόνα 13 παρατηρείται ότι η βροχόπτωση στην Μακρακώμη ήταν εντονότερη περίπου από τις 06:00 έως τις 11:00, με μέγιστη κλιμάκωση στις 10:00, ενώ άλλη μια άνοδος του ρυθμού βροχόπτωσης συνέβη και στις 23:00. Όλη την ημέρα έβρεξε συνολικά 88.8 mm.



Εικόνα 11: Το ύψος βροχής και ο ρυθμός βροχόπτωσης στην Λαμία στις 18/09/2020 (IERSD/National Observatory of Athens, 2017).



Εικόνα 12: Οι ημερήσιες βροχοπτώσεις του Σεπτεμβρίου στην κομόπολη Μακρακώμη, για τα έτη 2019 και 2020 (IERSD/National Observatory of Athens, 2017).



Εικόνα 13: Το ύψος βροχής και ο ρυθμός βροχόπτωσης στην Μακρακώμη στις 18/09/2020 (IERSD/National Observatory of Athens, 2017).

Συνεχίζοντας κατασκευάσθηκαν πίνακες με τα κλιματολογικά χαρακτηριστικά στη Λαμία και στη Μακρακώμη του Σεπτεμβρίου του 2019, αλλά και του 2020 όπου έλαβε χώρα ο μεσογειακός κυκλώνας Ιανός. Τα δεδομένα αποκτήθηκαν από το Meteo (meteo.gr - Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών - Ινστιτούτο Ερευνών Περιβάλλοντος, n.d.). Στους πίνακες (πίνακες 2, 3, 4, 5) φαίνονται για όλες τις μέρες του μήνα αναλυτικά οι θερμοκρασίες, η βροχόπτωση και ο άνεμος που επικράτησαν. Ακόμα, καταγράφονται οι μέρες βροχόπτωσης και το πότε παρατηρήθηκε η μέγιστη. Ειδικότερα, όπως φαίνεται από τους πίνακες 3 και 5 στην Λαμία και στην Μακρακώμη το μέγιστο ύψος βροχής ήταν 134.59 mm και 90.6 mm, αντίστοιχα, στις 18/09/2020. Αντιθέτως, στους πίνακες 2 και 4 παρατηρείται ότι κατά τον Σεπτέμβριο του 2019 στην Λαμία και στην Μακρακώμη έβρεξε αντίστοιχα 3.61 mm και 4.8 mm.

Πίνακας 2: Κλιματολογικές συνθήκες Σεπτεμβρίου 2019 στην Λαμία

MONTHLY CLIMATOLOGICAL SUMMARY for SEP. 2019												
NAME: Lamia												
ELEV: 107 m		LAT: 38° 54' 00" N		LONG: 22° 26' 00" E								
TEMPERATURE (°C), RAIN (mm), WIND SPEED (km/hr)												
DAY	MEAN TEMP	HIGH	TIME	LOW	TIME	HEAT DEG DAYS	COOL DEG DAYS	RAIN	AVG WIND SPEED	HIGH	TIME	DOM DIR
1	25.5	31.1	14:40	19.9	06:30	0	7.2	0	5.5	25.7	17:30	ENE
2	26.4	32	15:10	20.4	06:40	0	8.1	0	5.6	32.2	16:30	ENE
3	26.4	31.7	14:20	21.8	05:50	0	8.1	0	4.7	29	16:20	ENE
4	26.4	31.3	13:20	21.4	04:40	0	8.1	0	4.5	38.6	16:00	WNW
5	25.3	29.7	15:40	21.7	06:30	0	7	0	3.9	27.4	15:50	ENE
6	24.8	29.7	14:30	20.3	04:40	0	6.5	0	4.2	29	15:30	ENE
7	24.6	29.2	14:10	20.1	07:10	0	6.2	0	3.5	25.7	15:20	ENE
8	24.9	30.1	14:50	19.9	07:40	0	6.6	0	4.2	29	18:20	ENE
9	24.5	28.6	14:00	20.2	07:10	0	6.2	0	3.7	25.7	14:50	ENE
10	24.4	29.8	14:10	20	05:50	0	6.1	0	4.8	27.4	16:20	ENE
11	24.3	29.1	13:50	20.2	05:40	0	5.9	0	4.2	29	14:10	ENE
12	24.4	30.4	15:00	19.2	07:20	0	6.1	0.4	4.3	24.1	16:10	ENE
13	24.3	29.5	15:10	20	04:50	0	6	0	7.2	38.6	13:20	NE
14	25.3	31.1	15:00	20.1	07:00	0	6.9	0	5.3	35.4	12:00	NW
15	24.4	29.3	12:40	19.4	05:50	0	6.1	0	4	27.4	15:10	ENE
16	24.2	29.9	15:10	18.9	06:40	0	5.9	0	4.8	24.1	17:20	ENE
17	24.9	31	16:10	18.9	07:20	0	6.6	0	1.4	20.9	14:40	ENE
18	25.9	32.2	15:00	20	06:50	0	7.6	0	2.9	22.5	16:50	ENE
19	24.4	28.5	15:10	19.9	06:00	0	6.1	0	4	29	15:30	ENE
20	20.1	23.4	10:20	17.1	20:40	0.2	1.9	0.4	3.4	35.4	11:30	WSW
21	18.3	22.2	14:40	15.6	07:50	0.9	0.8	0.8	3.9	30.6	16:20	ENE
22	19.1	24.6	14:50	13.7	07:30	1.2	1.9	0	3.7	20.9	15:40	ENE
23	21.3	27.1	17:00	16.1	04:30	0.4	3.4	0	1.4	14.5	12:20	ENE
24	21.4	24.2	02:00	19.6	11:30	0	3.1	3.6	0.6	19.3	01:50	SW
25	22.7	28.2	14:10	18.7	06:20	0	4.3	0	5.5	25.7	17:20	ENE
26	24	31.6	16:50	17.1	07:30	0.1	5.7	0	3.4	33.8	17:20	WNW
27	25.1	29.2	14:40	21.8	00:00	0	6.7	0	4.7	27.4	16:40	ENE
28	23.1	28.4	14:50	18.8	06:00	0	4.8	0	2.7	20.9	14:30	ENE
29	23.3	28.8	15:30	18.6	07:30	0	4.9	0	1.9	22.5	14:50	ENE
30	24.3	30.4	15:30	18.7	07:20	0	6	0	1.1	17.7	12:40	ENE
	23.9	32.2	18	13.7	22	2.7	170.9	5.2	3.8	38.6	4	ENE
Max >= 32.0: 2												
Max <= 0.0: 0												
Min <= 0.0: 0												
Min <=-18.0: 0												
Max Rain: 3.61 ON 24/09/19												
Days of Rain: 4 (> .2mm), 1 (> 2mm), 0 (> 20mm)												
Heat Base: 18.3 Cool Base: 18.3 Method: Integration												

Πίνακας 3: Κλιματολογικές συνθήκες Σεπτεμβρίου 2020 στην Λαμία

MONTHLY CLIMATOLOGICAL SUMMARY for SEP. 2020												
NAME: Lamia												
ELEV: 107 m		LAT: 38° 54' 00" N			LONG: 22° 26' 00" E							
TEMPERATURE (°C), RAIN (mm), WIND SPEED (km/hr)												
DAY	MEAN TEMP	HIGH	TIME	LOW	TIME	HEAT DEG DAYS	COOL DEG DAYS	RAIN	AVG WIND SPEED	HIGH	TIME	DOM DIR
1	29.8	35.4	14:50	24.3	07:30	0	11.4	0	2.3	25.7	22:00	ENE
2	28.8	33.7	13:50	24.7	03:40	0	10.4	0	4.3	29	00:30	ENE
3	28.1	33.4	15:30	22.7	04:50	0	9.8	0	2.9	20.9	15:30	ENE
4	28.7	33.1	17:20	25.1	00:00	0	10.4	0	6.4	29	07:10	W
5	25.5	30.4	14:50	21.6	07:00	0	7.2	0	5.8	24.1	15:10	ENE
6	25.2	31	14:20	19.1	06:20	0	6.9	0	4.2	25.7	16:50	ENE
7	26.2	32.2	15:10	20.1	07:00	0	7.9	0	3.5	25.7	16:20	ENE
8	27.6	33.1	15:10	22.2	06:00	0	9.2	0	3.5	24.1	15:40	ENE
9	26.9	31.2	14:00	23.7	07:30	0	8.6	0	4	25.7	16:00	ENE
10	26.2	30.9	15:20	22	05:30	0	7.9	0	3.7	24.1	18:30	ENE
11	25.2	30	15:00	21.2	06:00	0	6.8	0	5.6	29	14:20	ENE
12	24.8	29.8	14:40	20.6	07:50	0	6.4	0	5.3	24.1	15:50	ENE
13	26.1	31.7	14:20	21.7	08:40	0	7.8	0	5	30.6	17:50	ENE
14	25.7	29.8	12:00	21.7	06:40	0	7.3	0	2.7	20.9	10:30	SE
15	25.1	29.4	14:20	20.6	07:50	0	6.8	0	4.8	25.7	16:20	NW
16	24.4	28.5	13:40	21.1	06:40	0	6.1	0	4.3	27.4	18:20	ENE
17	23.8	28.6	14:00	20.6	06:00	0	5.5	2.2	4.3	27.4	14:30	ENE
18	22	25.1	13:30	20.3	23:30	0	3.7	135	8.7	53.1	11:30	ENE
19	21.6	25.1	14:50	19.4	23:40	0	3.3	1.2	4	27.4	15:40	SW
20	20.2	23.6	16:10	17.7	07:00	0	1.9	0	3.7	20.9	03:50	ENE
21	20.8	26.5	13:40	15.5	07:20	0.3	2.8	0	5.8	24.1	16:10	NW
22	21.5	26.8	15:40	16.6	05:50	0.2	3.4	0	3.1	20.9	02:40	NW
23	22.1	26.6	16:30	17.8	07:30	0	3.8	0.6	1.1	33.8	13:20	NW
24	24.6	30.7	15:10	18.8	07:40	0	6.3	2.2	5.6	33.8	16:00	NW
25	25.9	31.7	15:30	20.8	07:20	0	7.6	0	4.5	30.6	19:30	NW
26	21.9	25.2	00:20	17.9	10:40	0	3.6	9.2	6.4	48.3	07:40	NW
27	21.8	26.2	14:30	16.9	08:40	0.1	3.5	0	2.4	41.8	00:40	SE
28	19.6	24.9	12:00	17.5	07:30	0.1	1.3	19.2	1.4	22.5	13:10	SW
29	21.1	25.7	13:30	16.9	02:30	0.1	2.9	0.4	6.3	32.2	10:50	W
30	20.8	25.7	15:30	17.2	05:10	0.2	2.7	0	6.4	30.6	17:20	NW
	24.4	35.4	1	15.5	21	0.9	183	169.6	4.4	53.1	18	ENE
Max >= 32.0: 6												
Max <= 0.0: 0												
Min <= 0.0: 0												
Min <=-18.0: 0												
Max Rain: 134.59 ON 18/09/20												
Days of Rain: 8 (> .2mm), 5 (> 2mm), 1 (> 20mm)												
Heat Base: 18.3 CoolBase: 18.3 Method: Integration												

Πίνακας 4: Κλιματολογικές συνθήκες τον Σεπτέμβριο του 2019 στην Μακρακώμη

MONTHLY CLIMATOLOGICAL SUMMARY for SEP. 2019												
NAME: Makrakwmi												
ELEV: 125 m		LAT: 38° 54' 00" N		LONG: 22° 06' 00" E								
TEMPERATURE (°C), RAIN (mm), WIND SPEED (km/hr)												
DAY	MEAN TEMP	HIGH	TIME	LOW	TIME	HEAT DEG DAYS	COOL DEG DAYS	RAIN	AVG WIND SPEED	HIGH	TIME	DOM DIR
1	23.4	32.4	16:20	15.3	06:50	0.5	5.7	0	0.8	25.7	16:00	E
2	24.1	33.1	15:30	15.1	07:10	0.6	6.3	0	0.8	24.1	15:30	E
3	24.8	32.8	15:30	16.8	07:20	0.1	6.5	0	1.1	25.7	16:40	E
4	23.7	32.1	14:20	15.4	07:00	0.4	5.8	0	1.8	30.6	15:00	ENE
5	22.8	29.6	16:10	15.7	06:10	0.4	4.9	0	1.3	20.9	15:50	ENE
6	22.7	30.3	15:00	15.3	06:30	0.6	5	0	1	24.1	15:50	E
7	22.8	30.2	14:30	15.8	07:20	0.3	4.8	0	0.5	19.3	16:00	E
8	23.3	30.4	14:10	16.1	07:10	0.3	5.2	0	0.8	22.5	16:40	E
9	22.9	29.1	15:00	16.2	07:10	0.2	4.8	0	0.8	19.3	15:30	E
10	23.1	30.8	15:10	16.5	06:50	0.3	5	0	0.6	22.5	17:10	ENE
11	22.4	30.1	14:40	15	07:20	0.6	4.6	0	1	24.1	12:40	ENE
12	22.4	31.9	16:10	14.8	07:00	0.7	4.8	1.8	0.8	19.3	17:40	W
13	21.7	28.6	16:10	16.4	07:00	0.3	3.6	1.8	3.2	30.6	16:00	WSW
14	21.1	30.3	15:30	12.8	07:40	1.5	4.2	0	1.6	29	15:10	NE
15	20.9	29.4	15:40	12.4	06:20	1.6	4.2	0	2.1	25.7	11:50	WSW
16	21.6	32.4	15:20	12.3	06:50	1.5	4.8	0	0.8	19.3	16:50	E
17	22.6	32.4	15:30	13.9	06:50	1.1	5.3	0	0.5	16.1	16:00	E
18	23.7	35.6	15:30	14.8	06:20	0.8	6.1	0	0.5	19.3	17:00	E
19	21.7	29.2	15:10	14.5	06:30	0.8	4.2	0	0.6	19.3	15:50	E
20	18.7	22.5	09:20	16.4	13:00	0.3	0.7	4.8	0.8	32.2	11:30	NNE
21	17.2	21.9	16:50	11.3	00:00	1.7	0.5	0.2	0.3	16.1	17:40	ENE
22	16.7	25.4	15:40	8.9	07:30	3.6	1.9	0.2	0.5	16.1	17:20	W
23	19.8	28.4	15:40	11.3	06:10	2.1	3.6	0	0.6	24.1	00:00	E
24	20.8	24.3	01:20	17.1	23:30	0.1	2.6	4.6	2.4	32.2	01:50	WSW
25	20.7	28.8	17:10	13.3	07:50	1.1	3.4	0	0.8	22.5	18:00	WSW
26	22.7	32.1	14:50	12.9	06:00	1.3	5.7	0	7.2	38.6	18:20	WSW
27	22.8	29.8	15:40	17.1	05:40	0.2	4.7	0	1.3	22.5	17:10	E
28	20.8	28.8	15:50	13.8	07:30	1.1	3.6	0	0.6	14.5	13:00	ENE
29	21.3	30	15:30	13.9	07:00	1.1	4.1	0	0.6	20.9	15:10	E
30	23.1	34.6	16:20	13.2	07:30	1.2	6	0	3.9	35.4	16:30	WSW
	21.9	35.6	18	8.9	22	26.1	132.4	13.4	1.3	38.6	26	E
Max >= 32.0: 9												
Max <= 0.0: 0												
Min <= 0.0: 0												
Min <=-18.0: 0												
Max Rain: 4.80 ON 20/09/2019												
Days of Rain: 6 (> .2mm), 2 (> 2mm), 0 (> 20mm)												
Heat Base: 18.3 Cool Base: 18.3 Method: Integration												



Πίνακας 5: Κλιματολογικές συνθήκες τον Σεπτέμβριο του 2020 στην Μακρακώμη

MONTHLY CLIMATOLOGICAL SUMMARY for SEP. 2020												
NAME: Makrakwmi												
ELEV: 125 m		LAT: 38° 54' 00'' N			LONG: 22° 06' 00'' E							
TEMPERATURE (°C), RAIN (mm), WIND SPEED (km/hr)												
DAY	MEAN TEMP	HIGH	TIME	LOW	TIME	HEAT DEG DAYS	COOL DEG DAYS	RAIN	AVG WIND SPEED	HIGH	TIME	DOM DIR
1	28.5	40.1	16:50	17.6	07:20	0.1	10.2	0	4.2	29	17:40	SW
2	27.2	34.6	16:00	18.2	07:10	0	8.9	0	3.9	19.3	00:10	SW
3	27	35.3	16:00	18.5	07:20	0	8.7	0	2.9	20.9	20:20	SW
4	26.4	33.3	16:00	19.4	06:10	0	8.1	0	3.7	25.7	13:00	SW
5	22.9	31.4	16:00	14.2	07:20	0.7	5.2	0	2.6	19.3	18:20	SW
6	25.3	32.3	15:40	15.4	04:20	0.3	5.6	0	2.4	22.5	17:10	WSW
7	27.8	32.9	15:50	19.7	08:40	0	6.2	0	2.1	17.7	15:00	NE
8	25.8	35.1	16:10	17	07:10	0.1	7.4	0	2.6	22.5	17:30	WSW
9	26.3	31.7	13:50	18.9	04:20	0	6.7	0	2.9	25.7	13:50	NE
10	23.9	32.1	15:30	16.3	07:20	0.3	5.8	0	2.3	19.3	15:40	WSW
11	23.5	31.8	15:10	17.2	05:00	0.1	5.3	0	2.7	20.9	16:20	WSW
12	23	32.1	16:00	14.3	07:20	0.7	5.4	0	2.9	20.9	15:40	SW
13	24.3	32.2	15:20	16.4	07:00	0.3	6.3	0	3.7	25.7	15:00	NNE
14	23.1	29.8	14:40	16.9	05:50	0.2	4.9	0	3.4	24.1	17:20	NNE
15	22	29.7	15:50	13.7	07:10	1.1	4.7	0	2.9	22.5	18:10	NE
16	22.5	30.2	14:50	14.9	06:50	0.7	4.8	0	2.4	22.5	17:40	NE
17	22.7	28.8	13:20	17.6	03:50	0	4.4	2	2.6	22.5	14:20	NE
18	20.8	22.1	15:00	20.2	23:50	0	2.5	90.6	2.3	19.3	05:00	NNE
19	20.8	23.4	14:00	16.8	00:00	0.1	2.6	20.8	4.3	27.4	06:10	NNE
20	18.9	24.5	15:30	14.6	04:30	1.3	1.8	0.2	1.8	14.5	13:20	WSW
21	19.1	26.9	16:30	11.9	07:10	1.9	2.7	0.2	2.1	19.3	17:30	WSW
22	20.3	27.9	16:10	13.5	07:20	1.4	3.3	0.2	1.9	16.1	17:10	WSW
23	20.7	26.8	17:00	14.7	07:00	0.9	3.3	1.8	1.9	19.3	14:50	SW
24	23.6	29.8	14:50	17.2	07:20	0.1	5.3	1.6	6	27.4	13:10	SW
25	24.1	31.2	14:40	15.6	07:40	0.3	6	0	4.7	33.8	14:00	SW
26	20.6	25.2	06:10	17.6	09:20	0.1	2.3	14.4	6.8	45.1	19:50	SW
27	20.6	26.6	16:50	14.2	07:40	0.6	2.8	0	2.7	27.4	03:20	SW
28	17.7	23.1	11:30	14.3	02:20	1.3	0.6	16.2	1.9	20.9	05:00	SW
29	19.9	25.2	14:30	13.5	02:30	0.6	2.2	0.2	5.8	30.6	06:20	SW
30	19.2	25.6	14:10	11.2	07:40	1.3	2.2	0	5	25.7	16:20	SW
23	40.1	1	11.2	30		14.3	146.1	148.2	3.2	45.1	26	SW
Max >= 32.0: 10												
Max <= 0.0: 0												
Min <= 0.0 : 0												
Min <=-18.0: 0												
Max Rain: 90.60 ON 18/09/20												
Days of Rain: 11 (> .2mm), 5 (> 2mm), 2 (> 20mm)												
Heat Base: 18.3 CoolBase: 18.3 Method: Integration												

6. Μεθοδολογία

Κατά την εκπόνηση της διπλωματικής αυτής εργασίας χρησιμοποιήθηκαν τρία λογισμικά προγράμματα: το SNAP, το QGIS στις εκδόσεις 3.10.4 και 3.16.7, και το Google Earth.

Αρχικά από την ιστοσελίδα Copernicus Open Access Hub (Serco, GAEL Systems, European Space Agency, n.d.) έγινε λήψη δορυφορικών εικόνων από τον δορυφόρο Sentinel-1 με σκοπό να δημιουργηθούν δύο DEM (Digital Elevation Model), δηλαδή δύο ψηφιακά μοντέλα υψομέτρων, ένα για τον Σεπτέμβριο του 2019 και ένα για τον ίδιο μήνα του έτους 2020. Για να υλοποιηθεί αυτό χρειάζονται για το κάθε DEM δύο δορυφορικές εικόνες τύπου (Product Type) SLC (Single Look Complex), με λειτουργία αισθητήρα (Sensor Mode) IW (Interferometric Wide), με ίδια τροχιά (Relative Orbit), και με την μικρότερη δυνατή χρονική διαφορά λήψης των εικόνων. Οι δορυφορικές εικόνες που χρησιμοποιήθηκαν, με relative orbit όλων ίσο με 80, είναι οι εξής:

S1B_IW_SLC__1SDV_20190921T043907_20190921T043934_018131_02224D_2AF0

S1A_IW_SLC__1SDV_20190927T043949_20190927T044016_029202_035101_0864

S1A_IW_SLC__1SDV_20200921T043955_20200921T044022_034452_04021B_A2E3

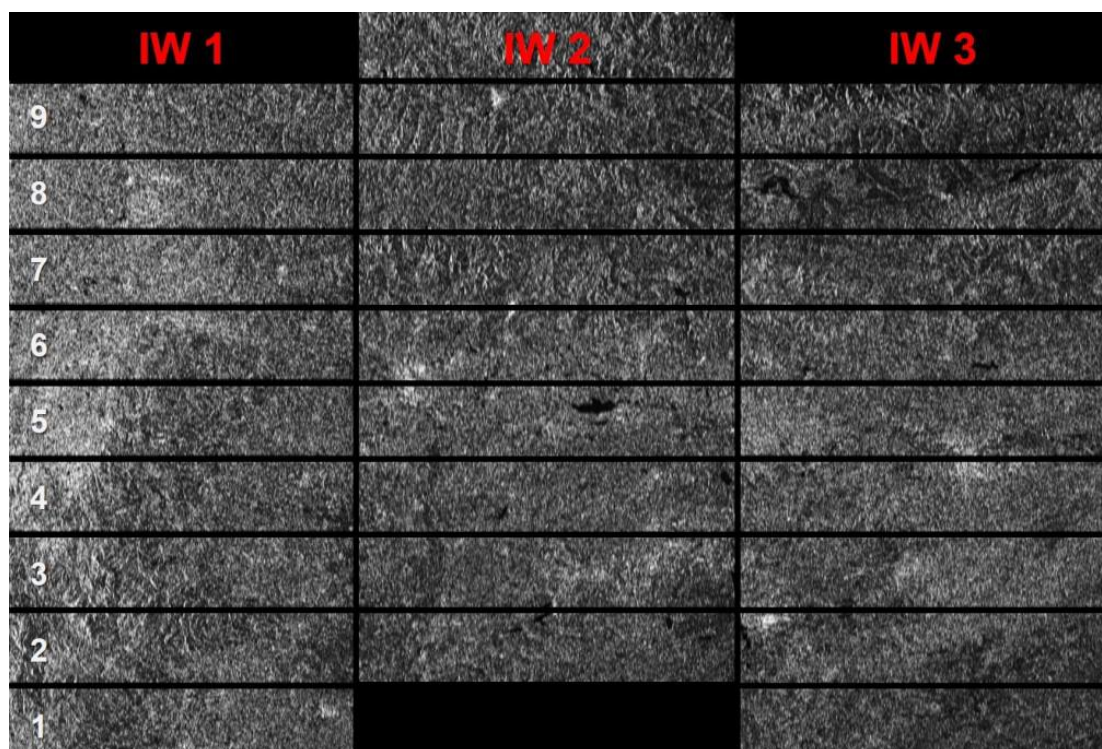
S1B_IW_SLC__1SDV_20200927T043914_20200927T043941_023556_02CC1D_A75D

Όπως φαίνεται και από τα ονόματα παραπάνω, οι εικόνες είναι για τις ημερομηνίες 21/09 και 27/09 για τα έτη 2019, 2020. Οι δύο δορυφορικές εικόνες του κάθε έτους αντίστοιχα χρησιμοποιήθηκαν για την δημιουργία του κάθε DEM. Η επεξεργασία των εικόνων στο SNAP έγινε με γνώμονα την εργασία του Andreas Braun με τίτλο «DEM generation with Sentinel-1» του 2021 (Braun, 2021). Η διαδικασία που θα περιγραφεί στη συνέχεια επαναλήφθηκε και για το δεύτερο ζεύγος εικόνων.

Αρχικά, έγινε εισαγωγή δύο εικόνων του ίδιου έτους στο SNAP ως ZIP αρχεία. Κάθε προϊόν S1 IW χωρίζεται σε bursts και sub-swaths όπως φαίνεται στην εικόνα 14. Για να περιοριστεί το εύρος της περιοχής που απεικονίζουν οι εικόνες, μιας και είναι πολύ μεγαλύτερο από αυτό που χρειάζεται, χρησιμοποιήθηκε για κάθε εικόνα η εντολή «S-1 TOPS Split» όπου επιλέχθηκαν τα ακόλουθα: sub-swath → IW1, polarization → VV και bursts → 3 – 5. Στη συνέχεια, εκτελέστηκε η εντολή «Apply Orbit File» με την

οποία προστέθηκαν σε κάθε δορυφορική εικόνα τα δεδομένα κίνησης του δορυφόρου. Στην παράμετρο «Orbit State Vectors» χρησιμοποιήθηκε το «Sentinel Precise (Auto Download)» (Braun, 2021).

Στο επόμενο βήμα οι εικόνες των δύο ημερομηνιών ενώθηκαν με την επιλογή «S-1 Back Geocoding», όπου στην καρτέλα «Back-Geocoding» επιλέχθηκε ως Digital Elevation Model → SRTM 1Sec HGT (Auto Download). Για να βελτιωθεί η ποιότητα του προϊόντος που παράχθηκε, αφού επιλέχθηκαν προηγουμένως πάνω από ένα bursts, εκτελέστηκε το «S-1 Enhanced Spectral Diversity». Έπειτα η ποιότητα ελέγχθηκε με την προβολή του τελευταίου προϊόντος ως εικόνα RGB.



Εικόνα 14: Οι κάθετες στήλες απεικονίζουν τα sub-swaths, ενώ οι οριζόντιες γραμμές τα bursts (Braun, 2021).

Ακόμα, το παραχθέν αρχείο επεξεργάστηκε με την εντολή «Interferogram Formation» όπου επιλέχθηκαν οι παράμετροι Subtract flat-earth phase, Include coherence estimation και Square Pixel. Από τις μπάντες (bands) του νέου προϊόντος προβλήθηκε η “coh_IW1_VV...” και το διάγραμμα κροσσών συμβολής (interferogram) “Phase_ifg_IW1_VV...”. Για να αφαιρεθούν οι μαύρες γραμμές που υπάρχουν ανάμεσα στα bursts χρησιμοποιήθηκε η εντολή «S-1 TOPS Deburst», και έπειτα σε αυτό εφαρμόστηκε το φίλτρο «Goldstein Phase Filtering» για να βελτιωθεί η ποιότητα των

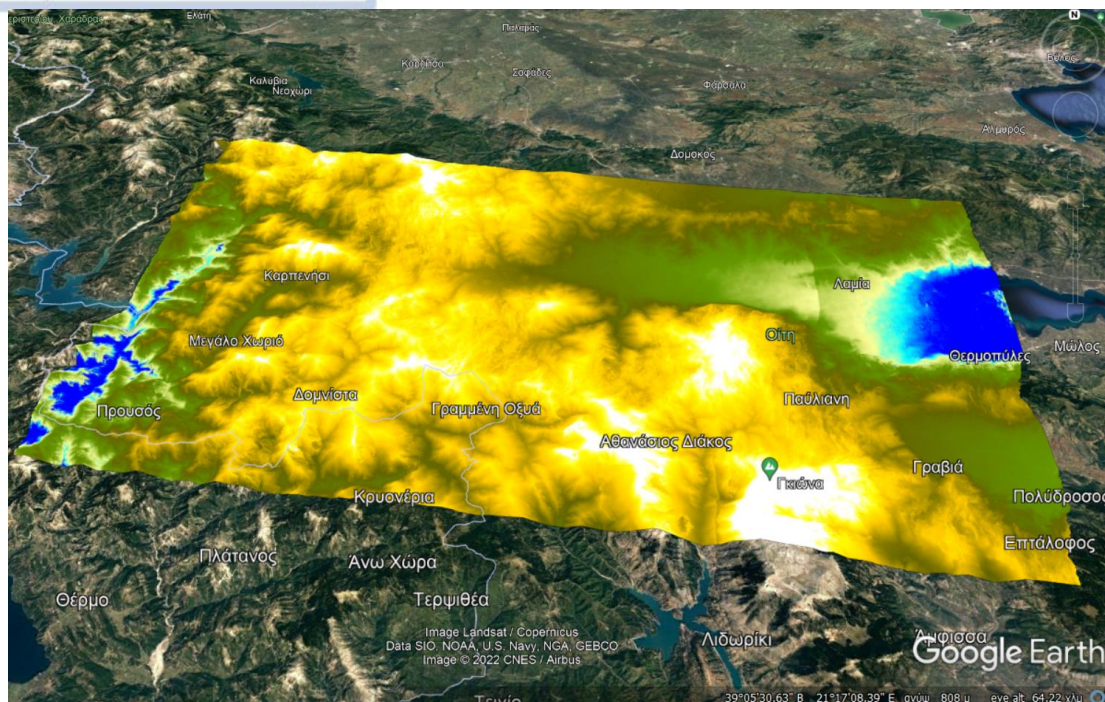
κροσσών συμβολής στο διάγραμμα. Επειδή γύρω από το διάγραμμα δημιουργήθηκε ένα πράσινο πλαίσιο το οποίο είναι κενά pixels, με την εντολή «Specify Product Subset» κόπηκε στο ανάλογο πλαίσιο για να απομονωθεί από αυτά τα pixels. Το προϊόν που παράγεται από αυτή την διαδικασία είναι προσωρινό οπότε αποθηκεύτηκε σε αρχείο με format BEAM DIMAP.

Επιπλέον, για να μπορέσει η συμβολομετρική φάση να συγκριθεί με τα τοπογραφικά ύψη έπρεπε να ακολουθηθεί η διαδικασία του unwrapping με την βοήθεια του plugin “SNAPHU Unwrapping”. Έτσι με την εντολή «Snaphu Export» τροποποιήθηκε το format του διαγράμματος κροσσών συμβολής για να μπορεί να το επεξεργαστεί το προαναφερθέν plugin. Αναφορικά με τις παραμέτρους που ορίστηκαν, το προϊόν που μετατράπηκε ήταν το subset που παράχθηκε προηγουμένως, ως target folder επιλέχθηκε ο φάκελος που αποθηκεύτηκε το subset, το Statistical-cost mode → TOPO, και στα Row Overlap, Column Overlap δόθηκε η τιμή των 200 pixels. Συνεχίζοντας, στην εντολή «Snaphu-unwrapping» επιλέχθηκε το subset που υπήρχε πριν την εντολή του «Snaphu Export», όμως ως Output folder επιλέχθηκε ο φάκελος που δημιουργήθηκε από την προηγούμενη διαδικασία. Έπειτα με την εντολή «Snaphu Import» προστέθηκαν στο αρχείο τα metadata και τροποποιήθηκε ξανά σε BEAM DIMAP format. Στην καρτέλα “1-Read-Phase” της εντολής επιλέχθηκε το subset αρχείο πριν το export, στην “2-Read-Unwrapped-Phase” από τον φάκελο που δημιουργήθηκε κατά το export επιλέχθηκε το «UnwPhase_ifg_IW1_VV...hdr», στην “3-SnaphuImport” δεν επιλέχθηκε η ένδειξη «Do NOT save Wrapped interferogram in the target product», και στην “4-Write” επιλέχθηκε να αποθηκευτεί σε ένα διαφορετικό αρχείο. Από το νέο αρχείο προβλήθηκε η μπάνα «UnwPhase_ifg...».

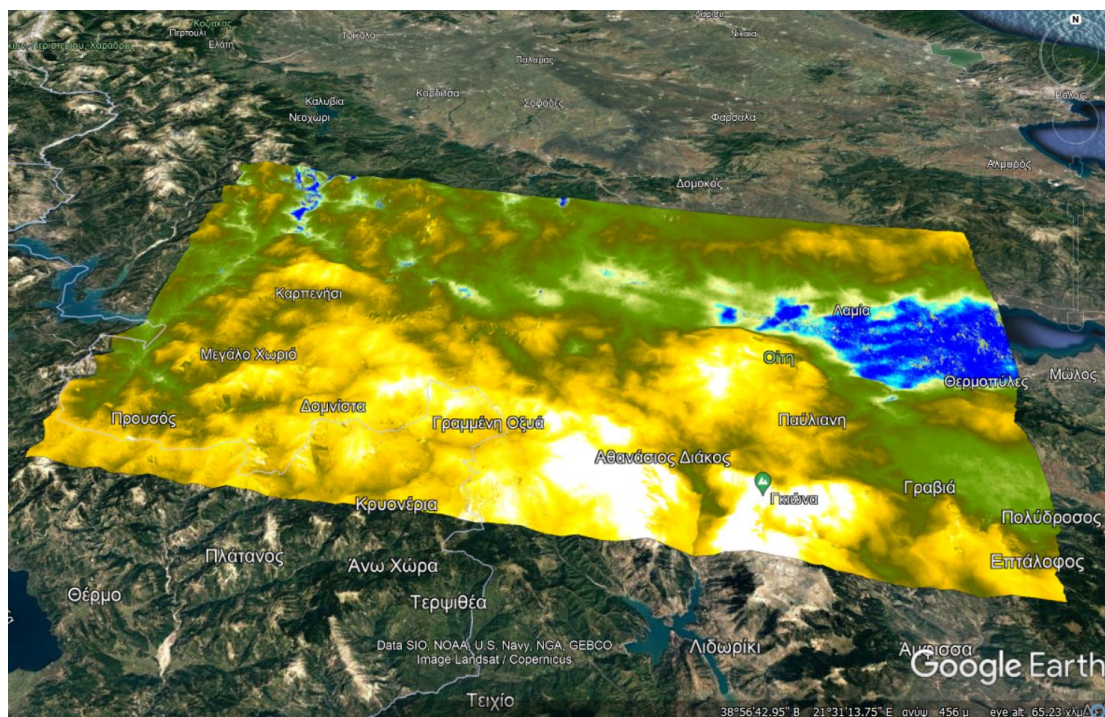
Ακολούθως, εκτελέστηκε η εντολή «PhaseToElevation DEM Generation» με την παράμετρο Digital Elevation Model → SRTM 1Sec HGT (Auto Download), για να αντιστοιχηθεί σε κάθε pixel η τιμή υψομέτρου από την θάλασσα που του αναλογεί. Τέλος, με την εντολή «Range Doppler Terrain Correction» παράχθηκε ένα υψομετρικό μοντέλο σε ορισμένο προβολικό σύστημα. Στις παραμέτρους της εντολής ορίστηκαν ως “Source Product” το τελευταίο αρχείο που δημιουργήθηκε, το Digital Elevation Model → SRTM 1Sec HGT(Auto Download), Map Projection → WGS84, και το Output bands for: → Selected source band και DEM.

Όλη η παραπάνω διαδικασία εκτελέστηκε μία φορά για το ζεύγος δορυφορικών εικόνων του 2019 και άλλη μια φορά για το ζεύγος του 2020, άρα παράχθηκε ένα DEM για το κάθε έτος. Αυτά προβλήθηκαν στο λογισμικό Google Earth (εικόνα 15, εικόνα

16), αφού αποθηκεύτηκαν ως KMZ αρχεία (File → Export → Other → View as Google Earth KMZ).



Εικόνα 15: Το DEM της ευρύτερης περιοχής έρευνας για το 2019 στο λογισμικό Google Earth. Παράχθηκε από εικόνες του δορυφόρου Sentinel-1 των ημερομηνιών 21/09/19 και 27/09/19.

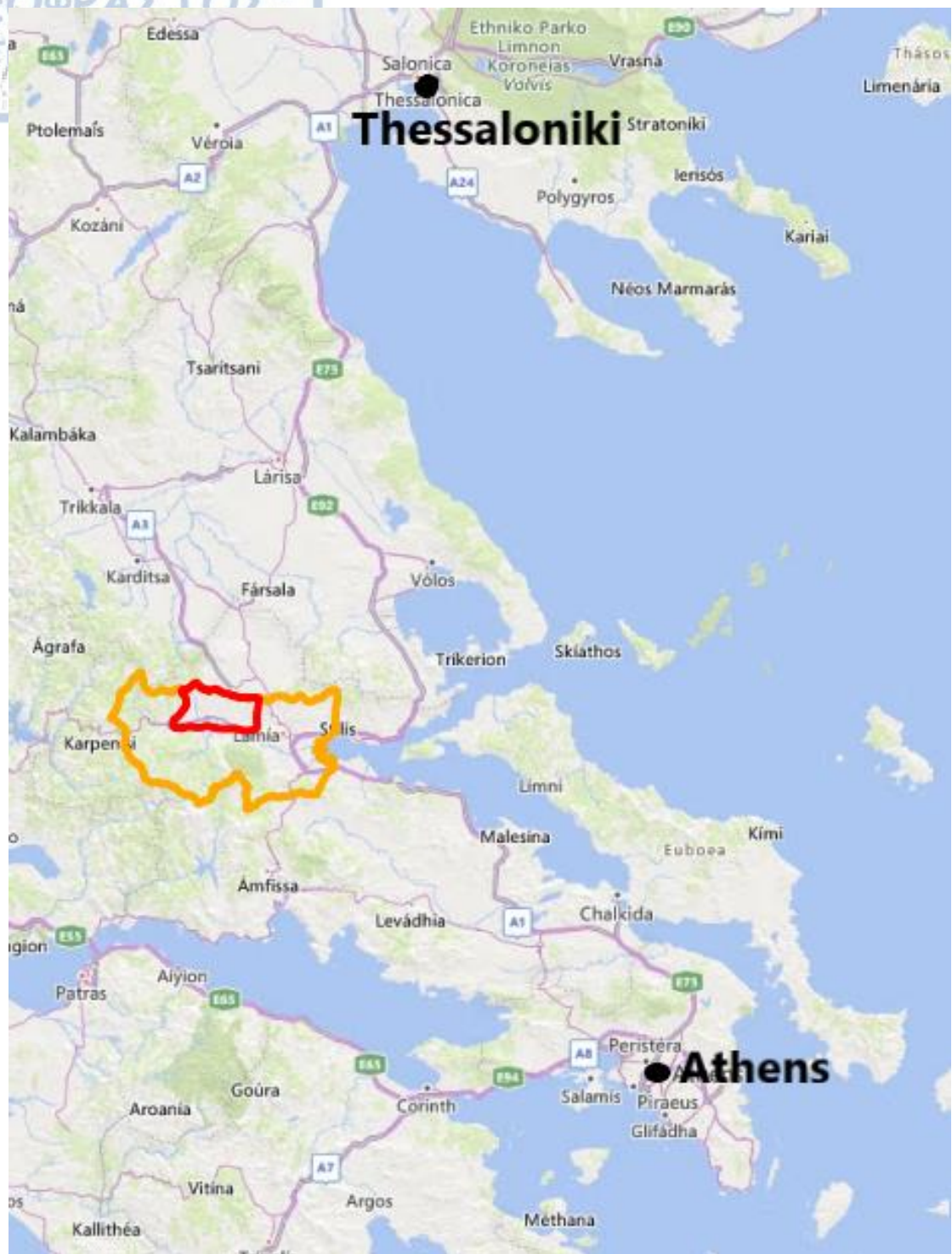


Εικόνα 16: Το DEM της ευρύτερης περιοχής έρευνας για το 2020 στο λογισμικό Google Earth. Παρά-χθηκε από εικόνες του δορυφόρου Sentinel-1 των ημερομηνιών 21/09/20 και 27/09/20.

Επόμενο βήμα της μεθοδολογίας για αυτή την πτυχιακή εργασία ήταν η παραγωγή διάφορων χαρτών μέσω του λογισμικού QGIS. Η διαδικασία που θα περιγραφεί εκτελέστηκε δύο φορές, μία για το κάθε DEM. Αρχικά, προστέθηκε στο QGIS το raster αρχείο “elevation_VV.img” από τον φάκελο «..._TC.data» που δημιουργήθηκε αυτόματα στα προηγούμενα βήματα. Για να μετατραπεί το προβολικό σύστημα από WGS84 σε Greek Grid (ΕΓΣΑ '87) χρησιμοποιήθηκε η εντολή «Warp (Reproject)» με μέθοδο resampling → bilinear. Έπειτα με το «Fill sinks (wang & liu), και την επιλογή “Filled DEM”” πληρώθηκαν όποιες επιφανειακές κοιλότητες υπήρχαν στο dem, ενώ με την εντολή «Clip Raster by Mask layer» κόπηκε το DEM στα όρια της λεκάνης απορροής του Σπερχειού ποταμού. Το vector layer της λεκάνης σχηματίστηκε χειροκίνητα.

Ακόμη, από την εντολή «Hillshade» παράχθηκε το σκιασμένο ανάγλυφο της λεκάνης με αζιμούθιο ίσο με 190°, και με το «Slope» δημιουργήθηκε από το DEM της λεκάνης το αρχείο με τις κλίσεις της. Επίσης, από ένα vector αρχείο με όλο το υδρογραφικό δίκτυο της Ελλάδας με την εντολή «Clip» δημιουργήθηκε νέο διανυσματικό αρχείο με το υδρογραφικό δίκτυο μόνο της λεκάνης του Σπερχειού. Επιπλέον, δημιουργήθηκε ένα shapefile layer σημείων όπου απεικονίζονται διάφορες πόλεις/χωριά της περιοχής, αλλά σχηματίστηκαν και οι ισοϋψείς της λεκάνης απορροής με την εντολή «Contour Lines». Για τις ισοϋψείς ορίστηκαν οι ακόλουθες παράμετροι: Vertex type → [0] x,y, Minimum Contour Value (Μικρότερη Ισοϋψής) → 15, Maximum Contour Value (Μεγαλύτερη Ισοϋψής) → 2100, Equidistance (Ισοδιάσταση) → 100.

Στη συνέχεια, σχηματίστηκε το διανυσματικό αρχείο της περιοχής μελέτης χειροκίνητα, όπου απεικονίζεται μαζί με όλη την λεκάνη του Σπερχειού στην εικόνα 17. Έτσι για την συγκεκριμένη περιοχή μελέτης με την εντολή «Clip Raster by Mask layer» κόπηκε το σκιασμένο ανάγλυφο όλης της λεκάνης στο μέγεθος της μικρότερης αυτής περιοχής, όπως επίσης με την εντολή «Clip» κόπηκαν τα vector layers των ισοϋψών και των πόλεων/χωριών της λεκάνης. Από το «Clip» δημιουργήθηκαν δύο νέα διανυσματικά αρχεία που αφορούν την μικρότερη περιοχή μελέτης.



Εικόνα 17: Η λεκάνη απορροής του Σπερχειού σε σχέση με τον χάρτη “Bing Road” της Ελλάδας. Με πορτοκαλί περίγραμμα είναι σχηματισμένη όλη η λεκάνη απορροής, ενώ με κόκκινο περίγραμμα είναι η μικρότερη περιοχή μελέτης.

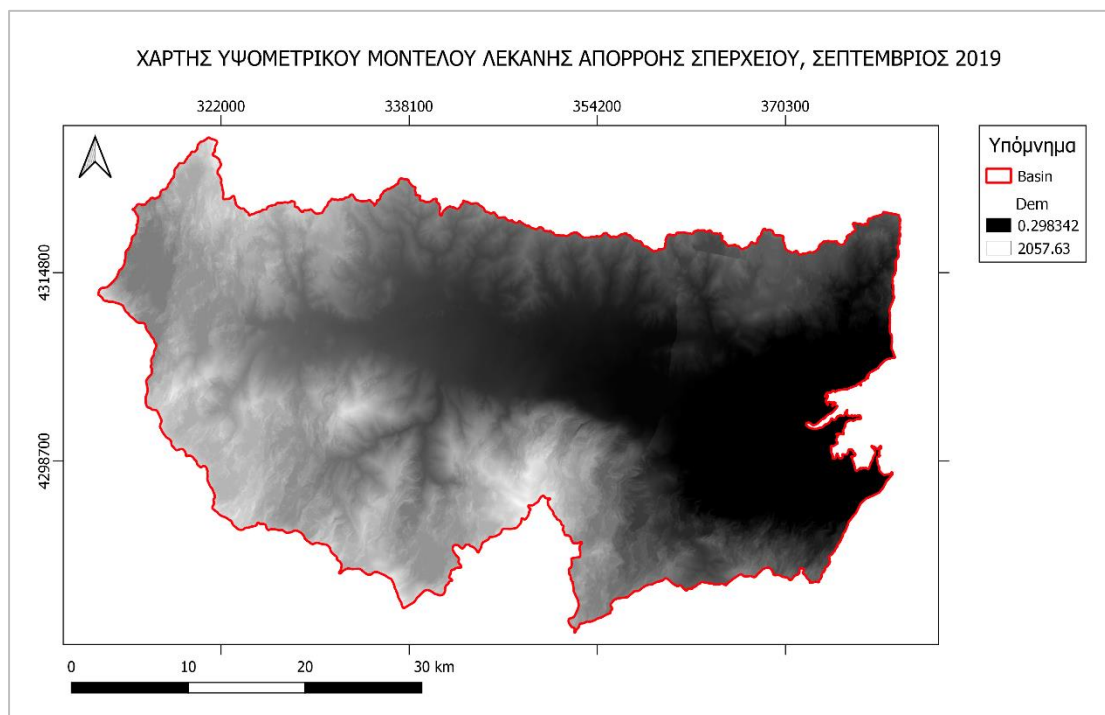


Σημαντικό χαρακτηριστικό της λεκάνης απορροής του Σπερχειού ποταμού είναι και οι χρήσεις γης της. Για αυτό έγινε λήψη του raster αρχείου του χάρτη κάλυψης γης – CLC 2018 από την ιστοσελίδα του Copernicus Land Monitoring Service (Copernicus Land Monitoring Service, 2018). Ακολούθως, αυτό το raster layer προστέθηκε στο QGIS, και με την εντολή «Clip Raster by Mask layer» κόπηκε το αρχικό, βάσει των vector layers της λεκάνης και της περιοχής μελέτης, σε άλλα δύο raster αρχεία. Ένα αρχείο για την χρήση γης σε όλη την λεκάνης απορροής και ένα αρχείο για την χρήση γης στην μικρότερη περιοχή μελέτης.

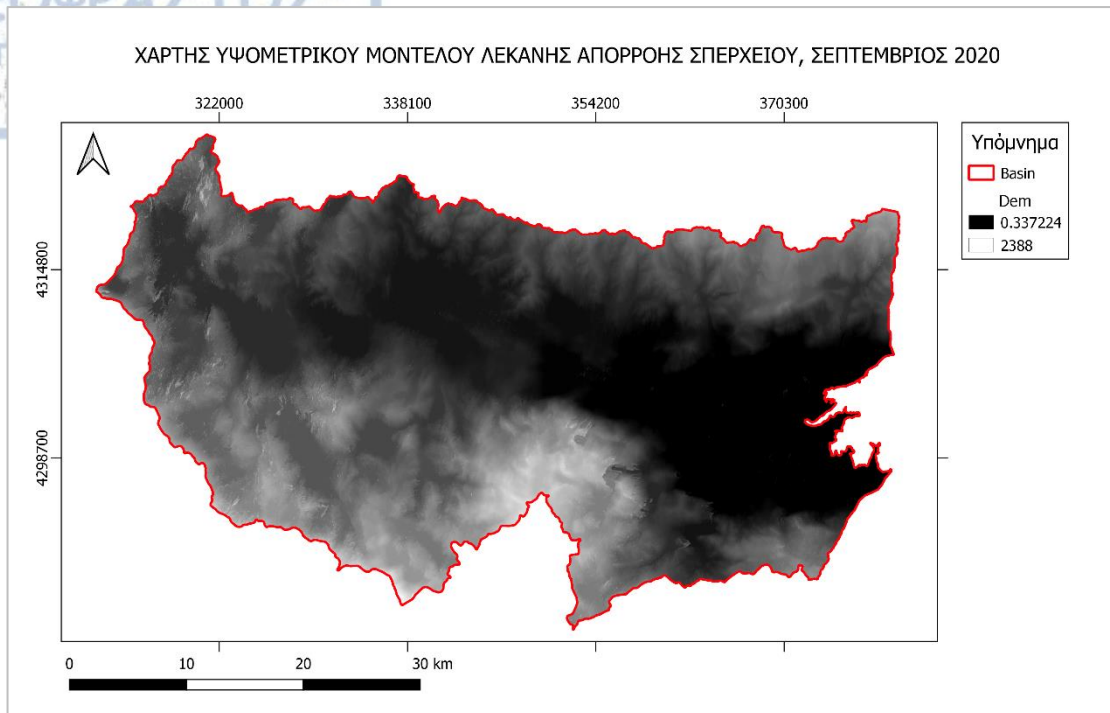
Το τελευταίο layer που δημιουργήθηκε ήταν από το «Raster Calculator» όπου χρησιμοποιήθηκαν τα αρχικά δύο DEM των δύο ετών κομμένα στα όρια όλης της λεκάνης απορροής. Ειδικότερα, πραγματοποιήθηκε η αφαίρεση του υψομετρικού μοντέλου του 2019 από αυτό του 2020, με σκοπό την σύγκριση των δύο DEM πριν και μετά τον Μεσογειακό Κυκλώνα Ιανό.

7. Αποτελέσματα

Για αυτή την διπλωματική εργασία δημιουργήθηκαν διάφοροι χάρτες βάσει της ανωτέρω μεθοδολογίας. Αρχικά, στους χάρτες 2 και 3 φαίνεται ο χάρτης του υψομετρικού μοντέλου για τα έτη 2019 και 2020, αντίστοιχα, σε προβολικό σύστημα ΕΓΣΑ '87 (GGRS87 / Greek Grid).

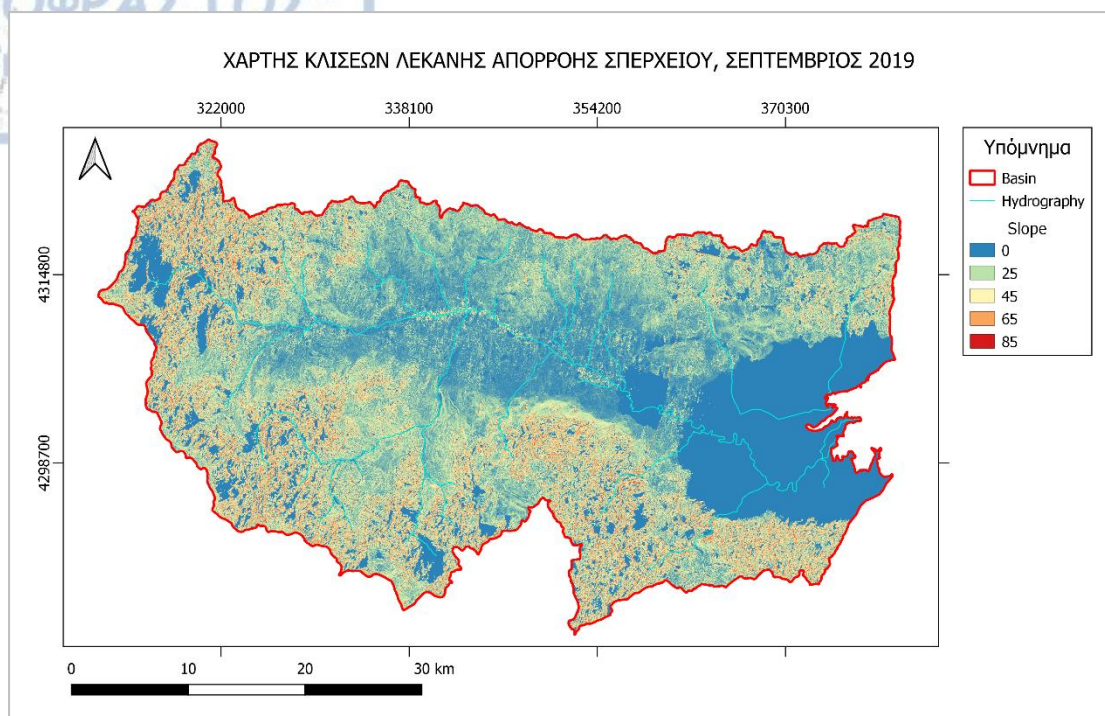


Χάρτης 2: Χάρτης υψομετρικού μοντέλου της λεκάνης απορροής του Σπερχείου ποταμού για τον Σεπτέμβριο του 2019

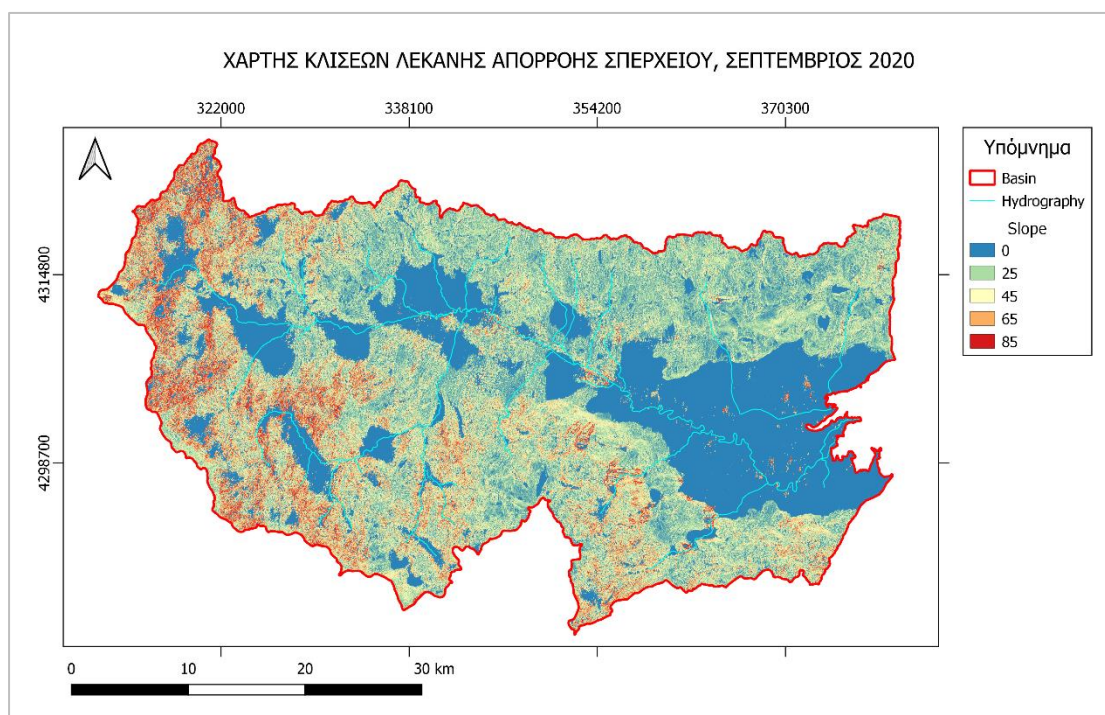


Χάρτης 3: Χάρτης υψομετρικού μοντέλου της λεκάνης απορροής του Σπερχείου ποταμού για τον Σεπτέμβριο του 2020

Στη συνέχεια, παράχθηκαν οι εικόνες που απεικονίζονται στους χάρτες 4 και 5, όπου δείχνουν τις κλίσεις των πρανών σε μοίρες και το υδρογραφικό δίκτυο της λεκάνης απορροής του Σπερχείου ποταμού, σε προβολικό σύστημα ΕΓΣΑ '87 (GGRS87 / Greek Grid). Όπως φαίνεται παρατηρούνται πολύ μικρές κλίσεις στην πεδιάδα του Σπερχείου, αντίθετα με τα ορεινά και ειδικά τα δυτικά της λεκάνης όπου οι κλίσεις είναι υψηλές. Στις υψηλές κλίσεις το νερό αναπτύσσει μεγαλύτερες ταχύτητες ροής προς τα κατάντη έχοντας μεγαλύτερη διαβρωτική ικανότητα και ως αποτέλεσμα έχει υψηλό φορτίο στερεοπαροχής, που αποτίθεται σε περιοχές με μικρότερες κλίσεις όπου και έχουμε την ανάπτυξη πλημμυρικών πεδίων με αποτέλεσμα την πρόκληση σημαντικών καταστροφών.

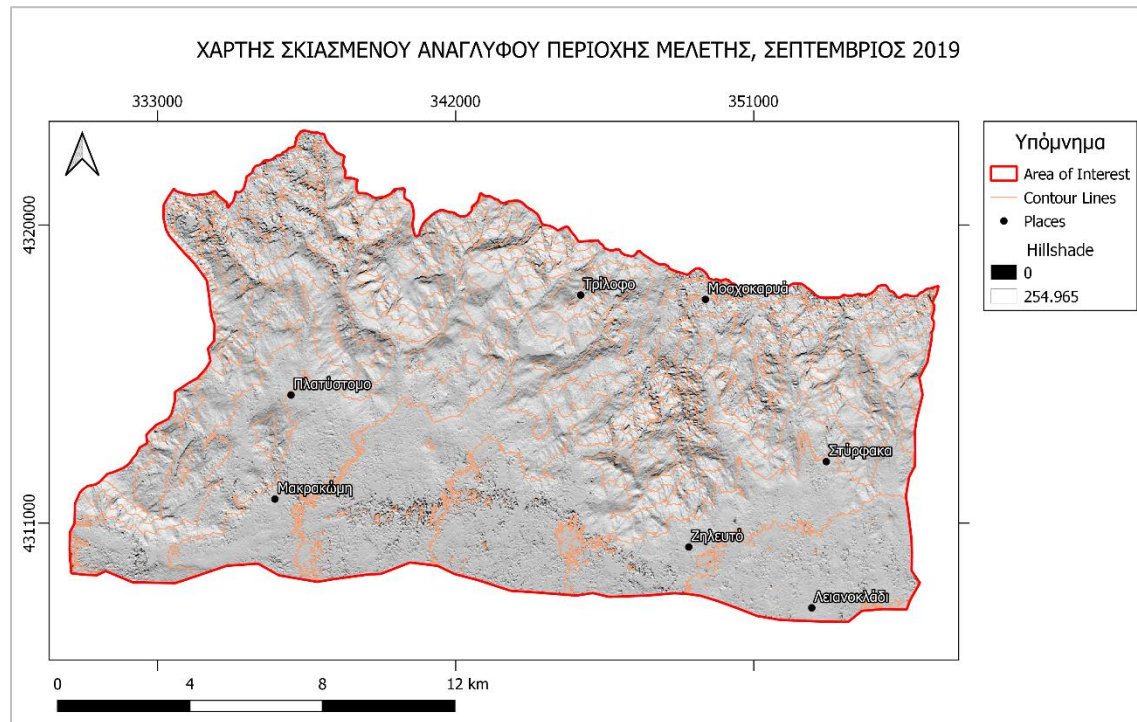


Χάρτης 4: Χάρτης των κλίσεων της λεκάνης απορροής του Σπερχείου ποταμού για τον Σεπτέμβριο του 2019, και του υδρογραφικού δικτύου

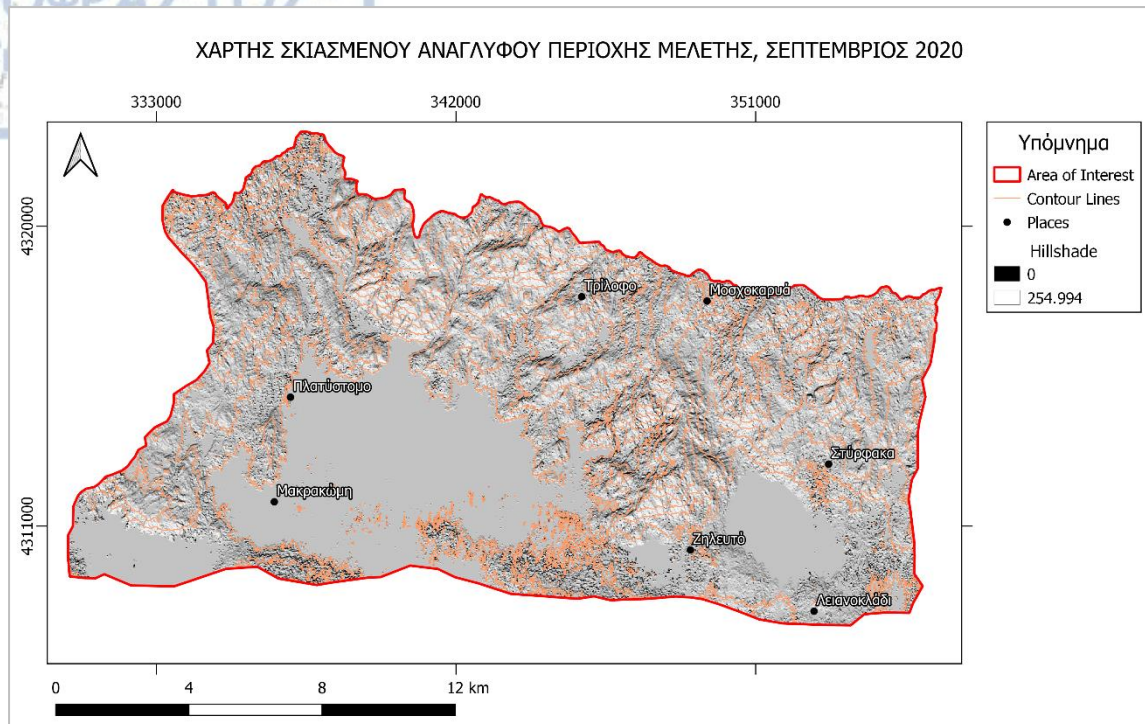


Χάρτης 5: Χάρτης των κλίσεων της λεκάνης απορροής του Σπερχείου ποταμού για τον Σεπτέμβριο του 2020, και του υδρογραφικού δικτύου

Στους χάρτες 6 και 7, σε προβολικό σύστημα ΕΓΣΑ '87 (GGRS87 / Greek Grid), απεικονίζεται το σκιασμένο ανάγλυφο της μικρότερης περιοχής μελέτης, οι ισοϋψείς καμπύλες, αλλά και με τη μορφή σημείων κάποια χωριά και πόλεις.

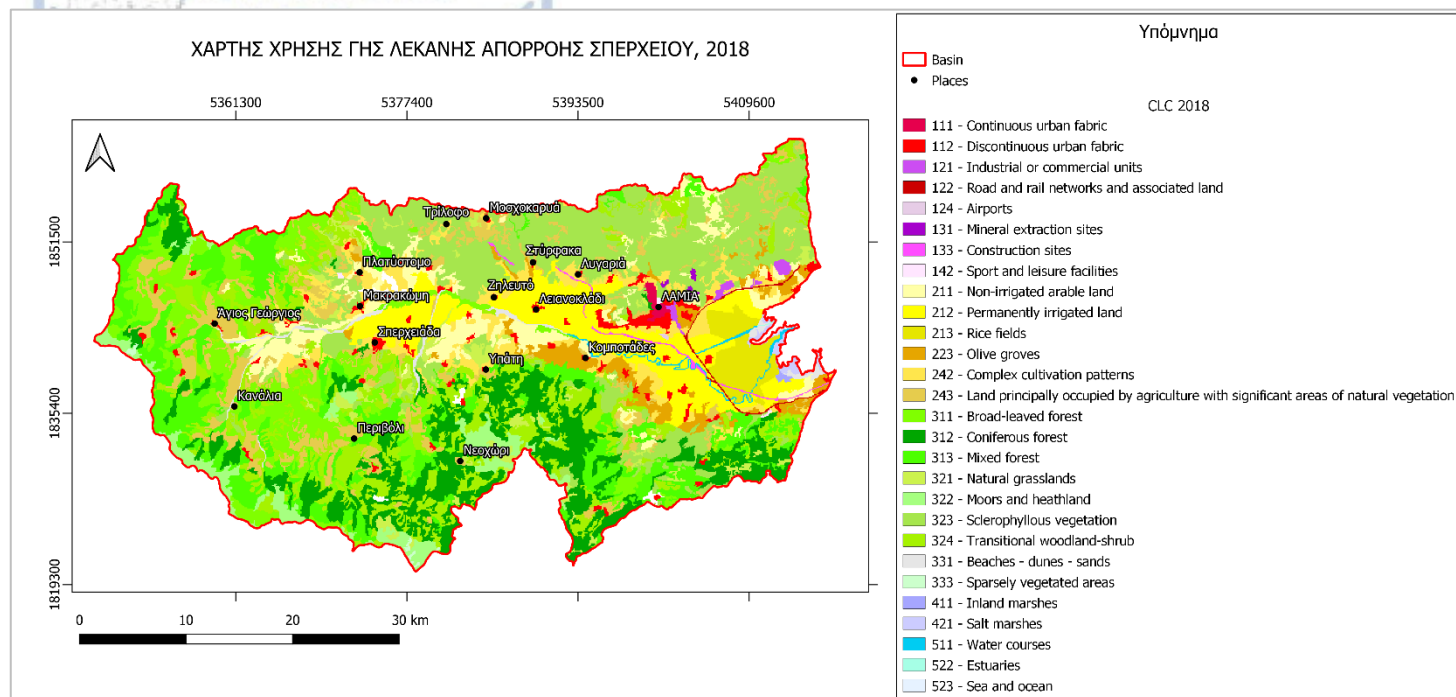


Χάρτης 6: Χάρτης με το σκιασμένο ανάγλυφο της μικρότερης περιοχής μελέτης για τον Σεπτέμβριο του 2019, με τις ισοϋψείς καμπύλες ισοδιάστασης 100 m και τις πόλεις/χωριά της περιοχής

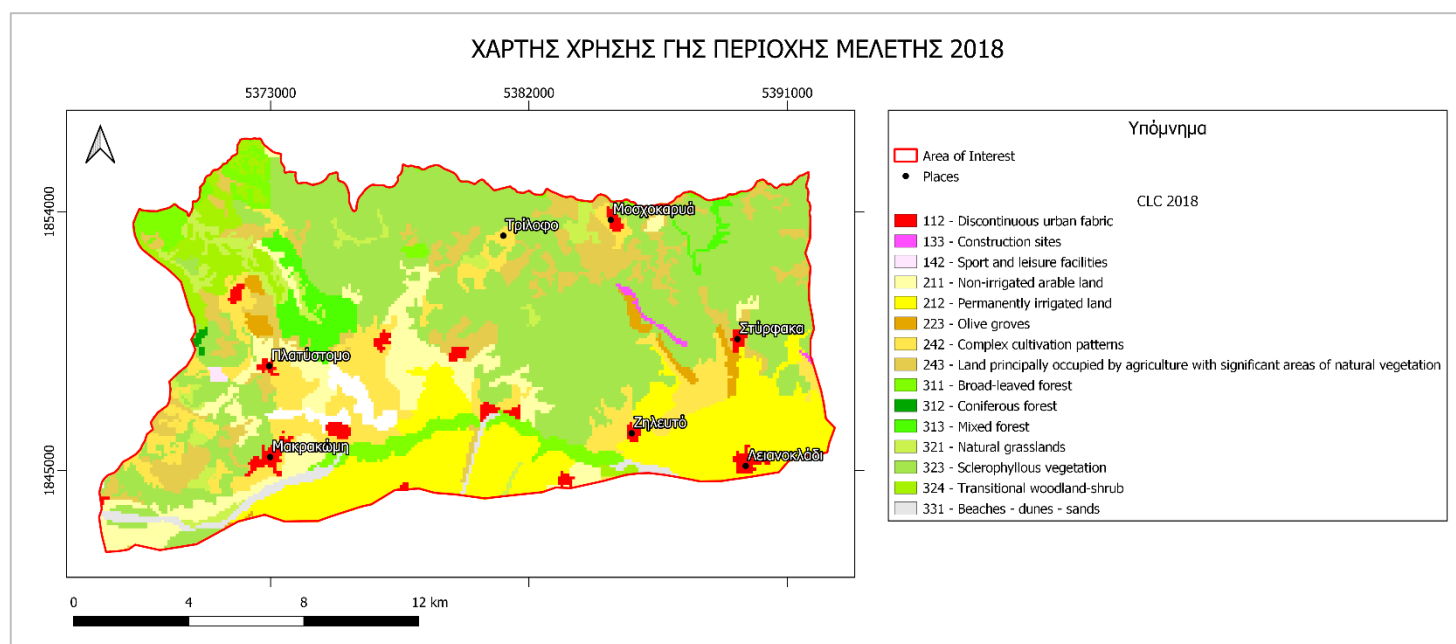


Χάρτης 7: Χάρτης με το σκιασμένο ανάγλυφο της μικρότερης περιοχής μελέτης για τον Σεπτέμβριο του 2020, με τις ισοϋψείς καμπύλες ισοδιάστασης 100 m και τις πόλεις/χωριά της περιοχής

Πολύ σημαντικοί για την αξιολόγηση των πιθανών συνεπειών από αντίστοιχα πλημμυρικά επεισόδια είναι και οι χάρτες χρήσης γης που παράχθηκαν όπως στον χάρτη 8 για ολόκληρη την λεκάνη απορροής του Σπερχειού ποταμού, ενώ στον χάρτη 9 μόνο για την περιοχή μελέτης. Το προβολικό σύστημα των χαρτών είναι το ETRS89-extended / LAEA Europe. Όπως διακρίνεται στους χάρτες γενικώς στην λεκάνη καταλαμβάνουν σημαντική έκταση τα πλατύφυλλα δάση, τα δάση κωνοφόρων, τα μικτά, και οι ελαιώνες. Στην περιοχή μελέτης εντοπίζονται σε μεγαλύτερο βαθμό οι περιοχές σκληρόφυλλης βλάστησης, οι μόνιμα αρδευόμενες περιοχές και οι σύνθετες καλλιέργειες.

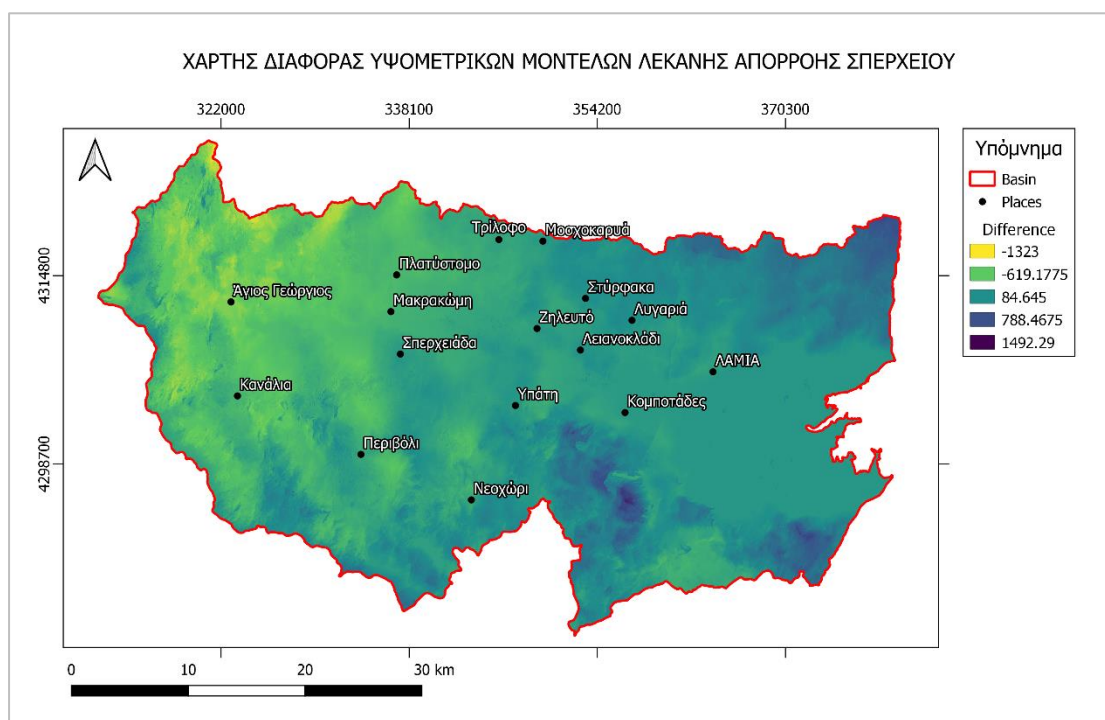


Χάρτης 8: Χάρτης των χρήσεων γης στην λεκάνη απορροής του Σπερχειού ποταμού για το 2018 με τις πόλεις/χωριά της περιοχής



Χάρτης 9: Χάρτης των χρήσεων γης στην περιοχή μελέτης για το 2018 με τις πόλεις/χωριά της περιοχής

Κλείνοντας δημιουργήθηκε και ο χάρτης διαφορών των δύο DEM για τον Σεπτέμβριο των 2019, 2020, σε προβολικό σύστημα ΕΓΣΑ '87 (GGRS87 / Greek Grid). Βάσει της ακρίβειας που παρέχουν τα αρχικά δεδομένα, στον χάρτη 10 δίνεται έμφαση στις διαφορές των υψομέτρων που σχετίζονται με τον μεγάλο όγκο νερού και στερεοπαροχής που κατέκλυσαν πολλές περιοχές της λεκάνης απορροής. Πολύ σημαντικές μεταβολές καταγράφονται στο δυτικό - βορειοδυτικό τμήμα της λεκάνης και απεικονίζονται με κίτρινα και πράσινα χρώματα. Με σκούρο μπλε αποδίδονται οι σημαντικές διαφορές στα ΒΑ και ΝΝΔ της λεκάνης. Επίσης, σύμφωνα με την χρωματική ακολουθία του χάρτη επιβεβαιώνονται οι έντονες διαφορές στην μικρότερη περιοχή μελέτης όπου και έλαβαν χώρα οι κυριότερες καταστροφές από τον μεσογειακό κυκλώνα «Ιανός». Η ακρίβεια του χάρτη καθορίζεται άμεσα από τις δύσκολες καιρικές συνθήκες που επικράτησαν στην λεκάνη απορροής του Σπερχειού κατά την λήψη των δορυφορικών εικόνων που χρησιμοποιήθηκαν.



Χάρτης 10: Χάρτης της διαφοράς των υψομετρικών μοντέλων της λεκάνης απορροής του Σπερχειού ποταμού με τις πόλεις/χωριά της περιοχής

8. Συμπεράσματα

Πολλοί παράγοντες συντελούν στο να πλημμυρίζει συχνά η λεκάνη απορροής του Σπερχειού ποταμού. Τα σημαντικά συμπεράσματα της εργασίας είναι τα ακόλουθα:

- Η μορφολογία και η τεκτονική της λεκάνης κατέχουν σημαντικό ρόλο σε αυτά τα φαινόμενα, καθώς το βόρειο τμήμα της βυθίζεται ενώ το νότιο ανυψώνεται. Έτσι σχηματίζεται ένα τεκτονικό βύθισμα, όπου σε κάποια σημεία παρατηρούνται πολύ απότομες κλίσεις και σε άλλα ηπιότερες, ως αποτέλεσμα της έντονης τεκτονικής δραστηριότητας της περιοχής. Στις απότομες κλίσεις η επιφανειακή απορροή είναι έντονη. Με την απορροή συνδέονται τα πετρώματα και το πόσο περατά είναι αυτά.
- Η γεωλογία της λεκάνης απορροής ποικίλλει. Στα δυτικά – βορειοδυτικά - νοτιο-δυτικά επικρατεί ο φλύσχης της Πίνδου, στο κεντρικό - βόρειο κομμάτι οι οφιόλιθοι, και στα ΒΑ και ΝΑ συναντώνται οι ασβεστόλιθοι της Υποπελαγονικής και ο φλύσχης της ίδιας ζώνης. Επιπροσθέτως, την λεκάνη συγκροτούν σχιστοκερατόλιθοι, ασβεστόλιθοι, βωξίτες, και αλλουβιακές και ποτάμιες αποθέσεις.
- Η μικρότερη περιοχή μελέτης αυτής της διπλωματικής εργασίας χαρακτηρίζεται από σημαντικές μορφολογικές κλίσεις αλλά και από αδιαπέρατους – ημιπερατούς σχηματισμούς, όπως τον φλύσχη της Πίνδου, τους οφιόλιθους και την σχιστοκερατολιθική διάπλαση.
- Τον Σεπτέμβριο του 2020 επικράτησαν συνθήκες ευνοϊκές για τον σχηματισμό του μεσογειακού κυκλώνα «Ιανός». Η έντονη βροχόπτωση και οι δυνατοί άνεμοι προκάλεσαν καταστροφές περιουσιών, πλημμύρες, κατολισθήσεις και στερεοπαροχή. Κάποιες από τις περιοχές που αντιμετώπισαν προβλήματα είναι η Μακρακώμη, η Μοσχοκαρυά, η Στύρφακα, το Τρίλοφο και το Κόμμα.
- Εφόσον η κακοκαιρία Ιανός προκάλεσε τόσο σφοδρές βροχοπτώσεις στην περιοχή μελέτης λογικό ήταν αυτή να πλημμυρίσει λόγω των συνθηκών που κυριαρχούν. Μεγάλο πλήγμα ήταν και ο σημαντικός όγκος στερεοπαροχής του ποταμού που προκάλεσε σοβαρές καταστροφές στο περιβάλλον και στην ανθρώπινη δραστηριότητα.
- Από τους χάρτες που δημιουργήθηκαν προκύπτει ότι στα ορεινά τμήματα της λεκάνης οι κλίσεις είναι πολύ υψηλές με αποτέλεσμα το νερό να ρέει γρήγορα και να διαβρώνει εύκολα. Τα φαινόμενα στερεοπαροχής προκαλούν πλημμύρες στα χαμηλότερα υψόμετρα. Επίσης, από τον χάρτη διαφορών των δύο ψηφιακών

υψομετρικών μοντέλων συμπεραίνεται ότι η κακοκαιρία έπληξε σε μεγαλύτερο βαθμό τις περιοχές στα ΔΒΔ, ΒΑ και ΝΝΔ της λεκάνης απορροής.

Μέγιστης σημασίας, λοιπόν, κρίνεται η λήψη μέτρων για να αποφευχθούν τα πλημμυρικά φαινόμενα που λαμβάνουν χώρα συχνά στη λεκάνη απορροής του Σπερχειού ποταμού. Προτείνεται να πραγματοποιηθούν τα εξής:

1. Τα αντιπλημμυρικά έργα που υπάρχουν θα πρέπει να συντηρούνται συχνά και να υφίστανται σε κάποιες μετατροπές ανάλογα με τις ανάγκες.
2. Κρίνεται απαραίτητο να διοχετευθεί περισσότερο νερό στην αρχική κοίτη του ποταμού, γιατί η υψηλή στάθμη που βρίσκεται ο υπόγειος υδροφόρος συντελεί σε πλημμυρικά γεγονότα.
3. Όμως για να μειωθούν οι πιθανότητες όμοιων περιστατικών επιβάλλεται να κατασκευασθούν τεχνικά έργα και στα ορεινά της λεκάνης, ώστε με φράγματα να συγκεντρώνονται τα φερτά υλικά και να αποτίθενται σε κάποιες δεξαμενές, αλλά και να συγκρατείται μια ποσότητα των νερών από τις επιφανειακές απορροές σε έκτακτες καιρικές συνθήκες.
4. Για να ελαττωθεί η διάβρωση στα ορεινά, άρα και η στερεοπαροχή του ποταμού, θα πρέπει να ενισχυθεί η φυτοκάλυψη και οι καλλιέργειες να αναπτύσσονται παράλληλα με τις ισοϋψείς και κάθετα στην μορφολογική κλίση.

- Braun, A. (2021). *DEM generation with Sentinel-1, Workflow and challenges*. SkyWatch Space Applications Inc.
- Lagouvardos, K., Karagiannidis, A., Dafis, S., Kalimeris, A., & Kotroni, V. (2021). Ianos - A hurricane in the Mediterranean. *Bulletin of the American Meteorological Society*, σσ. 1-31.
- Michail, & Chatzipetros. (2013). Morphotectonic analysis of faults in Sperchios Basin (Fthiotis, Central Greece). (σσ. 47, 295-304). *Bulletin of the Geological Society of Greece*.
- Psomiadis, E., Charizopoulos, N., Soulis, K. X., & Efthimiou, N. (2020, September 21). Investigating the Correlation of Tectonic and Morphometric Characteristics with the Hydrological Response in a Greek River Catchment Using Earth Observation and Geospatial Analysis Techniques. *Geosciences*, σσ. 10, 377.
- Psomiadis, Migiros, & Antoniou. (2013). Geomorphological quantitative analysis of Sperchios River Basin area (Central Greece) utilizing geographical information systems. (σσ. 47, 325-334). *Bulletin of the Geological Society of Greece*.
- Skoulikidis, N. T., Economou, A. N., Gritzalis, K. C., & Zogaris, S. (2009). Rivers of the Balkans. Στο U. U. Klement Tockner, *Rivers of Europe* (σσ. 11, 421-466). Elsevier.
- Stathopoulos , N., Lykoudi , E., Vasileiou , E., Rozos , D., & Dimitrakopoulos , D. (2017, May 12). Erosion Vulnerability Assessment of Sperchios River Basin, in East Central Greece—A GIS Based Analysis. *Open Journal of Geology*, σσ. 7, 621-646.
- Stathopoulos, N., Kalogeropoulos, K., Polykretis, C., Skrimizeas , P., Louka, P., Karymbalis , E., & Chalkias , C. (2018). Introducing Flood Susceptibility Index Using Remote-Sensing Data and Geographic Information Systems. Empirical Analysis in Sperchios River Basin, Greece. Στο T. I. George P. Petropoulos,

Remote Sensing of Hydrometeorological Hazards (σσ. 18, 381-400). CRC Press.

Stathopoulos, Rozos, & Vasileiou. (2013). Water resources management in Sperchios River Basin, using SWOT analysis. (σσ. 47, 779-788). Bulletin of the Geological Society of Greece.

Zekkos, D., Zalachoris, G., Alvertos, A., Amatya, P., Blunts, P., Clark, M., . . . Valkaniotis, S. (2020). *The September 18-20 2020 Medicane Ianos Impact on Greece - Phase I Reconnaissance Report*. Geotechnical Extreme Events Reconnaissance Report, GEER-068. doi:<https://doi.org/10.18118/G6MT1T>

Ελληνική Βιβλιογραφία

Lekkas, E., Nastos, P., Cartalis, C., Diakakis, M., Gogou, M., Mavroulis, S., . . . Valkaniotis, S. (2020). Impact of Medicane "IANOS" (September 2020). *Newsletter of Environmental, Disaster and Crises Management Strategies*, 1-140.

Ειδική Γραμματεία Υδάτων. (2013). *Σχέδιο Διαχείρισης των Λεκανών Απορροής Ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος Ανατολικής Στερεάς Ελλάδας (GR07)*. Αθήνα.

Κουγιουμτζίδου, Κ. (2011). *Οικολογική ποιότητα και διαχείριση υδάτων σε επίπεδο λεκάνης απορροής*. Θεσσαλονίκη: Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.

Σταθόπουλος, Ν., Λουκά, Π., Καλογερόπουλος, Κ., Καρύμπαλης, Ε., Παπαδόπουλος, Α., & Χαλκιάς, Χ. (2017). *Εκτίμηση των επιπτώσεων πλημμυρικών φαινομένων με την αξιοποίηση δορυφορικών δεδομένων SAR και ΣΓΠ. εφαρμογή στην λεκάνη απορροής του Σπερχειού ποταμού*. Αθήνα.

Ψωμιάδης, Ε. Π. (2010). *Έρευνα γεωμορφολογικών και περιβαλλοντικών μεταβολών στην υδρολογική λεκάνη του Σπερχειού ποταμού με χρήση νέων τεχνολογιών*. Αθήνα: Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών.



Ψωμιάδης, Ε., Παπάζογλου, Γ. Ε., Καυκαλά, Ε., Σερέλης, Κ., Χαριζόπουλος, Ν., & Μανταλούφα, Ι. (2017). *Γεωχωρική κατανομή των ανθρωπογενών επιδράσεων στην υδρολογική-υδρογεωλογική κατάσταση και ποιότητα νερού του ανατολικού τμήματος της λεκάνης απορροής του Σπερχειού ποταμού*. Αθήνα.

Διαδικτυακές πηγές

Copernicus Land Monitoring Service. (2018). *Copernicus Land Monitoring Service*.

Ανάκτηση από <https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover/clc2018?tab=download>

IERSD/National Observatory of Athens. (2017). *Meteo View*. Ανάκτηση από <http://stratus.meteo.noa.gr/front>

meteo.gr - Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών - Ινστιτούτο Ερευνών Περιβάλλοντος. (χ.χ.). www.meteo.gr | *Data Search*. Ανάκτηση από <http://meteosearch.meteo.gr/>

Serco, GAEL Systems, European Space Agency. (χ.χ.). *Copernicus Open Access Hub*. Ανάκτηση από <https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>