



ΣΧΟΛΗ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΤΕΧΝΩΝ ΚΑΙ ΒΙΩΣΙΜΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

Περιβαλλοντικός Σχεδιασμός (ΠΣΧ)

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

Εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων από την κατασκευή και
λειτουργία φραγμάτων.

Κωνσταντίνος Καρβούνης

Επιβλέπων καθηγητής: Δημήτριος Τσεσμελής

Πάτρα, Σεπτέμβριος 2026

Η παρούσα εργασία αποτελεί πνευματική ιδιοκτησία του φοιτητή (Κωνσταντίνου Καρβούνη) που την εκπόνησε. Στο πλαίσιο της πολιτικής ανοικτής πρόσβασης ο συγγραφέας/δημιουργός εκχωρεί στο ΕΑΠ, μη αποκλειστική άδεια χρήσης του δικαιώματος αναπαραγωγής, προσαρμογής, δημόσιου δανεισμού, παρουσίασης στο κοινό και ψηφιακής διάχυσής τους διεθνώς, σε ηλεκτρονική μορφή και σε οποιοδήποτε μέσο, για διδακτικούς και ερευνητικούς σκοπούς, άνευ ανταλλάγματος και για όλο το χρόνο διάρκειας των δικαιωμάτων πνευματικής ιδιοκτησίας. Η ανοικτή πρόσβαση στο πλήρες κείμενο για μελέτη και ανάγνωση δεν σημαίνει καθ' οιονδήποτε τρόπο παραχώρηση δικαιωμάτων διανοητικής ιδιοκτησίας του συγγραφέα/δημιουργού ούτε επιτρέπει την αναπαραγωγή, αναδημοσίευση, αντιγραφή, αποθήκευση, πώληση, εμπορική χρήση, μετάδοση, διανομή, έκδοση, εκτέλεση, «μεταφόρτωση» (downloading), «ανάρτηση» (uploading), μετάφραση, τροποποίηση με οποιονδήποτε τρόπο, τμηματικά ή περιληπτικά της εργασίας, χωρίς τη ρητή προηγούμενη έγγραφη συναίνεση του συγγραφέα/δημιουργού. Ο συγγραφέας/δημιουργός διατηρεί το σύνολο των ηθικών και περιουσιακών του δικαιωμάτων.



Εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων από την κατασκευή και
λειτουργία φραγμάτων.

«Κωνσταντίνος Καρβούνης»

Επιτροπή Επίβλεψης Μεταπτυχιακής Διπλωματικής Εργασίας

Επιβλέπων Καθηγητής:

Δημήτριος Τσεσμελής

«Επίκουρος Καθηγητής, Τμήμα Γεωπονίας
Πανεπιστημίου Πατρών»

Συν-Επιβλέπουσα Καθηγήτρια:

Ζωή Γαρέιου

«Μέλος ΣΕΠ του ΕΑΠ»

Πάτρα, Σεπτέμβριος 2026

Ευχαριστίες / Αφιέρωση

Η παρούσα Διπλωματική Εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια του Μεταπτυχιακού Προγράμματος Σπουδών «Περιβαλλοντικός Σχεδιασμός (ΠΣΧ)». Πραγματοποιήθηκε στο Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο και συγκεκριμένα κατά την ακαδημαϊκή περίοδο 2025/2026. Καθοριστικό ρόλο στην ολοκλήρωση της εργασίας είχε η καθοδήγηση και υποστήριξη του καθηγητή μου, κ. Δημήτριου Τσεσμελή.

Θέλω επίσης να ευχαριστήσω τη σύζυγό μου Αναστασία Αδάμου για τη συμπαράσταση και κατανόηση που έδειξε καθ' όλη τη διάρκεια των μεταπτυχιακών μου σπουδών.

Περίληψη

Η κατασκευή φραγμάτων επιφέρει πολλαπλές και ποικίλες περιβαλλοντικές επιπτώσεις, τόσο κατά τη φάση των εργασιών όσο και κατά τη λειτουργία του έργου. Οι συνέπειες εκτείνονται από το τοπικό επίπεδο της λεκάνης απορροής μέχρι και σε μακροχρόνια κλίμακα.

Η κατάκλυση εκτάσεων για τη δημιουργία του ταμιευτήρα οδηγεί σε άμεση απώλεια χερσαίων και παρόχθιων οικοτόπων, σε αποψύλωση βλάστησης, εξαφάνιση ή υποβάθμιση ενδιαιτημάτων και μεταβολή της σύνθεσης της φυτοπανίδας και της ζωικής κοινότητας. Η μόνιμη ή προσωρινή μετεγκατάσταση ειδών και η κατακερματισμένη διασπορά πληθυσμών αποτελούν κύριους παράγοντες μείωσης της βιοποικιλότητας.

Τα φράγματα μεταβάλλουν ριζικά την υδρολογία. Αλλάζουν το καθεστώς της ροής, μειώνουν τις εποχικές αιχμές ή αντιθέτως τις μετατοπίζουν και αποκόπτουν τη συνέχεια του ποταμιού. Η συγκράτηση φερτών και ιζημάτων στον ταμιευτήρα μειώνει την τροφοδοσία των κατάντη πεδινών και παράκτιων ζωνών, οδηγώντας σε διάβρωση όχθων και ακτογραμμών, καθώς και σε αλλαγές μορφολογίας. Επιπλέον, οι αλλαγές στη διήθηση και στην αλληλεπίδραση επιφανειακών και υπόγειων υδάτων μπορούν να επιφέρουν πτώση ή τοπικά άνοδο της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα, επηρεάζοντας πηγές και γεωτρήσεις.

Η ποιότητα του νερού επηρεάζεται. Η πρώτη πλήρωση και η σταθερή δημιουργία λιμναίου περιβάλλοντος προκαλούν χημικό στρωματισμό και υποξικές ή αναερόβιες συνθήκες στα βαθιά στρώματα, απελευθέρωση θρεπτικών συστατικών από τα ιζήματα, αύξηση ευτροφισμού και πιθανή ανάπτυξη παθογόνων ή τοξικών φυτοπλαγκτονικών ανθοφοριών. Η συγκέντρωση ρυπαντών από τις απορροές του εργοταξίου και οι αποθέσεις επικίνδυνων υλικών ή διαρροές ενισχύουν τη ρύπανση των επιφανειακών και υπόγειων υδάτων.

Η παρεμπόδιση των μεταναστευτικών διαδρομών ψαριών και άλλων οργανισμών μειώνει την πρόσβαση σε θέσεις αναπαραγωγής και τροφοληψίας, προκαλώντας θνησιμότητα ή μείωση πληθυσμών. Ακόμη και με ιχθυοδιόδους, η αποτελεσματικότητα συχνά είναι περιορισμένη. Επιπλέον, η κατανάλωση βιομάζας κατά την κατάκλυση οδηγεί σε έκλυση αερίων του θερμοκηπίου (CO₂, CH₄), ιδιαίτερα στα τροπικά ταμιευτήρια.

Η κατασκευή προκαλεί τοπικές πιέσεις. Διάβρωση, αυξημένη σκόνη, θόρυβος, κίνδυνοι ατυχημάτων, παραγωγή στερεών και επικίνδυνων αποβλήτων. Κοινωνικά επιφέρει απώλεια αγροτικής γης, μετεγκαταστάσεις πληθυσμών, διατάραξη τοπικής οικονομίας και πιθανή

υποβάθμιση πολιτιστικής κληρονομιάς μέσω κατάκλυσης αρχαιοτήτων. Οι επιπτώσεις στην υγεία (από ατμοσφαιρική ρύπανση, φορείς ασθενειών σε λιμναίες ζώνες) και οι αλλαγές στο μικροκλίμα είναι επίσης τεκμηριωμένα ζητήματα.

Για τη μείωση των επιπτώσεων απαιτείται ολοκληρωμένη προσέγγιση. Εκ των προτέρων Περιβαλλοντική Μελέτη (ΕΙΑ), Σχέδιο Περιβαλλοντικής και Κοινωνικής Διαχείρισης (ESMP), εφαρμογή μέτρων μετριασμού (ελάχιστες οικολογικές ροές, παγίδες ιζημάτων, έλεγχος ρύπανσης), τεχνικά έργα (ιχθυοδιόδους, προσωρινές δίοδοι παράκαμψης), προγράμματα αποκατάστασης και αντισταθμίσεων, συνεχή παρακολούθηση (νερό, ιζήματα, βιοποικιλότητα, γεωτεχνική σταθερότητα) και συμμετοχικός διάλογος με τοπικές κοινότητες. Η εφαρμογή προσαρμοστικής διαχείρισης και η αξιολόγηση κόστους/οφέλους με ενσωμάτωση μη χρηματικών αξιών (πολιτισμός, οικοσυστημικές υπηρεσίες) είναι κρίσιμες. Τέλος, η συμπερίληψη των συσσωρευτικών και μακροχρόνιων επιπτώσεων, καθώς και η επαναξιολόγηση της αναγκαιότητας και του σχεδιασμού πριν την υλοποίηση νέων φραγμάτων, αποτελούν προϋποθέσεις για βιώσιμη διαχείριση των υδατικών πόρων.

Η Εκτίμηση Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων (ΕΠΕ) για την κατασκευή φραγμάτων είναι απαραίτητη ώστε να εντοπιστούν, να ποσοτικοποιηθούν και να μετριαστούν όλες οι παραπάνω επιπτώσεις. Διασφαλίζει τη συμμόρφωση με την εγχώρια νομοθεσία και τα διεθνή πρότυπα. Προστατεύει τη δημόσια υγεία και αποτρέπει μη αναστρέψιμες βλάβες. Επιτρέπει τεκμηριωμένο σχεδιασμό και αξιολόγηση των κινδύνων αστοχίας και των κοινωνικών επιπτώσεων. Κάνει επίσης εφικτή την εφαρμογή προσαρμοστικής διαχείρισης. Συνολικά, προάγει τη βιώσιμη χρήση των υδατικών πόρων και την υπεύθυνη λήψη αποφάσεων.

Χρησιμοποιούνται διάφορες μέθοδοι για την Εκτίμηση των Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων με την αποτελεσματικότητά τους να εξαρτάται από την ποιότητα των δεδομένων βάσης, τη συνδυαστική εφαρμογή εργαλείων (ποιοτικών και ποσοτικών), τη συμμετοχή ενδιαφερομένων και την εφαρμογή προσαρμοστικής διαχείρισης. Η χρήση πολλαπλών, συμπληρωματικών μεθόδων επιτρέπει τεκμηριωμένες, διαφανείς και ευέλικτες αποφάσεις για τη μείωση των περιβαλλοντικών και κοινωνικών κινδύνων.

Λέξεις – Κλειδιά

Φράγματα, Βιοποικιλότητα, Λεκάνη απορροής, Περιβαλλοντικές επιπτώσεις φραγμάτων,
Εκτίμηση Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων (ΕΠΕ)

Assessment of the environmental impacts of dam construction and operation

«Konstantinos Karvounis»

Abstract

The construction of dams causes multiple and diverse environmental impacts, both during the construction phase and throughout the operation of the project. The consequences extend from the local scale of the watershed to long-term timeframes.

The inundation of land to create the reservoir leads to the immediate loss of terrestrial and riparian habitats, clearance of vegetation, disappearance or degradation of habitats, and changes in the composition of plant and animal communities. Permanent or temporary displacement of species and fragmented population distributions are major drivers of biodiversity loss.

Dams fundamentally alter hydrology. They change flow regimes, reduce or alternatively shift seasonal peaks, and interrupt river continuity. The trapping of sediments and solids in the reservoir reduces sediment supply to downstream plains and coastal zones, causing bank and shoreline erosion and morphological changes. In addition, changes in infiltration and in the interaction between surface and groundwater can cause declines or, locally, rises in groundwater levels, affecting springs and wells.

Water quality is affected. Initial impoundment and the ongoing establishment of a lacustrine environment cause chemical stratification and hypoxic or anoxic conditions in deep layers, release of nutrients from sediments, increased eutrophication and potential development of pathogenic or toxic phytoplankton blooms. The accumulation of pollutants from construction runoff and the deposition of hazardous materials or leaks exacerbate contamination of surface and groundwater.

The obstruction of migratory routes for fish and other organisms reduces access to spawning and feeding grounds, causing mortality or population declines. Even with fish passages, effectiveness is often limited. In addition, the consumption of biomass during inundation leads to greenhouse gas emissions (CO₂, CH₄), particularly in tropical reservoirs.

Construction generates local pressures: erosion, increased dust, noise, accident hazards, and the production of solid and hazardous wastes. Social impacts include loss of agricultural land, population displacements, disruption of the local economy, and potential degradation of cultural heritage through the inundation of archaeological sites. Health impacts (from air pollution, disease vectors in lacustrine zones) and changes in the microclimate are also documented concerns.

Mitigating these impacts requires an integrated approach. This includes a prior Environmental Impact Assessment (EIA), an Environmental and Social Management Plan (ESMP), implementation of mitigation measures (environmental flows, sediment traps, pollution control), engineering solutions (fish passages, temporary bypass channels), restoration and offset programs, continuous monitoring (water, sediments, biodiversity, geotechnical stability), and participatory dialogue with local communities. The application of adaptive management and cost–benefit assessments that incorporate non-monetary values (cultural values, ecosystem services) is critical. Finally, accounting for cumulative and long-term impacts and re-evaluating the necessity and design before implementing new dams are prerequisites for sustainable water resources management.

The Environmental Impact Assessment (EIA) for dam construction is essential to identify, quantify and mitigate all the aforementioned impacts. It ensures compliance with national legislation and international standards, protects public health and prevents irreversible damage. It enables evidence-based design and the assessment of failure risks and social impacts. It also makes the application of adaptive management feasible. Overall, it promotes the sustainable use of water resources and responsible decision-making.

Various methods are used for Environmental Impact Assessment, whose effectiveness depends on the quality of baseline data, the combined application of tools (qualitative and quantitative), stakeholder engagement and the implementation of adaptive management. The use of multiple, complementary methods allows for well-documented, transparent and flexible decisions to reduce environmental and social risks.

Keywords

Dams, Biodiversity, Watershed, Environmental impacts of dams, Environmental Impact Assessment (EIA)

Περιεχόμενα

Περίληψη.....	2
Abstract.....	5
Περιεχόμενα.....	8
Συντομογραφίες & Ακρονύμια.....	14

A. ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

1. Ιστορική αναδρομή φραγμάτων & Λεκάνες απορροής	16
1.1 Ιστορική αναδρομή των φραγμάτων στον Ελλαδικό χώρο.....	16
1.1.1 Αρχαιότητα έως 19ος αιώνας, πρώιμες κατασκευές υδροδότησης.....	16
1.1.2 Δεκαετίες από το 1920 έως το 1960.....	16
1.1.3 Δεκαετίες από το 1960 έως το 1990.....	17
1.1.4 Δεκαετίες από το 1990 έως το 2010.....	18
1.1.5 Από το 2010 έως σήμερα.....	18
1.2 Ιστορική αναδρομή των φραγμάτων στον Ευρωπαϊκό χώρο.....	19
1.2.1 Αρχαία και Μεσαιωνική Εποχή (Πρώιμα στάδια).....	19
1.2.2 Βιομηχανική Επανάσταση (18ος – 19ος αιώνας).....	19
1.2.3 20ός Αιώνας: Η "Χρυσή Εποχή" των Μεγάλων Φραγμάτων	20
1.2.4 Σύγχρονη Εποχή (21ος αιώνας): Αποκατάσταση και αφαίρεση	20
1.3 Λεκάνη Απορροής (Watershed).....	20
1.3.1 Λεκάνες απορροής και φράγματα	20
1.3.2 Δομή και βασικά στοιχεία μιας λεκάνης απορροής	21
1.3.3 Υδρολογικές διεργασίες και μεταβλητότητα λεκάνης απορροής	21
1.3.4 Ιζηματομεταφορά και θρεπτικά στοιχεία	21
1.3.5 Δείκτες, μέτρα και αξιολόγηση λεκάνης απορροής	22
1.3.6 Ανθρώπινες πιέσεις και επιπτώσεις στις λεκάνες απορροής	22
1.3.7 Μοντελοποίηση και εργαλεία πρόβλεψης	22
1.3.8 Ολοκληρωμένη διαχείριση λεκάνης απορροής (IWM).....	22
1.3.9 Παρακολούθηση και προσαρμοστική διαχείριση λεκάνης απορροής	23
1.3.10 Κλιματική αλλαγή και μελλοντικές προκλήσεις	23
1.3.11 Συμπέρασμα	23

2. Ταξινόμηση των φραγμάτων	24
2.1 Ταξινόμηση φραγμάτων κατά Μορφή/Δομικό τύπο	25
2.2 Ταξινόμηση φραγμάτων κατά Υλικό	28
2.3 Ταξινόμηση φραγμάτων κατά Σκοπό/Λειτουργία	32
 B. ΕΙΔΙΚΟ ΜΕΡΟΣ	
3. Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις κατά την κατασκευή φράγματος	37
3.1 Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις κατά την εγκατάσταση/λειτουργία του εργοταξίου	37
3.1.1 Καταστροφή και μεταβολή οικοτόπων	37
3.1.1.1 Ζώνες αντιστάθμισης	38
3.1.2 Διάβρωση εδαφών και αυξημένη απορροή ιζημάτων	38
3.1.3 Μόλυνση νερού	39
3.1.4 Αύξηση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και σκόνης	39
3.1.5 Θόρυβος και δονήσεις	40
3.1.6 Αλλαγές στην υδρολογία και στην ποιότητα επιφανειακών/υπόγειων υδάτων	40
3.1.7 Επιπτώσεις σε ψάρια και σε υδρόβια οικοσυστήματα	41
3.1.8 Παραγωγή στερεών αποβλήτων και επικίνδυνων υλικών	42
3.1.9 Κοινωνικές/Οικονομικές επιπτώσεις και μετακινήσεις πληθυσμού	42
3.1.10 Αύξηση κινδύνου ατυχημάτων και ασφάλειας	42
3.1.11 Επιπτώσεις στην τοπική οικονομία/πολιτιστική κληρονομιά	43
3.1.12 Σύνοψη	43
3.1.13 Σχέδιο Περιβαλλοντικής και Κοινωνικής Διαχείρισης (ESMP).....	43
3.1.13.1 Βασικά Συστατικά ενός ESMP	44
3.1.13.2 Πότε είναι απαραίτητο το ESMP	44
3.2 Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις λόγω εκτροπή της ροής	44
3.2.1 Αλλαγές στη ροή και στην υδρολογία	45
3.2.2 Επίπτωση σε ιχθυοπανίδα και διαδρομές μετανάστευσης	45
3.2.3 Μείωση ποιότητας νερού	46
3.2.4 Μεταφορά και εναπόθεση ιζημάτων	47
3.2.5 Επιπτώσεις σε υγροτόπους και παρόχθια οικοσυστήματα	47
3.2.5.1 Οικολογική ροή (ecological flow).....	47

3.2.6 Επιπτώσεις σε υπόγεια ύδατα	50
3.2.7 Διάβρωση και αστάθεια πρανών	50
3.2.8 Αλλαγές στο οικολογικό δίκτυο και απώλεια βιοποικιλότητας	50
3.2.9 Κοινωνικές και οικονομικές επιπτώσεις σε αλιεία, ύδρευση	51
3.2.10 Κίνδυνοι ατυχημάτων και υγείας	51
3.2.11 Πολιτιστική κληρονομιά	51
3.2.12 Συγκεντρωτικές μακροπρόθεσμες επιπτώσεις	52
3.3 Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις λόγω έμφραξης της εκτροπής και πρώτης πλήρωσης	52
3.3.1 Αιφνίδια μεταβολή ροής κατάντη (downstream flow reduction)	52
3.3.1.1 Κατάντη οικοσύστημα	53
3.3.2 Συγκέντρωση ιζημάτων και αυξημένη θολότητα ανάντη/κατάντη	53
3.3.3 Οξεία επιβάρυνση ποιότητας νερού	53
3.3.3.1 Βιοχημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο (BOD)	54
3.3.3.2 Χημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο (COD)	54
3.3.4 Θνησιμότητα/μετακίνηση υδρόβιων οργανισμών (ψάρια, αμφίβια)	55
3.3.5 Εκπομπές αερίων (CH ₄ , CO ₂) από βιομάζα που πλημμυρίζεται	56
3.3.6 Μεταβολές σε υγροτόπους και παρόχθιες ζώνες στα ανάντη	56
3.3.7 Αλλαγές στη θερμοκρασία νερού του ταμιευτήρα (θερμικός στρωματισμός).....	57
3.3.8 Αλλαγές στην ποιότητα του νερού στον ταμιευτήρα (χημικός στρωματισμός).....	58
3.3.9 Επιπτώσεις σε χρήσεις ανθρωπογενείς (ύδρευση, άρδευση, αλιεία)	58
3.3.9.1 Επιπτώσεις σε Ύδρευση και Άρδευση	58
3.3.9.2 Επιπτώσεις σε Αλιεία	59
3.3.9.3 Επιπτώσεις σε Πρόσβαση, Υποδομές και Μετακινήσεις	59
3.3.10 Κίνδυνοι στατικής αστάθειας / γεωτεχνικοί κίνδυνοι κατά την πλήρωση	59
3.3.10.1 Κατολισθήσεις (Reservoir Rim Stability)	59
3.3.10.2 Καθιζήσεις και Παραμορφώσεις (Settlements)	60
3.3.10.3 Γεωτεχνικοί Κίνδυνοι Διήθησης (Seepage Risks)	60
3.3.10.4 Αστάθεια Θεμελίωσης/Αγκύρωσης	60
3.3.10.5 Αντιμετώπιση και Παρακολούθηση	60
3.3.11 Βύθιση αρχαιολογικών ή πολιτιστικών ευρημάτων λόγω πλημμύρας	61
3.3.12 Γενικές κατευθύνσεις για μετριασμό κατά την έμφραξη & πρώτη πλήρωση	61

3.4 Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις κατά την ολοκλήρωση των εργασιών	62
3.4.1 Γεωτεχνικές επιπτώσεις και επιπτώσεις ασφάλειας	62
3.4.2 Τοπικές κοινωνικές και πολιτιστικές συνέπειες	62
4. Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις συνοδών έργων φραγμάτων	63
4.1 Σήραγγα Εκτροπής	63
4.1.1 Επιπτώσεις σήραγγας εκτροπής	64
4.2 Υπερχειλιστές (Spillways)	64
4.2.1 Επιπτώσεις υπερχειλιστή	67
4.3 Έργα Υδροληψίας (Υδροληψία).....	67
4.3.1 Επιπτώσεις Έργων Υδροληψίας φραγμάτων	68
4.4 Ανάντη και Κατάντη Προφράγματα	68
4.4.1 Επιπτώσεις από τα Ανάντη και Κατάντη Προφράγματα	68
4.5 Λεκάνη Ηρεμίσεως (Still Basin ή Energy Dissipator).....	69
4.5.1 Επιπτώσεις Λεκάνης Ηρεμίσεως στη φάση κατασκευής (Βραχυπρόθεσμες)	70
4.5.2 Επιπτώσεις Λεκάνης Ηρεμίσεως στη φάση λειτουργίας (Μακροπρόθεσμες)	70
4.5.3 Μέτρα Ελαχιστοποίησης Επιπτώσεων	70
4.6 Αγωγοί Εκκένωσης (Bottom Outlets)	71
4.6.1 Επιπτώσεις Αγωγών Εκκένωσης	72
4.6.2 Μέτρα μετριασμού επιπτώσεων των Αγωγών Εκκένωσης	73
4.7 Οδικά Έργα	73
4.7.1 Περιβαλλοντικές επιπτώσεις των οδικών έργων	74
4.7.2 Αντιμετώπιση περιβαλλοντικών επιπτώσεων των οδικών έργων	75
5. Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις κατά το στάδιο λειτουργίας φραγμάτων	77
5.1 Αλλαγές στην υδρολογία και ροή	77
5.2 Διακοπή διασυνδεσιμότητας και μετακινήσεις ειδών	77
5.3 Συγκράτηση ιζημάτων και μορφολογικές αλλαγές	78
5.4 Απελευθέρωση ρυπασμένων ιζημάτων που έχουν εναποτεθεί ανάντη	78
5.5 Ποιότητα νερού και βιοχημικές διεργασίες	79
5.6 Εκπομπές αερίων θερμοκηπίου	79
5.7 Υπόγεια ύδατα και σχέση επιφανειακού–υπόγειου νερού	80
5.8 Επιπτώσεις στα χερσαία οικοσυστήματα και παρόχθιες ζώνες	80

5.9 Επιπτώσεις στην ιχθυοπανίδα και στις αλιευτικές δραστηριότητες	80
5.10 Γεωτεχνικά ζητήματα και ασφάλεια κατά τη λειτουργία	80
5.11 Κοινωνικές, οικονομικές και πολιτιστικές επιπτώσεις	80
5.12 Μακροχρόνιες οικολογικές μεταβολές – Συσσωρευτικά αποτελέσματα	81
5.13 Συσσωρευτικά και τοπικά αποτελέσματα σε λεκάνες απορροής	81
5.14 Άλλες ανθρωπογενείς επιπτώσεις	81
5.15 Μέτρα μετριασμού και βέλτιστες πρακτικές	82
5.16 Συμπέρασμα	82
6. Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις κατά την ολοκλήρωση του κύκλου ζωής φραγμάτων	83
6.1 Ελευθέρωση ιζημάτων και ρυπαντών	83
6.2 Μορφολογική δυναμική κοίτης	83
6.3 Οικολογική αποκατάσταση και κίνδυνοι για βιοκοινότητες	83
6.4 Χημικές επιπτώσεις και ποιότητα νερού	84
6.5 Εκπομπές αερίων θερμοκηπίου	84
6.6 Υδρολογικές επιπτώσεις και υπόγεια ύδατα	84
6.7 Κοινωνικές, πολιτιστικές και οικονομικές συνέπειες	84
6.8 Γεωτεχνική ασφάλεια και κατάλοιπα υποδομών	85
6.9 Συστημικές και συσσωρευτικές επιπτώσεις	85
6.10 Βέλτιστες πρακτικές και μετριασμός	85
6.11 Συμπέρασμα	85
7. Μέθοδοι εκτίμησης Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων για την κατασκευή φραγμάτων	86
7.1 Βασικές Μέθοδοι Εκτίμησης Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων (Scoping).....	87
7.1.1 Λίστες Ελέγχου (Checklists)	87
7.1.2 Πίνακες (Μήτρες) Αλληλεπίδρασης (Interaction Matrices)	88
7.1.3 Διαγράμματα Ροής (Flowcharts) & Δίκτυα (Networks)	89
7.1.4 Μέθοδοι Επικάλυψης (Overlay Mapping/GIS)	91
7.2 Ειδικές Προσεγγίσεις στην ΕΠΕ για Φράγματα	92
7.2.1 Συμμόρφωση με την Οδηγία Πλαίσιο για τα νερά (2000/60/ΕΚ)	92
7.2.1.1 Η ΟΠΥ και η κατασκευή φραγμάτων	93
7.2.1.2 ΟΠΥ και κατασκευή νέων φραγμάτων – Εξαιρέσεις	94
7.2.2 Στρατηγική Περιβαλλοντική Εκτίμηση (ΣΠΕ)	95

7.2.3 Εκτίμηση Κοινωνικών Επιπτώσεων	96
8. Υδρολογικά δεδομένα, Βροχοπτώσεις, Βιοκλίμα, Σεισμικότητα, Δάση	98
8.1 Υδρολογικά δεδομένα και βροχοπτώσεις	98
8.2 Βιοκλίμα	103
8.3 Δάση	106
8.4 Σεισμικότητα	108
Γ. ΣΥΖΗΤΗΣΗ	
Προβληματικά σημεία στην Εκτίμηση Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων	110
Μελλοντικές τάσεις στην κατασκευή φραγμάτων στην Ελλάδα	104
Δ. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ	112
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	114
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α	
Τα φράγματα της Ελλάδας	123
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β	
Κλιματικά δεδομένα – Βροχόπτωση	128

Συντομογραφίες & Ακρωνύμια

ΕΑΠ	Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο
ΕΠΕ	Εκτίμηση Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων
ΜΠΕ	Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων
ΟΑΣΠ	Οργανισμός Αντισεισμικού Σχεδιασμού και Προστασίας
ΟΠΥ	Οδηγία Πλαίσιο για τα Ύδατα
ΠΣΧ	Περιβαλλοντικός Σχεδιασμός
ΣΠΕ	Στρατηγική Περιβαλλοντική Εκτίμηση
ΥΗΣ	Υδροηλεκτρικός Σταθμός
BOD	Biochemical Oxygen Demand
COD	Chemical Oxygen Demand
DEM	Digital Elevation Model
EIA	Environmental Impact Assessment
ESMP	Environmental and Social Management Plan
GIS	Geographic Information System
IAIA	International Association for Impact Assessment
IWM	Integrated Watershed Management
RCC	Roller Compacted Concrete
WCD	World Commission on Dams

A. ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

Εισαγωγή

Η κατασκευή φραγμάτων παραμένει μέχρι και σήμερα αναγκαία για την εξασφάλιση νερού, ενέργειας αλλά και διαχείρισης των υδάτων. Τα φράγματα παρέχουν ύδρευση, άρδευση, αντιπλημμυρική προστασία, αποθήκευση εποχιακού νερού και παραγωγή υδροηλεκτρικής ισχύος. Επιτρέπουν τη σταθερή κάλυψη των αναγκών για νερό σε ξηρές περιόδους, βελτιώνουν την αγροτική παραγωγή και συμβάλλουν στην ενεργειακή ασφάλεια (Scudder, 2005; Petts, 1984).

Τα οφέλη από την κατασκευή φραγμάτων είναι σημαντικά και αφορούν κυρίως τη σταθερή παροχή νερού και ενέργειας, τη μείωση κινδύνου πλημμύρας, την ανάπτυξη των υποδομών και της τοπικής οικονομία και γενικά τη δυνατότητα αποθήκευσης νερού για πολυετή χρήση. Οι επιπτώσεις από την άλλη μεριά είναι πολυδιάστατες, με τις πιο σημαντικές να είναι οι περιβαλλοντικές (απώλεια ενδιαιτημάτων, αλλοίωση ροής, κατακλύσεις, υποβάθμιση ποιότητας νερού, διατάραξη ιχθυοπανίδας), οι γεωμορφολογικές (συγκράτηση ιζημάτων, διάβρωση κατάντη), οι κοινωνικές (μετεγκαταστάσεις, απώλεια γης) και οι κλιματικές (εκπομπές αερίων από κατακλυζόμενη βιομάζα) (Nilsson et al., 2005; Liermann et al., 2012; Deemer et al., 2016).

Η κατασκευή φραγμάτων ακολουθεί ιστορικά τόσο τις τεχνολογικές εξελίξεις της κάθε εποχής όσο και την πρόοδο σε αξίες και ιδανικά για μια βιώσιμη ανάπτυξη και ένα καλύτερο μέλλον. Οι σύγχρονες τάσεις στη διαχείριση των υδάτων δίνουν έμφαση στη βιωσιμότητα και στις μικρής κλίμακας κατασκευές όπου αυτό είναι εφικτό (small hydro). Ενσωματώνονται οι αρχές της Οδηγίας Πλαίσιο για τα Νερά (WFD) και επιβάλλεται η εφαρμογή οικολογικών ροών για τη διατήρηση των οικοσυστημάτων (Poff et al., 1997; Arthington et al., 2018). Τεχνολογία και ψηφιοποίηση (SCADA, αισθητήρες, πραγματικού χρόνου μοντελοποίηση) ενισχύουν την παρακολούθηση, την ασφάλεια και την προσαρμοστική διαχείριση. Η αποκατάσταση υφιστάμενων ταμιευτήρων, η διαχείριση ιζημάτων και οι λύσεις «πράσινης υποδομής» (αναδασώσεις, ζώνες κατάκλυσης) συμπληρώνουν τεχνικά μέτρα (Vicuna et al., 2016). Τέλος, αυξάνεται η σημασία της διαφάνειας, της δημόσιας διαβούλευσης και της ενσωμάτωσης οικοσυστημικών υπηρεσιών στις αποφάσεις ώστε να ισορροπούνται τα κοινωνικά οφέλη με το περιβαλλοντικό κόστος (WCD, 2000).

1. Ιστορική αναδρομή φραγμάτων & Λεκάνες απορροής

1.1 Ιστορική αναδρομή των φραγμάτων στον Ελλαδικό χώρο

Η ιστορία των φραγμάτων στην Ελλάδα αποτελεί μια εξέλιξη από μικρές αρχαίες αναχωματώσεις σε μεγάλα σύγχρονα έργα με σύνθετες τεχνικές, κοινωνικές και περιβαλλοντικές διαστάσεις. Σήμερα το βάρος μετατοπίζεται από την απλή κατασκευή σε ολοκληρωμένη βιώσιμη διαχείριση και συντήρηση των υπαρχόντων ταμιευτήρων με έμφαση στην περιβαλλοντική συμμόρφωση και στο δημόσιο διάλογο. Η κατασκευή φραγμάτων στην Ελλάδα από την αρχαιότητα ως σήμερα έχει να επιδείξει σημαντικά παραδείγματα, τεχνολογικές εξελίξεις αλλά και κοινωνικοοικονομικές επιπτώσεις.

1.1.1 Αρχαιότητα έως 19ος αιώνας, πρώιμες κατασκευές υδροδότησης.

Οι αρχαίοι Έλληνες και Βυζαντινοί κατασκεύαζαν φράγματα και αναχώματα μικρής κλίμακας για άρδευση. Επίσης κατασκεύαζαν λίμνες και τάφρους για την υδροδότηση των πόλεων. Έκαναν χρήση λίθου και λιθοδομής και εφάρμοζαν τεχνικές υπόγειας αποστράγγισης. (Kroll, 1992).

Παραδείγματα αποτελούν οι τοπικές αναχωματώσεις σε πεδιάδες (π.χ. για άρδευση στην Θεσσαλία και την Ήπειρο) και οι τεχνικές κατασκευές ταμιευτήρων και δεξαμενών κατά περιόδους.

1.1.2 Δεκαετίες από το 1920 έως το 1960

Αυτές είναι δεκαετίες με αναπτυξιακή ώθηση. Εμφανίζονται τα πρώτα μεγάλα φράγματα και τα πρώτα υδροηλεκτρικά. Μετά τον δεύτερο Παγκόσμιο Πόλεμο αυξάνεται η ζήτηση για ηλεκτρική ενέργεια, άρδευση και ύδρευση. Σχεδιάζονται μεγαλύτερα τεχνικά έργα με το σκυρόδεμα να κυριαρχεί. Σχεδιάζονται επίσης και επιχωματικά φράγματα, όπου υπάρχουν τοπικά υλικά.

Φράγματα ορόσημα:

Φράγμα Μαραθώνα (Αττική): Ιστορικής σημασίας, καθώς ήταν το πρώτο φράγμα που κατασκευάστηκε στην Ελλάδα (1926-1929) για την ύδρευση της πρωτεύουσας. Έλυσε το πρόβλημα της λειψυδρίας στην Αθήνα κατά το πρώτο μισό του 20ού αιώνα. Είναι το μοναδικό

φράγμα στον κόσμο που είναι εξ ολοκλήρου επενδυμένο με Πεντελικό μάρμαρο, την ίδια πρώτη ύλη που χρησιμοποιήθηκε για τον Παρθενώνα, συμβολίζοντας τη συνέχεια του αρχαίου και σύγχρονου πολιτισμού.

Φράγμα Ταυρωπού (ή φράγμα Λίμνης Πλαστήρα): Πρόκειται για μια εντυπωσιακή τοξωτή τσιμεντένια κατασκευή που συγκρατεί τα νερά του ποταμού Ταυρωπού, δημιουργώντας ένα τοπίο απaráμιλλης ομορφιάς σε υψόμετρο περίπου 800 μέτρων. Το έργο ήταν όραμα του Νικολάου Πλαστήρα, ο οποίος το συνέλαβε ήδη από τη δεκαετία του 1920. Ολοκληρώθηκε το 1959. Εξυπηρετεί την ηλεκτροδότηση μέσω του υδροηλεκτρικού εργοστασίου στο Μοσχάτο, την άρδευση του Θεσσαλικού κάμπου και την ύδρευση της Καρδίτσας και άλλων κοινοτήτων. Είναι ένας από τους πιο δημοφιλείς προορισμούς της περιοχής (Κανταρτζής, 2012).

1.1.3 Δεκαετίες από το1960 έως το1990

Γίνονται έργα μεγάλης κλίμακας, συχνά με υδροηλεκτρικό χαρακτήρα και πολύπλευρη χρήση (άρδευση, ύδρευση, πλημμυρικός έλεγχος). Ταυτόχρονα εμφανίζονται και κοινωνικές συγκρούσεις. Αρχίζουν πιο έντονες διαμαρτυρίες για μεταφορές πληθυσμών, οικοσυστήματα, αρχαιολογικούς χώρους και αλλαγές οικοτόπων. Αναπτύσσονται περιβαλλοντικές μελέτες ταυτόχρονα εντείνονται οι τοπικές αντιπαραθέσεις (π.χ. Αχελώος). Η μόδα του πρώιμου εκσυγχρονισμού όμως είναι αυτή που συμπαρασείρει τις εξελίξεις.

Φράγματα ορόσημα:

Φράγμα Θησαυρού (Δράμα/Ξάνθη): Πρόκειται για το μεγαλύτερο λιθόρριπτο φράγμα (με ασφαλτικό σκυρόστρωμα) στην Ελλάδα και τα Βαλκάνια, χτισμένο στον ποταμό Νέστο. Κατασκευάστηκε μεταξύ 1986 και 1996, ενώ άρχισε να λειτουργεί το 1997. Σκοπός του είναι η παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας (εγκατεστημένη ισχύς 384 MW) και η άρδευση, καθώς οι δεξαμενές του βοηθούν στην άρδευση 200.000 στρεμμάτων. Το έργο έχει δημιουργήσει έναν σημαντικό υδάτινο παράδεισο που θυμίζει φιόρδ, συνδυάζοντας το άγριο φυσικό τοπίο της οροσειράς της Ροδόπης με την τεχνολογία.

Φράγμα Κρεμαστών (Αιτωλοακαρνανία/Ευρυτανία): Θεωρείται το μεγαλύτερο χωμάτινο φράγμα στην Ευρώπη και ένα από τα σημαντικότερα της Ελλάδας. Κατασκευάστηκε το 1962 στην κοίτη του Αχελώου και δημιούργησε την τεχνητή λίμνη των Κρεμαστών, τη μεγαλύτερη τεχνητή της χώρας. Η λίμνη και το φράγμα αποτελούν σημαντικό τουριστικό πόλο έλξης, γνωστά για τα γαλαζοπράσινα νερά τους.

Φράγμα Πολυφύτου στον ποταμό Αλιάκμονα (Κοζάνη): Κατασκευάστηκε το 1973 – 1974 και είναι λιθόρριπτο με κεκλιμένο πυρήνα. Δημιούργησε μια τεχνητή λίμνη 74 τ.χλμ. με κύριο σκοπό την υδροηλεκτρική ενέργεια (360MW) και την άρδευση. Αποτελεί ένα εντυπωσιακό οικοσύστημα, γνωστό για την Υψηλή Γέφυρα Σερβίων (μία από τις μακρύτερες γέφυρες στην Ελλάδα) η οποία προσφέρει εντυπωσιακή θέα στη λίμνη.

1.1.4 Δεκαετίες από το 1990 έως το 2010

Δίνεται έμφαση στην ασφάλεια και την περιβαλλοντική νομοθεσία. Πραγματοποιείται εκσυγχρονισμός πολλών υφιστάμενων φραγμάτων, εντάσσονται περιβαλλοντικοί όροι και εφαρμόζονται συστήματα εποπτείας και συντήρησης. Διερευνώνται εναλλακτικές λύσεις εκτροπών, λόγω κόστους και αντιδράσεων απέναντι στα μεγάλα έργα. Εγείρονται ζητήματα όπως η συσσώρευση ιζημάτων και η ανάγκη αποκατάστασης και αντισεισμικών παρεμβάσεων.

Φράγματα ορόσημα:

Φράγμα Μεσοχώρας: Είναι ένα από τα σημαντικότερα και πιο πολυσυζητημένα ενεργειακά έργα στην Ελλάδα, το οποίο βρίσκεται στον ποταμό Αχελώο κοντά στο ομώνυμο χωριό των Τρικάλων. Παρόλο που το κύριο σώμα του φράγματος έχει ολοκληρωθεί ήδη από το 2001, το έργο παρέμενε ανενεργό για δεκαετίες λόγω νομικών και περιβαλλοντικών εμπλοκών. Είναι λιθόρριπτο φράγμα με ανάντη πλάκα σκυροδέματος.

Το έργο σχεδιάστηκε αρχικά από τη ΔΕΗ ως τμήμα του ευρύτερου σχεδίου εκτροπής του Αχελώου, ωστόσο πλέον προωθείται ως αυτόνομο υδροηλεκτρικό έργο. Η επένδυση έχει κοστίσει ήδη περίπου 286-500 εκατ. ευρώ, ενώ απαιτούνται πρόσθετα κεφάλαια για την πλήρη λειτουργία του και τις απαραίτητες απαλλοτριώσεις. Η λειτουργία του φράγματος θα οδηγήσει στην κατάκλυση μέρους του χωριού Μεσοχώρα, γεγονός που έχει προκαλέσει έντονες αντιδράσεις από συλλόγους κατοίκων κατά το παρελθόν.

1.1.5 Από το 2010 έως σήμερα

Κυριαρχεί η ιδέα της βιώσιμης διαχείρισης. Επιλέγονται μικρά υδροηλεκτρικά έργα, έναντι των μεγάλων έργων, με ταυτόχρονη εισαγωγή της τεχνολογίας της ψηφιοποίησης. Δίνεται προτεραιότητα στην ανανέωση/συντήρηση των υφιστάμενων ταμιευτήρων και γίνεται χρήση τεχνολογιών παρακολούθησης. (SCADA, αισθητήρες διήθησης/μετακίνησης).

Ενσωματώνονται μέτρα για ιχθυοδιέλευση, διαχείριση ποτάμιων οικοσυστημάτων και γενικά περιορισμό των επιπτώσεων στο φυσικό περιβάλλον (Kumar et al., 2017).

Κύρια έργα και αμφιλεγόμενα πρότζεκτ:

Φράγμα Μεσοχώρας: Ολοκλήρωση και θέση σε λειτουργία του φράγματος της Μεσοχώρας, μετά από δεκαετίες καθυστερήσεων και νομικών αγώνων. Σύμφωνα με τα πλέον πρόσφατα στοιχεία (Μάρτιος 2026), η ολοκλήρωση των υπολειπόμενων εργασιών και η λειτουργία του νέου υδροηλεκτρικού σταθμού αναμένεται εντός του 2028. Ο Υδροηλεκτρικός Σταθμός (ΥΗΣ) Μεσοχώρας θα έχει ισχύ 161,6 MW, συμβάλλοντας σημαντικά στην παραγωγή "πράσινης" ενέργειας στη χώρα.

1.2 Ιστορική αναδρομή των φραγμάτων στον Ευρωπαϊκό χώρο

Η ιστορία των φραγμάτων στην Ευρώπη αποτελεί μια μακρά διαδρομή που ξεκινά από τις πρώτες προσπάθειες διαχείρισης των υδάτων για άρδευση και φτάνει έως τις σύγχρονες, γιγαντιαίες κατασκευές για παραγωγή ενέργειας και την πρόσφατη τάση απομάκρυνσής τους για την αποκατάσταση του περιβάλλοντος (Hughes, 2000).

1.2.1 Αρχαία και Μεσαιωνική Εποχή (Πρώιμα στάδια)

Οι Ρωμαίοι ήταν πρωτοπόροι στη μηχανική, κατασκευάζοντας φράγματα για υδραγωγεία και αποθήκευση νερού. Πολλά από αυτά ήταν χωμάτινα ή λιθόκτιστα, κυρίως στην Ισπανία και τη νότια Ευρώπη. Το Μεσαίωνα η κατασκευή φραγμάτων συνεχίστηκε με μικρότερη κλίμακα, κυρίως για τη λειτουργία νερόμυλων και την άρδευση, με έμφαση σε ξύλινες και λιθόκτιστες κατασκευές (Rinne, 1994).

1.2.2 Βιομηχανική Επανάσταση (18ος – 19ος αιώνας)

Η ανάγκη για νερό στις βιομηχανίες και για την τροφοδοσία των καναλιών οδήγησε σε μεγαλύτερα φράγματα. Αναπτύχθηκαν νέες τεχνικές, όπως τα φράγματα βαρύτητας από τοιχοποιία, επιτρέποντας την αποθήκευση μεγαλύτερων ποσοτήτων νερού.

1.2.3 20ός Αιώνας: Η "Χρυσή Εποχή" των Μεγάλων Φραγμάτων

Μετά τον Α' Παγκόσμιο Πόλεμο, και ιδιαίτερα μετά το 1950, η Ευρώπη είδε μια έκρηξη κατασκευής μεγάλων φραγμάτων για την παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας και την αντιπλημμυρική προστασία. Εμφανίστηκαν τα φράγματα τοξωτού τύπου και τα λιθόρριπτα φράγματα με ασφαλικό ή αργιλικό πυρήνα, όπως για παράδειγμα τα μεγάλα έργα στις Άλπεις και τα Πυρηναία (Liska et al., 2017).

1.2.4 Σύγχρονη Εποχή (21ος αιώνας): Αποκατάσταση και αφαίρεση

Σήμερα, η έμφαση έχει μετατοπιστεί από την κατασκευή νέων φραγμάτων στην περιβαλλοντική αναβάθμιση. Η Ευρώπη πρωτοπορεί παγκοσμίως στην κατεδάφιση παλιών ή μη λειτουργικών φραγμάτων για την αποκατάσταση της ελεύθερης ροής των ποταμών. Το 2022 σημειώθηκε νέο ρεκόρ με την αφαίρεση τουλάχιστον 325 φραγμάτων σε όλη την ήπειρο. Στόχος η επαναφορά των οικοσυστημάτων και η προστασία της βιοποικιλότητας, καθώς η Ευρώπη θεωρείται μία από τις πιο κατακερματισμένες ποτάμιες περιοχές στον κόσμο.

1.3 Λεκάνη Απορροής (Watershed)

Η λεκάνη απορροής (watershed ή catchment) είναι η γεωγραφική περιοχή από την οποία όλα τα επιφανειακά νερά συσσωρεύονται και διοχετεύονται μέσω ενός κοινού συστήματος ρεμάτων, ποταμών και τελικά σε έναν κοινό αποδέκτη (λίμνη, ποτάμι, θάλασσα). Η υδρολογική, γεωμορφολογική, βιολογική και ανθρωπογενής δυναμική μιας λεκάνης καθορίζει τη διαθέσιμη ποσότητα και ποιότητα νερού, τη ροή ιζημάτων και θρεπτικών συστατικών, καθώς και τις οικοσυστημικές διεργασίες που απορρέουν από αυτήν. Η ολοκληρωμένη κατανόηση της δομής και της λειτουργίας των λεκανών απορροής είναι θεμελιώδης για την επιστήμη των πόρων ύδατος, τη διαχείριση πλημμυρών, την προστασία της ποιότητας νερού και τη διατήρηση της βιοποικιλότητας.

1.3.1 Λεκάνες απορροής και φράγματα

Η λεκάνη απορροής καθορίζει τις υδρολογικές και οικολογικές συνθήκες ενός φράγματος. Η έκταση, το ανάγλυφο, η χρήση γης και η βροχόπτωση της λεκάνης προσδιορίζουν τις εισροές νερού, ιζημάτων και ρυπαντών στον ταμιευτήρα. Αντίστροφα, το φράγμα αλλάζει τη λειτουργία της λεκάνης ρυθμίζοντας ροές, συγκρατώντας ιζήματα και τροποποιώντας τις

υπόγειες-επιφανειακές διεργασίες, με επιπτώσεις στην κοίτη, την παρόχθια βλάστηση και τη βιοποικιλότητα. Η βιώσιμη διαχείριση απαιτεί ολοκληρωμένο σχεδιασμό σε επίπεδο λεκάνης, ώστε οι παρεμβάσεις στο φράγμα να λαμβάνουν υπόψη τη δυναμική και τις ευαισθησίες της λεκάνης απορροής.

1.3.2 Δομή και βασικά στοιχεία μιας λεκάνης απορροής.

Μια λεκάνη απορροής περιλαμβάνει το υδρογραφικό δίκτυο (κύριος ποταμός και παραποτάμιοι), τους υδροκρίτες που οριοθετούν τα όριά της, τα υδροτοπικά και παρόχθια οικοσυστήματα, τους υπόγειους υδροφόρους ορίζοντες και το έδαφος/γεωλογικό υπόβαθρο. Η μορφολογία (έκταση, μορφή, κλίσεις, υψομετρική διαφορά) και οι χρήσεις γης (δάση, γεωργία, αστικοποίηση) καθορίζουν τη χωρική κατανομή της απορροής, της διήθησης και της εξάτμισης. Το υδρολογικό ισοζύγιο της λεκάνης μπορεί να περιγραφεί με απλό τρόπο ως: $P = Q + E + \Delta S$, όπου P η βροχόπτωση, Q η εκροή, E η εξατμοδιαπνοή και ΔS η μεταβολή αποθήκευσης (επιφανειακή και υπόγεια).

1.3.3 Υδρολογικές διεργασίες και μεταβλητότητα λεκάνης απορροής.

Οι κύριες διεργασίες που ελέγχουν την απόκριση λεκάνης απορροής σε βροχόπτωση είναι η δέσμευση νερού στην επιφάνεια, η διήθηση στο έδαφος, η επιφανειακή απορροή και οι υπόγειες ροές. Ο χρόνος συγκέντρωσης (time of concentration) και ο υδρογραφικός τύπος (hydrograph) αντικατοπτρίζουν πόσο γρήγορα και με τι ένταση η λεκάνη μετατρέπει βροχόπτωση σε εκροή. Η φυσική και ανθρωπογενής μεταβολή (π.χ. αποψίλωση, αστικοποίηση, κατασκευή φραγμάτων) τροποποιεί τις παραμέτρους αυτές, αυξάνοντας αιχμές απορροής, μειώνοντας τη διήθηση και επιδεινώνοντας διάβρωση και μεταφορά ιζημάτων.

1.3.4 Ιζηματομεταφορά και θρεπτικά στοιχεία.

Η λεκάνη είναι το θεμέλιο της προέλευσης ιζημάτων και θρεπτικών στοιχείων (N, P) που μεταφέρονται στα επιφανειακά ύδατα. Η διάβρωση των εδαφών, οι επιφανειακές απορροές από αγροτικές περιοχές και οι σηπτικές/αστικές απορροές επηρεάζουν την ποσότητα και το είδος των φορτίων. Οι μεταβολές στα ιζηματογενή φορτία έχουν επιπτώσεις στην μορφολογία της κοίτης, στην ποιότητα του νερού και στην υδρόβια βιοποικιλότητα.

1.3.5 Δείκτες, μέτρα και αξιολόγηση λεκάνης απορροής.

Για την περιγραφή και τη σύγκριση λεκανών χρησιμοποιούνται δείκτες όπως έκταση, πυκνότητα ροής (length of streams per area), μέση κλίση, συντελεστής απορροής, χρόνος συγκέντρωσης, ειδική απορροή ($\text{m}^3 \text{s}^{-1} \text{km}^{-2}$) και ιζηματογένεση. Η χαρτογράφηση με ΓΣΠ (GIS) και η χρήση ψηφιακού μοντέλου εδάφους (DEM) επιτρέπουν ακριβή οριοθέτηση υδροκριτών, εκτίμηση ροών και σχεδιασμό περιοχών αντιπλημμυρικών παρεμβάσεων.

1.3.6 Ανθρώπινες πιέσεις και επιπτώσεις στις λεκάνες απορροής

Οι ανθρώπινες δραστηριότητες επηρεάζουν έντονα τις λεκάνες. Η αστικοποίηση αυξάνει την αδιαπέρατη επιφάνεια και τις αιχμές απορροής, η γεωργία ενισχύει τα θρεπτικά φορτία και τη διάβρωση, η εξόρυξη και τα λατομεία εντείνουν την παραγωγή ιζημάτων. Η κατασκευή φραγμάτων αλλάζει τη ρύθμιση ροής, συγκρατεί ιζήματα, απομονώνει οικοσυστήματα και μεταβάλλει την αλληλεπίδραση επιφανειακών-υπόγειων υδάτων. Οι επιπτώσεις στην ποιότητα, στην παροδικότητα ροής και στην πρόσβαση υδατικών πόρων επιφέρουν κοινωνικές και οικονομικές συνέπειες (ύδρευση, άρδευση, αλιεία).

1.3.7 Μοντελοποίηση και εργαλεία πρόβλεψης.

Η διαχείριση στηρίζεται σε υδρολογικά μοντέλα (π.χ. SWAT, HEC-HMS, MIKE SHE) που προσομοιώνουν ροή, ιζηματομεταφορά και ποιότητα νερού υπό διάφορα σενάρια χρήσης γης και κλίματος. Τα μοντέλα βοηθούν στον σχεδιασμό μέτρων, στην εκτίμηση παραγόντων ευπάθειας και στην αξιολόγηση στρατηγικών διαχείρισης.

1.3.8 Ολοκληρωμένη διαχείριση λεκάνης απορροής (IWM)

Η ολοκληρωμένη διαχείριση (Integrated Watershed Management) προτείνει διεπιστημονική, συμμετοχική προσέγγιση που συνδυάζει τεχνικά μέτρα (φράγματα ελεγχόμενης εισροής, αναχωματώσεις, παγίδες ιζημάτων), βιοτεχνικές πρακτικές (ζωντανές αναχρηματοδοτήσεις, παρεμβάσεις στα πρανή), οικονομικά κίνητρα (πληρωμές για οικοσυστημικές υπηρεσίες) και θεσμικές πολιτικές (πρότυπα ποιότητας νερού). Κεντρικό στοιχείο είναι η διατήρηση ή αποκατάσταση οικολογικών ροών και η αντιμετώπιση συσσωρευτικών επιπτώσεων σε λεκάνες πολλαπλών χρήσεων.

1.3.9 Παρακολούθηση και προσαρμοστική διαχείριση λεκάνης απορροής.

Η συνεχής παρακολούθηση παροχών, ποιότητας νερού, στάθμης υπόγειων υδάτων και βιοποικιλότητας είναι απαραίτητη. Η προσαρμοστική διαχείριση/ανατροφοδότηση μέτρων βάσει νέων δεδομένων επιτρέπει την ευέλικτη αντιμετώπιση αβεβαιοτήτων, συμπεριλαμβανομένων των αλλαγών λόγω κλιματικής μεταβλητότητας.

1.3.10 Κλιματική αλλαγή και μελλοντικές προκλήσεις.

Η μεταβολή στις ποσότητες και στην ένταση βροχόπτωσης, η άνοδος της θερμοκρασίας και οι ακραίες υδρολογικές εκδηλώσεις αυξάνουν την αβεβαιότητα στη διαχείριση λεκανών. Απαιτούνται σενάρια κλιματικής προσαρμογής, ενίσχυση φυσικής αντιπλημμυρικής ικανότητας (π.χ. επαναφορά πλημμυρικών πεδίων) και πολιτικές με μεικτά μέτρα «γκρι» και «πράσινης» υποδομής.

1.3.11 Συμπέρασμα

Οι λεκάνες απορροής αποτελούν την ενιαία χωρική μονάδα για τη διαχείριση του νερού και των συναφών οικοσυστημικών υπηρεσιών. Η επιτυχής διαχείριση απαιτεί συνδυασμό επιστημονικής γνώσης, μοντελοποίησης, τεχνικών παρεμβάσεων και συμμετοχικής, θεσμικά υποστηριζόμενης πρακτικής, προκειμένου να εξασφαλιστεί η βιώσιμη παροχή νερού και η προστασία του περιβάλλοντος στο πλαίσιο των μεταβαλλόμενων κλιματικών και κοινωνικών συνθηκών.

2. Ταξινόμηση των φραγμάτων

Η κατηγοριοποίηση των φραγμάτων είναι απαραίτητη για την αποτελεσματική διαχείριση, σχεδιασμό, ασφάλεια και προτεραιοποίηση των πόρων για επιθεωρήσεις, συντήρηση και αντιμετώπιση κινδύνων. Τα φράγματα συνήθως ταξινομούνται κατά τεχνικό τύπο (π.χ. επιχωματικά, βαρύτητας, τόξου), κατά σκοπό λειτουργίας (ύδρευση, άρδευση, υδροηλεκτρική παραγωγή, πλημμυροπροστασία, πολλαπλών χρήσεων), κατά μέγεθος/ύψος (μικρά, μεσαία, μεγάλα) και κατά βαθμό επικινδυνότητας/επιπτώσεων σε περίπτωση αστοχίας (risk-based classification).

Η ταξινόμηση βάσει επικινδυνότητας (hazard potential) αξιολογεί το πιθανό μέγεθος των συνεπειών σε ανθρώπους, περιουσίες και περιβάλλον σε περίπτωση αστοχίας, ανεξαρτήτως της πιθανότητας της αστοχίας και καθορίζει αυστηρότερα πρότυπα επιτήρησης και μέτρων προστασίας για φράγματα υψηλού κινδύνου. Οι κατηγορίες ασφάλειας συνδέονται με απαιτήσεις για επιθεωρήσεις, όργανα παρακολούθησης, σχέδια έκτακτης ανάγκης και περιοδική αξιολόγηση της στατικής και υδρογεωτεχνικής κατάστασης.

Η κατηγοριοποίηση κατά λειτουργική κρισιμότητα (criticality) ενσωματώνει κοινωνικοοικονομικά κριτήρια. Επιπτώσεις στην ύδρευση πόλεων, ανάγκες ενέργειας, γεωργικές εξαρτήσεις και πολιτιστική κληρονομιά. Η ταξινόμηση ανά γεωγραφικό/υδρολογικό πλαίσιο (π.χ. ποτάμια με ευαίσθητα οικοσυστήματα, σεισμικές ζώνες) καθοδηγεί τεχνικές επιλογές και μέτρα μετριασμού.

Ένα ολοκληρωμένο σύστημα κατηγοριοποίησης συνδυάζει τύπο, μέγεθος, επικινδυνότητα, λειτουργική κρισιμότητα και περιβαλλοντικό πλαίσιο, προσφέροντας βάση για στοχοθετημένη διαχείριση, προτεραιοποίηση επενδύσεων και συμμόρφωση με διεθνή πρότυπα ασφάλειας και περιβαλλοντικής διαχείρισης.

2.1 Ταξινόμηση φραγμάτων κατά Μορφή/Δομικό τύπο

Ανάλογα με τη μορφή τους και το δομικό τους τύπο, τα φράγματα ταξινομούνται στις παρακάτω κατηγορίες.

A. Βαρύτητας (gravity dams)

Κατασκευάζονται κυρίως από σκυρόδεμα (συμβατικό-CVC ή κυλινδρούμενο-RCC Roller Compacted Concrete) ή λιθοδομή και στηρίζονται στο ίδιο τους το βάρος, προκειμένου να αντιστέκονται στην οριζόντια πίεση του νερού. Σχεδιάζονται με πλατιά βάση και έχουν μεγάλο όγκο. Τα φορτία μεταφέρονται απευθείας στο έδαφος της θεμελίωσης. Διακρίνονται σε τοξωτά και ευθύγραμμα (τραπεζοειδούς διατομής).

A.1 Τοξωτά φράγματα βαρύτητας (arch dams)

Είναι κατασκευές από σκυρόδεμα που συνδυάζουν τη βαρύτητα με την τοξωτή δράση, που τους δίνει και το χαρακτηριστικό καμπύλο σχήμα. Έχουν την κυρτή πλευρά στραμμένη προς το νερό μεταφέροντας με αυτό τον τρόπο τις υδροστατικές πιέσεις στα πλευρικά-πλάγια τοιχώματα (αντερείσματα) της κοιλάδας. Λόγω της αρχιτεκτονικής τους από τα φράγματα βαρύτητας είναι τα πιο λεπτά και απαιτούν και λιγότερα υλικά κατασκευής.



Εικόνα 1: Τοξωτό φράγμα βαρύτητας (Μαραθώνας)

A.2 Ευθύγραμμα φράγματα βαρύτητας (straight gravity dam)

Είναι εξαιρετικά συμπαγείς κατασκευές που χρησιμοποιούν αποκλειστικά το ίδιο τους το βάρος για να αντισταθούν στις υδροστατικές πιέσεις. Έχουν τραπεζοειδή διατομή με πλατιά βάση για μέγιστη ευστάθεια. Ο άξονάς τους είναι μια ευθεία γραμμή. Απαιτούν ελάχιστη συντήρηση και είναι εξαιρετικά προβλέψιμα σε πιθανές αστοχίες. Σε περίπτωση πλημμύρας ο κορυφή τους μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως υπερχειλιστής. Είναι ιδανικά για ευρείες κοιλάδες. Ταυτόχρονα όμως έχουν υψηλό κόστος κατασκευής λόγω των τεράστιων ποσοτήτων σκυροδέματος που απαιτούνται. Λόγω της μεγάλης βάσης τους είναι ευαίσθητα στο φαινόμενο της διήθησης (πίεση ανύψωσης που ασκεί το νερό από κάτω) με αποτέλεσμα να απαιτούνται συστήματα αποστράγγισης.



Εικόνα 2: Ευθύγραμμο φράγμα βαρύτητας από RCC (Πλατανόβρυση)

Τα φράγματα βαρύτητας διακρίνονται για την υψηλή σταθερότητα και αντοχή τους, έχοντας πολύ χαμηλό κίνδυνο για αιφνίδια κατάρρευση. Η διάρκεια ζωής τους είναι μεγάλη και απαιτούν ελάχιστη συντήρηση. Είναι κατάλληλα για περιπτώσεις όπου μπορεί να εμφανιστούν μεγάλες υπερχειλίσεις νερού (η ροή νερού δηλαδή να γίνεται επάνω από το φράγμα). Για τη θεμελίωσή τους απαιτείται στιβαρό βραχώδες υπόβαθρο.

B. Υποστυλώσεων ή Αντιστήριξης (buttress dams)

Είναι φράγματα σκυροδέματος, γνωστά και ως «κοίλα φράγματα». Από την πλευρά του νερού (ανάντη) έχουν μια στεγανή επικλινή πλάκα. Η πλάκα αυτή υποστηρίζεται ανά τακτά διαστήματα από υποστυλώματα/αντηρίδες (τριγωνικά στηρίγματα) τα οποία βρίσκονται στην κατάντη πλευρά. Το φορτίο του νερού μεταφέρεται από την επικλινή πλάκα στα υποστυλώματα τα οποία με τη σειρά τους μεταφέρουν το φορτίο στα θεμέλια. Σε σχέση με τα φράγματα βαρύτητας απαιτούν έως και 60% λιγότερο σκυρόδεμα. Η ευστάθεια των φραγμάτων αυτών ενισχύεται και λόγω της αρχιτεκτονικής τους, διότι η πίεση του νερού στην επικλινή πλάκα έχει μια σημαντική κάθετη συνιστώσα που συνεισφέρει στη σταθερότητα της κατασκευής.



Εικόνα 1: Φράγμα πολλαπλών τόξων (Roselend Dam, Γαλλία)

Διακρίνουμε τρεις τύπους φραγμάτων Υποστυλώσεων:

B.1 Τύπου Ambursen (Flat Slab)

Χρησιμοποιούν επίπεδες πλάκες οπλισμένου σκυροδέματος που στηρίζονται στις αντηρίδες.

B.2 Πολλαπλών Τόξων (Multiple Arch)

Η ανάντη όψη αποτελείται από μια σειρά τόξων (αψίδων) που επιτρέπουν μεγαλύτερες αποστάσεις μεταξύ των υποστυλωμάτων.

B.3 Συμπαγούς Κεφαλής (Massive Head)

Οι κεφαλές των υποστυλωμάτων είναι διευρυμένες και εφάπτονται μεταξύ τους για να σχηματίσουν το στεγανό μέτωπο, χωρίς την ανάγκη ξεχωριστής πλάκας.

Η επικλινή πλάκα έχει μικρό πάχος και για το λόγο αυτό τα φράγματα αυτά χρειάζονται συνεχή συντήρηση και επιτήρηση. Μπορούν όμως να θεμελιωθούν και σε εδάφη με μικρότερη φέρουσα ικανότητα από τα φράγματα βαρύτητας. Η επιθεώρησή τους είναι εύκολη και επιτρέπουν καλή αποστράγγιση της βάσης τους, πράγμα που συνεπάγεται και μειωμένη άνωση. Η κατασκευή τους απαιτεί εξειδικευμένη εργασία και περίπλοκα καλούπια (ξύλινος). Είναι ευάλωτα σε σεισμικές δονήσεις κατά την εγκάρσια διεύθυνση και για αυτό χρειάζονται κατάλληλες ενισχύσεις.

2.2 Ταξινόμηση φραγμάτων κατά Υλικό

Ανάλογα με το υλικό κατασκευής τους, τα φράγματα ταξινομούνται στις παρακάτω κατηγορίες.

A. Λιθόρριπτα (Rock-fill) και Γαιώδη (Earth-fill)

Τα φράγματα αυτά είναι γνωστά και ως γεωφράγματα ή επιχωματικά φράγματα. Για τη συγκράτηση του νερού χρησιμοποιούνται φυσικά υλικά από τη γύρω περιοχή (τοπικές εκσκαφές). Για το λόγο αυτό έχουν χαμηλό κόστος κατασκευής και είναι μια από τις πιο συνηθισμένες επιλογές παγκοσμίως.

A.1 Λιθόρριπτα Φράγματα (Rock-fill Dams)

Στο εσωτερικό τους έχουν έναν πυρήνα από αδιαπέρατο υλικό όπως η άργιλος ή το ασφαλικό σκυρόδεμα (ΑΣ). Το κυρίως σώμα τους αποτελείται από θραυστά πετρώματα και ογκόλιθους δίνοντάς τους μεγάλη αντοχή σε διατμητική καταπόνηση. Από την πλευρά του νερού υπάρχει μια πλάκα από οπλισμένο σκυρόδεμα (ανάντη πλάκα CFRD) με την οποία εξασφαλίζεται η στεγανότητα.



Εικόνα 1: Λιθόρριπτο φράγμα (Σμόκοβο)

A.2 Γαιώδη Φράγματα (Earth-fill Dams)

Το κύριο υλικό κατασκευής των Γαιωδών φραγμάτων είναι το συμπυκνωμένο χώμα (άργιλος, χαλίκι, άμμος). Διακρίνονται σε Ομοιογενή και Διαζωνισμένα. Τα Ομοιογενή αποτελούνται από ένα μόνο αδιαπέρατο είδος υλικού. Τα Διαζωνισμένα (Zoned) έχουν έναν αδιαπέρατο κεντρικό πυρήνα από άργιλο ο οποίος περιβάλλεται από ζώνες διαπερατών υλικών. Οι ζώνες αυτές έχουν το ρόλο της σταθεροποίησης και στράγγισης του φράγματος.



Εικόνα 2: Γαιώδες-Χωμάτινο φράγμα (Μόρνου)

Τα Λιθόρριπτα και Γαιώδη φράγματα έχουν μεγάλη προσαρμοστικότητα και μπορούν να θεμελιωθούν σε εδάφη από σκληρό βράχο μέχρι μαλακά ιζήματα. Λόγω των υλικών κατασκευής τους είναι εύκαμπτα, με αποτέλεσμα να έχουν πολύ καλή συμπεριφορά σε σεισμούς σε σχέση με τα φράγματα τα κατασκευασμένα εξολοκλήρου από σκυρόδεμα. Είναι οικονομικές κατασκευές λόγω της εύκολης πρόσβασης στα υλικά από τις γύρω περιοχές. Το σημαντικότερο μειονέκτημά τους είναι η ευαισθησία στην εσωτερική διάβρωση (ripping) και για το λόγο αυτό απαιτούν προσεκτικά σχεδιασμένα συστήματα φιλτραρίσματος και αποστράγγισης.

B. Λιθόκτιστα (masonry)

Κατασκευάζονται από λαξευτές πέτρες, τούβλα ή τσιμεντόλιθους που συνδέονται μεταξύ τους με κονίαμα. Πολλές φορές συναντούμε και ξηρολιθοδομές (Dry Stone) όπου εκεί δε χρησιμοποιείται συνδετικό υλικό. Ανήκουν στα φράγματα βαρύτητας, χρησιμοποιούν δηλαδή το μεγάλο τους βάρος για να αντισταθούν στην πίεση του νερού. Μέχρι και τις αρχές του 20ού αιώνα αποτελούσαν περίπου το 50% των φραγμάτων βαρύτητας, αλλά αντικαταστάθηκαν στη συνέχεια από σκυρόδεμα.

Όταν θεμελιώνονται σε ισχυρό βραχώδες υπόβαθρο είναι εξαιρετικά σταθερά και ανθεκτικά. Μεγάλο εικαστικό τους πλεονέκτημα είναι ότι εναρμονίζονται πολύ καλύτερα με το φυσικό περιβάλλον σε σύγκριση με αυτά του σκυροδέματος. Λιθόκτιστα φράγματα κατασκευασμένα ακόμα από την αρχαία Ρωμαϊκή εποχή παραμένουν μέχρι και σήμερα λειτουργικά, αποδεικνύοντας τη διαχρονικότητά τους.



Εικόνα 1: Λιθόκτιστο φράγμα (New Croton Dam, ΗΠΑ)

Η κατασκευή τους απαιτεί εξειδικευμένους τεχνίτες και είναι εργατοβαρής, εξαρτάται δηλαδή πάρα πολύ από τη χειρωνακτική εργασία των εργατών. Είναι πιο ακριβά και πιο χρονοβόρα από τα φράγματα σκυροδέματος. Δε μπορούν να φτάσουν σε μεγάλα ύψη κατασκευής σε αντίθεση πάλι με τα φράγματα από τσιμέντο τα οποία μπορούν να κατασκευαστούν πολύ ψηλά. Είναι παραδοσιακά φράγματα που σήμερα απαντώνται σπάνια.

2.3 Ταξινόμηση φραγμάτων κατά Σκοπό/Λειτουργία

Ανάλογα με το σκοπό ή τη λειτουργία την οποία καλούνται να επιτελέσουν, τα φράγματα ταξινομούνται στις παρακάτω κατηγορίες.

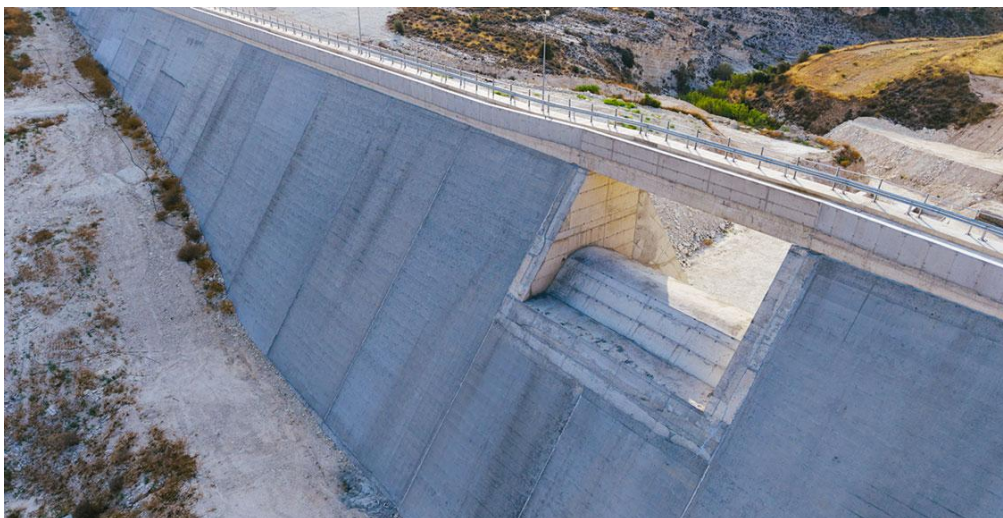
Α. Αντιπλημμυρικά (flood control)

Σκοπό έχουν να συγκρατούν τα νερά πλημμύρας και να προστατεύουν τις περιοχές ενδιαφέροντος από απότομη άνοδο της στάθμης των υδάτων. Συνήθως ελέγχουν τη ροή ποταμών και είναι κατασκευές από αναχώματα, τοιχία και πύλες υπερχειλίσης.



Εικόνα 1: Αντιπλημμυρικό φράγμα (Αραδίππου, Κύπρος)

Στην παρακάτω εικόνα διακρίνεται ξεκάθαρα και η χαρακτηριστική πύλη υπερχειλίσης που χαρακτηρίζει πολλά από τα φράγματα αντιπλημμυρικού χαρακτήρα.



Εικόνα 2: Αντιπλημμυρικό φράγμα (Αραδίππου, Κύπρος)

B. Υδροηλεκτρικά (hydropower)

Τα φράγματα αυτά δημιουργούν τεχνητές λίμνες οι οποίες ονομάζονται και ταμιευτήρες. Οι αποθηκευμένες ποσότητες νερού έχουν δυναμική ενέργεια η οποία μέσω της πτώσης του νερού από αγωγούς μετατρέπεται σε κινητική ενέργεια. Το νερό με την κινητική του ενέργεια πλέον, περιστρέφει πτερωτές (τουρμπίνες) υδροδυναμικών μηχανών που βρίσκονται στη βάση του φράγματος για την παραγωγή «καθαρής» ηλεκτρικής ενέργειας.

Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται η κατάντη πλευρά του φράγματος. Στη βάση διακρίνονται οι μηχανολογικές εγκαταστάσεις παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.



Εικόνα 1: Υδροηλεκτρικό φράγμα (Κρεμαστών, Αιτωλοακαρνανία)

Άρδευση, ύδρευση και αντιπλημμυρική προστασία είναι μερικές από τις δευτερεύουσες αλλά πολύ σημαντικές δυνατότητες που προκύπτουν από τη δημιουργία των ταμιευτήρων.

Στην εικόνα που ακολουθεί φαίνεται η ανάντη πλευρά του φράγματος Κρεμαστών, από την πλευρά του νερού δηλαδή.



Εικόνα 2: Υδροηλεκτρικό φράγμα (Κρεμαστών, Αιτωλοακαρνανία)

B. ΕΙΔΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

Εισαγωγή

Γενικές Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις των φραγμάτων

Τα μεγάλα φράγματα συχνά επικρίνονται για τις περιβαλλοντικές και κοινωνικές τους επιπτώσεις. Πράγματι, τόσο κατά την κατασκευή όσο και κατά τη λειτουργία τους προκαλούν σημαντικές αλλαγές στο περιβάλλον.

Οι επιπτώσεις εξαρτώνται από το καθεστώς ροής του ποταμού, τη μεταφορά φερτών και θρεπτικών, το σχήμα της κοίτης, τη θερμοκρασία και τη χημική σύσταση του νερού, τα οικολογικά ενδιαφέροντα και τη σύσταση των υδατικών βιοκοινοτήτων όπως άλγες, ασπόνδυλα, ψάρια κ.ά. (PCER. 2008b. Ecological Effects of Small Dams).

Επίσης, τα υλικά κατασκευής του φράγματος επηρεάζουν τη συμπεριφορά του στο περιβάλλον. Το είδος και η βαρύτητα των συνεπειών συνδέονται με το μέγεθος του φράγματος και τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του ποταμού και της λεκάνης απορροής. Υπάρχουν σαφείς διαφορές μεταξύ μεγάλων και μικρών φραγμάτων, καθώς και μεταξύ φραγμάτων με ή χωρίς ταμιευτήρα, και δεν είναι δεδομένο πόσο εφαρμόσιμη είναι η γνώση για μεγάλα φράγματα στην εκτίμηση των μικρότερων.

Συγκεκριμένα, οι σημαντικότερες περιβαλλοντικές συνέπειες των μεγάλων φραγμάτων περιλαμβάνουν: (Χατζημπίρος, 2007)

- Κατάκλιση φυσικών και αγροτικών εκτάσεων, οικισμών και τεχνικών έργων από το νερό του ταμιευτήρα.
- Συγκράτηση φερτών υλικών και θρεπτικών συστατικών, με αποτέλεσμα την αφαίρεσή τους από την κατάντη λεκάνη και τις ακτές.
- Αλλαγές στη διάβρωση, στις πλημμύρες και στα χειμαρρικά φαινόμενα της λεκάνης.
- Μείωση της οξυγόνωσης του νερού.
- Μεταβολές στη στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα, στην ποσότητα και στην ποιότητα των υπόγειων υδάτων.
- Αλλαγές στο τοπικό μικροκλίμα.
- Παρεμπόδιση της κίνησης των ιχθύων κατά μήκος του ποταμού.

- Τροποποιήσεις στα υδατικά οικοσυστήματα και σε φυσικοχημικές ή βιολογικές διεργασίες, καθώς και πιθανή ανάπτυξη παθογόνων οργανισμών.
- Υποβάθμιση του τοπίου λόγω εκσκαφών, λατομείων και αποθέσεων προϊόντων εκσκαφής.
- Αλλαγή του φυσικού τοπίου από την παρουσία του ταμιευτήρα.

Η ουσιαστική εκτίμηση αυτών των επιπτώσεων απαιτεί καλή γνώση της λειτουργίας των επηρεαζόμενων οικοσυστημάτων και την ανάπτυξη στρατηγικής ολοκληρωμένης διαχείρισης της λεκάνης απορροής. Χρειάζεται επιστημονική τεκμηρίωση και συνεργασία με τοπικούς φορείς διοίκησης, παραγωγής και κοινωνικούς εταίρους. Σε ορισμένες περιπτώσεις τα μεγάλα φράγματα προκαλούν σημαντικές πολιτιστικές συνέπειες. Ο εντοπισμός τους απαιτεί διαβούλευση με τις τοπικές κοινωνίες, περιλαμβανομένων και των γυναικείων ομάδων, κάτι που συχνά δεν γίνεται επαρκώς (Ronayne, M. 2005).

Η δημόσια υγεία πρέπει επίσης να αποτελεί κεντρικό ζήτημα στην αξιολόγηση περιβαλλοντικών και κοινωνικών επιπτώσεων από μεγάλα φράγματα. Η προσοχή έχει επικεντρωθεί σε ασθένειες που σχετίζονται με ταμιευτήρες (π.χ. σχιστοσωμίαση), αλλά τα φράγματα επηρεάζουν την υγεία και μέσω της διαθεσιμότητας νερού και τροφής, της διάδοσης λοιμωδών νοσημάτων ή της κοινωνικής διάσπασης λόγω αναγκαστικών μετεγκαταστάσεων. Συχνά οι κοντινές κοινότητες δεν ωφελούνται επαρκώς από το νερό ή το εισόδημα που παράγεται.

Οι περισσότερες μελέτες αφορούν φράγματα διαχείρισης νερού. Ειδική και συχνά πολύ σοβαρή περίπτωση αποτελούν οι ταμιευτήρες τοξικών αποβλήτων (λιμνοδεξαμενές τελμάτων μεταλλείων ή άλλων βιομηχανιών). Ρήξεις ή διαρροές τέτοιων φραγμάτων μπορεί να προκαλέσουν εκτεταμένη ρύπανση της κατάντη λεκάνης (Πηγή: <http://www.e-ecorisk.info>).

Ορθή προσέγγιση απαιτεί την εξέταση του φράγματος σε όλο τον κύκλο ζωής του. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό για ορισμένες επιπτώσεις, οι οποίες αναλύονται ενδελεχώς σε συνέχεια.

Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις από την κατασκευή και λειτουργία φραγμάτων

Η δημιουργία ενός φράγματος μπορεί να χωριστεί σε 4 υποενότητες, οι οποίες συνοδεύονται αντίστοιχα και από μια σειρά Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων.

Όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα, οι υποενότητες αυτές είναι:

- A. Κατασκευής του φράγματος
- B. Συνοδά Έργα
- Γ. Διαχείρισης και λειτουργία του φράγματος
- Δ. Ολοκλήρωση του κύκλου ζωής



3. Περιβαλλοντικές επιπτώσεις κατά την κατασκευή φράγματος

Το στάδιο κατασκευής ενός φράγματος χωρίζεται στις παρακάτω εργασίες:

1. Εγκατάσταση/Λειτουργία του εργοταξίου.
2. Εκτροπή της ροής.
3. Έμφραξης της εκτροπής και πρώτη πλήρωση.
4. Ολοκλήρωση των εργασιών και παράδοση του έργου.

3.1 Περιβαλλοντικές επιπτώσεις κατά την εγκατάσταση και λειτουργία του εργοταξίου.

Κατά τη φάση εγκατάστασης ενός εργοταξίου για την κατασκευή φράγματος, οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις είναι κυρίως τοπικές και αναστρέψιμες, αλλά απαιτούν προσεκτική διαχείριση για την ελαχιστοποίηση της όχλησης στο φυσικό οικοσύστημα (Ευστρατιάδης, et al., 2019).

3.1.1 Καταστροφή και μεταβολή οικοτόπων

Από την εγκατάσταση του εργοταξίου είναι πολύ πιθανό να καταστραφεί ή να αλλοιωθεί σημαντικά ο περιβάλλον του εργοταξίου οικοτόπος. Αυτό μπορεί να γίνει με πιθανή αποψίλωση της πανίδας, απώλεια μέρους βιοτόπων και διατάραξη του οικοσυστήματος χλωρίδας και πανίδας (Forman & Alexander, 1998).

Μέτρα για την αντιμετώπιση των παραπάνω επιπτώσεων θα μπορούσε να είναι η δημιουργία ζωνών αντιστάθμισης (offsets), η αποφυγή εγκατάστασης του εργοταξίου σε κρίσιμες/ευάλωτες περιοχές και η αποκατάσταση/φύτευση του περιβάλλοντος χώρου.

Ο βαθμός σοβαρότητας (με τη μορφή κινδύνων) των επιπτώσεων αυτών καταγράφεται ως υψηλός και φορέας ευθύνης ορίζεται ο Εργολάβος/Περιβαλλοντικός Σύμβουλος/Ιδιοκτήτης του έργου.

Να σημειωθεί ότι το κόστος των μέτρων για αποκαταστάσεις/αναδασώσεις κυμαίνεται στα 1.500 – 6.000 €/ha (φυτεύσεις + φροντίδα για 3 έτη), ενώ η παρακολούθηση ειδών για 3 έως 10 έτη κυμαίνεται στα 5.000–20.000 €/έτος. (1 ha = 10.000 m² = 10 στρέμματα)

3.1.1.1 Ζώνες αντιστάθμισης

Οι ζώνες αντιστάθμισης (environmental offsets) περιβαλλοντικών επιπτώσεων αποτελούν μέτρα που λαμβάνονται για την εξισορρόπηση των αναπόφευκτων αρνητικών επιπτώσεων που προκαλεί ένα έργο ή μια δραστηριότητα στο περιβάλλον. Στόχος τους είναι να επιτευχθεί, το ελάχιστο, «μηδενικό καθαρό αποτέλεσμα» (no net loss) ή ιδανικά, καθαρό κέρδος για τη βιοποικιλότητα και τα οικοσυστήματα (Grigenas & Wende, 2014).

Πρόκειται για δράσεις που αποκαθιστούν, δημιουργούν, ενισχύουν ή προστατεύουν οικοτόπους και οικοσυστήματα, προκειμένου να αντισταθμιστεί η υποβάθμιση που προκαλείται σε άλλη τοποθεσία από την υλοποίηση ενός τεχνικού έργου.

Εντάσσονται στη Στρατηγική Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων (ΣΜΠΕ) και τη Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων (ΜΠΕ), οι οποίες προβλέπονται από την περιβαλλοντική νομοθεσία (π.χ. Ν. 4014/2011 στην Ελλάδα).

Η αντιστάθμιση είναι το τελευταίο βήμα στην ιεραρχία μετριασμού και οι ζώνες αντιστάθμισης πρέπει να είναι πρόσθετες (να μην συνέβαιναν ούτως ή άλλως), διαρκείς (να έχουν μακροχρόνια διάρκεια) και συγκρίσιμες (να αφορούν τον ίδιο τύπο οικοσυστήματος με αυτό που υποβαθμίστηκε).

Παραδείγματα Εφαρμογής:

Έργα ΑΠΕ: Δημιουργία ζωνών βλάστησης ή προστασίας της πανίδας/χλωρίδας σε περιοχές γειτονικές με αιολικά πάρκα.

Υποδομές: Αναδάσωση ή δημιουργία υγροτόπων για την αντιστάθμιση της αποψίλωσης δασών από έργα οδοποιίας.

Αέρια Θερμοκηπίου: Χρήση συστημάτων εμπορίας ρύπων για την αντιστάθμιση των εκπομπών CO₂

3.1.2 Διάβρωση εδαφών και αυξημένη απορροή ιζημάτων

Μεγάλη είναι επίσης η πιθανότητα απορροής ιζημάτων από το εργοτάξιο και κατά συνέπεια διάβρωσης των παρακείμενων εδαφών. Οι ροές αυτές και τα ιζήματα μπορεί να οδηγήσουν σε θάψιμο υγροτόπων, μερικό φράξιμο του ταμιευτήρα και αλλοίωση του υπεδάφους.

Μέτρα για την αντιμετώπιση των παραπάνω επιπτώσεων θα μπορούσε να είναι η δημιουργία αναχωμάτων και φραγμάτων κατακράτησης του ιζήματος, προστασία των πρανών και προσωρινή κάλυψη των χωματουργικών.

Ο βαθμός σοβαρότητας (με τη μορφή κινδύνων) των επιπτώσεων αυτών καταγράφεται ως υψηλός και φορέας ευθύνης ορίζεται ο Εργολάβος/Υδρολόγος

3.1.3 Μόλυνση νερού

Στο εργοτάξιο υπάρχουν καύσιμα και λιπαντικά για τα μηχανήματα έργου (φορτηγά, εκσκαφείς, μπετονιέρες, παρασκευαστήρια μπετού, μπουλντόζες κ.τ.λ.) απορροές σκουριών και βόθροι. Όλα αυτά οδηγούν σε μόλυνση των υδάτων της περιοχής και του υδροφόρου ορίζοντα. Τοξική ρύπανση, αλλαγή οξυγόνωσης και ευτροφισμός είναι μερικές μόνο από τις συνέπειες της μόλυνσης του νερού (Chapra, 2017).

Μέτρα για την αντιμετώπιση των παραπάνω επιπτώσεων θα μπορούσε να είναι η κατασκευή στεγανών αποθηκών για τα χημικά (λιπαντικά/υγρά μηχανημάτων) και η δημιουργία ζωνών αποκλεισμού. Επίσης ένας σωστός σχεδιασμός αντιρύπανσης για τη συλλογή και επεξεργασία/διάθεση/απομάκρυνση των λυμάτων είναι ζωτικής σημασίας.

Ο βαθμός σοβαρότητας (με τη μορφή κινδύνων) των επιπτώσεων αυτών καταγράφεται ως μεσαίος – υψηλός και φορέας ευθύνης ορίζεται ο Εργολάβος/Περιβαλλοντικό Τμήμα

3.1.4 Αύξηση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και σκόνης

Από τη λειτουργία του εργοταξίου αναμένεται σημαντική αύξηση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και της σκόνης. Αποτέλεσμα είναι η μείωση της ποιότητας του εισπνεόμενου αέρα, με επακόλουθες επιπτώσεις στην υγεία των εργαζομένων εντός του εργοταξίου αλλά και στην υγεία των κατοίκων των τοπικών κοινωνιών (Pant & Harrison, 2013).

Μέτρα για την αντιμετώπιση των παραπάνω επιπτώσεων θα μπορούσε να είναι η μείωση της ταχύτητας των οχημάτων/μηχανημάτων έτσι ώστε να μη σηκώνουν πολύ σκόνη, με ταυτόχρονο τακτικό ράντισμα των δρόμων με νερό. Τα φίλτρα σε μηχανήματα που παράγουν αέριους ρύπους βοηθούν πολύ, όπως επίσης και η κάλυψη των φορτίων χωματουργικών (καρότσες φορτηγών) κατά τη μετακίνησή τους.

Ο βαθμός σοβαρότητας (με τη μορφή κινδύνων) των επιπτώσεων αυτών καταγράφεται ως μεσαίος και φορέας ευθύνης ορίζεται ο Εργολάβος/Υγειονομική υπηρεσία.

3.1.5 Θόρυβος και δονήσεις

Ο θόρυβος και οι δονήσεις που προκαλούνται από τα μηχανήματα έργου αλλά και γενικά η οχλαγωγία από τη λειτουργία του εργοταξίου, προκαλεί όχληση των ανθρώπων αλλά και της άγριας ζωής. Αποτέλεσμα αυτού η αλλαγή συμπεριφοράς τόσο των ανθρώπων όσο και των ειδών και η εμφάνιση ακόμη και ψυχοσωματικών νοσημάτων (Stansfeld & Matheson, 2003).

Μέτρα για την αντιμετώπιση των παραπάνω επιπτώσεων θα μπορούσε να είναι η τοποθέτηση ηχοπετασμάτων σε κρίσιμα σημεία αλλά και οι χρονικοί περιορισμοί των εργασιών. Η σωστή συντήρηση του μηχανολογικού εξοπλισμού βοηθάει στον περιορισμό αχρείαστων ήχων και δονήσεων, ενώ επίσης χρήσιμη μπορεί να αποδειχθεί και η τηλεμετρία θορύβου.

Ο βαθμός σοβαρότητας (με τη μορφή κινδύνων) των επιπτώσεων αυτών καταγράφεται ως μεσαίος και φορέας ευθύνης ορίζεται ο Εργολάβος/Μηχανολόγος

3.1.6 Αλλαγές στην υδρολογία και στην ποιότητα επιφανειακών/υπόγειων υδάτων.

Από την παρουσία του εργοταξίου είναι πολύ πιθανό να επηρεαστεί η ποιότητα των επιφανειακών και υπόγειων νερών και να προκληθεί μεταβολή στην υδρολογία της περιοχής. Μεταβολή της ροής των υδάτων όσον αφορά τόσο τις ακολουθούμενες διαδρομές του νερού όσο και της παροχής αυτού. Χαμηλότερη διήθηση και πιθανή πτώση αλλά και μερικές φορές ακόμη και άνοδος της στάθμης των υπογείων νερών (Fetter, 2001).

Μέτρα για την αντιμετώπιση των παραπάνω επιπτώσεων θα μπορούσε να είναι οι προσωρινές διευθετήσεις της ροής, οι οποίες όμως πρέπει να βασίζονται σε υδρολογικές μελέτες και σε παρακολούθηση των υδρολογικών δεδομένων.

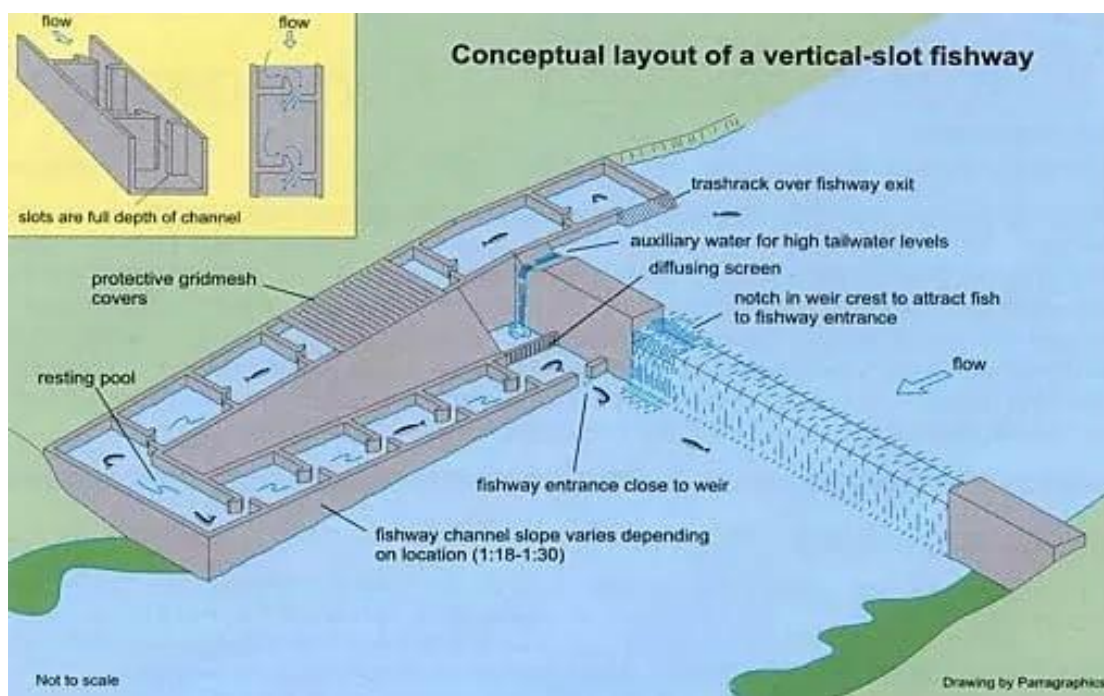
Ο βαθμός σοβαρότητας (με τη μορφή κινδύνων) των επιπτώσεων αυτών καταγράφεται ως υψηλός και φορέας ευθύνης ορίζεται ο Υδρολόγος/Ιδιοκτήτης του έργου.

3.1.7 Επιπτώσεις σε ψάρια και σε υδρόβια οικοσυστήματα

Επιπτώσεις μπορεί να υπάρξουν σε ψάρια και υδρόβια οικοσυστήματα. Έμμεσα με την απώλεια περιοχών αναπαραγωγής και άμεσα με θνησιμότητα των ειδών λόγω εργασιών διαμόρφωσης του εδάφους ή/και των διαφόρων αποβλήτων (Rosenberg et al., 2000).

Μέτρα για την αντιμετώπιση των παραπάνω επιπτώσεων θα μπορούσε να είναι ο χρονισμός των εργασιών εκτός των κρίσιμων περιόδων αναπαραγωγής. Δημιουργία προσωρινών διόδων διαφυγής και μεταφορά ευάλωτων ειδών εάν κρίνεται απαραίτητο (Cowx & Welcomme, 1998).

Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται μια Ιχθυόσκαλα-Αναβαθμίδα (fish ladder) τύπου vertical slot για να επιτρέπεται η κίνηση των ψαριών κατά τη διάρκεια έργων, εξασφαλίζοντας τη συνέχεια του υδάτινου οικοσυστήματος.



Πηγή: <https://www.dpi.nsw.gov.au/fishing/habitat/rehabilitating/fishways>

Ο βαθμός σοβαρότητας (με τη μορφή κινδύνων) των επιπτώσεων αυτών καταγράφεται ως μεσαίος – υψηλός και φορέας ευθύνης ορίζεται ο Υδροβιολόγος/Περιβαλλοντική Υπηρεσία.

3.1.8 Παραγωγή στερεών αποβλήτων και επικίνδυνων υλικών

Αναπόφευκτη είναι κατά τη λειτουργία του εργοταξίου η παραγωγή στερεών αποβλήτων και επικίνδυνων υλικών. Κακοδιαχείριση και ανεξέλεγκτη διάθεση τους προκαλεί ρύπανση τόσο του εδάφους όσο και των υδάτων (Tchobanoglous et al., 1993).

Μέτρο για την αντιμετώπιση των παραπάνω επιπτώσεων θα μπορούσε να είναι ένα συνολικό σύστημα διαχείρισης των αποβλήτων που θα περιλαμβάνει διαλογή, ασφαλή αποθήκευση/απόρριψη και ίσως επαναχρησιμοποίησή τους (Jones & O'Shea, 2008).

Ο βαθμός σοβαρότητας (με τη μορφή κινδύνων) των επιπτώσεων αυτών καταγράφεται ως μεσαίος και φορέας ευθύνης ορίζεται ο Εργολάβος/Υπηρεσία Αποβλήτων.

3.1.9 Κοινωνικές/Οικονομικές επιπτώσεις και μετακινήσεις πληθυσμού

Η εγκατάσταση του εργοταξίου στην περιοχή μπορεί να προκαλέσει απώλεια αγροτικής γης (κατασκευή καινούργιων δρόμων), μετακίνηση κοινοτήτων/οικισμών και απώλεια οικονομικών πόρων (παύση λειτουργίας παρακείμενων μονάδων εκτροφής ζώων, καταστροφή βοσκοτόπων/μαντριών κ.τ.λ.) Οι οικονομικές επιπτώσεις σε μια περιοχή μπορεί να είναι από πολύ μικρές έως πολύ μεγάλες, ανάλογα με το είδος και την ποιότητα δραστηριοποίησης των κατοίκων (Scudder, 2005).

Μέτρα για την αντιμετώπιση των παραπάνω επιπτώσεων θα μπορούσε να είναι ο συμμετοχικός σχεδιασμός (διάλογος με τους κοινωνικούς φορείς αλλά και τους κατοίκους), καταβολή αποζημιώσεων, σχέδια επανεγκατάστασης και προγράμματα αποκατάστασης εισοδήματος (Glasson et al., 2013).

Ο βαθμός σοβαρότητας (με τη μορφή κινδύνων) των επιπτώσεων αυτών καταγράφεται ως υψηλός και φορέας ευθύνης ορίζεται ο Ιδιοκτήτης του έργου/Τοπική Διοίκηση/ΜΚΟ

3.1.10 Αύξηση κινδύνου ατυχημάτων και ασφάλειας

Επιπτώσεις θα υπάρξουν σίγουρα στη δημόσια ασφάλεια, με τη μορφή της εμφάνισης ατυχημάτων εργασίας. Αύξηση επίσης του κινδύνου ατυχημάτων θα υπάρξει και λόγω της κυκλοφορίας επιπλέον αυτοκινήτων στις παρακείμενες πόλεις/χωριά/οικισμούς από ανθρώπους που θα εμφανιστούν για να δουλέψουν στο εργοτάξιο (Mann & Waring, 2014).

Μέτρα για την αντιμετώπιση των παραπάνω επιπτώσεων θα μπορούσε να είναι η περιορισμένη πρόσβαση στο χώρο του εργοταξίου/έργου και η τοποθέτηση σήμανσης. Εκπόνηση σχεδίων ασφαλείας και τακτική εκπαίδευση των εργαζομένων (Hinze, 2011).

Ο βαθμός σοβαρότητας (με τη μορφή κινδύνων) των επιπτώσεων αυτών καταγράφεται ως μεσαίος και φορέας ευθύνης ορίζεται ο Εργολάβος/Υπηρεσία Ασφαλείας.

3.1.11 Επιπτώσεις στην τοπική οικονομία/πολιτιστική κληρονομιά

Επιπτώσεις μπορεί να υπάρξουν και στην πολιτιστική κληρονομιά, εάν υπάρχουν στην περιοχή αρχαιότητες που μπορεί να καταστραφούν ή να καταστούν μη προσβάσιμες. Αποτέλεσμα η υποβάθμιση του τουριστικού προϊόντος και η ύφεση της τοπικής οικονομίας.

Μέτρα για την αντιμετώπιση των παραπάνω επιπτώσεων θα μπορούσε να είναι η προληπτική αρχαιολογική επιθεώρηση, σχεδιασμός για τη διατήρηση των πολιτιστικών στοιχείων και αξιολόγηση εκ των προτέρων των οικονομικών επιπτώσεων (Renfrew & Bahn, 2016).

Ο βαθμός σοβαρότητας (με τη μορφή κινδύνων) των επιπτώσεων αυτών καταγράφεται ως μεσαίος και φορέας ευθύνης ορίζεται η Αρχαιολογική Υπηρεσία/Ιδιοκτήτης.

3.1.12 Σύνοψη

Συνοπτικά για να υπάρξει μια σωστή περιβαλλοντική διαχείριση των επιπτώσεων χρειάζεται μια πλήρης περιβαλλοντική μελέτη (EIA), πριν την εγκατάσταση του εργοταξίου. Χρειάζεται επίσης ένα Σχέδιο Περιβαλλοντικής και Κοινωνικής Διαχείρισης (Environmental and Social Management Plan - ESMP) το οποίο θα περιλαμβάνει μέτρα, υπευθυνότητες και χρονοδιαγράμματα. Αναγκαία επίσης η συνεχής παρακολούθηση του νερού, αέρα, θορύβου και βιοποικιλότητας. Αναγκαία και η συμμετοχή των τοπικών κοινωνικών ιδιαίτερα στο στάδιο του σχεδιασμού. Επίσης πρέπει να έχουν εκπονηθεί και να υλοποιούνται όπως προβλέπεται στάδια αποκατάστασης και μετά-εργασίες για επιστροφή/βελτίωση των οικοσυστημάτων (Morgan, 2012).

3.1.13 Σχέδιο Περιβαλλοντικής και Κοινωνικής Διαχείρισης (ESMP)

Το ESMP (Environmental and Social Management Plan) είναι ένα επιχειρησιακό εργαλείο που περιγράφει τα μέτρα μετριασμού, παρακολούθησης και θεσμικής ενίσχυσης που πρέπει να

ληφθούν κατά την υλοποίηση και λειτουργία ενός έργου. Σκοπός του είναι η εξάλειψη ή ο περιορισμός των αρνητικών περιβαλλοντικών και κοινωνικών επιπτώσεων σε αποδεκτά επίπεδα (Glasson et al., 2013).

3.1.13.1 Βασικά Συστατικά ενός ESMP

Ένα ολοκληρωμένο σχέδιο περιλαμβάνει συνήθως τα εξής:

Μέτρα Μετριασμού (Mitigation Measures): Συγκεκριμένες δράσεις για την πρόληψη ή τη μείωση των επιπτώσεων (π.χ. διαχείριση αποβλήτων, προστασία βιοποικιλότητας).

Πρόγραμμα Παρακολούθησης (Monitoring Plan): Καθορισμός δεικτών, συχνότητας και μεθόδων ελέγχου για να διασφαλιστεί ότι τα μέτρα αποδίδουν.

Σχέδιο Συμμετοχής Ενδιαφερόμενων Μερών (SEP): Διαδικασίες διαβούλευσης με την τοπική κοινωνία και τους φορείς.

Διαχείριση Παραπόνων (Grievance Redress Mechanism): Ένας επίσημος διάυλος για την υποβολή και επίλυση παραπόνων από τρίτους ή εργαζόμενους.

Κατανομή Ευθυνών & Προϋπολογισμός: Σαφής ορισμός των υπεύθυνων ομάδων υλοποίησης και των απαραίτητων πόρων.

3.1.13.2 Πότε είναι απαραίτητο το ESMP

Το ESMP ζητείται συχνά από διεθνείς χρηματοδοτικούς οργανισμούς, όπως η Ευρωπαϊκή Τράπεζα Επενδύσεων ή η Παγκόσμια Τράπεζα, ως προϋπόθεση για τη χρηματοδότηση μεγάλων έργων υποδομής (π.χ. αγωγοί, ορυχεία, ενεργειακά πάρκα, φράγματα).

3.2 Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις λόγω εκτροπή της ροής.

Η εκτροπή της ροής ενός ποταμού κατά την κατασκευή φράγματος (μέσω προφραγμάτων και σιράγγων/αγωγών εκτροπής) αποτελεί μια από τις πιο έντονες προσωρινές επεμβάσεις στο φυσικό περιβάλλον, με άμεσες και έμμεσες περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Αν και η φάση αυτή είναι προσωρινή, οι επιπτώσεις μπορεί να είναι σημαντικές, ιδιαίτερα για το ποτάμιο οικοσύστημα (Κανταρτζής, 2012).

3.2.1 Αλλαγές στη ροή και στην υδρολογία

Η εκτροπή της ροής είναι πιθανό να προκαλέσει σημαντικές αλλαγές στην υδρολογία της περιοχής. Μπορεί να εμφανιστεί μεταβολή των παροχών (μείωση/αύξηση της ροής κατά τμήματα), μεταβολή της εποχικότητας και διαταραχή των φυσικών πλημμυρικών κύκλων (Poff et al., 1997).

Μέτρα για την αντιμετώπιση των παραπάνω επιπτώσεων θα μπορούσε να είναι ο σχεδιασμός ελεγχόμενων εκροών, προσωρινές διευθετήσεις με ελεγχόμενες παροχές και παρακολούθηση της εξέλιξης του φαινομένου με την εφαρμογή μοντέλων ροής.

Ο βαθμός σοβαρότητας (με τη μορφή κινδύνων) των επιπτώσεων αυτών εκτιμάται ως Υψηλός με πιθανότητα εμφάνισης Υψηλή.

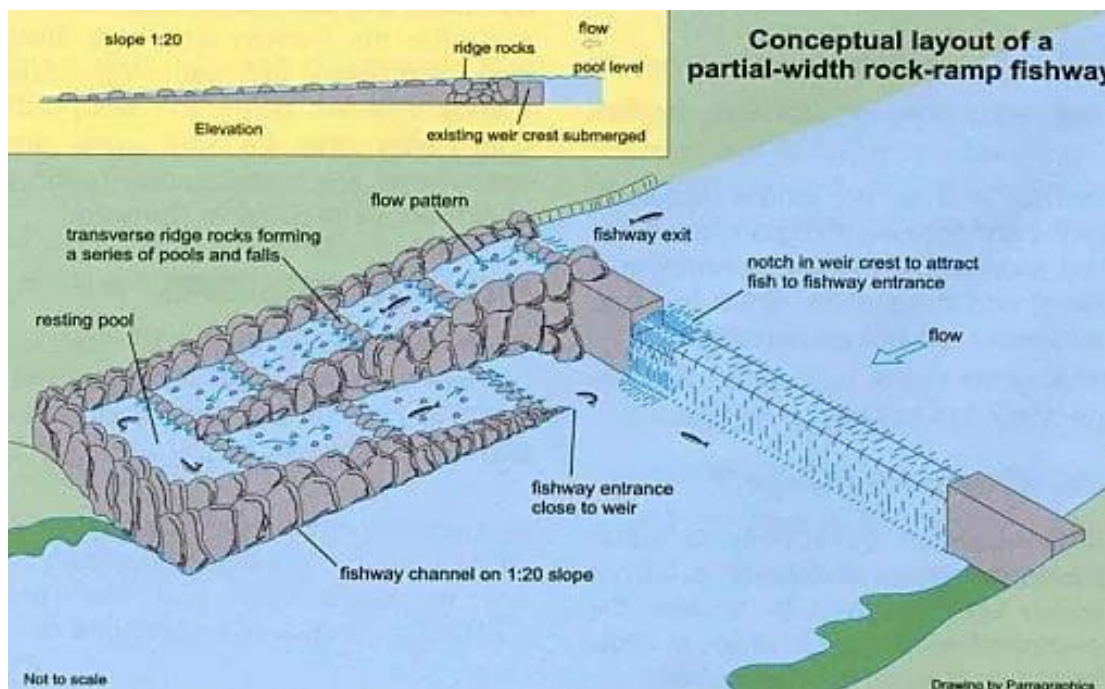
3.2.2 Επίπτωση σε ιχθυοπανίδα και διαδρομές μετανάστευσης

Επιπτώσεις μπορεί να υπάρξουν και στις διαδρομές μετανάστευσης της ιχθυοπανίδας. Για τη χώρα μας αφορά κυρίως την πανίδα αλλά υπάρχουν και όντα του υγρού στοιχείου που ακολουθούν ανοδικά τις ροές ποταμών και χειμάρρων για να αναπαραχθούν, όπως για παράδειγμα τα χέλια. Διακοπή των μετακινήσεων των ειδών, απώλεια θέσεων αναπαραγωγής και τροφοληψίας. Θνησιμότητα σε θέσεις εργασίας (Lucas & Baras, 2001).

Μέτρα για την αντιμετώπιση των παραπάνω επιπτώσεων θα μπορούσε να είναι η δημιουργία προσωρινών διόδων διέλευσης/παράκαμψης και η μεταφορά πληθυσμών εάν αυτό κρίνεται αναγκαίο. Ο χρονισμός των εργασιών εκτός των αναπαραγωγικών περιόδων είναι επίσης μια πολύ αποτελεσματική μέθοδος (Katopodis, 2005).

Ο βαθμός σοβαρότητας (με τη μορφή κινδύνων) των επιπτώσεων αυτών εκτιμάται ως Υψηλός με πιθανότητα εμφάνισης Μεσαία – Υψηλή.

Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται μια Ιχθυόσκαλα-Αναβαθμίδα (fish ladder) τύπου rock ramp για να επιτρέπεται η κίνηση των ψαριών (π.χ. χέλια) κατά τη διάρκεια έργων, εξασφαλίζοντας τη συνέχεια του ποτάμιου οικοσυστήματος.



Πηγή: <https://www.dpi.nsw.gov.au/fishing/habitat/rehabilitating/fishways>

3.2.3 Μείωση ποιότητας νερού

Ενδεχόμενη μείωση της ποιότητας του νερού με αύξηση της θολότητας, αύξηση των ιζημάτων και των αιωρήσεων, αλλαγές οξυγόνωσης και γενικά συγκέντρωση ρύπων λόγω μειωμένης διαχείλισης.

Μέτρα για την αντιμετώπιση των παραπάνω επιπτώσεων θα μπορούσε να είναι η κατασκευή φρεατίων που θα παίζουν το ρόλο φίλτρων ιζημάτων, περιορισμός εργασιών που δημιουργούν ρυπαντικά υλικά, ποιοτικές δειγματοληψίες και έλεγχος της διάβρωσης.

Για παράδειγμα τα φρεάτια κατακράτησης ιζημάτων (γνωστά και ως φρεάτια λάσπης ή ιζηματοσυλλέκτες) είναι βασικά τεχνικά έργα για τη διαχείριση της ροής νερού. Σκοπός τους είναι η παγίδευση στερεών σωματιδίων (άμμος, χώμα, σκουπίδια). Κατασκευάζονται είτε από μπετόν (προκατασκευασμένα ή χυτά) είτε από πλαστικό (πολυπροπυλένιο - PP) για μεγαλύτερη ευκολία στην τοποθέτηση. Το νερό εισέρχεται στο φρεάτιο, η ταχύτητα ροής μειώνεται, και τα βαριά ιζήματα κατακάθονται στον πυθμένα, ενώ το καθαρότερο νερό

υπερχειλίζει προς την έξοδο. Απαιτούν τακτικό καθαρισμό (απόφραξη) για την αφαίρεση της συγκεντρωμένης λάσπης, ώστε να διασφαλίζεται η συνεχής ροή (Metcalf et al., 2014).

Ο βαθμός σοβαρότητας (με τη μορφή κινδύνων) των επιπτώσεων αυτών εκτιμάται ως Μεσαίος – Υψηλός με πιθανότητα εμφάνισης Υψηλή.

3.2.4 Μεταφορά και εναπόθεση ιζημάτων

Πιθανή μεταφορά και εναπόθεση ιζημάτων μπορεί να προκαλέσει συγκέντρωση υλικών σε συγκεκριμένα τμήματα, προκαλώντας αποψίλωση/θάψιμο βιοτόπων και αλλαγή της μορφολογίας της κοίτης.

Μέτρα για την αντιμετώπιση των παραπάνω επιπτώσεων θα μπορούσε να είναι η διαχείριση των ιζημάτων με συλλογή/παγίδευσή τους, η βαθμιαία επαναφορά της ροής και η παρακολούθηση της μορφολογίας.

Ο βαθμός σοβαρότητας (με τη μορφή κινδύνων) των επιπτώσεων αυτών εκτιμάται ως Μεσαίος με πιθανότητα εμφάνισης Υψηλή.

3.2.5 Επιπτώσεις σε υδροτόπους και παρόχθια οικοσυστήματα

Επιπτώσεις μπορεί να υπάρξουν σε υδροτόπους και παρόχθια συστήματα, με τη στερεοποίηση ή ξήρανση τμημάτων του υδροτόπου, απώλεια της παρόχθιας βλάστησης και μεταβολή του μικροκλίματος.

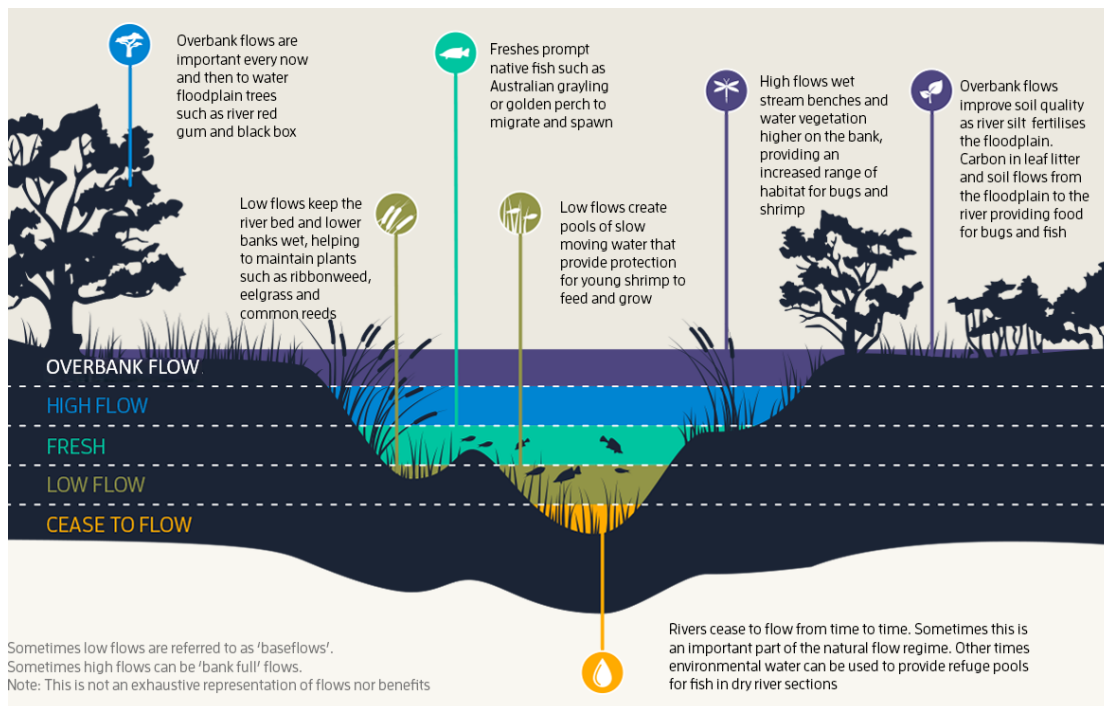
Μέτρα για την αντιμετώπιση των παραπάνω επιπτώσεων θα μπορούσε να είναι η διατήρηση μιας ελάχιστης περιεκτικότητας ροής (ecological flow), η ύπαρξη μιας προσωρινής περιόδου αναπλήρωσης και η αποκατάσταση τελικά των παρόχθιων ζωνών.

Ο βαθμός σοβαρότητας (με τη μορφή κινδύνων) των επιπτώσεων αυτών εκτιμάται ως Υψηλός με πιθανότητα εμφάνισης Μεσαία.

3.2.5.1 Οικολογική ροή (ecological flow)

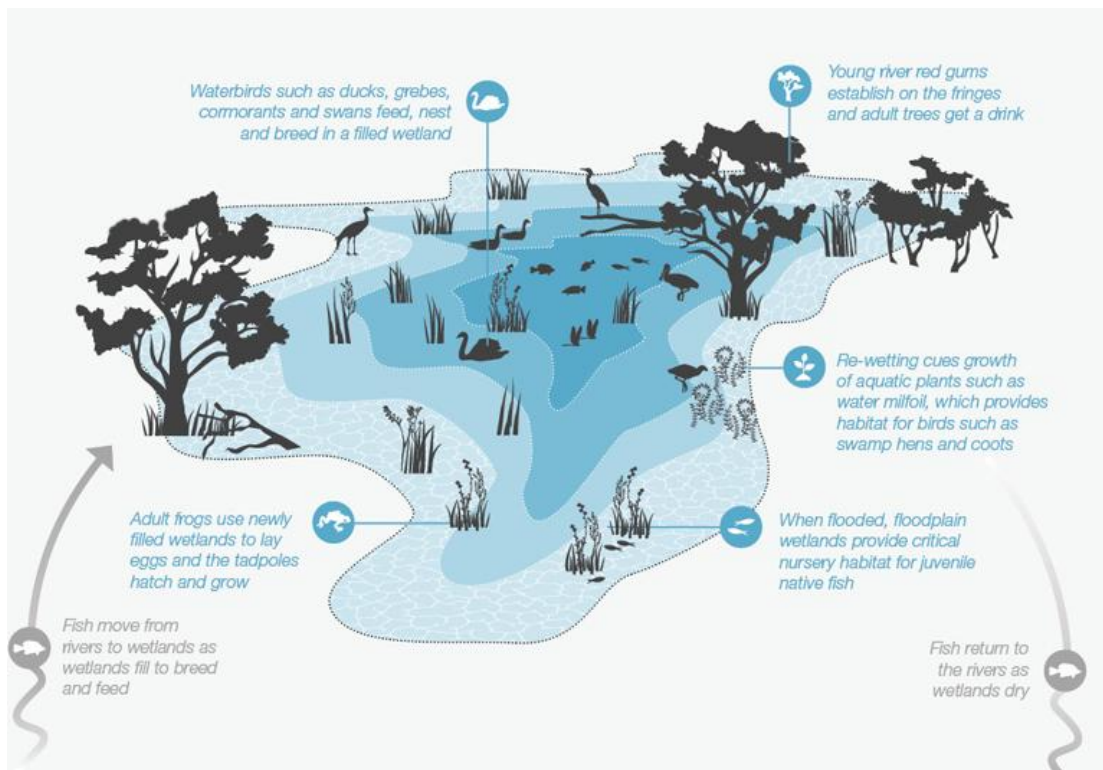
Συγκεκριμένα για την οικολογική ροή (ή οικολογική παροχή), είναι η ποσότητα νερού που απαιτείται να ρέει σε ένα ποτάμιο οικοσύστημα, ειδικά κάτω από φράγματα ή έργα εκτροπής, για τη διατήρηση της υγείας του, της βιοποικιλότητας και των φυσικών λειτουργιών του. Δεν

πρόκειται απλώς για ελάχιστο νερό, αλλά για διαχείριση που υποστηρίζει τον ιστό της ζωής. Εξασφαλίζει τη συνέχεια του ποταμού και τη διατήρηση της χλωρίδας και πανίδας (Arthington et al., 2018).

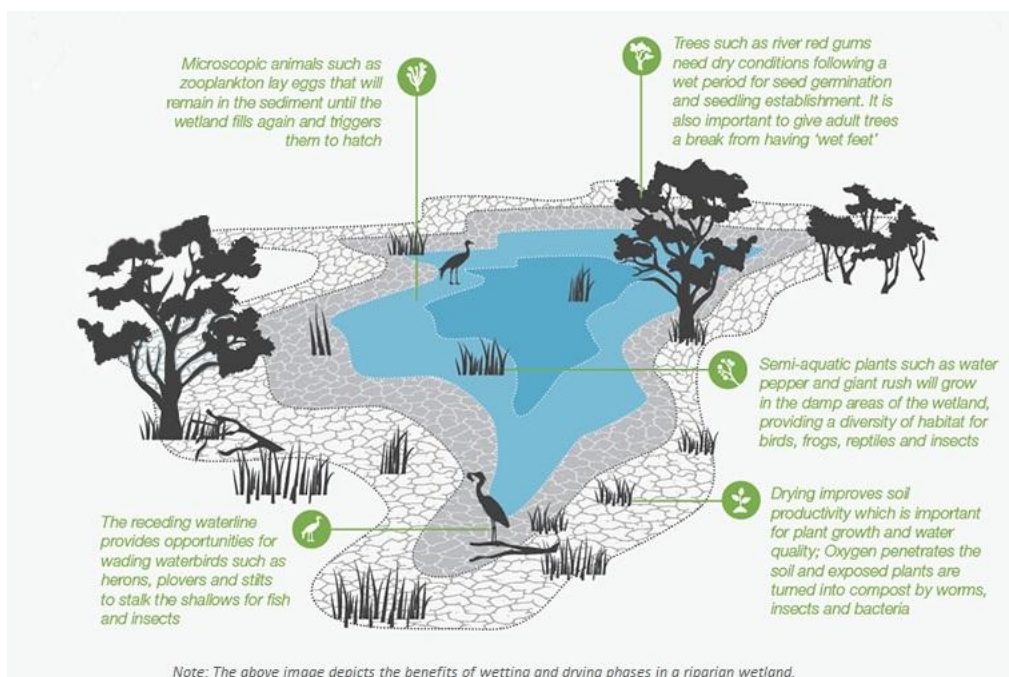


Πηγή: <https://www.vewh.vic.gov.au/healthy-waterways/environmental-benefits>

Επίσης στα παρακάτω σχήματα φαίνεται η αλλαγή στη βιοποικιλότητα στην περίπτωση ξήρανσης τμημάτων ενός υγροτόπου.



Πηγή: <https://www.vewh.vic.gov.au/healthy-waterways/environmental-benefits>



Πηγή: <https://www.vewh.vic.gov.au/healthy-waterways/environmental-benefits>

3.2.6 Επιπτώσεις σε υπόγεια ύδατα

Με την εκτροπή της ροής επιπτώσεις θα υπάρξουν και στα υπόγεια ύδατα. Αλλαγή της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα (πτώση ή ακόμη και άνοδος), πηγές που μπορεί να στερέψουν και γεωτρήσεις που δε θα είναι πλέον τόσο αποδοτικές.

Μέτρα για την αντιμετώπιση των παραπάνω επιπτώσεων θα μπορούσε να είναι η παρακολούθηση της στάθμης των υπόγειων νερών, η προστασία των ευπαθών πηγών και γενικά η κατάρτιση μιας εμπεριστατωμένης υδρογεωλογικής αξιολόγησης.

Ο βαθμός σοβαρότητας (με τη μορφή κινδύνων) των επιπτώσεων αυτών εκτιμάται ως Μεσαίος με πιθανότητα εμφάνισης Μεσαία.

3.2.7 Διάβρωση και αστάθεια πρανών

Η εκτροπή της ροής μπορεί να οδηγήσει σε διάβρωση και αστάθεια των πρανών. Αποτέλεσμα αυξημένη διάβρωση όχθων, δημιουργία προσχώσεων και εμφάνιση καθιζήσεων και κατολισθήσεων (Graf, 2006).

Μέτρα για την αντιμετώπιση των παραπάνω επιπτώσεων θα μπορούσε να είναι η σταθεροποίηση των πρανών με προσωρινές προστατευτικές κατασκευές και ελεγχόμενες κλίσεις.

Ο βαθμός σοβαρότητας (με τη μορφή κινδύνων) των επιπτώσεων αυτών εκτιμάται ως Μεσαίος με πιθανότητα εμφάνισης Υψηλή.

3.2.8 Αλλαγές στο οικολογικό δίκτυο και απώλεια βιοποικιλότητας

Η εκτροπή της ροής μπορεί να επιφέρει αλλαγές στο οικολογικό δίκτυο και να προκαλέσει απώλειες στη βιοποικιλότητα, με τοπική μείωση των ειδών και αλλοίωση των χερσαίων και υδρόβιων κοινοτήτων (Forman & Alexander, 1998).

Μέτρα για την αντιμετώπιση των παραπάνω επιπτώσεων θα μπορούσε να είναι η χαρτογράφηση της προϋπάρχουσας βιοποικιλότητας, η εκπόνηση προγραμμάτων μεταφοράς και αποκατάστασης και γενικά η συνεχής παρακολούθηση του οικολογικού ισοζυγίου.

Ο βαθμός σοβαρότητας (με τη μορφή κινδύνων) των επιπτώσεων αυτών εκτιμάται ως Μεσαίος – Υψηλός με πιθανότητα εμφάνισης Μεσαία.

3.2.9 Κοινωνικές και οικονομικές επιπτώσεις σε αλιεία, ύδρευση, αγροτική χρήση

Η εκτροπή της ροής μπορεί να επιφέρει κοινωνικές και οικονομικές επιπτώσεις. Η παροχή νερού προς χρήστες θα μειωθεί, τα αλιεύματα θα επηρεαστούν και θα αλλάξουν οι αρδευτικές πηγές. Όλα τα παραπάνω να συσσωρεύουν οικονομικές απώλειες για τους κατοίκους της περιοχής (Scudder, 2005).

Μέτρα για την αντιμετώπιση των παραπάνω επιπτώσεων θα μπορούσε να είναι προσωρινές εναλλακτικές παροχές νερού, η ενημέρωση και συμμετοχή των τοπικών κοινοτήτων αλλά και η καταβολή αποζημιώσεων στους πληγέντες.

Ο βαθμός σοβαρότητας (με τη μορφή κινδύνων) των επιπτώσεων αυτών εκτιμάται ως Υψηλός με πιθανότητα εμφάνισης Μεσαία.

3.2.10 Κίνδυνοι ατυχημάτων και υγείας

Από την εκτροπή της ροής μπορεί να δημιουργηθούν διάσπαρτες περιοχές με λιμνάζοντα νερά τα οποία δύνανται να μετατραπούν σε εστίες μόλυνσης και αναπαραγωγής ασθενειών (Mann & Waring, 2014).

Μέτρα για την αντιμετώπιση των παραπάνω επιπτώσεων θα μπορούσε να είναι η εκπόνηση σχεδίων διαχείρισης επειγουσών καταστάσεων και γενικότερα ο έλεγχος των λιμναζόντων νερών.

Ο βαθμός σοβαρότητας (με τη μορφή κινδύνων) των επιπτώσεων αυτών εκτιμάται ως Μεσαίος με πιθανότητα εμφάνισης Μεσαία.

3.2.11 Πολιτιστική κληρονομιά

Η πολιτιστική κληρονομιά μπορεί επίσης να πληγεί από την εκτροπή της ροής, με την έκθεση ή ακόμη και την πλημμύρα αρχαιολογικών και πολιτιστικών θέσεων.

Μέτρα για την αντιμετώπιση των παραπάνω επιπτώσεων θα μπορούσε να είναι η αρχαιολογική επιθεώρηση πριν και κατά τη διάρκεια της εκτροπής και η εκπόνηση προγραμμάτων διάσωσης ευρημάτων.

Ο βαθμός σοβαρότητας (με τη μορφή κινδύνων) των επιπτώσεων αυτών εκτιμάται ως Μεσαίος με πιθανότητα εμφάνισης Χαμηλή – Μεσαία.

3.2.12 Συγκεντρωτικές μακροπρόθεσμες επιπτώσεις

Από την εκτροπή της ροής πιθανό να υπάρξουν και συγκεντρωτικές μακροχρόνιες επιπτώσεις τόσο στη δυναμική των ιζημάτων όσο και στη λειτουργία των οικοσυστημάτων, οι οποίες θα συνεχιστούν και μετά την κατασκευή του φράγματος.

Μέτρα για την αντιμετώπιση των παραπάνω επιπτώσεων θα μπορούσε να είναι η μακροχρόνια παρακολούθηση (5 – 15 έτη) και η ευελιξία σχεδιασμού για προσαρμογή μέτρων.

Ο βαθμός σοβαρότητας (με τη μορφή κινδύνων) των επιπτώσεων αυτών εκτιμάται ως Μεσαίος – Υψηλός με πιθανότητα εμφάνισης Μεσαία.

3.3 Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις λόγω έμφραξης της εκτροπής (closure) και πρώτης πλήρωσης του φράγματος.

Η έμφραξη της σήραγγας εκτροπής και η πρώτη πλήρωση του ταμιευτήρα ενός φράγματος αποτελούν τις πιο κρίσιμες φάσεις για το περιβάλλον, καθώς σηματοδοτούν τη μόνιμη μετατροπή ενός ποτάμιου (lotic) οικοσυστήματος σε λιμναίο (lentic) και τη διακοπή της φυσικής ροής του ποταμού (Likens, 2010).

3.3.1 Αιφνίδια μεταβολή ροής κατάντη (downstream flow reduction)

Με την έμφραξη της σήραγγας εκτροπής συντελείται αιφνίδια μεταβολή της ροής, με αποτέλεσμα τη μείωση των παροχών νερού κατάντη (downstream) όπως επίσης και ξήρανση της κοίτης του ποταμού/χειμάρρου κατάντη. Άμεσα κλονίζονται από τη μείωση της παροχής νερού τα υδρόβια και παρόχθια οικοσυστήματα, αλλά και οι χρήστες νερού (Ligon et al., 1995).

Μέτρα για την αντιμετώπιση των παραπάνω επιπτώσεων θα μπορούσε να είναι η σταδιακή έμφραξη με ελεγχόμενες μειώσεις της ροής έτσι ώστε να υπάρξει μια σχετική περίοδος προσαρμογής για το κατάντη οικοσύστημα. Αναγκαία κρίνεται η διασφάλιση της ελάχιστης οικολογικής ροής (environmental flow) και η επικοινωνία με τους χρήστες νερού.

Κατά την πλήρωση προτείνεται παρακολούθηση των παροχών με υδραυλικές μετρήσεις καθημερινά ή εβδομαδιαία ανάλογα την περίπτωση και μετά μηνιαία για τα πρώτα 1 έως 5 έτη.

3.3.1.1 Κατάντη οικοσύστημα

Ο όρος «Κατάντη οικοσύστημα» (downstream ecosystem) αναφέρεται στο οικοσύστημα που βρίσκεται σε χαμηλότερο υψόμετρο, μετά από ένα τεχνικό έργο (όπως ένα φράγμα, ταμιευτήρας ή υδροηλεκτρικός σταθμός) σε ένα ποτάμιο σύστημα (Georgalas, 2014).

Η υγεία του εξαρτάται άμεσα από την «οικολογική παροχή», δηλαδή την ελάχιστη ποσότητα νερού που πρέπει να αφήνεται να ρέει από το φράγμα για να διατηρηθεί η βιοποικιλότητα. Ένα έργο μπορεί να αλλάξει δραματικά το βάθος, τη θερμοκρασία και την παροχή του νερού, επηρεάζοντας τα είδη που ζουν κατάντη (Φιλίντας & Πολύζος).

Το «Κατάντη οικοσύστημα» είναι εκείνο το κομμάτι του φυσικού περιβάλλοντος που "πληρώνει το τίμημα" των επεμβάσεων στα ανώτερα σημεία ενός ποταμού και απαιτεί προσεκτική διαχείριση (οικολογική παροχή) για να μην καταστραφεί.

3.3.2 Συγκέντρωση ιζημάτων και αυξημένη θολότητα ανάντη/κατάντη

Με την έμφραξη αναμένεται έντονη συγκέντρωση ιζημάτων τόσο ανάντη (upstream) όσο και κατάντη (downstream) του φράγματος. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση της θολότητας των νερών, την επιβάρυνση της ποιότητας και την καταβύθιση ιζημάτων σε κρίσιμες ζώνες του οικοσυστήματος.

Μέτρα για την αντιμετώπιση των παραπάνω επιπτώσεων θα μπορούσε να είναι οι προστατευτικές παγίδες ιζημάτων πριν τον ταμιευτήρα, η σταδιακή πλήρωση για ελαχιστοποίηση των ροών υψηλής θολότητας και ο έλεγχος των εργασιών εκσκαφών.

Προτείνεται παρακολούθηση της θολότητας/TSS και της περιεκτικότητας οξυγόνου σε καθημερινή ή εβδομαδιαία βάση ανάλογα την περίπτωση κατά πλήρωση και μετά μηνιαία για τα πρώτα 1 έως 3 έτη.

3.3.3 Οξεία επιβάρυνση ποιότητας νερού

Με την έμφραξη αναμένεται οξεία επιβάρυνση της ποιότητας του νερού στην απόχρωση, την περιεκτικότητα σε οξυγόνο, σε θρεπτικά συστατικά και σε ρύπους. Η συσσώρευση οργανικής ύλης και θρεπτικών συστατικών σε συνδυασμό με αναερόβιες συνθήκες ευνοούν τον ευτροφισμό και την εμφάνιση μειωμένου διαλυμένου οξυγόνου (Dissolved Oxygen) στα κατάντη. Όλα αυτά επηρεάζουν αρνητικά την υδρόβια ζωή.

Μέτρα για την αντιμετώπιση των παραπάνω επιπτώσεων θα μπορούσε να είναι η αφαίρεση/εκκρίζωση βιομάζας από περιοχές που θα κατακλυστούν πριν την πλήρωση, σταδιακή γέμιση, παρακολούθηση χημικών παραμέτρων και χρήση αερισμού/προσροφητών αν χρειαστεί.

Προτείνεται παρακολούθηση του DO, θερμοκρασίας, BOD, N/P και COD σε καθημερινή ή εβδομαδιαία βάση ανάλογα την περίπτωση κατά την πλήρωση και μετά μηνιαία για τα πρώτα 3 έως 5 έτη.

3.3.3.1 Βιοχημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο (Biochemical Oxygen Demand – BOD)

Το Βιοχημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο (BOD) είναι η ποσότητα διαλυμένου οξυγόνου που χρειάζονται οι μικροοργανισμοί για να διασπάσουν την οργανική ύλη στο νερό. Είναι ένας βασικός δείκτης της ποιότητας του νερού. Το υψηλότερο BOD υποδηλώνει μεγαλύτερη ρύπανση, ενώ το χαμηλότερο BOD σημαίνει καθαρότερο νερό. Χρησιμοποιείται ευρέως για τη μέτρηση των επιπέδων ρύπανσης στην επεξεργασία λυμάτων (Metcalf & Eddy, 2014).

Υψηλό BOD υποδηλώνει μεγάλη συγκέντρωση οργανικών ρύπων (π.χ. από αστικά λύματα ή βιομηχανικά απόβλητα). Όταν το BOD είναι πολύ υψηλό, οι μικροοργανισμοί καταναλώνουν όλο το διαθέσιμο οξυγόνο, προκαλώντας ασφυξία στα ψάρια και άλλους οργανισμούς (Metcalf & Eddy, 2014). Χαμηλό BOD αποτελεί ένδειξη καθαρότερου νερού με λιγότερη οργανική επιβάρυνση.

3.3.3.2 Χημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο (Chemical Oxygen Demand – COD)

Το Χημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο (Chemical Oxygen Demand - COD) είναι μια παράμετρος της ποιότητας νερού που μετρά την ποσότητα του οξυγόνου που απαιτείται για την ολική χημική οξείδωση των οργανικών (κυρίως) συστατικών ενός υγρού αποβλήτου με τη χρήση ισχυρών οξειδωτικών μέσων. Αποτελεί μέτρο του οργανικού φορτίου και είναι δείκτης ρύπανσης (Metcalf & Eddy, 2014).

Η μέτρηση του COD είναι κρίσιμη για την προστασία του περιβάλλοντος, καθώς τα υψηλά επίπεδα οργανικού φορτίου μειώνουν το διαλυμένο οξυγόνο στους υδάτινους αποδέκτες, επηρεάζοντας την υδρόβια ζωή.

Η ανάλυση COD (COD test) χρησιμοποιεί ισχυρά οξειδωτικά (συνήθως διχρωμικό Κάλιο) για να οξειδώσει την οργανική ύλη και είναι ταχύτερη μέθοδος (απαιτεί λίγες ώρες) σε σχέση με το Βιοχημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο (BOD) που απαιτεί ημέρες (5-7 ημέρες).

Τιμές BOD και COD σε διάφορα νερά		
Προέλευση	COD	BOD
Νερά ποταμών χωρίς ρύπανση	–	< 1
Νερά ποταμών που έχουν ρυπανθεί	–	> 10
Επιτρεπτά όρια στη Β. Ελλάδα (1978)	90	30
Επιτρεπτά όρια στη Β. Ελλάδα (1983)	250	80

3.3.4 Θνησιμότητα/μετακίνηση υδρόβιων οργανισμών (ψάρια, αμφίβια)

Με την έμφραξη αναμένεται απώλεια ενδιαιτημάτων (Habitat Loss) λόγω της θνησιμότητας των υδρόβιων οργανισμών (ψάρια, αμφίβια). Η καταστροφή των υγροτόπων, η αποξήρανση λιμνών/ποταμών, η ρύπανση και η εκτροπή υδάτων καταστρέφουν τις περιοχές αναπαραγωγής και τροφοληψίας. Η απώλεια ενδιαιτημάτων είναι η κύρια αιτία για την οποία το 41% των αμφιβίων απειλείται με εξαφάνιση.

Αναμένονται επίσης παγιδευμένες (στα κατάντη) και πνιγμένες (στα ανάντη) πληθυσμιακές ομάδες. Στα κατάντη η στάθμη του νερού πέφτει, αποκόπτοντας τα ψάρια σε μικρές, απομονωμένες λίμνες (remnant pools). Εκεί, λόγω υψηλών θερμοκρασιών, έλλειψης οξυγόνου και περιορισμένης τροφής, πεθαίνουν μαζικά. Αντίστροφα στα ανάντη, οι πλημμύρες μπορούν να παρασύρουν πληθυσμούς σε ακατάλληλα ενδιαιτήματα.

Επίσης θα προκύψει διαταραχή στις μετακινήσεις των υδρόβιων οργανισμών. Φράγματα, φράγματα υδροηλεκτρικών σταθμών και τεχνητές κατασκευές (περισσότερα από 2,5 εκατομμύρια φράγματα) μπλοκάρουν τις μεταναστευτικές διαδρομές των ψαριών, εμποδίζοντάς τα να φτάσουν σε περιοχές αναπαραγωγής.

Μέτρα για την αντιμετώπιση των παραπάνω επιπτώσεων θα μπορούσε να είναι η μεταφορά των ευπαθών ειδών πριν πλήρωση και η εγκατάσταση τεχνητών ενδιαιτημάτων. Προτείνεται παρακολούθηση πληθυσμών και βιοποικιλότητας, με ετήσιες αξιολογήσεις για τα πρώτα 5 έως 10 έτη.

3.3.5 Εκπομπές αερίων (CH₄, CO₂) από βιομάζα που πλημμυρίζεται

Η πλημμυρισμένη βιομάζα (π.χ. σε ταμιευτήρες φραγμάτων, πλημμυρισμένα δάση ή υγροτόπους) αποτελεί σημαντική πηγή εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, κυρίως μεθανίου (CH₄) και διοξειδίου του άνθρακα (CO₂), λόγω της αναερόβιας αποσύνθεσης της οργανικής ύλης. Όταν φυτική βιομάζα πλημμυρίζει, η αποσύνθεσή της απελευθερώνει άνθρακα που ήταν αποθηκευμένος σε αυτήν. Σε υδάτινο περιβάλλον, η έλλειψη οξυγόνου ευνοεί τη μεθανογένεση. Αν και η βιομάζα γενικά θεωρείται ανανεώσιμη, η πλημμύρισή της (π.χ. για δημιουργία ταμιευτήρων) μπορεί να οδηγήσει σε σημαντικές, βραχυπρόθεσμες έως μεσοπρόθεσμες εκπομπές που επιβαρύνουν το κλίμα (Deemer et al., 2016).

Μέτρα για την αντιμετώπιση των παραπάνω επιπτώσεων θα μπορούσε να είναι απομάκρυνση ή ξήρανση της ξυλώδους/οργανικής μάζας πριν την πλημμύρα και η παρακολούθηση των εκπομπών αερίων (CH₄, CO₂) για τα πρώτα 1 έως 5 έτη.

3.3.6 Μεταβολές σε υγροτόπους και παρόχθιες ζώνες στα ανάντη

Η κατασκευή και λειτουργία φραγμάτων επιφέρει δραματικές μεταβολές στα οικοσυστήματα που βρίσκονται ανάντη (upstream), μετατρέποντας το ποτάμιο περιβάλλον σε λιμναίο και επηρεάζοντας άμεσα τους υγροτόπους και τις παρόχθιες ζώνες. Οι κύριες επιπτώσεις αφορούν τη μόνιμη κατάκλιση εκτάσεων, την αλλαγή του υδρολογικού καθεστώτος και την αλλοίωση της βιοποικιλότητας (Nilsson & Berggren, 2000).

Το ρέον (lotic) περιβάλλον του ποταμού μετατρέπεται σε στάσιμο (lentic) ταμιευτήρα. Αυτό καταστρέφει τους υγροτόπους που εξαρτώνται από τη ροή και τη διακύμανση της στάθμης, δημιουργώντας νέους, τεχνητούς υγροτόπους παρόχθιας ζώνης γύρω από τη λίμνη.

Η παρόχθια βλάστηση ανάντη προσαρμόζεται στη νέα, τεχνητή λίμνη. Η αλλαγή των επιπέδων των υδάτων και η κατακράτηση ιζημάτων πίσω από το φράγμα αλλάζουν τη σύσταση του εδάφους και τα θρεπτικά συστατικά, ευνοώντας διαφορετικά είδη βλάστησης.

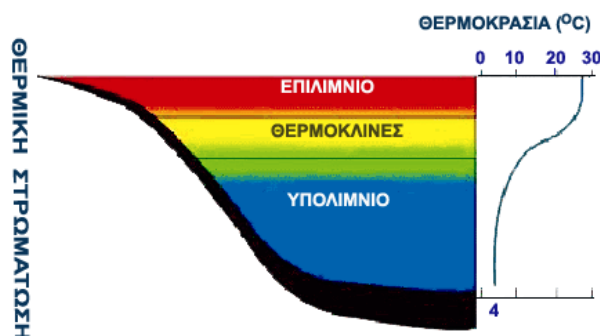
Το φράγμα αποτελεί εμπόδιο, απομονώνοντας τους πληθυσμούς των υδρόβιων οργανισμών. Οι νέες συνθήκες ευνοούν συχνά χωροκατακτητικά (εισβολικά) είδη, μειώνοντας τη φυσική βιοποικιλότητα.

Η δημιουργία ταμιευτήρα ανάντη καταστρέφει το αρχικό ποτάμιο τοπίο, αντικαθιστώντας το με ένα οικοσύστημα λίμνης, με αποτέλεσμα την απώλεια των φυσικών παρόχθιων ζωνών και τη ριζική αναδιάρθρωση της χλωρίδας και της πανίδας.

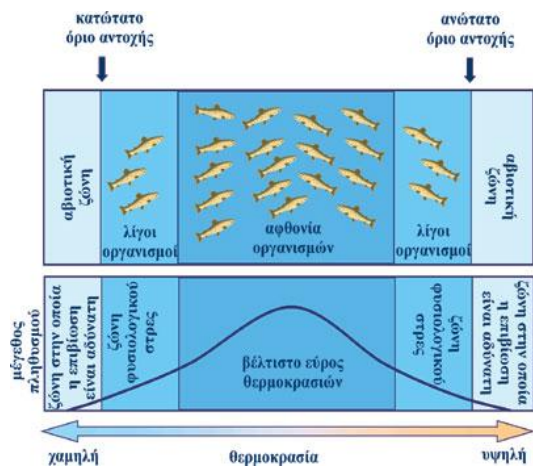
3.3.7 Αλλαγές στη θερμοκρασία νερού του ταμιευτήρα (θερμικός στρωματισμός)

Οι αλλαγές στον θερμοκρασιακό στρωματισμό (θερμική διαστρωμάτωση) των ταμιευτήρων, έχουν άμεσες και σημαντικές επιπτώσεις στην ποιότητα του νερού, οδηγώντας σε χημικό στρωματισμό και υποβάθμιση του οικοσυστήματος. Το θερμοκλίνιο (το στρώμα απότομης αλλαγής θερμοκρασίας) μπορεί να εντοπίζεται σε διαφορετικά βάθη (γίνεται ρηχότερο) απομονώνοντας με αυτό τον τρόπο περισσότερο τα βαθύτερα στρώματα (Munoz-Sevilla et al., 2009).

Συνολικά, ο θερμικός στρωματισμός λειτουργεί ως φράγμα, αποκόπτοντας το επιφανειακό στρώμα (πλούσιο σε οξυγόνο) από τον πυθμένα (πλούσιο σε θρεπτικά συστατικά), με αποτέλεσμα την κάθετη ασυνέχεια στην ποιότητα του νερού.



Πηγή: <https://kpe-kastor.kas.sch.gr/limnology/limnology/temperature.htm>



Πηγή: <https://kpe-kastor.kas.sch.gr/limnology/limnology/temperature.htm>

3.3.8 Αλλαγές στην ποιότητα του νερού στον ταμιευτήρα (χημικός στρωματισμός)

Η έλλειψη ανάμιξης απομονώνει το βαθύ στρώμα (υπολίμνιο), οδηγώντας σε ταχεία κατανάλωση του διαλυμένου οξυγόνου (DO) και δημιουργία ανοξικών συνθηκών. Σε ανοξικό περιβάλλον, τα ιζήματα του πυθμένα απελευθερώνουν θρεπτικά συστατικά (όπως φώσφορο, άζωτο/αμμωνία) και μέταλλα (σιδηρομαγγάνιο) στο νερό. Οι υψηλότερες θερμοκρασίες της επιφάνειας και η διαθεσιμότητα θρεπτικών συστατικών ευνοούν την ανάπτυξη επιβλαβών ανθίσεων κυανοβακτηρίων (cyanobacteria blooms). Η χημική στρωμάτωση επιδεινώνει την ποιότητα, καθώς η μείωση του οξυγόνου αυξάνει τον κίνδυνο τοξικότητας και την παραγωγή αερίων του θερμοκηπίου (Wetzel, 2001).

Κατά τη λειτουργία του ταμιευτήρα η επιλογή του βάθους υδροληψίας (selective withdrawal) είναι κρίσιμη για την αποφυγή λήψης νερού χαμηλής ποιότητας (ψυχρό, ανοξικό) από τον πυθμένα. Επίσης συστήματα αερισμού (aeration systems) μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εξάλειψη της στρωμάτωσης και την αύξηση του οξυγόνου σε όλη τη στήλη του νερού.

3.3.9 Επιπτώσεις σε χρήσεις ανθρωπογενείς (ύδρευση, άρδευση, αλιεία, πρόσβαση)

Η πλήρωση ενός φράγματος και η δημιουργία τεχνητής λίμνης (ταμιευτήρα) επιφέρει σημαντικές αλλαγές στο υδρολογικό καθεστώς μιας περιοχής, με άμεσες και έμμεσες επιπτώσεις στις ανθρωπογενείς χρήσεις. Οι επιπτώσεις αυτές είναι συχνά διπλής φύσης, προσφέροντας οφέλη (αποθήκευση νερού) αλλά και προκαλώντας προβλήματα (κατάκλιση εκτάσεων, αλλαγή χρήσεων γης).

3.3.9.1 Επιπτώσεις σε Ύδρευση και Άρδευση

Τα φράγματα εξασφαλίζουν συνεχή και ελεγχόμενη παροχή νερού για ύδρευση και άρδευση, ιδίως κατά τη διάρκεια ξηρασίας, συγκεντρώνοντας νερό σε περιόδους υψηλών βροχοπτώσεων. Επιτρέπουν την καλλιέργεια νέων εκτάσεων και τη σταθεροποίηση της αγροτικής παραγωγής.

Η πλήρωση μπορεί να προκαλέσει ανάγκη για ριζική αλλαγή των συστημάτων άρδευσης. Σε περιόδους λειψυδρίας, τα άδεια φράγματα οδηγούν σε δραστικές περικοπές στο αρδευτικό νερό, προκαλώντας ανασφάλεια στους αγρότες. Επίσης, μπορεί να μειωθεί η γονιμότητα των εδαφών downstream (κατάντη) λόγω της συγκράτησης φερτών υλικών (ιλύος) πίσω από το

φράγμα. (Πηγή: <https://encyclopedia.uia.org/problem/environmental-degradation-due-creation-dams>)

3.3.9.2 Επιπτώσεις σε Αλιεία

Η πλήρωση μετατρέπει το ποτάμιο οικοσύστημα (ρεόντων υδάτων) σε λιμναίο (στάσιμων υδάτων). Αυτό οδηγεί στην εξαφάνιση ειδών ψαριών που προτιμούν ταχεία ροή, και στην ανάπτυξη ειδών που ευδοκίμούν σε λίμνες.

Ενώ δημιουργείται νέα αλιεία στον ταμιευτήρα, η αλιεία κατάντη συχνά καταστρέφεται λόγω αλλαγής της θερμοκρασίας και της ποιότητας του νερού, ή λόγω της αδυναμίας μετανάστευσης των ψαριών. Σε κάποιες περιπτώσεις, η ανάπτυξη φυτοπλαγκτόν στον ταμιευτήρα μπορεί να αυξήσει την αλιευτική παραγωγή, αλλά με διαφορετικά είδη (Takashi & Rashid, 2012).

3.3.9.3 Επιπτώσεις σε Πρόσβαση, Υποδομές και Μετακινήσεις

Η πλήρωση προκαλεί κατάκλιση (πλημμύρισμα) καλλιεργήσιμων εκτάσεων, δασών, οικισμών, οδικών δικτύων και αρχαιολογικών χώρων. Οδικά δίκτυα που εξυπηρετούσαν τις τοπικές κοινότητες κόβονται ή βυθίζονται, αναγκάζοντας σε κατασκευή νέων, συχνά μακρύτερων διαδρομών (Fearnside, 1989). Μεγάλα φράγματα απαιτούν τη μετακίνηση (resettlement) ολόκληρων κοινοτήτων, προκαλώντας κοινωνικές και οικονομικές επιπτώσεις, απώλεια περιουσιών και ψυχολογικό στρες (Yardley, 2007).

3.3.10 Κίνδυνοι στατικής αστάθειας και γεωτεχνικοί κίνδυνοι κατά την πλήρωση

Η πλήρωση του ταμιευτήρα ενός φράγματος (πρώτη πλήρωση) αποτελεί την κρισιμότερη φάση για τη στατική του ευστάθεια, καθώς το έργο δέχεται για πρώτη φορά τα πλήρη υδραυλικά φορτία. Οι γεωτεχνικοί κίνδυνοι είναι σημαντικοί και περιλαμβάνουν καθιζήσεις, κατολισθήσεις πρανών και φαινόμενα εσωτερικής διάβρωσης.

3.3.10.1 Κατολισθήσεις (Reservoir Rim Stability)

Η άνοδος της στάθμης του νερού προκαλεί κορεσμό στα εδάφη των πρανών, μειώνοντας την αντοχή τους σε διάτμηση, γεγονός που μπορεί να προκαλέσει κατολισθήσεις. Αν η στάθμη πέσει απότομα, η εσωτερική πίεση πόρων παραμένει υψηλή ενώ η εξωτερική στήριξη του νερού χάνεται, προκαλώντας συχνά αστοχία στα ανάντη πρανή. Μια μεγάλης κλίμακας

κατολίσθηση μέσα στον ταμιευτήρα (π.χ. Vajont, 1963) μπορεί να δημιουργήσει κύματα που υπερπηδούν το φράγμα, προκαλώντας καταστροφές κατάντη (Riemer, 1992).

3.3.10.2 Καθιζήσεις και Παραμορφώσεις (Settlements)

Κατά την πλήρωση, το βάρος του νερού προκαλεί συμπίεση των υλικών του φράγματος και της θεμελίωσης, οδηγώντας σε καθιζήσεις, ιδιαίτερα σε χωμάτινα φράγματα. Αν η θεμελίωση δεν είναι ομοιογενής, οι διαφορικές καθιζήσεις μπορεί να προκαλέσουν ρωγμές στον κορμό του φράγματος (ειδικά στον αργιλικό πυρήνα), αυξάνοντας τον κίνδυνο διαρροών (Πυθαρούλη & Στείρος, 2007).

3.3.10.3 Γεωτεχνικοί Κίνδυνοι Διήθησης (Seepage Risks)

Η υψηλή υδραυλική πίεση μπορεί να παρασύρει λεπτόκοκκα υλικά μέσω της θεμελίωσης ή του σώματος του φράγματος, δημιουργώντας διόδους (Σωληνώσεις - Piping) που απειλούν τη δομική ακεραιότητα. Σε χωμάτινα φράγματα, η υψηλή πίεση μπορεί να προκαλέσει ρωγμές λόγω εφελκυσμού στον πυρήνα, επιτρέποντας τη διέλευση νερού.

3.3.10.4 Αστάθεια Θεμελίωσης/Αγκύρωσης

Η πλήρωση αυξάνει τις πιέσεις κάτω από το φράγμα, μειώνοντας την ενεργό τάση και την ικανότητα έδρασης. Σε ασβεστολιθικές περιοχές, η πλήρωση μπορεί να ενεργοποιήσει υπόγειες καρστικές διόδους, προκαλώντας απώλειες νερού και αστάθεια (Riemer, 1992).

3.3.10.5 Αντιμετώπιση και Παρακολούθηση

Η πλήρωση πρέπει να γίνεται σε στάδια με ενδιάμεσες αναμονές για έλεγχο των οργάνων. Απαιτείται η εγκατάσταση πιεζομέτρων, κλισιομέτρων και ενδείκτη καθιζήσεων για την παρακολούθηση των πιέσεων πόρων, των μετακινήσεων και των διαρροών. Εκπόνηση μελετών για τον εντοπισμό πιθανών σεναρίων αστοχίας (PFMA) πριν από την πλήρωση (USBR & USACE, 2012).

3.3.11 Βύθιση αρχαιολογικών ή πολιτιστικών ευρημάτων λόγω πλημμύρας

Η πλήρωση φραγμάτων αποτελεί μια σημαντική πηγή περιβαλλοντικών και πολιτιστικών επιπτώσεων, καθώς η δημιουργία τεχνητών λιμνών συχνά οδηγεί στην οριστική βύθιση και καταστροφή αρχαιολογικών χώρων, μνημείων και πολιτιστικών ευρημάτων. Η εσπευσμένη έμφραξη φραγμάτων έχει οδηγήσει σε καταστροφή αρχαιολογικών και θρησκευτικών μνημείων στην ευρύτερη περιοχή έργων, όπως αναφέρθηκε χαρακτηριστικά για την περιοχή της Ελάτης. Περιοχές με πλούσιο ιστορικό παρελθόν, που συχνά δεν έχουν ανασκαφεί πλήρως, καλύπτονται από νερό, καθιστώντας την πρόσβαση και τη μελέτη τους αδύνατη (Scudder, 2005).

Σε πολλές περιπτώσεις, προτείνεται η αποδόμηση ή η μεταφορά μνημείων, ειδικά όταν η περιοχή δεν εμπίπτει σε αυστηρό προστατευτικό καθεστώς. Η διαχείριση αυτών των καταστάσεων απαιτεί αυστηρό έλεγχο και ανασκαφικές εργασίες πριν από την πλήρωση των φραγμάτων.

3.3.12 Γενικές κατευθύνσεις για μετριασμό κατά την έμφραξη & πρώτη πλήρωση

Οι γενικές κατευθύνσεις για τον μετριασμό των κινδύνων κατά την πρώτη πλήρωση ταμιευτήρα φράγματος περιλαμβάνουν σταδιακές διαδικασίες, συνεχή παρακολούθηση και προληπτικούς ελέγχους.

Η πρώτη πλήρωση είναι κρίσιμη, καθώς η πίεση νερού μπορεί να αποκαλύψει αστοχίες. Δεν πρέπει να είναι ταχεία. Πρέπει να γίνεται σε στάδια, επιτρέποντας στο σώμα του φράγματος να προσαρμοστεί στις νέες τάσεις. Απαιτείται εγκατάσταση και έλεγχος οργάνων μέτρησης (πιεζόμετρα, κλισιόμετρα) για την ανίχνευση διαρροών ή ασυνήθιστων μετακινήσεων, ειδικά όταν η στάθμη φτάνει σε υψηλά επίπεδα (π.χ. 2/3 του ύψους). Διασφάλιση ότι οι αγωγοί εκκένωσης λειτουργούν σωστά για να αποτραπεί ανεξέλεγκτη άνοδος της στάθμης (Κανταρτζής, 2012).

3.4 Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις κατά την ολοκλήρωση των εργασιών και παράδοσης του έργου

Η ολοκλήρωση και παράδοση ενός φράγματος σηματοδοτεί τη μετάβαση από τη φάση κατασκευής στη φάση λειτουργίας, αλλά παράλληλα αποτελεί κρίσιμη περίοδο για την εκδήλωση και την εκτίμηση περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Οι αλλαγές που λαμβάνουν χώρα σε αυτό το στάδιο είναι συχνά απότομες και μπορούν να έχουν μακροπρόθεσμες συνέπειες στα υδάτινα και χερσαία οικοσυστήματα, στην υδρολογία της λεκάνης απορροής και στις τοπικές κοινωνίες. Παρακάτω περιγράφονται οι κύριες κατηγορίες επιπτώσεων, οι μηχανισμοί τους και μέτρα που προτείνονται για τον μετριασμό τους (Petts, 1984).

3.4.1 Γεωτεχνικές επιπτώσεις και επιπτώσεις ασφάλειας

Κατά την παράδοση, ελέγχονται στατικά και γεωτεχνικά χαρακτηριστικά. Ωστόσο, η ταχεία αλλαγή υδραυλικών φορτίων και η κορεσμός υπεδάφους μπορεί να αυξήσει τον κίνδυνο κατολισθήσεων, καθιζήσεων ή μεταβολών στην ευστάθεια πρανών, ειδικά σε ευαίσθητες γεωλογικά περιοχές. Η εγκατάσταση συστημάτων παρακολούθησης (πιεζόμετρα, κλισιόμετρα) και σταδιακή άνοδος στάθμης μειώνουν τον κίνδυνο.

3.4.2 Τοπικές κοινωνικές και πολιτιστικές συνέπειες

Η ολοκλήρωση του έργου ολοκληρώνει τις επιπτώσεις σε χρήσεις γης. Κατάκλυση καλλιεργειών, απώλεια βοσκοτόπων, μετεγκαταστάσεις και πιθανή κατάκλιση αρχαιολογικών θέσεων. Η αίσθηση απώλειας και η οικονομική διαταραχή απαιτούν σχέδια αποζημίωσης, στήριξης επαγγελματιών και συμμετοχική διαχείριση.

4. Περιβαλλοντικές επιπτώσεις συνοδών έργων φραγμάτων

Τα συνοδά έργα φραγμάτων είναι οι απαραίτητες τεχνικές κατασκευές που πλαισιώνουν το κύριο σώμα ενός φράγματος, εξασφαλίζοντας την ασφαλή κατασκευή, τη λειτουργία και τη διαχείριση των υδάτων του ταμιευτήρα. Επιπλέον, στα συνοδά έργα μπορεί να περιλαμβάνονται εγκαταστάσεις για τη λειτουργία υδροηλεκτρικού σταθμού, αρδευτικά δίκτυα ή αντιπλημμυρικά έργα (Efstratiadis, 2023).

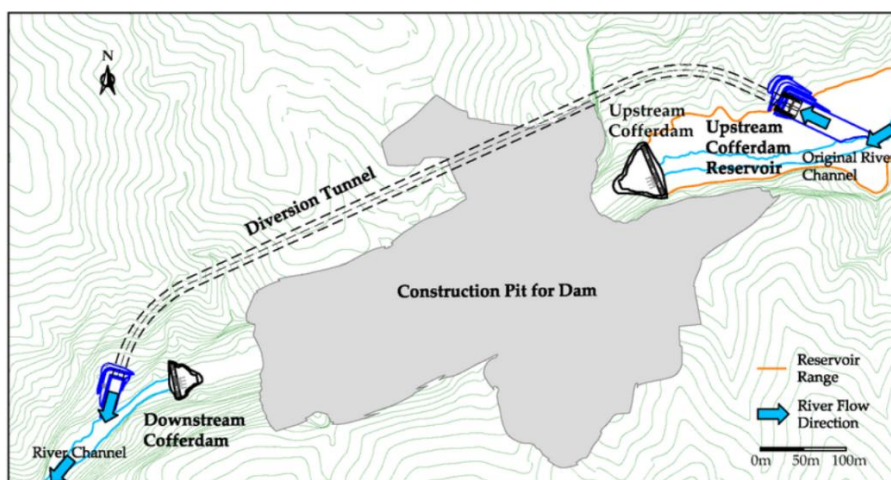
4.1 Σήραγγα Εκτροπής

(Είναι έργο εκτροπής)

Η σήραγγα εκτροπής φράγματος είναι ένα προσωρινό υδραυλικό έργο που κατασκευάζεται για την παροχέτευση του νερού ποταμού γύρω από το εργοτάξιο, επιτρέποντας την ξηρή κατασκευή του κυρίως φράγματος. Συχνά ενσωματώνεται στο μόνιμο έργο (π.χ. ως εκκενωτής πυθμένα) και περιλαμβάνει ανάντη/κατάντη προφράγματα για την προστασία από πλημμύρες κατά την κατασκευή (Dimas et al., 2025).

Εκτρέπει τη ροή του ποταμού, εξασφαλίζοντας στεγνό πυθμένα για τις εργασίες, συνήθως με χαμηλότερα επίπεδα ασφαλείας από το τελικό φράγμα. Περιλαμβάνει την είσοδο, τη σήραγγα (συνήθως σε σχήμα πέταλου ή κυκλική), και την έξοδο, συχνά με πρόφραγμα (coffer dam).

Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται μια τυπική διάταξη εκτροπής με το ανάντη προφράγμα, το κατάντη πρόφραγμα και τη σήραγγα.



Πηγή: Song, Z., Q. Liu, Z. Hu, H. Li, and J. Xiong, Assessment of sediment impact on the risk of river diversion during dam construction: A simulation-based project study on the Jing river, China, Water, 10(2), 217, doi:10.3390/w10020217, 2018.

Στο φράγμα του Εύηνου η σήραγγα εκτροπής είχε μήκος 126 μέτρα και σφραγίστηκε μετά την ολοκλήρωση του χωμάτινου φράγματος. Στο φράγμα της Συκιάς (Αχελώος) η σήραγγα εκτροπής έχει μήκος 17,5 χλμ. Στο φράγμα της Πύλης υπάρχει μελέτη για σήραγγα εκτροπής διαμέτρου 7,5 μέτρων.

Μετά την κατασκευή του φράγματος, η σήραγγα σφραγίζεται (έμφραξη) για να ξεκινήσει η πλήρωση του ταμιευτήρα.

Οι σήραγγες εκτροπής είναι κρίσιμες για τη διαχείριση των πλημμυρικών παροχών κατά τη διάρκεια της κατασκευής, επιλέγοντας συχνά μια πλημμύρα σχεδιασμού με περίοδο επαναφοράς 1:100

4.1.1 Επιπτώσεις σήραγγας εκτροπής

Οι επιπτώσεις τους είναι περιβαλλοντικές, γεωλογικές και τεχνικές. Η εκτροπή αλλάζει τη φυσική κοίτη, επηρεάζοντας το τοπικό οικοσύστημα κατάντη. Στην έξοδο της σήραγγας απαιτούνται ειδικές διαμορφώσεις για την αποφυγή διάβρωσης. Η διάνοιξη της σήραγγας επηρεάζει τη γεωλογία της περιοχής, απαιτώντας μελέτες για την ευστάθεια των πρανών. Κατασκευάζονται σε συνθήκες ροής, συχνά υπό περιορισμό χρόνου, ενώ η έμφραξή τους μετά την κατασκευή απαιτεί ειδικά πώματα από σκυρόδεμα. Οι επιπτώσεις αυτές είναι μοναδικές για κάθε φράγμα, ανάλογα με τη γεωλογία και την υδρολογία της περιοχής (Efstratiadis, 2023).

4.2 Υπερχειλιστές (Spillways)

(Είναι Έργο Ασφάλειας & Ελέγχου της Στάθμης)

Οι υπερχειλιστές είναι κρίσιμα υδραυλικά έργα ασφαλείας στα φράγματα, σχεδιασμένοι για την ακίνδυνη διοχέτευση πλεονάζοντος νερού από τον ταμιευτήρα, ιδίως κατά τη διάρκεια πλημμυρικών φαινομένων. Η λειτουργία τους εξασφαλίζει ότι η στάθμη του νερού δεν θα υπερβεί τη μέγιστη επιτρεπτή στάθμη, προστατεύοντας έτσι τη δομική ακεραιότητα του φράγματος (Δημητρακόπουλος, 2018).

Οι κυριότεροι τύποι Υπερχειλιστών είναι: (Λιακόπουλος, 2020)

- Μετωπικοί (free overfall/straight drop): Το νερό πέφτει ελεύθερα.
- Ελεύθερης πτώσης μορφής «S» (ogee/overfall): Σχεδιασμένοι για μέγιστη υδραυλική απόδοση.
- Πλευρικοί (side channel): Η ροή εισέρχεται πλευρικά.
- Ανοιχτής διώρυγας (chute/open channel): Μεταφέρουν το νερό μέσω τεχνητής διατομής.
- Σηραγγοειδείς (conduit/tunnel): Το νερό διέρχεται μέσω σήραγγας.
- Φρεατοειδείς/Χοανοειδείς (drop inlet/shaft/morning glory): Το νερό πέφτει σε κατακόρυφο φρέαρ.
- Σιφωνοειδείς (siphon): Χρησιμοποιούν την αρχή της σιφωνικής λειτουργίας.

Διάκριση βάσει Ελέγχου Ροής:

- Ελεύθεροι υπερχειλιστές, όπου η εκροή εξαρτάται μόνο από τη στάθμη του ταμιευτήρα.
- Ελεγχόμενοι (με θυροφράγματα) υπερχειλιστές, οι οποίοι διαθέτουν κινητά μέρη (gates) που επιτρέπουν τη ρύθμιση της παροχής και τη διατήρηση υψηλότερης στάθμης για υδρευτικές/αρδευτικές ανάγκες.

Οι υπερχειλιστές αποτελούν τη «βαλβίδα ασφαλείας» ενός φράγματος. Η απουσία ή η ανεπάρκειά τους μπορεί να οδηγήσει σε υπερχειλίση του φράγματος και, σε περιπτώσεις χωμάτων φραγμάτων, σε αστοχία. Στην Ελλάδα, τα πρώτα μεγάλα υδροηλεκτρικά έργα (Λάδωνας, Ταυρωπός, Λούρος) διαθέτουν εξειδικευμένους υπερχειλιστές και εκκενωτές πυθμένα, οι οποίοι, παρά τα προβλήματα συντήρησης, έχουν λειτουργήσει ικανοποιητικά (Στάμου, 2016).

Ο σχεδιασμός απαιτεί τη μελέτη των πλημμυρικών παροχών και την επιλογή του κατάλληλου τύπου με βάση τη γεωλογία, το είδος του φράγματος και την τοπογραφία (πολυκριτηριακή ανάλυση).



Υπερχειλιστής φράγματος Χοανοειδής τύπου (Shaft Spillway or Morning glory)

Πηγή: <https://inwrdam.net/types-of-spillways-and-classification>



Υπερχειλιστής φράγματος τύπου S (Ogee Spillway)

Πηγή: <https://inwrdam.net/types-of-spillways-and-classification>

4.2.1 Επιπτώσεις υπερχειλιστή

Οι επιπτώσεις τους είναι κυρίως θετικές όσον αφορά την ασφάλεια του έργου, αλλά υπάρχουν και περιβαλλοντικές προεκτάσεις. Ο πρωταρχικός στόχος είναι η πρόληψη της υπερχειλίσης του φράγματος (overtopping), η οποία θα μπορούσε να οδηγήσει σε κατάρρευση. Οι υπερχειλιστές εκτονώνουν την υπερβάλλουσα ποσότητα νερού, εξασφαλίζοντας τη στατική επάρκεια του φράγματος. Επιτρέπουν την ελεγχόμενη απελευθέρωση νερού, μειώνοντας τον κίνδυνο πλημμυρών στις κατάντη περιοχές. Η λειτουργία τους μπορεί να προκαλέσει σημαντικές αλλαγές στο υδρολογικό καθεστώς του ποταμού κατάντη, επηρεάζοντας τη χλωρίδα και την πανίδα. Η υψηλή ταχύτητα ροής του νερού μέσω των υπερχειλιστών μπορεί να προκαλέσει διάβρωση στο έδαφος και τις όχθες του ποταμού κατάντη, απαιτώντας έργα προστασίας όπως είναι π.χ. οι λεκάνες ηρεμίας (Tzitzis, 2008).

4.3 Έργα Υδροληψίας (Υδροληψία)

(Είναι Έργα Εκμετάλλευσης & Διανομής)

Τα έργα υδροληψίας φραγμάτων αποτελούν το σύνολο των τεχνικών κατασκευών που χρησιμοποιούνται για την ελεγχόμενη απόληψη νερού από τον ταμιευτήρα. Στόχος τους είναι η ασφαλής και ρυθμιζόμενη παροχή νερού για διάφορες χρήσεις όπως ύδρευση, άρδευση και παραγωγή ενέργειας (Μίχας et al., 2015).

Τα έργα υδροληψίας συνήθως περιλαμβάνουν:

- **Έργα Εισόδου:** Κατασκευές που επιτρέπουν την είσοδο του νερού, όπως πύργοι υδροληψίας από σκυρόδεμα.
- **Αγωγός Μεταφοράς:** Σωληνώσεις ή σήραγγες που μεταφέρουν το νερό μέσα ή διαμέσου του φράγματος.
- **Κτίριο Δικλίδων (Valve House):** Χώρος ελέγχου της ροής με χρήση δικλίδων (βαλβίδων).
- **Εκκενωτής Πυθμένα:** Σύστημα που συχνά συνδυάζεται με την υδροληψία για την εκκένωση του ταμιευτήρα.

Τα έργα αυτά είναι κρίσιμης σημασίας για την ασφάλεια και την αποδοτική λειτουργία των φραγμάτων.

4.3.1 Επιπτώσεις Έργων Υδροληψίας φραγμάτων

Οι επιπτώσεις των έργων υδροληψίας και κατασκευής φραγμάτων είναι σύνθετες, περιλαμβάνοντας τόσο σημαντικά οφέλη όσο και σοβαρές περιβαλλοντικές και κοινωνικές αλλαγές. Κυρίως όμως μελετάται η πιθανότητα αστοχίας του φράγματος με αφετηρία τα έργα αυτά και οι κίνδυνοι που απορρέουν από μια τέτοια αστοχία.

4.4 Ανάντη και Κατάντη Προφράγματα

(Είναι Έργα Εκτροπής)

Το ανάντη και κατάντη προφράγματα (ή αναχώματα εκτροπής) είναι βοηθητικές κατασκευές, οι οποίες χρησιμοποιούνται κυρίως κατά την κατασκευή μεγάλων φραγμάτων για την εκτροπή της ροής του ποταμού. Το ανάντη Πρόφραγμα (Upstream Cofferdam) κατασκευάζεται πριν από την κύρια θέση του φράγματος (προς την πλευρά της ροής). Εμποδίζει το νερό του ποταμού να εισέλθει στο εργοτάξιο, εκτρέποντάς το προς τις σήραγγες εκτροπής. Συχνά είναι χωμάτινο ανάχωμα. Το κατάντη Πρόφραγμα (Downstream Cofferdam) κατασκευάζεται μετά την κύρια θέση του φράγματος (προς την πλευρά της εξόδου). Αποτρέπει την αναστροφή της ροής του νερού (οπισθοδρόμηση) από την έξοδο της σήραγγας εκτροπής ή τις υδραυλικές συνθήκες κατάντη, διασφαλίζοντας ότι ο χώρος εργασίας παραμένει στεγνός. Συνοπτικά, το ανάντη πρόφραγμα προστατεύει το εργοτάξιο από το εισερχόμενο νερό, ενώ το κατάντη πρόφραγμα προστατεύει από το νερό που εξέρχεται από το σύστημα εκτροπής.

4.4.1 Επιπτώσεις από τα Ανάντη και Κατάντη Προφράγματα

Οι επιπτώσεις από την κατασκευή και λειτουργία ανάντη (upstream) και κατάντη (downstream) προφραγμάτων είναι κυρίως προσωρινές, αλλά έντονες, καθώς αποτελούν μέρος των έργων εκτροπής ποταμού για την κατασκευή φραγμάτων.

Με τα ανάντη προφράγματα δημιουργείται μια μικρή, προσωρινή λίμνη ανάντη του προφράγματος, προκαλώντας πλημμύρα σε περιοχές που πριν ήταν ξηρές. Λόγω της μείωσης της ταχύτητας του νερού, αποτίθενται φερτά υλικά (ίζημα) στην περιοχή πίσω από το πρόφραγμα. Μεταβάλλεται η φυσική ροή του ποταμού, επηρεάζοντας το υδάτινο οικοσύστημα της περιοχής (Dimas et al., 2025).

Με τα κατάντη φράγματα γίνεται αποστράγγιση του χώρου εργασιών μεταξύ ανάντη και κατάντη προφράγματος, επιτρέποντας την κατασκευή του κυρίως φράγματος "εν ξηρό". Επηρεάζουν την κατάντη ροή, προκαλώντας προσωρινές διαταραχές στο οικοσύστημα της κοίτης (Efstratiadis, 2023).

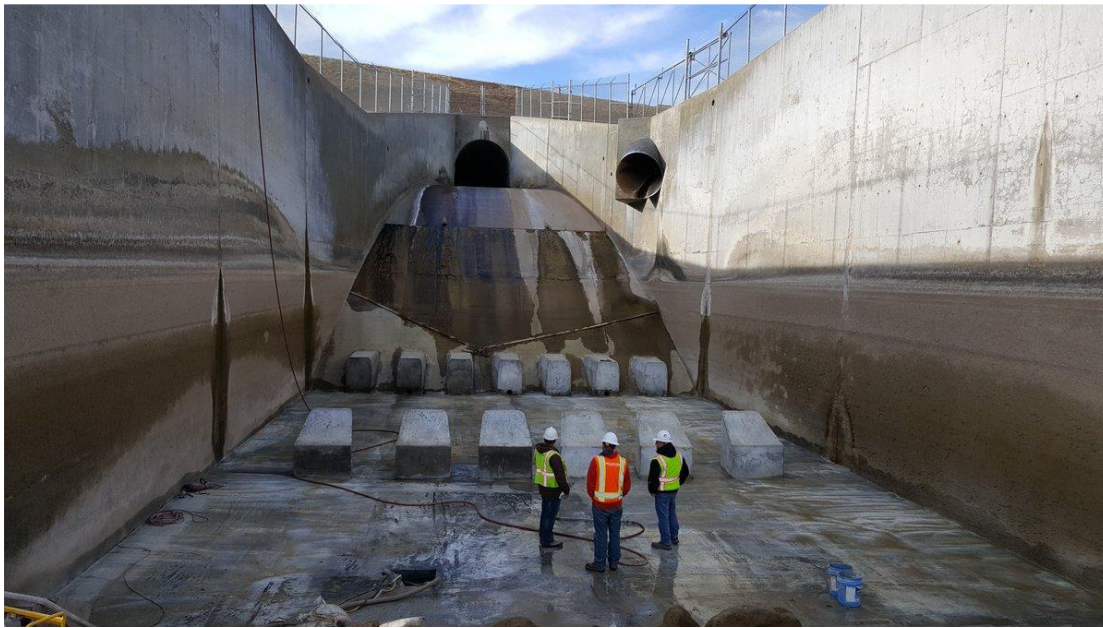
Με τα ανάντη και κατάντη φράγματα προκαλείται διαταραχή της υδρόβιας ζωής λόγω της αλλαγής στη ροή και την ποιότητα του νερού (αύξηση θολότητας) κατά την κατασκευή. Υπάρχει πάντα ο κίνδυνος αστοχίας του προφράγματος σε περίπτωση ακραίων πλημμυρικών φαινομένων κατά τη διάρκεια της κατασκευής. Σε αντίθεση με τα μόνιμα φράγματα, οι επιπτώσεις των προφραγμάτων είναι προσωρινού χαρακτήρα και διαρκούν μόνο κατά τη διάρκεια των κατασκευαστικών εργασιών (Χαριδής, 2011).

4.5 Λεκάνη Ηρεμίσσεως (Still Basin ή Energy Dissipator)

(Είναι Έργο Ασφάλειας & Ελέγχου της Στάθμης)

Η λεκάνη ηρεμίσσεως είναι ένα τεχνικό έργο στο πόδι (κατάντη) ενός φράγματος, το οποίο χρησιμοποιείται για την ασφαλή απόσβεση της κινητικής ενέργειας του νερού που υπερχειλίζει.

Το νερό που κατεβαίνει από την υπερχειλίση έχει τεράστια ταχύτητα. Η λεκάνη αναγκάζει το νερό να υποστεί ένα υδραυλικό άλμα (hydraulic jump), μετατρέποντας την κινητική ενέργεια σε θερμότητα, ήχο και στροβίλους. Χωρίς τη λεκάνη ηρεμίσσεως, η υψηλή ταχύτητα του νερού θα προκαλούσε σοβαρές διαβρώσεις στη κοίτη του ποταμού, απειλώντας τη σταθερότητα του ίδιου του φράγματος. Μετατρέπει τη ροή από "χειμαρρώδη" (supercritical) σε "ήρεμη" (subcritical), επιτρέποντας στο νερό να επιστρέψει στο ποτάμι με ασφαλή ταχύτητα (Widiarti et al., 2021).



Λεκάνη ηρεμίσσεως φράγματος

Πηγή: Χασιάκος, Α. & Φαρμάκης, Π. Οργάνωση Έργων & Εργοταξίων, Φράγματα & κατασκευαστικές μέθοδοι.

4.5.1 Επιπτώσεις Λεκάνης Ηρεμίσσεως κατά τη φάση κατασκευής (Βραχυπρόθεσμες)

Η εκσκαφή, η απομάκρυνση βλάστησης και η σκυροδέτηση της κοίτης για τη δημιουργία της λεκάνης αλλοιώνουν το φυσικό τοπίο και καταστρέφουν μόνιμα τοπικούς και εθνικούς βιότοπους. Οι εργασίες εκσκαφής και τα έργα εκτροπής του ποταμού αυξάνουν τα αιωρούμενα στερεά στο νερό, επηρεάζοντας την ποιότητα του νερού και την υδρόβια ζωή (ψάρια, ασπόνδυλα) κατάντη. Η χρήση βαρέων μηχανημάτων, εκρηκτικών και οι εργασίες σκυροδέτησης προκαλούν όχληση στην τοπική πανίδα (Αναφορά Νο3).

4.5.2 Επιπτώσεις Λεκάνης Ηρεμίσσεως κατά τη φάση λειτουργίας (Μακροπρόθεσμες)

Η στάσιμη φύση του νερού στη λεκάνη ηρεμίσσεως, σε συνδυασμό με την υπερχείλιση, μπορεί να οδηγήσει σε αλλαγές στη θερμοκρασία (π.χ. απελευθέρωση ψυχρότερου νερού από το βάθος του ταμιευτήρα), επηρεάζοντας τα ψάρια που είναι προσαρμοσμένα σε συγκεκριμένες θερμοκρασίες (Hongyue et al., 2019). Κατά την πτώση του νερού, η δημιουργία έντονου στροβιλισμού (υδραυλικό άλμα) μπορεί να προκαλέσει κορεσμό του νερού με διαλυμένο οξυγόνο/άζωτο. Αυτό μπορεί να προκαλέσει τη «νόσο των φυσαλίδων» (gas bubble disease) στα ψάρια, η οποία είναι συχνά θανατηφόρα.

Η κατασκευή της λεκάνης, σε συνδυασμό με το σώμα του φράγματος, αποτελεί φυσικό εμπόδιο για τη μετανάστευση των ψαριών. Αν και σχεδιάζεται για την αποτροπή της, μια λανθασμένα σχεδιασμένη λεκάνη μπορεί να οδηγήσει σε σπηλαίωση, προκαλώντας ζημιές στο σκυρόδεμα και απελευθέρωση θραυσμάτων στο οικοσύστημα (Hongyue et al., 2019). Συνολικά, οι επιπτώσεις από τη λεκάνη ηρεμίσσεως είναι σύνθετες και αλληλεξαρτώμενες, αποτελώντας μέρος των συνολικών περιβαλλοντικών αλλαγών που επιφέρει ένα φράγμα στο ποτάμιο οικοσύστημα.

4.5.3 Μέτρα Ελαχιστοποίησης Επιπτώσεων

Για τον μετριασμό των επιπτώσεων, κατά τη φάση σχεδιασμού και κατασκευής λαμβάνονται μέτρα όπως: (Ευστρατιάδης et al., 2019)

- **Χρήση περιβαλλοντικά φιλικών υλικών** (π.χ. χαμηλής θερμότητας ενυδάτωσης σκυρόδεμα).
- **Σχεδιασμός αεριζόμενων υπερχειλιστών** για τη μείωση του φαινομένου του κορεσμού αερίων.
- **Κατασκευή ιχθυοδιαδρόμων** (fish ladders) για την υποβοήθηση της μετανάστευσης της ιχθυοπανίδας.
- **Διαχείριση των φερτών υλών** κατά την κατασκευή για τον περιορισμό της θολερότητας.

4.6 Αγωγοί Εκκένωσης (Bottom Outlets)

(Είναι Έργο Ασφάλειας & Ελέγχου της Στάθμης)

Οι αγωγοί εκκένωσης ή εκκενωτές πυθμένα είναι κρίσιμα τεχνικά έργα στα φράγματα, σχεδιασμένα για τη διαχείριση της στάθμης του νερού και την ασφάλεια της κατασκευής. Πρόκειται για αγωγούς ή σήραγγες που διέρχονται μέσα από το σώμα του φράγματος ή τα πρανή, συνήθως στο χαμηλότερο σημείο του ταμιευτήρα (Δημόπουλος & Στεφανάκος, 2008).



Οι δύο εκκενωτές του φράγματος Ταυρωπού, από κατάντη.

Πηγή: <https://portal.tee.gr/portal/page/portal/teelar/EKDILWSEIS/damConference/eisigiseis/10.1.pdf>

Επιτρέπουν το άδειασμα του ταμιευτήρα για σκοπούς συντήρησης, επισκευής ή σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης. Βοηθούν στην απομάκρυνση ιλύος (λάσπης) που συσσωρεύεται στον πυθμένα. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την απελευθέρωση της απαιτούμενης ελάχιστης οικολογικής παροχής κατάντη του φράγματος. Συμβάλλουν στη διαχείριση ακραίων πλημμυρικών παροχών, συμπληρωματικά με τον υπερχειλιστή (Δημόπουλος & Στεφανάκος, 2008).

Συχνά, η σήραγγα που χρησιμοποιείται για την εκτροπή του ποταμού κατά την κατασκευή του φράγματος μετατρέπεται αργότερα σε αγωγό εκκένωσης. Σε πολλές περιπτώσεις, όπως στο φράγμα του Λάδωνα, του Ταυρωπού και του Λούρου, η σωστή λειτουργία των εκκενωτών πυθμένα ήταν κρίσιμη για την ανθεκτικότητα των έργων.

4.6.1 Επιπτώσεις Αγωγών Εκκένωσης

Οι αγωγοί εκκένωσης των φραγμάτων, αν και είναι απαραίτητοι για τεχνικούς λόγους (λειτουργική εκκένωση, συντήρηση, διαχείριση φερτών υλών), έχουν σημαντικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις, οι οποίες εντάσσονται στο γενικότερο πλαίσιο των επιπτώσεων των μεγάλων φραγμάτων (Hadjibiros, 2014). Η εκκένωση νερού από το κάτω μέρος του ταμιευτήρα (όπου το νερό είναι ψυχρότερο, με χαμηλή διαλυμένο οξυγόνο και συχνά με υψηλή

συγκέντρωση θρεπτικών συστατικών) μπορεί να προκαλέσει θερμικό σοκ και ασφυξία στην υδρόβια ζωή του ποταμού κατάντη.

Κατά τη χρήση τους, συχνά απελευθερώνονται μεγάλες ποσότητες ιζημάτων (λάσπης) που έχουν συσσωρευτεί στον ταμιευτήρα. Αυτό προκαλεί θολότητα του νερού, επηρεάζοντας τη φωτοσύνθεση και την αναπνοή των ψαριών, ενώ η απόθεση λάσπης κατάντη αλλοιώνει τα ενδιαίτηματα του πυθμένα (Κοτζαγεωργής et al., 2009). Αν δεν διαχειρίζονται σωστά, οι αγωγοί αυτοί μπορεί να διακόψουν την αναγκαία ροή (περιβαλλοντική παροχή) που απαιτείται για τη διατήρηση του οικοσυστήματος, ειδικά κατά τις ξηρές περιόδους. Η κατασκευή και η λειτουργία τους, σε συνδυασμό με το σώμα του φράγματος, αποτελούν φυσικό εμπόδιο για τη μετακίνηση των ψαριών, επηρεάζοντας τον πληθυσμό τους. Οι επιπτώσεις αυτές είναι κυρίως ορατές κατά τη φάση λειτουργίας του φράγματος, ενώ η διαχείρισή τους είναι κρίσιμη για τη συμμόρφωση με την Οδηγία Πλαίσιο για τα Νερά (2000/60/EK) (Efstratiadis, 2023).

4.6.2 Μέτρα μετριασμού επιπτώσεων των Αγωγών Εκκένωσης

Για την ελαχιστοποίηση αυτών των επιπτώσεων, εφαρμόζονται τεχνικές όπως η τήρηση οικολογικής παροχής μέσω ειδικών διατάξεων και η ελεγχόμενη απελευθέρωση νερού για τη μείωση της θολότητας.

4.7 Οδικά Έργα

(Είναι Υποστηρικτικά & Λειτουργικά Έργα)

Τα οδικά έργα αποτελούν κρίσιμο συνοδό έργο στην κατασκευή φραγμάτων, καθώς είναι απαραίτητα για την πρόσβαση, τη μεταφορά υλικών και τη λειτουργία της υποδομής. Συχνά περιλαμβάνουν την κατασκευή νέων οδών ή την αναβάθμιση υφιστάμενων, με προδιαγραφές ασφαλτόδρομου για την εξυπηρέτηση βαρέων οχημάτων. (Πηγή: ypethe.gr)

Τα οδικά έργα σε φράγματα διακρίνονται σε:

- 1) **Οδοποιία Πρόσβασης:** Κατασκευή δρόμων για τη σύνδεση του εργοταξίου με το εθνικό ή επαρχιακό οδικό δίκτυο, απαραίτητη για τη μεταφορά μηχανημάτων και αδρανών υλικών.

- 2) **Εσωτερική Οδοποιία Εργοταξίου:** Δημιουργία οδικού δικτύου εντός της περιοχής του έργου, που επιτρέπει την κίνηση μεταξύ της λατομικής ζώνης, των εγκαταστάσεων παραγωγής σκυροδέματος και της θέσης του φράγματος.
- 3) **Παράκαμψη Υφιστάμενων Οδών:** Σε περιπτώσεις όπου η δημιουργία του ταμιευτήρα πλημμυρίζει παλιούς δρόμους, κατασκευάζονται νέες οδικές αρτηρίες σε υψηλότερο υψόμετρο.
- 4) **Οδοί Λειτουργίας/Συντήρησης:** Μόνιμοι δρόμοι που παραμένουν μετά την κατασκευή για την επιθεώρηση και συντήρηση του φράγματος και των ηλεκτρομηχανολογικών συσκευών του (Μίχας et al., 2015).

4.7.1 Περιβαλλοντικές επιπτώσεις των οδικών έργων

Η κατασκευή οδικών έργων, απαραίτητων για την πρόσβαση σε εργοτάξια φραγμάτων, προκαλεί σημαντικές και συχνά μόνιμες περιβαλλοντικές επιπτώσεις, οι οποίες επηρεάζουν τη γεωμορφολογία, τα οικοσυστήματα και την τοπική κοινωνία (Κανταρτζής, 2012).

Αν και τα φράγματα αποτελούν έργα υποδομής, οι συνοδευτικές οδικές υποδομές επιφέρουν:

- 1) **Γεωμορφολογικές Αλλοιώσεις:** Η διάνοιξη δρόμων σε ορεινές περιοχές απαιτεί εκτεταμένες εκσκαφές και επιχωματώσεις. Αυτό οδηγεί σε αλλοίωση του φυσικού ανάγλυφου, αποψίλωση της βλάστησης και αυξημένο κίνδυνο διάβρωσης του εδάφους (Τσώχος, 1997).
- 2) **Κατακερματισμός Οικοτόπων:** Οι νέοι οδικοί άξονες διασπούν ενιαία φυσικά οικοσυστήματα, εμποδίζοντας τη μετακίνηση της πανίδας και μειώνοντας τη βιοποικιλότητα της περιοχής.
- 3) **Ρύπανση και Σκόνη:** Κατά τη διάρκεια της κατασκευής, η κίνηση βαρέων οχημάτων προκαλεί σημαντική ατμοσφαιρική ρύπανση, παραγωγή σκόνης και θόρυβο, επηρεάζοντας την τοπική χλωρίδα και πανίδα.
- 4) **Υδρολογικές Επιπτώσεις:** Οι οδοί μπορεί να αλλάζουν τη φυσική ροή των επιφανειακών υδάτων, προκαλώντας πλημμυρικά φαινόμενα ή αποξήρανση υγροτόπων, ενώ η απορροή από τους δρόμους μπορεί να επιβαρύνει τα γειτονικά υδάτινα σώματα με ιζήματα και ρύπους (Μερτζάνης et al., 2002).

- 5) **Αισθητική Υποβάθμιση:** Η διάνοιξη δρόμων σε παρθένα τοπία προκαλεί μόνιμη αισθητική υποβάθμιση, η οποία συχνά δεν αποκαθίσταται πλήρως μετά την ολοκλήρωση του έργου.

Συμπερασματικά, αν και τα οδικά έργα είναι αναγκαία για την κατασκευή των φραγμάτων, αποτελούν πηγή άμεσων περιβαλλοντικών πιέσεων που απαιτούν προσεκτικό σχεδιασμό και μέτρα αποκατάστασης.

4.7.2 Αντιμετώπιση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων από τα οδικά έργα κατά την κατασκευή φραγμάτων.

Η αντιμετώπιση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων από τα οδικά έργα που είναι απαραίτητα για την κατασκευή φραγμάτων (προσβάσεις, οδοί παράκαμψης, μεταφορά υλικών) απαιτεί ολοκληρωμένο σχεδιασμό και εφαρμογή μέτρων μετριασμού σε όλη τη διάρκεια του έργου. Οι οδοί αυτοί προκαλούν διατάραξη του εδάφους, διάβρωση, ατμοσφαιρική ρύπανση, θόρυβο, καθώς και κατακερματισμό οικοτόπων (Chavhan & Nistane, 2026).

Βασικές Αρχές:

1. **Ελαχιστοποίηση:** Κατασκευή μόνο των απαραίτητων οδικών έργων.
2. **Παρακολούθηση:** Τακτικός έλεγχος των περιβαλλοντικών όρων από επιβλέποντες μηχανικούς κατά τη διάρκεια του έργου.

Σχεδιασμός και Προετοιμασία (Πριν την Κατασκευή)

- **Βελτιστοποίηση χάραξης:** Επιλογή διαδρομών που αποφεύγουν ευαίσθητα οικοσυστήματα (περιοχές Natura 2000, δάση, υγροτόπους) και ελαχιστοποιούν τις εκχερσώσεις.
- **Χρήση Υφιστάμενων Οδών:** Προτίμηση για αναβάθμιση υπαρχόντων δασικών ή αγροτικών δρόμων αντί για διάνοιξη νέων, ώστε να μειωθεί το αποτύπωμα (Bhatti, 2023).
- **Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων (ΜΠΕ):** Εκπόνηση λεπτομερούς ΜΠΕ που περιλαμβάνει μέτρα πρόληψης και αποκατάστασης, η οποία αποτελεί δεσμευτικό έγγραφο για τον ανάδοχο.

Φάση Κατασκευής (Μέτρα Μετριασμού)

- **Διαχείριση Χωμάτων και Διάβρωσης:** Εγκατάσταση φραγμάτων ιζημάτων(silt fences) και δεξαμενές καθίζησης για την πρόληψη μεταφοράς φερτών υλικών σε υδάτινα ρεύματα. Άμεση σταθεροποίηση πρανών με φύτευση (υδρολίπανση) ή γεωυφάσματα για την αποφυγή υποσκαφών.
- **Έλεγχος Σκόνης και Θορύβου:** Συστηματική διαβροχή των χωματόδρομων και των υλικών (αδρανή) για τη μείωση της σκόνης. Περιορισμός των εργασιών σε ώρες κοινής ησυχίας και χρήση μηχανημάτων με σιγαστήρες. (Αναφορά Νο4)
- **Προστασία Υδάτων:** Αποθήκευση καυσίμων και χημικών σε ειδικούς στεγανούς χώρους, μακριά από ρέματα, για την αποφυγή ρύπανσης από διαρροές.
- **Διαχείριση Αποβλήτων:** Ορθή διαχείριση των υλικών εκσκαφής (προσωρινή απόθεση και επαναχρησιμοποίηση για αποκατάσταση).

Φάση Λειτουργίας και Αποκατάστασης

- **Αποκατάσταση τοπίου:** Αναδάσωση ή ανασύσταση της βλάστησης στις περιοχές που χρησιμοποιήθηκαν ως εργοτάξια ή προσωρινοί δρόμοι πρόσβασης.
- **Τεχνικά Έργα:** Κατασκευή σωληνωτών οχετών για τη διασφάλιση της φυσικής ροής των υδάτων και της διέλευσης μικρών ζώων (Chavhan & Nistane, 2026).

5. Περιβαλλοντικές επιπτώσεις κατά το στάδιο λειτουργίας φραγμάτων

Η λειτουργία ενός φράγματος ασκεί πολλαπλές, μακροχρόνιες και διασυνδεδεμένες πιέσεις στο φυσικό περιβάλλον και στις κοινωνικο-οικονομικές δομές της περιοχής. Οι επιπτώσεις αυτές εκδηλώνονται σε υδρολογικό, υδροχημικό, γεωμορφολογικό και βιολογικό επίπεδο και απαιτούν συνεχή παρακολούθηση, προσαρμοστική διαχείριση και κατάλληλα τεχνικά και μη-τεχνικά μέτρα μετριασμού. Στο παρόν κείμενο συνοψίζονται οι βασικές κατηγορίες επιπτώσεων κατά τη διάρκεια ζωής ενός φράγματος, οι μηχανισμοί τους και οι δυνατότητες μετριασμού, με ενδεικτική βιβλιογραφική τεκμηρίωση.

5.1 Αλλαγές στην υδρολογία και ροή

Η ρύθμιση ροής από φράγματα τροποποιεί το φυσικό καθεστώς ροής ποταμών: μειώνει τη διακύμανση εποχικών αιχμών, ελέγχει πλημμυρικά επεισόδια αλλά ταυτόχρονα μειώνει την παροχή νερού κατάντη ή μετατοπίζει τις αιχμές σε διαφορετικές περιόδους (Poff et al., 1997). Η αλλαγή του υδρογράμματος επηρεάζει οικολογικές διεργασίες εξαρτώμενες από τη χρονική δυναμική της ροής (αναπαραγωγή, μεταναστεύσεις, σύνθεση ιζημάτων). Οι ελεγχόμενες εκροές (environmental flows) μπορούν να αναπαράγουν κρίσιμα στοιχεία του φυσικού καθεστώτος, αλλά απαιτούν τεκμηριωμένη σχεδίαση και εφαρμογή (Arthington et al., 2018).

5.2 Διακοπή διασυνδεσιμότητας και μετακινήσεις ειδών

Τα φράγματα αποτελούν φυσικά εμπόδια για την κίνηση ιχθύων και άλλων υδρόβιων οργανισμών, με συνέπειες στη γενετική σύνθεση, στη μετανάστευση για αναπαραγωγή και στη βιωσιμότητα πληθυσμών (Liermann et al., 2012). Οι ιχθυοδιόδους (fish passages) και άλλες δομές διευκόλυνσης χρήζουν κατάλληλου σχεδιασμού και παρακολούθησης, καθώς συχνά η απόδοσή τους είναι περιορισμένη (Noonan et al., 2012). Η απομόνωση τμημάτων ποτάμιου δικτύου οδηγεί σε τοπικές μειώσεις βιοποικιλότητας και σε αλλαγές στη λειτουργία τροφικών αλυσίδων.

5.3 Συγκράτηση ιζημάτων και μορφολογικές αλλαγές

Οι ταμιευτήρες παγιδεύουν σημαντικό ποσοστό των φερτών υλών, μειώνοντας την παροχή ιζημάτων κατάντη. Αυτή η «αφαίρεση» της παροχής οδηγεί σε «hungry water» φαινόμενα. Αυξημένη διάβρωση κοίτης και όχθων, απώλεια παραποτάμιων προσχώσεων, υποβάθμιση δέλτα και ακτογραμμών (Kondolf, 1997; Walling & Collins, 2008). Η συσσώρευση ιζημάτων στον ταμιευτήρα μειώνει τη ωφέλιμη χωρητικότητα και απαιτεί τεχνικές αποκατάστασης (εκσκαφές, διαχείριση πηγών διάβρωσης).

5.4 Απελευθέρωση ρυπασμένων ιζημάτων ή τοξικών ουσιών που έχουν εναποτεθεί ανάντη.

Η απελευθέρωση ρυπασμένων ιζημάτων ή τοξικών ουσιών που έχουν συσσωρευτεί ανάντη (πίσω δηλαδή) από ένα φράγμα, αποτελεί μια από τις σημαντικότερες περιβαλλοντικές προκλήσεις. Ειδικά κατά τη διάρκεια εργασιών απομάκρυνσης φραγμάτων ή ελεγχόμενων εκκενώσεων (flushing). Τα ιζήματα αυτά λειτουργούν ως «αποθήκες» ρύπων που έχουν συσσωρευτεί για δεκαετίες, και η απελευθέρωσή τους μπορεί να μετατρέψει τον ταμιευτήρα από «παγίδα» ρύπων σε πηγή ρύπανσης για το κατάντη οικοσύστημα (Evans, 2015).

Στα συσσωρευμένα ιζήματα ανάντη των φραγμάτων συχνά εντοπίζονται:

- **Βαρέα Μέταλλα:** Όπως υδράργυρος (Hg), μόλυβδος (Pb), αρσενικό (As), κάδμιο (Cd), τα οποία είναι ιδιαίτερα τοξικά.
- **Οργανικοί Ρύποι:** Πολυχλωριωμένα διφαινύλια (PCBs), πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες (PAHs) και παρασιτοκτόνα (π.χ. DDT).
- **Θρεπτικά Συστατικά:** Υψηλές συγκεντρώσεις φωσφόρου και αζώτου, που μπορούν να προκαλέσουν ευτροφισμό.
- **Θειούχα Μεταλλευτικά Απορρίμματα:** Σε περιπτώσεις κοντά σε μεταλλεία, μπορεί να προκαλέσουν όξινη απορροή (Robert et al., 2017).

Κατά την απελευθέρωση, οι ρύποι επανααιωρούνται, καθιστώντας τους βιοδιαθέσιμους στους υδρόβιους οργανισμούς. Τα βαρέα μέταλλα και οι χημικές ουσίες εισέρχονται στην τροφική αλυσίδα, επηρεάζοντας τα ψάρια και τα ασπόνδυλα. Η απόθεση λεπτόκοκκων ρυπασμένων ιζημάτων μπορεί να καλύψει τα χαλίκια στους πυθμένες των ποταμών (riffles), καταστρέφοντας τους χώρους αναπαραγωγής ψαριών. Η υψηλή συγκέντρωση αιωρούμενων

σωματιδίων μειώνει το φως, περιορίζοντας τη φωτοσύνθεση και αυξάνοντας τη θερμοκρασία του νερού (Robert et al., 2017).

Η διαχείριση αυτών των ιζημάτων είναι κρίσιμη για την αποφυγή περιβαλλοντικής καταστροφής. Συνίσταται απομάκρυνση με μηχανικά μέσα των μολυσμένων ιζημάτων πριν από την απομάκρυνση του φράγματος. Η σταδιακή μείωση της στάθμης του νερού βοηθά στον έλεγχο της μεταφοράς ιζημάτων. Επίσης απαιτείται συνεχής έλεγχος της ποιότητας του νερού και των ιζημάτων κατάντη. Σε ορισμένες περιπτώσεις, η απελευθέρωση μικρών ποσοτήτων ιζημάτων μπορεί να είναι αναγκαία για την αποκατάσταση των κατάντη οικοσυστημάτων, αρκεί τα ιζήματα να μην είναι τοξικά (Takashi & Rashid, 2012).

5.5 Ποιότητα νερού και βιοχημικές διεργασίες

Τα φράγματα μετασχηματίζουν τμηματικά τα ποτάμια σε λιμναία περιβάλλοντα, δημιουργώντας θερμοστρωμάτωση και χημικό στρωματισμό. Στον υπολίμνιο χώρο δημιουργούνται υποξικές ή αναερόβιες συνθήκες, που επιτρέπουν την απελευθέρωση θρεπτικών (κυρίως φωσφόρου) από τα ιζήματα, ενισχύοντας τον ευτροφισμό και τον κίνδυνο τοξικών ανθοφοριών φυτοπλαγκτού (Wetzel, 2001; Nurnberg, 1984). Επιπλέον, η αλλαγή θερμοκρασίας και χημείας των νερών επηρεάζει την καταλληλότητα για ύδρευση και άρδευση, και μπορεί να αυξήσει την παρουσία παθογόνων μικροοργανισμών. Η συγκέντρωση ρυπαντών από επιφανειακές απορροές (αγροχημικά, καύσιμα) επιβαρύνει περαιτέρω τα νερά του ταμιευτήρα και κατάντη.

5.6 Εκπομπές αερίων θερμοκηπίου

Η αποσύνθεση οργανικής ύλης εντός των ταμιευτήρων παράγει μεθάνιο (CH_4) και διοξείδιο του άνθρακα (CO_2). Οι εκπομπές αυτές μπορεί να είναι σημαντικές, ειδικά σε θερμά κλίματα, σε ταμιευτήρες με υψηλή πρώτη βιομάζα ή μεγάλη οργανική παραγωγή, και συνιστούν ένα παράγοντα που πρέπει να ενσωματωθεί στην εκτίμηση του κλιματικού αποτυπώματος υδροηλεκτρικών έργων (Deemer et al., 2016).

5.7 Υπόγεια ύδατα και σχέση επιφανειακού – υπόγειου νερού

Οι επιδράσεις των ταμιευτήρων στην στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα είναι περίπλοκες: μπορεί να υπάρξουν τοπικές αυξήσεις λόγω επανατροφοδότησης, αλλά και μειώσεις διήθησης κατάντη όταν η επιφανειακή ροή μειώνεται. Τέτοιες μεταβολές επηρεάζουν πηγές, γεωτρήσεις και την υδρολογική προσιτότητα των παρόχθιων περιοχών (Winter et al., 1998).

5.8 Επιπτώσεις στα χερσαία οικοσυστήματα και παρόχθιες ζώνες

Η δημιουργία και η διατήρηση σταθερών στάθμων νερού αλλοιώνει τις παρόχθιες ζώνες, μεταβάλλει τους υγροτοπικούς βιότοπους και επηρεάζει τη δομή των ξηρών οικοσυστημάτων στην άκρη του ταμιευτήρα. Ορισμένα είδη ευνοούνται προσωρινά, αλλά γενικά οι φυσικοί υγρότοποι και οι φυσικές μεταβατικές ζώνες υφίστανται υποβάθμιση.

5.9 Επιπτώσεις στην ιχθυοπανίδα και στις αλιευτικές δραστηριότητες

Οι μεταβολές στην ενδιαιτηματική δομή και στις ροές επηρεάζουν τον πληθυσμό εμπορικών και οικολογικών ειδών. Σε ορισμένες περιπτώσεις, ο ταμιευτήρας δημιουργεί νέες αλιευτικές ευκαιρίες· όμως πολλές φορές παρατηρείται μακροπρόθεσμη μείωση των ιχθυοαποθεμάτων στο ποτάμι, ανάγκη διαχείρισης αλιείας και συχνές συγκρούσεις συμφερόντων.

5.10 Γεωτεχνικά ζητήματα και ασφάλεια κατά τη λειτουργία

η δομική ακεραιότητα του φράγματος, οι πιέσεις από συγκεντρωμένα ύδατα και οι γεωτεχνικές μεταβολές (καθιζήσεις, κορεσμός πρανών) απαιτούν συνεχή παρακολούθηση και συντήρηση. Αστοχίες δομών ή ατυχήματα οδηγούν σε σοβαρές περιβαλλοντικές και κοινωνικές συνέπειες, γι' αυτό η ασφάλεια φραγμάτων και τα σχέδια έκτακτης ανάγκης είναι κρίσιμα.

5.11 Κοινωνικές, οικονομικές και πολιτιστικές επιπτώσεις

Η λειτουργία φράγματος μεταβάλλει οικονομικές δραστηριότητες (ύδρευση, άρδευση, παραγωγή ενέργειας), αλλά ταυτόχρονα μπορεί να προκαλέσει απώλεια γεωργικών εκτάσεων, μετεγκαταστάσεις, αλλαγή τοπικών εισοδημάτων και υποβάθμιση πολιτιστικής κληρονομιάς. Η συμμετοχική διαχείριση και τα προγράμματα αποζημιώσεων/επανεγκατάστασης συχνά δεν αρκούν χωρίς μακροχρόνια προγράμματα στήριξης.

5.12 Μακροχρόνιες δομικές/οικολογικές μεταβολές – Συσσωρευτικά αποτελέσματα

Η πλήρωση φραγμάτων επιφέρει σημαντικές, μακροχρόνιες δομικές και οικολογικές μεταβολές, οι οποίες συσσωρεύονται με την πάροδο του χρόνου, μετατρέποντας μόνιμα το φυσικό και υδρολογικό τοπίο. Συντελείται μετατροπή των ποτάμιων οικοσυστημάτων σε λιμναία (φατνιακά) οικοσυστήματα, οδηγώντας σε απώλεια ενδιαιτημάτων για είδη που απαιτούν τρεχούμενο νερό. Απαιτείται συνεχής παρακολούθηση της παραμόρφωσης, της διαρροής (διαπίδυσης) και της πίεσης των πόρων στο σώμα του φράγματος και τα θεμέλια, καθώς το φορτίο του νερού επιδρά στο γεωλογικό υπόβαθρο. Η πλήρωση μπορεί να προκαλέσει φαινόμενα ρευστοποίησης, καθιζήσεων ή ακόμη και αυξημένη σεισμικότητα (προκλητή σεισμικότητα) λόγω του βάρους του ταμιευτήρα (Ντούνιας, 2006). Αλλαγή στην παροχή του ποταμού (μείωση αιχμών πλημμύρας, αύξηση θερινής παροχής), η οποία επηρεάζει τις παρόχθιες ζώνες. Η μεγάλη επιφάνεια νερού στον ταμιευτήρα οδηγεί σε αυξημένες απώλειες νερού σε σχέση με το φυσικό ποτάμι (Φιλίντας & Πολύζος, 2008). Οι μεταβολές αυτές, αν και συχνά σχεδιάζονται για να εξυπηρετούν σκοπούς (ύδρευση, άρδευση, ενέργεια), δημιουργούν νέα, τεχνητά περιβάλλοντα που απαιτούν μακροχρόνια διαχείριση (Κοτζαγεωργής et al., 2009).

5.13 Συσσωρευτικά και τοπικά αποτελέσματα σε λεκάνες απορροής

Η παρουσία πολλών φραγμάτων σε μια λεκάνη προκαλεί συσσωρευτικές επιπτώσεις: συρρίκνωση ροής, βαθειάς ρύπανση, αλλαγές ιζημάτων και απώλειες οικοσυστημικής συνέχειας. Η εκτίμηση αυτών των επιπτώσεων απαιτεί ολιστική προσέγγιση σε επίπεδο λεκάνης (Nilsson et al., 2005).

5.14 Άλλες ανθρωπογενείς επιπτώσεις

Ο ταμιευτήρας μπορεί να μετατραπεί σε πόλο έλξης για τουριστικές δραστηριότητες (κωπηλασία, κολύμβηση). Η μεγάλη επιφάνεια νερού μπορεί να επηρεάσει το τοπικό μικροκλίμα, αυξάνοντας την υγρασία. Συνολικά, η λειτουργία ενός φράγματος απαιτεί ολοκληρωμένη διαχείριση για την εξισορρόπηση των οφελών στην ύδρευση/άρδευση με το κοινωνικό και περιβαλλοντικό κόστος.

5.15 Μέτρα μετριασμού και βέλτιστες πρακτικές

Η μείωση αρνητικών επιπτώσεων στηρίζεται σε μείγμα τεχνικών, οργανωτικών και πολιτικών μέτρων: εφαρμογή οικολογικών ροών, βελτιστοποίηση λειτουργίας και εκτόνωσης, εγκατάσταση αποτελεσματικών ιχθυοδιόδων και δίοδων διαφυγής, διαχείριση ιζημάτων, αφαίρεση/διαχείριση βιομάζας πριν την πλήρωση, προγράμματα παρακολούθησης ποιότητας νερού και βιοποικιλότητας, ESMP και συμμετοχικά σχήματα διαχείρισης (Arthington et al., 2018; World Commission on Dams, 2000; Vicuna et al., 2016). Επιπλέον, ψηφιοποίηση, SCADA και αισθητήρια δίνουν δυνατότητα ευέλικτης και προληπτικής διαχείρισης.

5.16 Συμπέρασμα

Η λειτουργία των φραγμάτων επιφέρει πολύπλευρες επιπτώσεις οι οποίες απαιτούν διαρκή παρακολούθηση, διεπιστημονική αξιολόγηση και προσαρμοστική διαχείριση. Η ισορροπία μεταξύ παροχής υπηρεσιών (ύδρευση, άρδευση, ενέργεια) και προστασίας οικοσυστημάτων προϋποθέτει πολιτικές που ενσωματώνουν επιστημονικά τεκμήρια, κοινωνική συμμετοχή και οικονομικά εργαλεία, ώστε τα φράγματα να λειτουργούν μέσα σε ένα πλαίσιο βιωσιμότητας.

6. Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις κατά την ολοκλήρωση του κύκλου ζωής των φραγμάτων

Η ολοκλήρωση του κύκλου ζωής ενός φράγματος —που περιλαμβάνει την απόφαση παραμονής, την επαναλειτουργία, την απόσυρση/αποκατάσταση ή την απλή παύση λειτουργίας— αποτελεί κρίσιμη στιγμή για την περιβαλλοντική διαχείριση της λεκάνης απορροής. Η αποκατάσταση ή αφαίρεση ενός φράγματος προκαλεί πολύπλευρες, δυναμικές και πολλές φορές απρόβλεπτες επιπτώσεις στο υδρολογικό, γεωμορφολογικό, χημικό και βιολογικό πλαίσιο, καθώς και σημαντικές κοινωνικό-οικονομικές και πολιτιστικές συνέπειες. Το παρακάτω κείμενο συνοψίζει τις βασικές ομάδες επιπτώσεων, τους μηχανισμούς τους και τις βέλτιστες πρακτικές διαχείρισης.

6.1 Ελευθέρωση ιζημάτων και ρυπαντών

Κατά την απομάκρυνση ή τη μερική εκκένωση ταμιευτήρα, τα ιζήματα που έχουν συσσωρευτεί επί δεκαετίες μπορούν να κινητοποιηθούν και να μεταφερθούν κατάντη, αυξάνοντας την θολότητα (TSS), τροποποιώντας τη χημεία του νερού και μεταφέροντας συσσωρευμένους ρύπους (βαρέα μέταλλα, ουσίες οργανικής προέλευσης). Η αποκατάσταση πρέπει να βασίζεται σε λεπτομερή αξιολόγηση ιζημάτων (ποσότητα, κόκκος, χημική σύσταση) και σε σενάρια ελεγχόμενης απελευθέρωσης· η απότομη απελευθέρωση μπορεί να προκαλέσει εκτεταμένη περιβαλλοντική βλάβη στα οικοσυστήματα κατάντη (Kondolf et al., 2006; Pizzuto, 2011).

6.2 Μορφολογική δυναμική κοίτης

Η απομάκρυνση φράγματος οδηγεί σε αποκατάσταση ροής και μεταφοράς ιζημάτων, με επακόλουθες τάσεις επαναδιαμόρφωσης κοίτης, επιθετική διάβρωση ή, αντιθέτως, απόθεση σε τμήματα που δέχονται υψηλά φορτία. Η «προσαρμοστική» ανταπόκριση της κοίτης μπορεί να διαρκέσει δεκαετίες, και έχει επιπτώσεις στην υποδομή, στην παροχή ενδαιτημάτων και στην ευστάθεια πρανών (Kondolf, 1997; Walling & Collins, 2008).

6.3 Οικολογική αποκατάσταση και κίνδυνοι για βιοκοινότητες

Η κατάργηση φράγματος αποκαθιστά την ποτάμια συνέχεια, επιτρέποντας τις μετακινήσεις ειδών και ανάκτηση πληθυσμιακών δομών που είχαν διαταραχθεί. Παράλληλα όμως, η απότομη αλλαγή συνθηκών —θολότητα, διακυμάνσεις παροχής, θερμοκρασιακά άλματα—

μπορεί να προκαλέσει μαζική θνησιμότητα ή απώλεια ευαίσθητων ειδών. Η σχεδιασμένη, σταδιακή απομάκρυνση και η εμπλοκή βιολόγων με κατάλληλα μέτρα (προστατευτικές περιόδους, μεταφορές ευπαθών πληθυσμών) αυξάνουν τις πιθανότητες θετικής ανάκαμψης (Stanley & Doyle, 2003; Bednarek, 2001).

6.4 Χημικές επιπτώσεις και ποιότητα νερού

Μετά την απομάκρυνση, η ποιότητα του νερού μπορεί να επιδεινωθεί βραχυπρόθεσμα (όξυνση τοξικότητας, μείωση DO) εξαιτίας της έκπλυσης ιζημάτων και της διαταραχής αναερόβιων ζωνών. Μακροπρόθεσμα, η ανάκτηση φυσικών ροών και η μείωση θερμοστρωμάτωσης μπορούν να βελτιώσουν τη διαλυμένη οξυγόνωση και να μειώσουν τον ευτροφισμό, εφόσον οι ρυπάνσεις ελέγχονται (Wetzel, 2001; Nurnberg, 1984).

6.5 Εκπομπές αερίων θερμοκηπίου

Η μείωση του όγκου νερού και η αποξήρανση τμημάτων ταμιευτήρα μπορούν να μεταβάλουν συνθήκες παραγωγής CH₄ και CO₂. Σε κάποιες περιπτώσεις η απομάκρυνση μειώνει τα συνολικά αέρια του θερμοκηπίου που σχετίζονται με ταμιευτήρα, αλλά οι βραχυπρόθεσμες εκπομπές κατά την αποσυναρμολόγηση και η έκθεση και οξείδωση οργανικής ύλης απαιτούν αξιολόγηση (Deemer et al., 2016).

6.6 Υδρολογικές επιπτώσεις και υπόγεια ύδατα

Η επαναφορά φυσικών ροών επηρεάζει τη διήθηση, τις συναλλαγές επιφανειακού-υπόγειου νερού και τις υδροπεριφερειακές ισορροπίες. Μπορεί να επανέλθουν φυσικές συνθήκες επαναφόρτισης σε ορισμένες ζώνες, αλλά και να εμφανιστούν τοπικές μειώσεις στάθμης εκεί που ο ταμιευτήρας λειτουργούσε ως πηγή. Απαιτείται παρακολούθηση γεωτρήσεων και πηγών (Winter et al., 1998).

6.7 Κοινωνικές, πολιτιστικές και οικονομικές συνέπειες

Η αποκατάσταση μπορεί να επαναφέρει γεωργικές εκτάσεις, να αποκαταστήσει αλιευτικές διαδρομές και να βελτιώσει τοπικές υπηρεσίες οικοσυστήματος· ταυτόχρονα όμως προκαλείται απώλεια ταμιευτήριας χρήσης (άρδευση, ύδρευση, ενέργεια), αλλαγές στην τοπική οικονομία και ζητήματα ιδιοκτησίας και αποζημίωσης. Η πολιτιστική κληρονομιά που

είχε βυθιστεί μπορεί αναπάντεχα να αποκαλυφθεί, απαιτώντας μέτρα τεκμηρίωσης και διαχείρισης.

6.8 Γεωτεχνική ασφάλεια και κατάλοιπα υποδομών

Η αφαίρεση κατασκευών, η διαχείριση υπολειμμάτων (μπάζα, μεταλλικά στοιχεία) και η σταθεροποίηση πρανών απαιτούν γεωτεχνικό σχεδιασμό. Κακή διαχείριση ενδέχεται να οδηγήσει σε κατολισθήσεις, διάβρωση και απώλεια ασφάλειας κατάντη.

6.9 Συστημικές και συσσωρευτικές επιπτώσεις

Σε λεκάνες με πολλαπλά φράγματα, η αφαίρεση ενός φράγματος επιδρά στο συνολικό σύστημα ροής και ιζημάτων· απαιτείται ανάλυση σε επίπεδο λεκάνης για να αποτιμηθούν οι συσσωρευτικές συνέπειες (Nilsson et al., 2005).

6.10 Βέλτιστες πρακτικές και μετριασμός

Η διαχείριση της ολοκλήρωσης κύκλου ζωής πρέπει να περιλαμβάνει: εκτενή αξιολόγηση ιζημάτων και ρυπαντών· σενάρια ελεγχόμενης απελευθέρωσης ιζημάτων· σταδιακές απολήψεις/προγραμματισμό φάσεων αφαίρεσης· προγράμματα μεταφοράς ή προστασίας ειδών· συνέργειες με τοπικές κοινότητες για κοινωνική αποκατάσταση· μακροχρόνια παρακολούθηση (υδρολογία, ποιότητα νερού, βιοποικιλότητα, γεωτεχνική)· και ευέλικτα σχέδια διαχείρισης που ενσωματώνουν προσαρμοστικές διαδικασίες (Stanley & Doyle, 2003; Poff et al., 2016).

6.11 Συμπέρασμα

Η ολοκλήρωση του κύκλου ζωής των φραγμάτων δεν είναι απλά τεχνική διαδικασία· αποτελεί ευκαιρία για οικολογική αποκατάσταση αλλά και πηγή νέων κινδύνων. Η επιτυχία εξαρτάται από προσεκτικό, διεπιστημονικό σχεδιασμό, εμπλεκόμενες κοινότητες, και μακροπρόθεσμη παρακολούθηση. Η απόφαση για απομάκρυνση ή διατήρηση πρέπει να βασίζεται σε σαφή τεκμηρίωση ωφελειών-κόστους, συμπεριλαμβανομένων περιβαλλοντικών, κοινωνικών και πολιτιστικών αξιών.

7. Μέθοδοι εκτίμησης Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων για την κατασκευή φραγμάτων

Η εκτίμηση περιβαλλοντικών επιπτώσεων (ΕΠΕ) για την κατασκευή φραγμάτων είναι μια πολύπλοκη διαδικασία, δεδομένου ότι τα έργα αυτά επιφέρουν σημαντικές αλλαγές στο φυσικό και κοινωνικό περιβάλλον. Η διαδικασία της εκτίμησης απαιτεί συστηματική, διεπιστημονική μεθοδολογία ικανή να εντοπίσει, να ποσοτικοποιήσει, να αξιολογήσει και να προτείνει μέτρα μετριασμού για τις επιδράσεις σε υδρολογία, ποιότητα νερού, ιζηματομεταφορά, βιοποικιλότητα, γεωτεχνικά θέματα και κοινωνικές/οικονομικές συνέπειες. Λόγω της πολυπλοκότητας και των μακροπρόθεσμων επιπτώσεων, οι σύγχρονες μεθοδολογίες συνδυάζουν περιγραφικές αξιολογήσεις με ποσοτικά μοντέλα, χωρικές αναλύσεις, αξιολογήσεις κινδύνου και συμμετοχικές διαδικασίες (Ελαφρού & Λουράκη, 2019).

Η διαδικασία περιλαμβάνει τρία διαδοχικά βήματα: εντοπισμό, πρόβλεψη και αξιολόγηση των επιπτώσεων, οδηγώντας σε προτάσεις για μέτρα μετριασμού.

7.1 Βασικές μέθοδοι Εκτίμησης Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων (Scoping)

Πριν προχωρήσουμε στην παρουσίαση των μεθόδων ΕΠΕ είναι χρήσιμο να αναφέρουμε την έννοια του scoping

Το scoping (διερεύνηση/καθορισμός πεδίου) είναι μια ανοιχτή διαδικασία για την πρώτη προσέγγιση και τον αρχικό προγραμματισμό των έργων ή ερευνών. Προσδιορίζεται το αντικείμενο, τα όρια, οι στόχοι και οι σημαντικές παράμετροι που πρέπει να αντιμετωπιστούν. Σκοπός του είναι να χαρτογραφήσει τι περιλαμβάνεται στο υπό υλοποίηση έργο, να εντοπίσει κενά και να θέσει τα θεμέλια για την σωστή εκτέλεση του έργου.

Κύρια χαρακτηριστικά του scoping:

- **Καθορισμός ορίων (Scoping Procedure):** Ορίζεται τι περιλαμβάνει και τι εξαιρείται από ένα έργο.
- **Διερευνητική μελέτη (Scoping Paper/Review):** Είναι η χαρτογράφηση της υπάρχουσας βιβλιογραφίας για να αναδειχθεί το εύρος ενός θέματος, χωρίς ιδιαίτερη όμως εμβάθυνση.

- **Ανάλυση περιβάλλοντος:** Εξετάζονται άνθρωποι, διαδικασίες και τεχνολογίες στην αρχή ενός έργου.
- **Διαδικασία σχεδιασμού:** Βοηθά στον εντοπισμό κινδύνων και την αποφυγή περιττών εργασιών.

Συνοπτικά, το scoring βοηθά να καταλάβουμε «τι πρέπει να γίνει» πριν ξεκινήσουμε την κύρια εργασία.

7.1.1 Λίστες Ελέγχου (Checklists)

Οι Λίστες Ελέγχου (Checklists) αποτελούν μία από τις παλαιότερες και πιο διαδεδομένες μεθόδους εκτίμησης περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Πρόκειται για δομημένα έντυπα που απαριθμούν πιθανούς κοινωνικούς και περιβαλλοντικούς παράγοντες (π.χ. υδρολογία, ποιότητα νερού, χλωρίδα/πανίδα, θόρυβος, κοινωνικοοικονομικά στοιχεία) και αναζητούν την αξιολόγηση της παρουσίας, της έντασης, της διάρκειας και της σημαντικότητας κάθε επίπτωσης για ένα συγκεκριμένο έργο (Canter, 1996).

Οι λίστες αυτές αποτελούνται συνήθως από κατηγορίες περιβαλλοντικών στοιχείων και υπό-ερωτήματα που καθοδηγούν τον αναλυτή να εξετάσει συγκεκριμένες επιπτώσεις (π.χ. αύξηση θορύβου, απώλεια οικοτόπων, κ.τ.λ.) Εξασφαλίζουν ότι δεν παραλείπονται βασικά θέματα (completeness), διευκολύνουν τον συστηματικό συλλογισμό και παρέχουν τεκμηριωμένο υπόβαθρο για τις επόμενες φάσεις της ΕΠΕ (πρόβλεψη, αξιολόγηση, μέτρα μετριασμού). Είναι εύκολες στη χρήση από ομάδες πολλαπλών ειδικοτήτων και χρήσιμες όταν απαιτείται γρήγορη αρχική εκτίμηση. Βοηθά στην ομοιογενή κάλυψη θεματικών πεδίων και μειώνουν την πιθανότητα παραλείψεων. Καταγράφουν ρητά τα εξεταζόμενα ζητήματα και τα συμπεράσματα, διευκολύνοντας την επικοινωνία με ενδιαφερόμενους και αρχές (Glasson et al., 2013).

Περιορίζονται όμως συχνά σε ποιοτικές απαντήσεις (ναι/όχι, υψηλό/μέσο/χαμηλό) και δεν παρέχουν βάθος ποσοτικοποίησης. Προκαθορισμένα στοιχεία της λίστας μπορεί να μην καλύπτουν ειδικά τοπικά χαρακτηριστικά ή σύνθετες αλληλεπιδράσεις μεταξύ παραμέτρων. Αν χρησιμοποιηθούν μη κριτικά, μπορούν να οδηγήσουν σε τυπικές, μη επαρκώς τεκμηριωμένες ΕΠΕ (Sadler, 1996). Εξαρτώνται από την εμπειρία του αξιολογητή και η ποιότητα των συμπερασμάτων καθορίζεται από το επίπεδο γνώσης και την αντικειμενικότητα των χρηστών.

Οι λίστες αυτές για να έχουν βέλτιστα αποτελέσματα πρέπει να προσαρμόζονται στο εκάστοτε έργο και στον εκάστοτε χώρο. Ο σχεδιασμός της λίστας πρέπει να γίνεται με βάση τα χαρακτηριστικά της λεκάνης απορροής, τις ευαισθησίες του οικοσυστήματος και το ισχύον νομικό πλαίσιο. Εξαιρετικά ωφέλιμος είναι ο συνδυασμός με άλλες μεθόδους, όπως η χρήση τους για scoring, ακολουθούμενη από μοντελοποίηση, μελέτες πεδίου, MCA/AHP ή ποσοτικές προσομοιώσεις όπου απαιτείται (Morgan, 2012). Πρέπει να καθορίζονται σαφή κριτήρια (έκταση, ένταση, διάρκεια, αναστρεψιμότητα) και να χρησιμοποιούνται χρήση scoring grids για τη σύγκριση των επιπτώσεων. Κατά τη σύνταξη της λίστας είναι αναγκαία η ενσωμάτωση της γνώσης τοπικών φορέων και ειδικών επιστημόνων.

Εθνικοί φορείς συχνά παρέχουν πρότυπες checklists για κατασκευαστικά έργα, οδοποιία, υδραυλικά έργα (International Association for Impact Assessment IAIA). Στις μελέτες φραγμάτων οι λίστες ελέγχου χρησιμοποιούνται για γρήγορο εντοπισμό πιθανών επιπτώσεων όπως κατάκλυση, μεταβολή ροής, ιζηματογένεση, ποιότητα νερού, επιπτώσεις σε ιχθυοπανίδα και αρχαιολογικά ευρήματα, πριν εφαρμοστούν λεπτομερέστερα εργαλεία. Η θεωρητική και πρακτική χρησιμότητα από τις λίστες ελέγχου στην ΕΠΕ τεκμηριώνεται από εγχειρίδια και επιστημονική βιβλιογραφία, ωστόσο οι συγγραφείς τονίζουν την ανάγκη συνδυασμού τους με ποσοτικές προσεγγίσεις για έργα υψηλής περιπλοκότητας (π.χ. μεγάλα φράγματα).

Οι λίστες ελέγχου είναι ένα ισχυρό εργαλείο στην εργαλειοθήκη της ΕΠΕ. Προσφέρουν δομή, ταχύτητα και διαφάνεια στην αρχική ανάλυση των επιπτώσεων. Για να αποδώσουν όμως αποτελεσματικά να ενισχύονται με ποσοτικές μεθόδους όπου χρειάζεται και να ενσωματώνουν συμμετοχικές διαδικασίες και τεκμηριωμένη παρακολούθηση.

7.1.2 Πίνακες (Μήτρες) Αλληλεπίδρασης (Interaction Matrices)

Οι Πίνακες Αλληλεπίδρασης (interaction matrices) είναι ένα δομημένο εργαλείο που συνδέει συγκεκριμένες δραστηριότητες ενός έργου (π.χ. διάνοιξη δρόμων, εκσκαφές, λειτουργικές εκροές, χειρισμοί κατά την πλήρωση) με περιβαλλοντικές παραμέτρους (π.χ. ποιότητα νερού, παρόχθια βλάστηση, ιχθυοπανίδα, θόρυβος). Στόχος τους είναι να καταγράψουν συστηματικά ποιες δραστηριότητες προκαλούν ποιες πιέσεις, να ποσοτικοποιήσουν τη σχετική ένταση/σημαντικότητα και να κατευθύνουν την επιλογή των μέτρων μετριασμού (Leopold et al., 1971).

Στις στήλες του Πίνακα απαριθμούνται οι κύριες δραστηριότητες/παρεμβάσεις του έργου (προκαταρκτικές εργασίες, χωματουργικά, αποστραγγίσεις, μεταφορά υλικών, λειτουργία ταμιευτήρα κ.λπ.). Στις γραμμές του Πίνακα αναφέρονται οι περιβαλλοντικές και κοινωνικές παράμετροι (υδρολογία, TSS, DO, ειδικά είδη, υπόγεια ύδατα, αρχαιολογία, κοινωνία). Σε κάθε κελί του Πίνακα καταγράφεται η παρουσία/δυνατότητα αλληλεπίδρασης και συνήθως αποδίδεται μια τιμή ή κωδικός που περιγράφει ένταση (π.χ. 0 = καμία, 1 = χαμηλή, 2 = μέση, 3 = υψηλή), διάρκεια (βραχυπρόθεσμη/μακροπρόθεσμη) και αναστρεψιμότητα. Συνοδεύεται από σύντομη περιγραφή του μηχανισμού της επίπτωσης.

Οι Πίνακες Αλληλεπίδρασης μπορούν και προσαρμόζονται στο μέγεθος του έργου και στο επίπεδο της λεπτομέρειας που απαιτείται. Σε συνδυασμό με το scoring, βοηθούν στο να αποφεύγονται τυχόν παραλείψεις. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν αρχικά ως ένας πρώτος «γρήγορος» πίνακας για scoring και στη συνέχεια ένας δεύτερος «λεπτομερής» με αναλυτικότερες δράσεις και υποπαραμέτρους (Leopold et al., 1971). Επίσης προσθήκη στηλών για «βελτιωτικά μέτρα» και «υπεύθυνο φορέα» μπορεί να μετατρέψει τον πίνακα σε εργαλείο διαχείρισης ESMP. Οι Πίνακες Αλληλεπίδρασης είναι ιδανικοί για early-stage ΕΠΕ και για επικοινωνία με κοινότητες, λειτουργώντας ως γέφυρα μεταξύ ποιοτικής αναγνώρισης και ποσοτικής εκτίμησης. Επίσης διευκολύνουν την πολύ-κριτηριακή ανάλυση όπου διαφορετικά κριτήρια (περιβάλλον, κοινωνία, οικονομία) πρέπει να συγκριθούν.

Από την άλλη μεριά οι Πίνακες Αλληλεπίδρασης μπορεί να καταλήξουν μεγάλοι, δύσχρηστοι, με πολλές παραμέτρους οπότε χρειάζεται να γίνει επιπλέον ομαδοποίηση των παραμέτρων. Επίσης οι Πίνακες αυτοί δείχνουν σχέσεις, αλλά δεν παρέχουν από μόνοι τους ποσοτικές προβλέψεις (π.χ. μείωση DO σε mg/L). Για το λόγο αυτό πρέπει να συνδυάζονται με μοντέλα και μετρήσεις όπου χρειάζεται (Leopold et al., 1971). Οι τιμές έντασης/σημαντικότητας εξαρτώνται από την κρίση των αξιολογητών και για το λόγο αυτό απαιτείται σαφές πρωτόκολλο αξιολόγησης.

7.1.3 Διαγράμματα Ροής (Flowcharts) & Δίκτυα (Networks)

Τα Διαγράμματα Ροής και τα Δίκτυα αποτελούν δύο συμπληρωματικά εργαλεία που δομούν, απεικονίζουν και αναλύουν τις αιτιώδεις σχέσεις μεταξύ έργου και περιβάλλοντος Εκτίμηση Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων (ΕΠΕ). Ενώ τα Διαγράμματα Ροής εστιάζουν στη λογική αλληλουχία ενεργειών και διαδικασιών, τα Δίκτυα αναπαριστούν πολύπλοκες αιτιώδεις

σχέσεις, αλληλεπιδράσεις και αβεβαιότητες. Η χρήση τους στην αξιολόγηση φραγμάτων διευκολύνει το scoring, την πρόβλεψη, την ιεράρχηση των κινδύνων και τη λήψη αποφάσεων.

Τα Διαγράμματα ροής: Είναι γραφικά διαγράμματα που απεικονίζουν βήμα προς βήμα τις διαδικασίες από την κατασκευή έως τη λειτουργία και αποκατάσταση. Περιλαμβάνουν κόμβους (δραστηριότητες, εισροές, εκροές) και κατευθυντικές ακμές (ροές διαδικασίας). Στην κατασκευή φραγμάτων χρησιμοποιούνται για scoring (εντοπισμός σημείων πίεσης π.χ. εκσκαφές → αυξημένη θολότητα), για σχεδιασμό και παρακολούθηση (π.χ. δειγματοληψία νερού → εργαστηριακή ανάλυση → αξιολόγηση) και για κατάστρωση προσαρμοστικών πρωτοκόλλων δράσης κατά την πλήρωση και μετέπειτα λειτουργία του φράγματος.

Χαρακτηρίζονται από ευκολία επικοινωνίας (στελέχη, κοινότητες) και έχουν σαφή απεικόνιση των διαδικασιών. Μέσα από τα Διαγράμματα Ροής το στήσιμο των πρωτοκόλλων παρακολούθησης και λειτουργίας, βάσει των οποίων ενεργοποιούνται και τα μέτρα έκτακτης ανάγκης, είναι εύκολο και λειτουργικό. Για παράδειγμα με Διάγραμμα Ροής δημιουργείται το flowchart για τη διαδικασία πρώτης πλήρωσης ενός φράγματος (στάδια ανόδου στάθμης, ενεργοποιεμένες για μείωση αν χρειάζεται του ρυθμού πλήρωσης, δειγματοληψίες ποιότητας και βιολογικές επιθεωρήσεις για κάθε φάση). Στα μειονεκτήματα, τα Διαγράμματα Ροής επειδή απεικονίζουν γραμμικά και σειριακά μοτίβα, δυσκολεύονται να αναπαραστήσουν κυκλικές αιτιότητες, αβεβαιότητες και πολύπλοκες δικτυακές αλληλεπιδράσεις.

Τα δίκτυα: απαρτίζονται από κόμβους (μεταβλητές) και ακμές (σχέσεις/επιρροές). Μπορούν να είναι κατευθυνόμενα ή μη-κατευθυνόμενα, στατικά ή χρονικά, ή και ποσοτικά (Uusitalo, L. 2007).

- Τα Δίκτυα επιρροής/αιτιότητας απεικονίζουν αιτιώδεις σχέσεις και βοηθούν στο σχεδιασμό παρεμβάσεων.
- Τα Δίκτυα αιτιότητας Bayes (Bayesian Networks, BNs) μοντελοποιούν πιθανοτικές εξαρτήσεις και επιτρέπουν αναστροφή ενημέρωση. Είναι ιδιαίτερα χρήσιμα όπου υπάρχουν αβεβαιότητες και περιορισμένα δεδομένα (Marcot et al., 2006; Uusitalo, 2007). Χρησιμοποιούνται για να συγκρίνουν εναλλακτικά μέτρα (π.χ. παγίδες ιζημάτων vs μειωμένος ρυθμός διάνοιξης) ως προς την αποτελεσματικότητα της μείωσης της πιθανότητας υπέρβασης περιβαλλοντικών ορίων.
- Τα Δίκτυα δυναμικών συστημάτων αναδεικνύουν ανατροφοδοτήσεις (feedbacks) σε υδρομορφολογικά και οικολογικά συστήματα.

- Τα Δίκτυα μεταφοράς για ιζήματα και ρυπαντές συνδυάζονται πολύ καλά με υδρολογικά μοντέλα για την προσομοίωση της διάχυσης των ιζημάτων κατάντη.

Στα πλεονεκτήματα των Δικτύων είναι η ικανότητά τους (και ιδιαίτερα των BNs) να εκφράζουν και να ανανεώνουν τις πιθανότητες εμφάνισης των επιπτώσεων καθώς εισέρχονται νέα δεδομένα. Στα μειονεκτήματά τους είναι ότι μεγάλα δίκτυα γίνονται μη διαχειρίσιμα, με αποτέλεσμα να απαιτείται η εφαρμογή ιεραρχικού σχήματος και κατάλληλη απλοποίηση.

Συμπέρασμα

Διαγράμματα Ροής και Δίκτυα προσφέρουν συμπληρωματικές δυνατότητες. Τα Διαγράμματα Ροής οργανώνουν διαδικασίες και πρωτόκολλα ενώ τα Δίκτυα μοντελοποιούν αιτιώδεις σχέσεις και αβεβαιότητες. Στην εκτίμηση περιβαλλοντικών επιπτώσεων από την κατασκευή φραγμάτων, η συνδυασμένη χρήση τους, σε συνεργασία με μοντέλα ροής ιζημάτων, συστήματα παρακολούθησης και συμμετοχικές διαδικασίες, βελτιώνει την ποιότητα προβλέψεων, την αποτελεσματικότητα εφαρμογής μέτρων μετριασμού και τη λήψη τεκμηριωμένων αποφάσεων (Pearl, 2000).

7.1.4 Μέθοδοι Επικάλυψης (Overlay Mapping/GIS)

Η επικάλυψη χαρτογραφικών θεμάτων (overlay mapping) με χρήση Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (GIS) είναι θεμελιώδης τεχνική στην εκτίμηση περιβαλλοντικών επιπτώσεων (ΕΠΕ). Επιτρέπει τη χωρική συνένωση πολλαπλών πληροφοριών (π.χ. χρήση γης, ευαισθησίες βιοποικιλότητας, κλίσεις, υδρογραφία, οικισμοί) ώστε να εντοπίζονται περιοχές υψηλού κινδύνου, να αξιολογούνται συγκεντρωτικά οι πιέσεις και να σχεδιάζονται μέτρα προτεραιοποίησης και μετριασμού. Η μέθοδος εφαρμόζεται ευρέως σε έργα υποδομής όπως φράγματα, για τη λήψη τεκμηριωμένων χωρικών αποφάσεων.

Οι Μέθοδοι Επικάλυψης βασίζονται στην αριθμητική ή λογική συνένωση χαρτογραφικών στρωμάτων (layers). Κάθε επίπεδο περιγράφει μία παράμετρο, π.χ. ευαισθησία παρόχθιας βλάστησης, πυκνότητα κατοίκησης, τοπογραφική κλίση και μετατρέπεται σε κοινή μορφή/κλίμακα (raster ή vector) για επικάλυψη. Με κατάλληλη επεξεργασία των δεδομένων, προκύπτουν τελικά σύνθετοι χάρτες «ευπάθειας/ευαισθησίας/συγκρούσεων» (Burrough & McDonnell, 1998).

Εφαρμογή της Μεθόδου Επικάλυψης για την ΕΠΕ φράγματος

1. Γίνεται scoring και επιλογή θεμάτων. Οριοθετούνται οι κρίσιμες περιβαλλοντικές παράμετροι (π.χ. NATURA, περιοχές αναπαραγωγής ιχθύων, πηγές ύδρευσης, γεωλογικοί κίνδυνοι).
2. Ακολουθεί συλλογή και προεπεξεργασία δεδομένων. DEM, χρήση γης (CORINE/LULC), υδρογραφία, θεσμικά όρια, δεδομένα ποιότητας νερού, οικολογικές καταγραφές, οικιστικά/κοινωνικά δεδομένα. Έλεγχος προβολικών συστημάτων και ποιότητας.
3. Γίνεται κανονικοποίηση/αναγωγή κλίμακας με μετατροπή των μεγεθών σε κοινή κλίμακα (π.χ. 0–1 ή 1–10)
4. Σχηματίζεται το μοντέλο επικάλυψης (overlay) με επιλογή μεθόδου (Boolean overlay, weighted overlay ή multi-criteria evaluation MCE).
5. Αξιολογούνται τα αποτελέσματα και γίνεται έλεγχος ευαισθησίας (sensitivity analysis) ως προς βάρη/κατηγοριοποίηση πεδίου.
6. Τέλος παραγωγή οι χάρτες προτεραιοποίησης/συστάσεων και γίνεται η ενσωμάτωση σε ESMP.

Συμπέρασμα

Οι μέθοδοι επικάλυψης με GIS είναι βασικό εργαλείο στην ΕΠΕ φραγμάτων. Προσφέρουν χωρική συνοχή, δυνατότητα συνδυασμού δεδομένων και υποστήριξη οπτικοποίησης και λήψης αποφάσεων. Η αξιοπιστία τους εξαρτάται άμεσα από την ποιότητα των δεδομένων, τη μεθοδική επιλογή «βαρών» και κατώτατων ορίων (thresholds), καθώς και από την ενσωμάτωση δυναμικών μοντέλων και επαλήθευσης (Malczewski, 1999). Εφαρμόζονται καλύτερα ως μέρος μιας ολοκληρωμένης μεθοδολογίας που συνδυάζει ποιοτικά εργαλεία, ποσοτικά μοντέλα και συμμετοχικές διαδικασίες.

7.2 Ειδικές Προσεγγίσεις στην ΕΠΕ για Φράγματα

7.2.1 Συμμόρφωση με την Οδηγία Πλαίσιο για τα Νερά (2000/60/EK)

Η Οδηγία Πλαίσιο για τα Νερά (ΟΠΥ 2000/60/EK) αποτελεί το θεμέλιο της ευρωπαϊκής περιβαλλοντικής πολιτικής για τη διαχείριση και προστασία των υδάτων (επιφανειακών, υπόγειων, μεταβατικών, παράκτιων). Θεσπίστηκε το 2000, στοχεύοντας στην επίτευξη «καλής

κατάστασης» όλων των υδάτινων οικοσυστημάτων, μέσω ολοκληρωμένης διαχείρισης ανά λεκάνη απορροής (Οδηγία 2000/60/ΕΚ, Πηγή: ypen.gov.gr).

Η Οδηγία Πλαίσιο για τα Νερά (2000/60/ΕΚ) εισάγει ένα νέο πλαίσιο στη διαχείριση των υδατικών πόρων. Κεντρικά στοιχεία της είναι η διαχείριση σε επίπεδο λεκάνης απορροής, ο καθορισμός συγκεκριμένων ποιοτικών στόχων με βάση την οικολογική κατάσταση (με χρήση βιολογικών δεικτών) και η διατήρηση των επιφανειακών υδατικών συστημάτων όσο το δυνατόν πιο κοντά στην φυσική τους κατάσταση. Για πρώτη φορά η οδηγία αναγνωρίζει ρητώς την οικολογική αξία των νερών, θεσπίζει περιβαλλοντικό κόστος χρήσης και προβλέπει οικολογικούς στόχους ποιότητας.

Στο πλαίσιο αυτό, η κατασκευή φραγμάτων απαιτεί εκτενή τεκμηρίωση, αιτιολόγηση και πολλαπλά στάδια αξιολόγησης, λαμβάνοντας υπόψη οικονομικές, κοινωνικές και κυρίως περιβαλλοντικές πτυχές. Οι προβλέψεις για «Ιδιαίτερα Τροποποιημένα Υδατικά Σώματα», η υποχρέωση οικονομικής ανάλυσης του κόστους του νερού και η υποχρεωτική δημόσια διαβούλευση, σε συνδυασμό με τις διατάξεις της Οδηγίας για τη Στρατηγική Περιβαλλοντική Εκτίμηση (2001/42/ΕΚ), διαμορφώνουν ένα νέο θεσμικό και τεχνικό πλαίσιο. Το πλαίσιο αυτό αναμένεται να επηρεάσει σημαντικά τον σχεδιασμό και την υλοποίηση υδραυλικών έργων, όπως τα φράγματα, τις επόμενες δεκαετίες (Κοτζαγεωργής et al., 2009).

7.2.1.1 Η ΟΠΥ και η κατασκευή φραγμάτων.

Φράγμα σύμφωνα με την ΟΠΥ ονομάζεται το εγκάρσιο εμπόδιο που τοποθετείται σε ποτάμια ροή με σκοπό τη δημιουργία τεχνητής λεκάνης νερού για την κάλυψη ανθρωπίνων αναγκών (π.χ. ύδρευση, άρδευση). Ο ταμιευτήρας είναι η δεξαμενή που σχηματίζεται πίσω από το φράγμα.

Η ανέγερση και η λειτουργία ενός φράγματος επιφέρουν συχνά μεταβολές υδρομορφολογικές, χημικές και γεωμορφολογικές στη λεκάνη απορροής, οι οποίες μπορούν να επηρεάσουν τη χλωρίδα, την πανίδα και την πρωτογενή παραγωγή των σχετικών οικοσυστημάτων. Αν και τα υδρομορφολογικά και φυσικοχημικά μεγέθη δεν αποτελούν άμεσα κριτήρια για τον καθορισμό της οικολογικής κατάστασης των επιφανειακών υδατικών σωμάτων, μπορούν να υποβαθμίσουν τους βιολογικούς δείκτες και, κατ' επέκταση, να οδηγήσουν ένα υδατικό σύστημα μακριά από τους περιβαλλοντικούς στόχους της Οδηγίας Πλαίσιο για τα Νερά (World Commission on Dams (WCD), 2000).

Επομένως, η κατασκευή φράγματος σε ποτάμιο υδατικό σώμα που έχει αξιολογηθεί ως ικανό να φτάσει σε «καλή οικολογική κατάσταση» έως το 2015 ενδέχεται να θέσει αυτόν τον στόχο σε κίνδυνο. Επιπλέον, μπορεί να προκαλέσει επιπτώσεις όχι μόνο στο ίδιο το υδατικό σώμα αλλά και στα κατάντη επιφανειακά ή στα συνδεδεμένα υπόγεια ύδατα.

Συμπερασματικά, η εγκατάσταση φράγματος μπορεί να απειλήσει την επίτευξη της καλής οικολογικής κατάστασης των επιφανειακών και/ή υπόγειων υδάτων ή να επιφέρει περαιτέρω υποβάθμισή τους, με αποτέλεσμα την πιθανή παραβίαση των στόχων της Οδηγίας.

7.2.1.2 ΟΠΥ και κατασκευή νέων φραγμάτων – Εξαιρέσεις

Παρά το ότι η Οδηγία Πλαίσιο για τα Ύδατα (ΟΠΥ) θέτει αυστηρούς περιβαλλοντικούς στόχους για όλα τα είδη υδάτων, προβλέπει και περιπτώσεις όπου η επίτευξή τους ενδέχεται να μην είναι δυνατή. Η χρήση των εξαιρέσεων από τα κράτη μέλη απαιτεί ενδελεχή έρευνα, τεκμηρίωση και αιτιολόγηση, λαμβάνοντας υπόψη οικονομικούς, κοινωνικούς και κυρίως περιβαλλοντικούς παράγοντες. Παρακάτω περιγράφονται τα βήματα και η διαδικασία αιτιολόγησης που πρέπει να ακολουθηθούν για την ανάπτυξη φράγματος σύμφωνα με την ΟΠΥ και τα σχετικά Κατευθυντήρια Έγγραφα δεκαετίες (Κοτζαγεωργής et al., 2009).

Οι νέες παρεμβάσεις που μπορούν να δυσχεράνουν την επίτευξη των στόχων της ΟΠΥ —όπως η δημιουργία νέων φραγμάτων— υπάγονται κυρίως στις προβλέψεις του άρθρου 4 παρ. 7. Για να γίνει αποδεκτή η κατασκευή νέου φράγματος ως εξαίρεση, πρέπει να πληρούνται οι προϋποθέσεις του άρθρου 4 (παρ. 7–9), συγκεκριμένα: (Οδηγία 2000/60/ΕΚ, Πηγή: ypen.gov.gr)

- 1) Να εφαρμόζονται όλα τα πρακτικώς δυνατά μέτρα για τον περιορισμό των αρνητικών επιπτώσεων στην κατάσταση των επηρεαζόμενων επιφανειακών και υπόγειων υδατικών σωμάτων.
- 2) Η αιτιολόγηση των επεμβάσεων να τεκμηριώνεται αναλυτικά στο σχέδιο διαχείρισης της λεκάνης απορροής (άρθρο 13) — δηλαδή νέες κατασκευές δεν μπορούν να προχωρήσουν αν δεν εντάσσονται σε εγκεκριμένο διαχειριστικό σχέδιο.
- 3) Οι λόγοι για τις τροποποιήσεις να αιτιολογούνται από επιτακτικούς λόγους δημοσίου συμφέροντος ή τα οφέλη τους για την κοινωνία/υγεία/ασφάλεια/βιώσιμη ανάπτυξη να υπερβαίνουν τα περιβαλλοντικά κόστη και να είναι σαφώς μεγαλύτερα από τα οφέλη που προβλέπονται από την προστασία με βάση την ΟΠΥ.

- 4) Τα επιδιωκόμενα οφέλη να μην μπορούν να επιτευχθούν με τεχνικά εφικτά ή οικονομικά λογικά μέτρα που θα ήταν περιβαλλοντικά σαφώς προτιμότερα.
- 5) Η εξαίρεση να μην αποκλείει μόνιμα ή να μη θέτει σε κίνδυνο την επίτευξη των στόχων της ΟΠΥ σε άλλα υδατικά συστήματα της ίδιας λεκάνης και να είναι συμβατή με άλλες κοινοτικές περιβαλλοντικές διατάξεις.
- 6) Να διασφαλίζεται τουλάχιστον το ίδιο επίπεδο προστασίας με την ισχύουσα ευρωπαϊκή νομοθεσία (δηλ. να μην παραβιάζονται άλλες οδηγίες για την προστασία από ρύπανση, για NATURA κ.λπ.).

Η απόδειξη της τήρησης αυτών των όρων απαιτεί λεπτομερή έρευνα και τεκμηρίωση. Η Οδηγία δεν ορίζει με απόλυτη σαφήνεια τη μεθοδολογία ελέγχου, αλλά η Ευρωπαϊκή Επιτροπή, μέσω των Κατευθυντήριων Εγγράφων (Guidance Documents) και εργαστηρίων, προτείνει μεθοδολογίες εφαρμογής. Ειδικότερα, το Παράρτημα D2a του WATECO Guidance Document No.1 προτείνει μια συστηματική προσέγγιση 7 βημάτων για τη διεξαγωγή της διαδικασίας ελέγχου και αιτιολόγησης των παραμέτρων που αναφέρονται παραπάνω (Κοτζαγεωργής et al., 2009).

7.2.2 Στρατηγική Περιβαλλοντική Εκτίμηση (ΣΠΕ)

Η Στρατηγική Περιβαλλοντική Εκτίμηση (ΣΠΕ) αποτελεί εργαλείο προληπτικού σχεδιασμού που αξιολογεί περιβαλλοντικές, κοινωνικές και οικονομικές συνέπειες πολιτικών, προγραμμάτων και σχεδίων πριν την επιλογή συγκεκριμένων έργων. Στην περίπτωση φραγμάτων η ΣΠΕ είναι απαραίτητη πριν τη λήψη αποφάσεων για χωρική κατανομή, κλίμακα και σειρά υλοποίησης (European Commission, Directive 2001/42/EC). Η ΣΠΕ προσφέρει το κατάλληλο πλαίσιο για την ενσωμάτωση των περιβαλλοντικών κριτηρίων σε ανώτερο σχεδιασμό λεκάνης απορροής, επιτρέπει τη σύγκριση εναλλακτικών στρατηγικών (π.χ. μικρά ΥΗΕ vs μεγάλα φράγματα, μέτρα εξοικονόμησης νερού, λύσεις “πράσινης υποδομής”) και εντοπίζει συσσωρευτικά, διασυννοριακά και μακροπρόθεσμα ζητήματα που οι μεμονωμένες ΜΠΕ δεν αποτυπώνουν επαρκώς.

Στην πράξη για τα φράγματα, η ΣΠΕ περιλαμβάνει:

- 1) Ανάλυση λεκάνης απορροής και στρατηγικών χρήσεων γης.
- 2) Χαρτογράφηση ευαισθησιών (περιβαλλοντικές ζώνες, NATURA, πηγές ύδρευσης, αρχαιολογικοί χώροι)

- 3) Αξιολόγηση επιλογών (τερματισμός, περιορισμός νέων φραγμάτων, προτεραιοποίηση αναβάθμισης υφιστάμενων ταμιευτήρων)
- 4) Εκτίμηση συσσωρευτικών και διαρκών επιπτώσεων.
- 5) Συμμετοχικές διαδικασίες με ενδιαφερόμενους φορείς. Η ΣΠΕ βοηθά στον καθορισμό «κόκκινων γραμμών» όπου οι περιβαλλοντικοί στόχοι (π.χ. WFD ecological status) αποκλείουν νέα έργα. Βοηθά επίσης στην ανάπτυξη στρατηγικών μετριασμού, αντισταθμίσεων και σχεδίων παρακολούθησης σε κλίμακα λεκάνης απορροής.

Η επιτυχία της ΣΠΕ απαιτεί πολιτική δέσμευση, επαρκή δεδομένα βάσης, διεπιστημονικές ομάδες και διαφανείς διαδικασίες συμμετοχής. Διαφορετικά κινδυνεύει να παραμείνει στα πλαίσια μιας τυπικής άσκησης. Όπου εφαρμόζεται σωστά η ΣΠΕ βελτιώνει τη λήψη αποφάσεων, μειώνει τον κινδύνους περιβαλλοντικών επιπτώσεων και προωθεί βιώσιμες επιλογές διαχείρισης των υδάτινων πόρων.

7.2.3 Εκτίμηση Κοινωνικών Επιπτώσεων

Η μεθοδολογία εκτίμησης κοινωνικών επιπτώσεων (Social Impact Assessment, SIA) για κατασκευή φράγματος συνδυάζει ποιοτικές και ποσοτικές προσεγγίσεις για την ανάλυση επιπτώσεων σε κοινότητες, τοπικές οικονομίες και κοινωνικούς θεσμούς (IFC 2012. Performance Standard 5).

Στάδια στην εκτίμηση των κοινωνικών επιπτώσεων:

- 1) Scoping. Αναγνώριση ενδιαφερόμενων, ευάλωτων ομάδων και μείζονας σημασίας θεμάτων (κατοίκηση, εισοδήματα, πρόσβαση σε πόρους, πολιτιστική κληρονομιά)
- 2) Συλλογή δημογραφικών, οικονομικών και πολιτισμικών δεδομένων μέσω ερευνών και συνεντεύξεων.
- 3) Πρόβλεψη και αξιολόγηση των άμεσων, έμμεσων και συσσωρευτικών επιπτώσεων με μοντέλα οικονομικών επιδράσεων και ποιοτικές αναλύσεις.
- 4) Αξιολόγηση σημαντικότητας. Καθορισμός κριτηρίων έκτασης, έντασης, διάρκειας και αναστρεψιμότητας. Χρήση MCA/AHP
- 5) Καθορισμός μέτρων μετριασμού μετεγκατάστασης RAPs (Resettlement Action Plans), προγράμματα αποκατάστασης εισοδήματος, εκπόνηση συμμετοχικών σχεδίων συμβίωσης.

- 6) Παρακολούθηση και αξιολόγηση των δεικτών κοινωνικής ευημερίας. Μηχανισμοί καταγγελιών και προσαρμοστική διαχείριση. Κεντρικά στοιχεία η διαφάνεια, η συμμετοχή των κοινοτήτων και η ενσωμάτωση κοινωνικής δικαιοσύνης στις αποφάσεις.

8. Υδρολογικά δεδομένα, Βροχοπτώσεις, Βιοκλίμα, Σεισμικότητα, Δάση

Η εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων από την κατασκευή φραγμάτων απαιτεί την ενσωμάτωση πολλαπλών περιβαλλοντικών δεδομένων (υδρολογικών, βιοκλίματος, σεισμικότητας, δασικής κάλυψης), διότι οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ τους καθορίζουν τη βιωσιμότητα, τον κίνδυνο και τα οικολογικά αποτελέσματα του έργου (Uusitalo, 2007).

8.1 Υδρολογικά δεδομένα και βροχοπτώσεις

Τα υδρολογικά δεδομένα (ροές, παροχές αιχμής, εποχικότητα) καθορίζουν τη χωρητικότητα ταμιευτήρα, τις ανάγκες ρύθμισης πλημμύρας και την πιθανή δέσμευση ιζημάτων. Η ακρίβεια αυτών των δεδομένων εξαρτάται από μακροχρόνιες μετρήσεις και από την ενσωμάτωση ακραίων γεγονότων, τα οποία επηρεάζουν την αξιοπιστία μοντέλων και τα σενάρια λειτουργίας. Οι βροχοπτώσεις και η χωρική – χρονική τους μεταβλητότητα συνδέονται άμεσα με τις εισροές στον ταμιευτήρα και την πιθανότητα πλημμυρικών ή ξηραντικών περιόδων, κάτι που είναι κρίσιμο για τον σχεδιασμό αποταμίευσης νερού και την εκτίμηση των κινδύνων διάβρωσης και ιζηματογένεσης (Papadopoulou & Politis, 2018).

Επίσης αποτελούν τα υδρολογικά δεδομένα θεμελιώδη πηγή γνώσης για τη διαχείριση υδατικών πόρων, την πρόληψη πλημμυρών, τον σχεδιασμό φραγμάτων και την αντιμετώπιση της ξηρασίας. Η χώρα χαρακτηρίζεται από έντονη χωρική και εποχική μεταβλητότητα των βροχοπτώσεων. Οι ορεινές και βόρειες περιοχές δέχονται γενικά μεγαλύτερες ετήσιες κατακρημνίσεις σε σχέση με τις ηπειρωτικές νότιες και νησιωτικές περιοχές, ενώ το κλίμα είναι μεσογειακό με υγρό χειμώνα και ξηρό καλοκαίρι. Αυτή η ανισομερής κατανομή δημιουργεί προκλήσεις στην κατανομή και αποθήκευση νερού, καθώς οι υψηλές εισροές συγκεντρώνονται σε περιορισμένες χρονικές περιόδους, απαιτώντας υποδομές και πολιτικές για τη ρύθμιση και αποθήκευση (Zanis et al., 2014).

Η μέτρηση και η τεκμηρίωση των υδρολογικών στοιχείων βασίζεται σε δίκτυα μετεωρολογικών και υδρομετρικών σταθμών που καταγράφουν βροχόπτωση, παροχή ποταμών, στάθμες λιμνών και υπόγειων υδροφορέων. Ιστορικά, τα δίκτυα αυτά έχουν μεταβληθεί σε πυκνότητα και ποιότητα. Σε ορισμένες περιοχές τα δεδομένα είναι σχετικά πλήρη και μακροχρόνια, ενώ άλλες παρουσιάζουν κενά, προβλήματα εποχικής κάλυψης ή

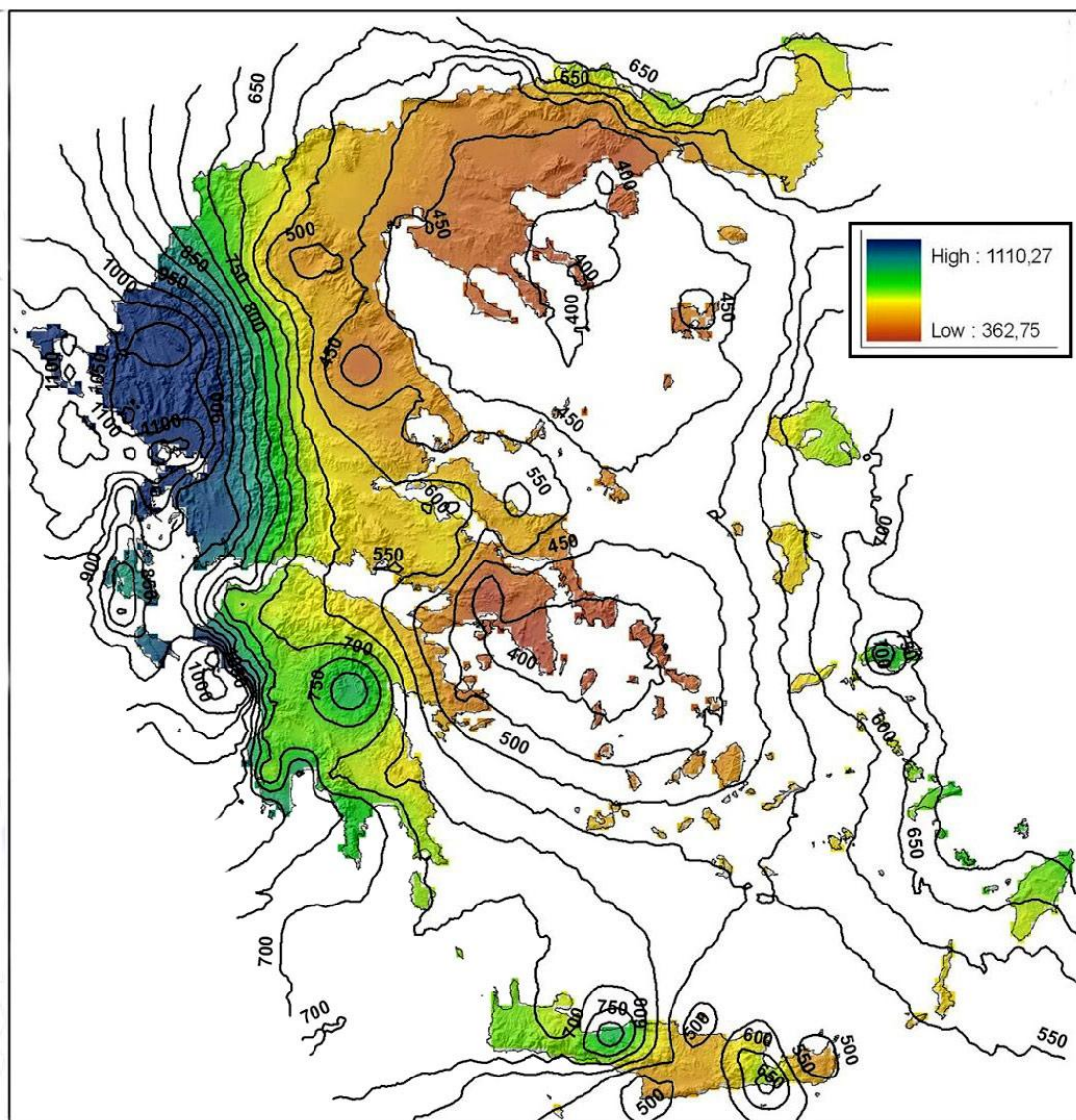
ανεπαρκή συντήρηση εξοπλισμού. Η αβεβαιότητα που προκύπτει από ελλιπή ή ανομοιογενή δεδομένα δυσχεραίνει τη βαθμονόμηση υδρολογικών μοντέλων και την αξιοπιστία προβλέψεων για σενάρια υπερχειλίσεων, ιζηματομεταφοράς ή επιπτώσεων κλιματικής αλλαγής.

Τα υδρολογικά μοντέλα που χρησιμοποιούνται στην Ελλάδα κυμαίνονται από απλά υδρολογικά ισοζύγια και μοντέλα ροής έως πιο σύνθετα υδρολογικά-υδρογεωλογικά και υδρομορφολογικά εργαλεία. Η ενσωμάτωση δεδομένων δορυφόρου και τηλεμετρίας έχει βελτιώσει την κάλυψη σε απομακρυσμένες ζώνες και έχει επιτρέψει παρακολούθηση αλλαγών στη χρήση γης, υγρασία εδάφους και μεταβολές εκροών σε πραγματικό χρόνο. Ωστόσο, η πλήρης αξιοποίηση αυτών των τεχνολογιών απαιτεί επενδύσεις σε υποδομές δεδομένων, διαλειτουργικότητα βάσεων και στελέχωση με τεχνικό προσωπικό.

Κρίσιμο ζήτημα παραμένει η διαλειτουργικότητα των δεδομένων και η πρόσβασή τους. Η συγκεντρωτική διαχείριση, τυποποίηση μορφών και ανοικτή δημοσίευση χρόνιων σειρών βελτιώνουν τη διαφάνεια και επιτρέπουν ανεξάρτητους ελέγχους και έρευνα. Επίσης, η ενίσχυση μακροχρόνιων προγραμμάτων παρακολούθησης και η συνεργασία δημόσιων φορέων, ακαδημαϊκών ιδρυμάτων και τοπικών κοινοτήτων είναι αναγκαίες για αξιόπιστες βάσεις δεδομένων (Koutsoyiannis, 2011).

Συμπερασματικά, η Ελλάδα διαθέτει σημαντικά υδρολογικά δεδομένα αλλά με περιθώρια βελτίωσης στην κάλυψη, ποιότητα και προσβασιμότητα. Η ενίσχυση των δικτύων μέτρησης, η αξιοποίηση δορυφορικών δυνατοτήτων, η ενσωμάτωση σεναρίων κλιματικής αλλαγής και η προώθηση ανοιχτών δεδομένων είναι κρίσιμες ενέργειες για τη βιώσιμη διαχείριση των υδατικών πόρων της χώρας.

Χάρτης με τα ετήσια ύψη βροχόπτωσης, σε χιλιοστόμετρα, κατά μέσο όρο σε όλες τις περιοχές της Ελλάδας.



Πηγή: <https://www.geogreece.gr/rain.php>

Η ελλαδική χερσόνησος διαιρείται από τον ανατολικό μεσημβρινό 23° E σε δύο τμήματα. Στη βροχερότερη δυτική πλευρά και στη λιγότερο βροχερή ανατολική πλευρά. Ο μεσημβρινός αυτός διέρχεται από Κύθηρα – Κόρινθο – Βόλο – Θεσσαλονίκη. Στη Μεσόγειο γενικά η βροχή ελαττώνεται από τα δυτικά προς τα ανατολικά και από τα βόρεια προς τα νότια. Στην Ελλάδα ποιο συγκεκριμένα η βροχή αυξάνεται με το γεωγραφικό πλάτος, ενώ στα ίδια γεωγραφικά πλάτη είναι σχετικά ισχυρότερη στη χέρσα περιοχή και μικρότερη στα πελάγη.

Διακρίνονται 6 ζώνες διαφορετικής βροχόπτωσης οι οποίες είναι περίπου παράλληλες με την κατεύθυνση των κύριων ορεινών όγκων:

Ζώνη 1

Η ζώνη αυτή εκτείνεται κατά μήκος των ακτών και των νησιών της δυτικής Ελλάδας. Έχει μέσο ετήσιο ύψος βροχής 800 με 1.200 χιλιοστά.

Ζώνη 2

Η ζώνη αυτή είναι η πιο βροχερή. Εκτείνεται ανατολικότερα της ζώνης 1 και αποτελεί την κύρια ορεινή ζώνη της Ελλάδας. Τα μέσα ετήσια βροχομετρικά ύψη κυμαίνονται από 1.000 ως 1.400 mm (στην περιοχή των Πρεσπών), υπερβαίνουν τα 1.800 mm στις κορυφογραμμές της ηπειρωτικής Πίνδου, ενώ νοτιότερα, στη Στερεά και στην Πελοπόννησο, η βροχόπτωση είναι 800 με 1.600 mm. Νοτιότερα ακόμη, στα όρη της δυτικής Κρήτης, το ετήσιο βροχομετρικό ύψος φτάνει τα 1.000 με 2.000 mm.

Ζώνη 3

Ακόμη ανατολικότερα και παράλληλα με τη ζώνη 2 βρίσκεται η ζώνη 3 με ακόμη λιγότερες βροχές. Περιλαμβάνει τη νότια Μακεδονία (600 με 800 mm), τη Θεσσαλία, την ανατολική Στερεά και τη δυτική Εύβοια (400 με 800 mm), την ανατολική Πελοπόννησο και τις δυτικές Κυκλάδες (350 με 600 mm).

Ζώνη 4

Ανατολικότερα εκτείνεται η σχεδόν ευθεία ορεινή αλυσίδα η οποία είναι κατά το μεγαλύτερο μέρος της παράκτια, με αρκετά μεγάλα βροχομετρικά ύψη. Περιλαμβάνει το Πάικο και το Βέρμιο (800 με 1.200 mm), τον Όλυμπο (1.000 με 2.000 mm), την Όσσα και το Πήλιο (800 με 1.200 mm), τις βόρειες Σποράδες και την ορεινή ανατολική Εύβοια (800 με 1.200 mm) και τις βορειοανατολικές Κυκλάδες (600 με 800 mm).

Ζώνη 5

Ανατολικότερα έχουμε την κοιλάδα του Αξιού και της δυτικής Χαλκιδικής με περιορισμένες βροχοπτώσεις (400 με 600 mm), ενώ η ανατολική Χαλκιδική, με το όρος Χολομώντα, έχει κάπως ψηλό βροχομετρικό ύψος (600 με 1.000 mm).

Ζώνη 6

Αυτή είναι και η τελευταία ζώνη που αρχίζει από την Ανατολική Μακεδονία και Θράκη (800 με 1.200 mm), συνεχίζεται με τα νησιά Θάσο, Λήμνο, Σαμοθράκη (400 με 600 mm) και εκτείνεται στα νησιά που είναι κοντά στα μικρασιατικά παράλια και τα Δωδεκάνησα (600 με 1.000 mm). Η ανατολική Κρήτη παρουσιάζει μικρά ποσά βροχής.

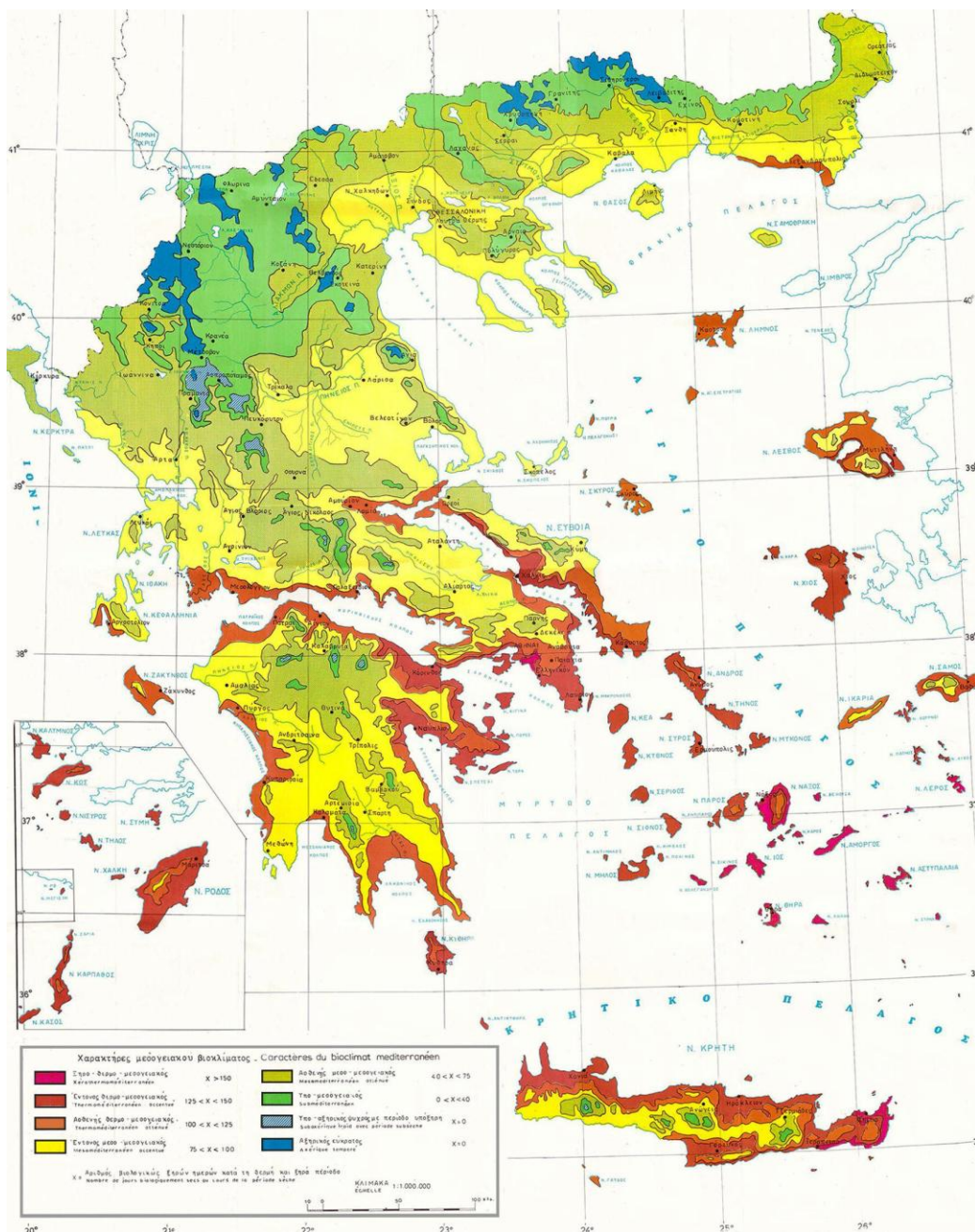
Το μεγαλύτερο βροχομετρικό ύψος παρουσιάζεται στα ανώτερα στρώματα των ορεινών όγκων της Πίνδου και του Ολύμπου, όπως και στα όρη της δυτικής Κρήτης (1.800 mm). Το ελάχιστο βροχομετρικό ύψος εμφανίζεται στα νησιά του Σαρωνικού (Αίγινα, 321 mm) και του νότιου Αιγαίου (Θήρα, 374 mm). Τα μεγαλύτερα ετήσια ύψη βροχής καταγράφονται στις ορεινές και στις δυτικές περιοχές, λόγω της επίδρασης του ανάγλυφου. Επιπλέον, η εντονότερη βροχόπτωση στα δυτικά της Ελλάδας οφείλεται στην τυπική κίνηση των καιρικών συστημάτων από τα δυτικά προς τα ανατολικά. Αυτά πρώτα συναντούν τις δυτικές περιοχές και εκεί αποθέτουν τα μεγαλύτερα ύψη βροχής, ενισχυόμενα από την ανύψωση του αέρα πάνω από τα ορεινά. Στην υπήνεμη ηπειρωτική Ελλάδα οι βροχές είναι λιγότερες σε σύγκριση με τα δυτικά, επειδή τα συστήματα χάνουν μέρος της υγρασίας τους καθώς διασχίζουν τις δυτικές περιοχές και σε κάποιο βαθμό “εγκλωβίζονται” πριν υπερπηδήσουν την Πίνδο. Η Αττική και τα νησιά του Αργοσαρωνικού εμφανίζουν τα χαμηλότερα ύψη βροχής στη χώρα, με τα νησιά του Αργοσαρωνικού να θεωρούνται ιδιαίτερα ξηρή περιοχή.

Στις ανοιχτές βόρειες πεδιάδες της Θεσσαλονίκης και των Σερρών καταγράφονται σχετικά μικρά ύψη βροχής, γεγονός που αποδίδεται στην επίδραση ξηρών και ψυχρών καταβατικών ανέμων, του Βαρδάρη και του Ρουπελιώτη, αντίστοιχα. Εκτός από την Πίνδο, τα όρη της Εύβοιας, του Ολύμπου και οι βορειότερες οροσειρές συμβάλλουν δευτερευόντως στη δημιουργία ζωνών ομβροσκιάς και ομβροπλευράς στις ανατολικές περιοχές. Η ομβροσκιά εμφανίζεται στα δυτικά του άξονα της ανατολικής ηπειρωτικής και παράκτιας χερσονήσου, ενώ η ομβροπλευρά στα ανατολικά. Η βροχόπτωση μετράται σε χιλιοστά (mm). Η βροχή που συσσωρεύεται σε μια οριζόντια επιφάνεια σχηματίζει ένα λεπτό στρώμα νερού, του οποίου το πάχος, εκφρασμένο σε χιλιοστά, αντιστοιχεί στο ύψος της βροχής. Ένα χιλιοστό βροχής σε επιφάνεια ενός τετραγωνικού μέτρου ισούται με ένα λίτρο νερού. Μετρώντας αυτή την ποσότητα στιγμιαία ή σε ετήσια/μηνιαία/τριμηνιαία βάση, προσδιορίζουμε το επίπεδο της βροχόπτωσης.

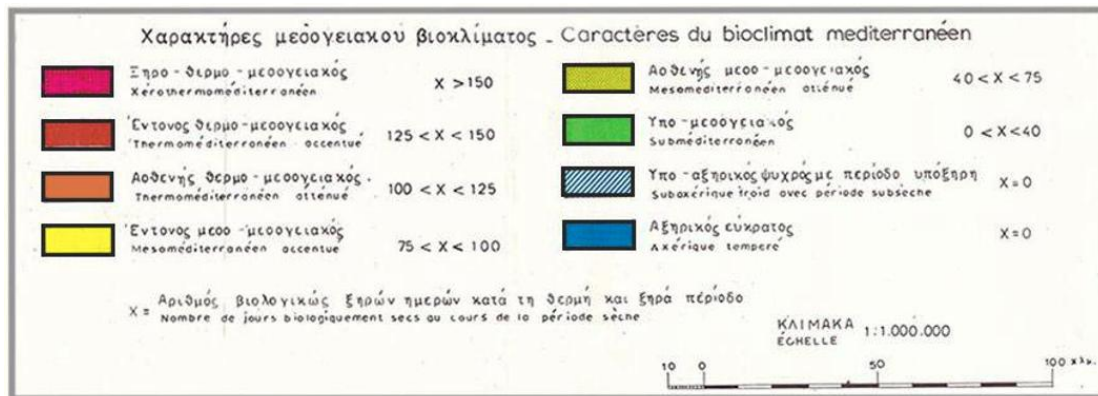
8.2 Βιοκλίμα

Το βιοκλίμα (θερμοκρασία, εξατμισοδιαπνοή, εποχικότητα βλάστησης) επηρεάζει την απώλεια νερού από τον ταμιευτήρα, τη θερμοστρωμάτωση και τις βιοχημικές διεργασίες που σχετίζονται με την ποιότητα του νερού (π.χ. υποξία, ευτροφισμός). Η κλιματική αλλαγή μεταβάλλει μακροπρόθεσμα αυτές τις παραμέτρους, προσθέτοντας αβεβαιότητα (Poff et al, 1997).

Χάρτης Βιοκλιματικών συνθηκών με βάση τον Ξηρογραφικό Δείκτη του Gaussen.



Πηγή: <https://www.geogreece.gr/bioclimate.php>



ΥΠΟΜΝΗΜΑ

	Ξηρο-Θερμο-Μεσογειακό (ξηρασία μακράς διάρκειας και πολλή ζέση)	$X > 150$
	Έντονο Θερμο-Μεσογειακό	$125 < X < 150$
	Ήπιο Θερμο-Μεσογειακό	$100 < X < 125$
	Έντονο Μεσο-Μεσογειακό	$75 < X < 100$
	Ήπιο Μεσο-Μεσογειακό	$40 < X < 75$
	Υπο-Μεσογειακό (πολύ σύντομη περίοδος ξηρασίας)	$0 < X < 40$
	Υπο-αξηρικό ψυχρό με περίοδο υπόξηρη	$X = 0$
	Αξηρικό εύκρατο	$X = 0$

Από χάρτη του Υπ. Γεωργίας του 1978

Ο Ξηροθερμικός Δείκτης (Gausson) έχει αποδειχθεί εξαιρετικά χρήσιμος στις μεσογειακές περιοχές. Αποτυπώνει την ένταση της ξηρασίας κατά τον πιο ξηρό μήνα και μετράται με βάση τις ημέρες που θεωρούνται βιολογικά ξηρές. Ο δείκτης στηρίζεται στην παρατήρηση ότι η ξηρότητα εξαρτάται από τη θερμοκρασία, τη βροχόπτωση, τη σχετική υγρασία και τον αριθμό των ημερών με ομίχλη. Υπολογίζεται με έναν εμπειρικό μαθηματικό τύπο που συνδυάζει αυτές τις μεταβλητές. Με αυτόν τον τρόπο παρέχει αξιόπιστη εκτίμηση των βιοκλιματικών συνθηκών και της φυτοκάλυψης σε μια μεσογειακή ζώνη.

Εν γένει, ως μεσογειακό κλίμα ορίζεται εκείνο όπου το καλοκαίρι είναι η πιο ξηρή περίοδος του έτους. Το κύριο χαρακτηριστικό του μεσογειακού κλίματος είναι η θερινή ξηρασία, δηλαδή η έντονη αντίθεση μεταξύ των ψυχρότερων, σχετικά υγρών εποχών και της θερμής, πάντοτε ξηρής περιόδου του καλοκαιριού.

Ανεξάρτητα από τον ξηροθερμικό δείκτη, στην Ελλάδα συναντάμε τους εξής τύπους κλιμάτων:

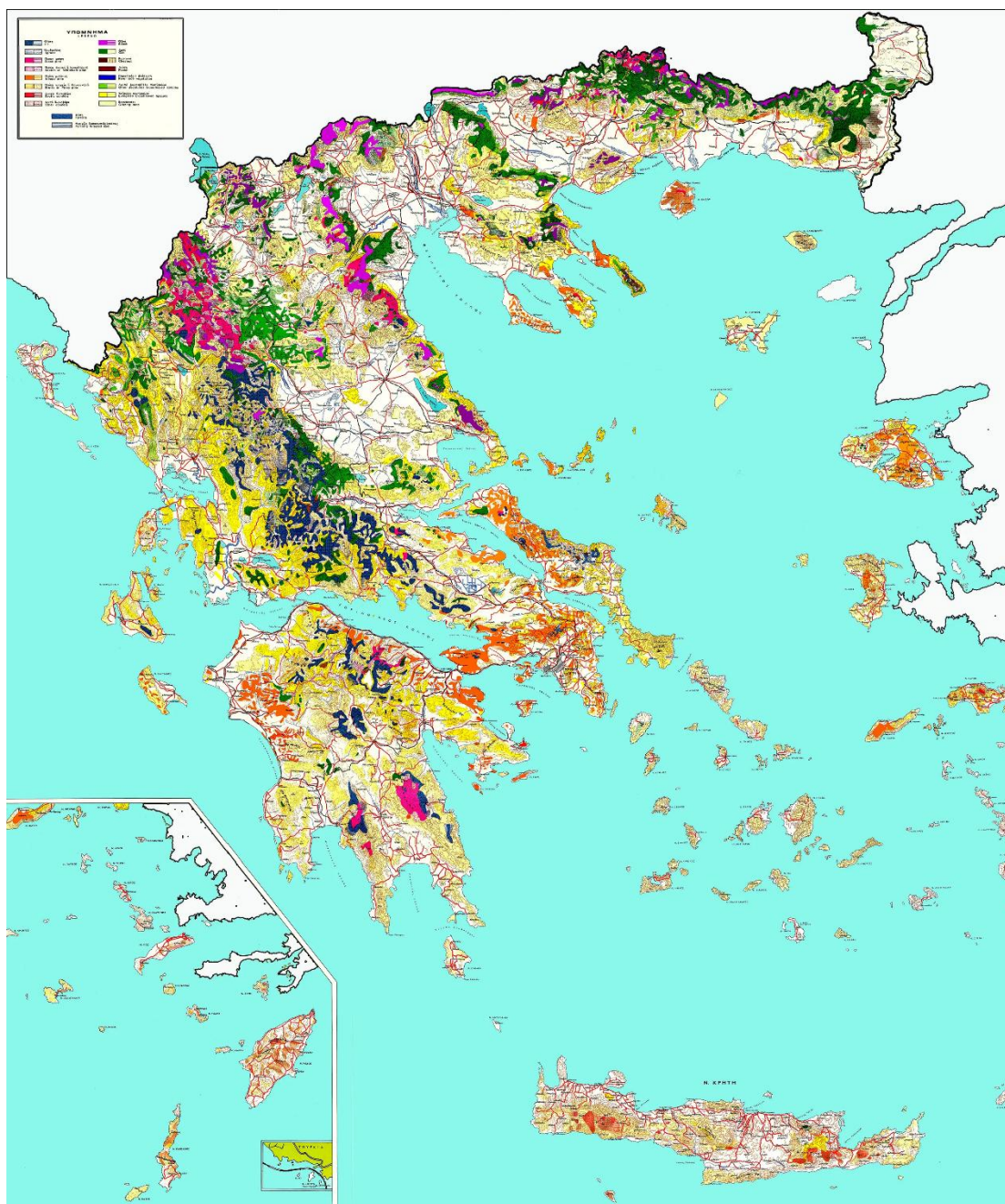
1. Μεσογειακό - Ηπειρωτικό: Θεσσαλία - οροπέδια Δ. Μακεδονίας και κεντρική Πελοπόννησος
2. Υγρό και Ψυχρό Μεσογειακό: κεντρική, ανατολική Μακεδονία, και Θράκη
3. Θαλάσσιο Μεσογειακό: Επτάνησα, παράλια Ηπείρου, Δ. Στερεά, περιοχές της Δ. Πελοποννήσου και ΝΔ Κρήτη
4. Ξηρό Μεσογειακό: Αττική και Ανατολική Πελοπόννησος
5. Ξηρό και θερμό Μεσογειακό: Κυκλάδες και Ανατολική Κρήτη
6. Θερμό και υγρό (το χειμώνα) Μεσογειακό: Δωδεκάνησα
7. Αλπικό κλίμα: σε όλες τις ορεινές περιοχές της χώρας.

Η κλιματική αλλαγή προσθέτει επιπλέον αβεβαιότητες. Απρόβλεπτες αλλαγές στη διάρκεια, χρονικότητα και ένταση των βροχοπτώσεων, αύξηση ακραίων συμβάντων (πλημμύρες, ξηρασίες) και μεταβολές στη χιονοκάλυψη των ορεινών λεκανών ποταμών επηρεάζουν τις απολήψεις και την παροχή νερού. Για αυτό, τα σύγχρονα πλαίσια διαχείρισης συνιστούν την ενσωμάτωση σεναρίων κλίματος και την υιοθέτηση ευέλικτων/προσαρμοστικών στρατηγικών, με έμφαση στη διαχείριση ζήτησης, στην αποκατάσταση υγροτοπικών δεξαμενών και στην προστασία υδροφορέων (Moustaka et al., 2010).

8.3 Δάση

Η παρουσία δασών στην λεκάνη επιδρά στις εισροές μέσω μείωσης της απορροής αιχμής, ελέγχου της διάβρωσης και διατήρησης της εδαφικής δομής. Η αποψίλωση πριν ή μετά την κατασκευή μπορεί να αυξήσει την ιζηματογένεση και να μειώσει την ποιότητα του νερού (Kondolf,1997).

Δασικός χάρτης της Ελλάδας βασισμένος σε χάρτη του Υπ. Γεωργίας του 1976



Πηγή: <https://www.geogreece.gr/dasos.php>

Το 25,4% της συνολικής έκτασης της χώρας καλύπτεται από δάση, γεγονός που κατατάσσει την Ελλάδα στην τέταρτη θέση μεταξύ των ευρωπαϊκών χωρών ως προς τον δασικό της πλούτο.

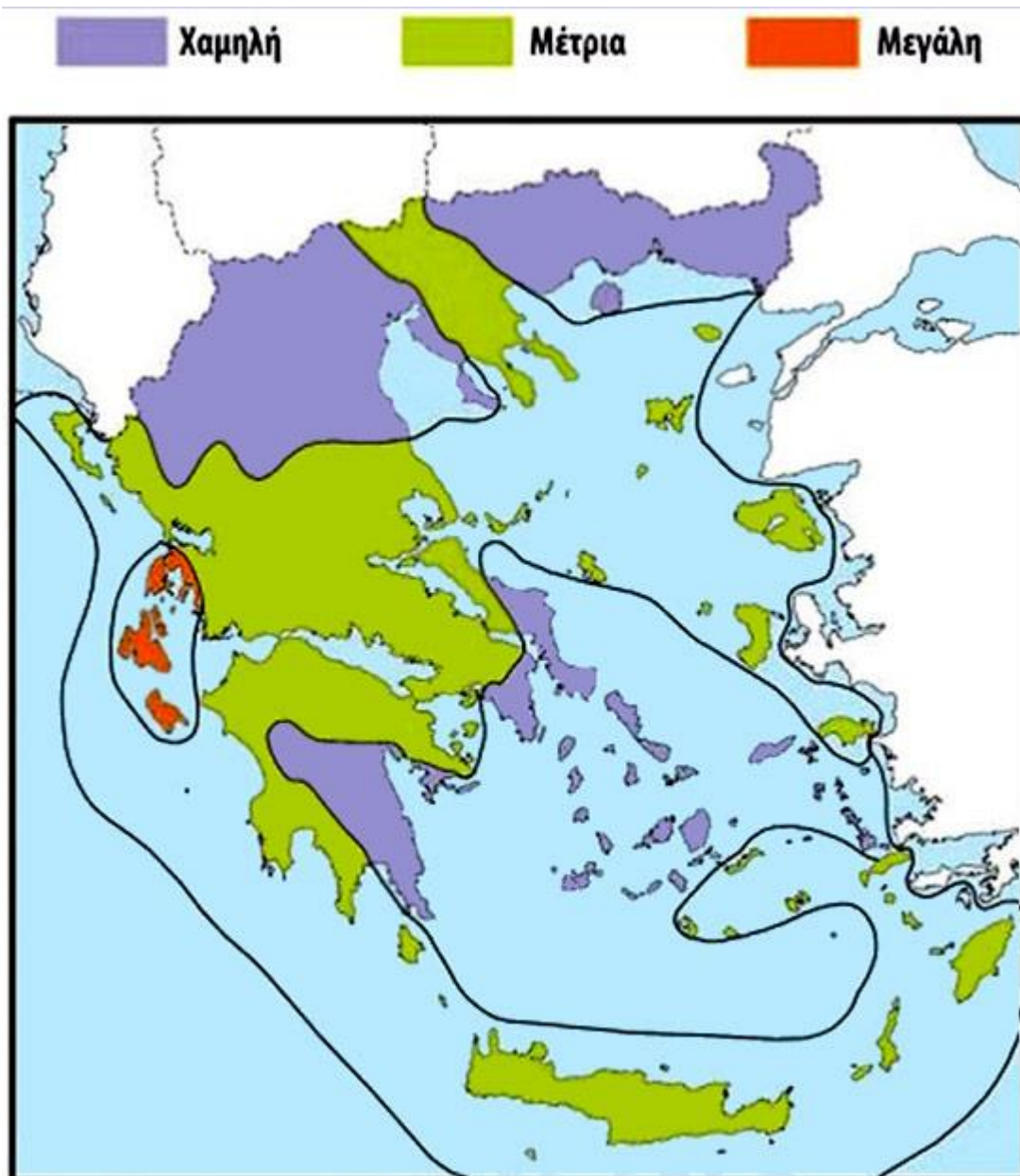
Η συνολική δασοκάλυψη φτάνει το 64%. Από αυτό το ποσοστό, το 25,4% αντιστοιχεί σε δάση, το 25% σε δασικές εκτάσεις και το 13,6% σε βοσκοτόπους και άλλες χρήσεις γης.

Χαρακτηριστικό της ελληνικής χλωρίδας είναι η εκτεταμένη παρουσία αειθαλών και σκληρόφυλλων ειδών, όπως το πουρνάρι, ο σχίνος, η κουμαριά και η αγριελιά, ανάμεσα στα οποία αναπτύσσονται πολλά αρωματικά και βολβώδη φυτά. Σε πληθώρα περιοχών δε, κυριαρχούν επίσης βελανιδιές, οξιές, πεύκα και καστανιές.

8.4 Σεισμικότητα

Η Ελλάδα είναι μια από τις πλέον σεισμογενείς χώρες στην Ευρώπη, γεγονός που έχει σημαντικές επιπτώσεις στον σχεδιασμό, την κατασκευή και τη λειτουργία φραγμάτων.

**Χάρτης Σεισμικής Επικινδυνότητας Ελλάδας, σύμφωνα με τα δεδομένα του Ο.Α.Σ.Π.
(Οργανισμός Αντισεισμικού Σχεδιασμού και Προστασίας)**



Πηγή: <https://www.geogreece.gr/seismic.php>

Οι σεισμικές δυνάμεις μπορούν να προκαλέσουν δομικές βλάβες σε κατασκευές από σκυρόδεμα και επιχώματα, να επιταχύνουν φαινόμενα όπως η καθιζήσεις, το *ripping* και η αστοχία πρανών, και να αλλάξουν τα υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά της λεκάνης απορροής. Στην Ελλάδα, οι μελέτες γεωτεχνικής σεισμικής επικινδυνότητας και η επιλογή τοποθεσίας λαμβάνουν υπόψη το ιστορικό σεισμικότητας, τη δυναμική απόκριση του εδάφους και την πιθανότητα δευτερογενών φαινομένων, όπως είναι οι κατολισθήσεις (Papadopoulos & Fokaefs, 2011). Ο σχεδιασμός αντισεισμικών φραγμάτων περιλαμβάνει περιοδική αναθεώρηση των φάσεων αντοχής, εφαρμογή κατάλληλων συντελεστών ασφαλείας, διαστασιολόγηση βάσει τοπικών σεισμικών φορτίσεων και πρόβλεψη συστημάτων παρακολούθησης (*instrumentation*) για έγκαιρη ανίχνευση κινδύνων. Επιπλέον, η εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων πρέπει να ενσωματώνει σενάρια ακραίων σεισμικών γεγονότων και σχέδια αντιμετώπισης έκτακτων αναγκών, ιδίως σε περιοχές με πυκνή κατοίκηση ή πολιτιστικά μνημεία. Η σύνδεση σεισμικότητας και φραγμάτων στην Ελλάδα απαιτεί διεπιστημονική προσέγγιση, μακροχρόνια παρακολούθηση και αυστηρή εφαρμογή προτύπων ασφαλείας (Beringen & Doudoumis, 2008).

ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Προβληματικά σημεία στην Εκτίμηση Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων

Η εκτίμηση περιβαλλοντικών επιπτώσεων (ΕΠΕ) για έργα φραγμάτων παρουσιάζει ένα σύνολο σημαντικών κενών και προβληματικών σημείων που περιορίζουν την ικανότητά της να προβλέψει, να αποτρέψει και να μετριάσει τις πραγματικές επιπτώσεις επί μακράς κλίμακας.

Πρώτον, υπάρχει συχνά έλλειψη επαρκούς και αντιπροσωπευτικού δείγματος δεδομένων. Σύντομες ή αποσπασματικές χρονικές σειρές υδρολογίας και κοινωνικό-οικονομικών δεικτών καθιστούν αναξιόπιστες τις βαθμονόμησης μοντέλων και τις προβλέψεις (Morgan, 2012). Σε πολλές περιπτώσεις η αποτύπωση της προ υπάρχουσας κατάστασης περιορίζεται σε επιφανειακές μετρήσεις χωρίς εποχικές ή πολυετείς παρατηρήσεις, με αποτέλεσμα την υποεκτίμηση των μακροχρόνιων επιπτώσεων.

Δεύτερον, μεμονωμένες ΜΠΕ επικεντρώνονται στο μεμονωμένο έργο, αγνοώντας πολλές φορές τη συνδυαστική επίδραση πολλαπλών φραγμάτων σε μία λεκάνη απορροής με αποτέλεσμα να αγνοείται η σωρευτική μείωση ιζημάτων και οι μεταβολές της οικοσυστημικής λειτουργίας, παρά το γεγονός ότι τέτοια φαινόμενα καθορίζουν τις πραγματικές περιβαλλοντικές συνέπειες (Nilsson et al., 2005). Εμπειριστατωμένη και επίκαιρη ανάλυση σε λεκάνη απορροής απαιτεί συντονισμό, δεδομένα και θετικό προσανατολισμό πολιτικής βούλησης που λείπουν σε πολλά πλαίσια.

Τρίτον, υπάρχει αβεβαιότητα και περιορισμός στη μοντελοποίησης. Υδρολογικά, ιζηματομεταφορικά και οικολογικά μοντέλα έχουν παραδοχές που μπορεί να μην ισχύουν υπό τοπικές συνθήκες ή υπό μελλοντικές κλιματικές μεταβολές. Η αδυναμία ενσωμάτωσης ασφάλειας αβεβαιότητας και ακραίων σεναρίων (κλιματική αλλαγή, σεισμοί) υποτιμά τους κινδύνους και οδηγεί σε μη επαρκή μέτρα (Poff et al., 1997; Kondolf, 1997).

Τέταρτον, οι κοινωνικές εκτιμήσεις και οι μελέτες μετεγκατάστασης συχνά είναι ανεπαρκείς. Η επιφανειακή καταγραφή εισοδημάτων, η περιορισμένη διαβούλευση και ανεπαρκείς μακροπρόθεσμες στρατηγικές αποκατάστασης οδηγούν σε κοινωνικές εντάσεις και σε αποτυχίες αποκατάστασης εισοδήματος (Scudder, 2005). Επιπλέον, η ενσωμάτωση μη-χρηματικών αξιών (πολιτισμός, υπηρεσίες οικοσυστήματος) στην ανάλυση κόστους-οφέλους είναι προβληματική.

Πέμπτον, προκύπτει αμφιβολία για την αποτελεσματικότητα των μέτρων μετριασμού που προτείνονται από ΜΠΕ. Οι ιχθυοδιόδοι συχνά αποδεικνύονται αναποτελεσματικές στην πράξη, παγίδες ιζημάτων φθείρονται ή δεν επαρκούν και τα αντισταθμιστικά μέτρα δεν επιτυγχάνουν «no net loss» χωρίς συμβατές μακροχρόνιες δράσεις (Noonan et al., 2012). Η εξάρτηση της ΕΠΕ από τεχνικές «λύσεις» χωρίς επαρκή παρακολούθηση και επαρκείς πόρους, υπονομεύει την αξία της.

Επιπλέον, θεσμικές και διοικητικές αδυναμίες, ανεπάρκεια συνεργασίας μεταξύ φορέων, συγκρουόμενα συμφέροντα, περιορισμένη διαφάνεια και έλεγχος, μειώνουν την ανεξαρτησία και την ποιότητα των εκτιμήσεων (WCD, 2000). Η έλλειψη μηχανισμών μακροχρόνιας χρηματοδότησης για παρακολούθηση και προσαρμοστική διαχείριση οδηγεί στην εγκατάλειψη των μέτρων μετά την ολοκλήρωση του έργου.

Τέλος, οι ΕΠΕ σπανίως ενσωματώνουν επαρκώς τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου από ταμειυτήρες (CH₄/CO₂) ή τους μακροπρόθεσμους γεωμορφολογικούς μετασχηματισμούς, παρά τις ενδείξεις ότι αυτά μπορούν να εξελιχθούν (υπό συνθήκες) σε πολύ σημαντικούς παράγοντες (Deemer et al., 2016).

Χωρίς τις απαραίτητες κάθε φορά βελτιώσεις, η ΕΠΕ κινδυνεύει να παραμείνει τυπική και ανεπαρκής στην προστασία των οικοσυστημάτων και των τοπικών κοινοτήτων.

Μελλοντικές τάσεις στην κατασκευή φραγμάτων στην Ελλάδα

Οι μελλοντικές τάσεις στην κατασκευή και διαχείριση φραγμάτων στην Ελλάδα κινούνται προς την ενσωμάτωση βιώσιμων, διαχειριστικών και τεχνολογικών προσεγγίσεων, με έμφαση στην περιβαλλοντική συμμόρφωση, την ανθεκτικότητα στο κλίμα και τη συμμετοχική λήψη αποφάσεων. Η προτεραιοποίηση των μικρών υδροηλεκτρικών έργων (small-hydro) και των έργων ανάπλασης/αναβάθμισης υπαρχόντων ταμειυτήρων αναμένεται να αντικαταστήσει, σε πολλές περιπτώσεις, την κατασκευή μεγάλων νέων φραγμάτων, μειώνοντας άμεσες περιβαλλοντικές και κοινωνικές πιέσεις και βελτιώνοντας την αποδοτικότητα αξιοποίησης πόρων (Scudder, 2005). Η περιβαλλοντική ολοκλήρωση καθοδηγείται από νομοθετικά εργαλεία (π.χ. Οδηγία Πλαίσιο για τα Νερά 2000/60/ΕΚ) και από τις αρχές για «οικολογικές ροές» (environmental flows). Οι νέες μελέτες και τα έργα θα απαιτούν τεκμηριωμένη αξιολόγηση επιπτώσεων, σχεδιασμό ελάχιστων ροών και μέτρα για διατήρηση της διασυνδεσιμότητας των υδάτινων οικοσυστημάτων (Arthington et al., 2018; EC, 2000/60/EC).

Η τεχνολογική ψηφιοποίηση και τα έξυπνα συστήματα διαχείρισης (SCADA, τηλεμετρία) θα βελτιώσουν την παρακολούθηση παροχών, ποιότητας νερού, ιζημάτων και γεωτεχνικής ασφάλειας, επιτρέποντας προσαρμοστική διαχείριση και ταχύτερη ανταπόκριση σε ακραία γεγονότα. Η ενσωμάτωση μοντέλων ροής και πρόγνωσης σε πραγματικό χρόνο θα βελτιώσει τη διαχείριση πλημμυρικών κινδύνων και τις λειτουργικές εκροές.

Η αντιμετώπιση συσσώρευσης ιζημάτων και η αποκατάσταση της χωρητικότητας των ταμιευτήρων καθίστανται αναγκαίες. Λύσεις όπως αποθήκευση ιζημάτων, ανασυγκρότηση λεκάνης και τεχνικές αφαίρεσης/μεταφοράς ιζημάτων θα συμπληρώνονται από στρατηγικές διαχείρισης πηγών διάβρωσης (Vicuna et al., 2016). Καθώς αποδεικνύεται ότι οι ταμιευτήρες εκπέμπουν αέρια του θερμοκηπίου υπό ορισμένες συνθήκες, η εκτίμηση και η μείωση εκπομπών (π.χ. διαχείριση βιομάζας πριν την πλημμύρα) εντάσσονται πλέον στον περιβαλλοντικό σχεδιασμό (Deemer et al., 2016).

Τέλος, κοινωνικές και θεσμικές τάσεις οδηγούν προς μεγαλύτερη διαφάνεια, δημόσια διαβούλευση και εφαρμογή προτύπων διεθνών φορέων (World Commission on Dams, 2000) καθώς και προς ενσωμάτωση οικοσυστημικών υπηρεσιών και κοστολόγησης περιβαλλοντικών συνεπειών στη διαδικασία λήψης αποφάσεων (WCD, 2000). Η αποτελεσματική μελλοντική πολιτική για τα φράγματα στην Ελλάδα θα απαιτήσει διεπιστημονική συνεργασία, προσαρμοστική διαχείριση και επενδύσεις σε τεχνολογία και αποκατάσταση, προκειμένου να επιτευχθεί ισορροπία μεταξύ αναγκών ύδατος-ενέργειας και προστασίας του περιβάλλοντος.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ

Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την κατασκευή φραγμάτων είναι πολυδιάστατες και ποικίλλουν ως προς τη σημασία τους. Είναι δύσκολο να προβλεφθούν και να ποσοτικοποιηθούν εκ των προτέρων οι επιδράσεις στις λειτουργίες των οικοσυστημάτων και ακόμα πιο δύσκολο να καθοριστεί ποιες από αυτές είναι θετικές ή αρνητικές. Η μετατροπή των περιβαλλοντικών αλλαγών σε οικονομικούς ή χρηματικούς δείκτες, ώστε να συγκριθούν μεταξύ τους και να ενσωματωθούν σε μια αξιόπιστη ανάλυση κόστους/οφέλους, αποτελεί επίσης σπουδαία πρόκληση.

Το εύρος και η ένταση των μεταβολών εξαρτώνται από τον τύπο, το μέγεθος και τη θέση του φράγματος και του ταμιευτήρα, καθώς και από τη βιοποικιλότητα και την ευαισθησία των οικοσυστημάτων ανάντη και κατόντη. Γι' αυτό η εκτίμηση των επιπτώσεων πρέπει να γίνεται

ξεχωριστά για κάθε έργο. Ωστόσο δεν είναι σωστό να θεωρούνται εκ των προτέρων όλες οι συνέπειες των φραγμάτων αρνητικές. Ορθολογικός σχεδιασμός και κατάλληλη επιστημονική τεκμηρίωση μπορούν να μετριάσουν τις βλάβες και να ενισχύσουν τα οφέλη (Goldsmith & Hildyard, 1984). Σημαντικοί παράγοντες για έναν τέτοιο σχεδιασμό είναι η εμπειρία και η ικανότητα των μελετητών, η εφαρμογή διεπιστημονικών προσεγγίσεων, καθώς και η αξιοποίηση εθνικής και διεθνούς εμπειρίας. Η αξιολόγηση των θετικών και αρνητικών επιπτώσεων και των πρακτικά εφαρμόσιμων λύσεων πρέπει να στοχεύει σε περιβαλλοντικά βιώσιμες και αειφορικές επιλογές στη διαχείριση των υδατικών πόρων (Πολύζος & Παράσχης, 2003).

Σε πρακτικό επίπεδο, δεν υπάρχει μία ενιαία, τυποποιημένη μέθοδος που να καθοδηγεί τη διεύθυνση των επιδράσεων σε συγκεκριμένα αποτελέσματα. Κάθε φράγμα αποτελεί ειδική περίπτωση προς αξιολόγηση. Επιπλέον, η αποδοχή των αλλαγών που επιφέρει ένα έργο ποικίλει ανάλογα με τις τοπικές κοινωνίες, τον πολιτισμό και τις προσδοκίες των ανθρώπων.

Οι αποφάσεις για τον σχεδιασμό και την κατασκευή μεγάλων φραγμάτων πρέπει να βασίζονται σε λεπτομερή σύγκριση και συνεκτίμηση των ωφελειών και των επιβαρύνσεων. Ο σχεδιασμός και το μέγεθος των έργων πρέπει να επιδιώκουν την ελαχιστοποίηση των αρνητικών επιπτώσεων και τη μεγιστοποίηση των ωφελειών. Οι περιβαλλοντικές αλλαγές — είτε θετικές είτε αρνητικές — αποτελούν πλέον κρίσιμο κριτήριο για τον καθορισμό των χαρακτηριστικών ενός φράγματος και για την τελική απόφαση κατασκευής. Παράλληλα, δεν πρέπει να χρησιμοποιούνται οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις ως πρόσχημα για τον αδικαιολόγητο υπερτονισμό κάποιων ζητημάτων ή την υποβάθμιση της οικονομικής αξίας και της συμβολής των έργων στην ανάπτυξη περιοχών με έλλειψη νερού (Φιλίντας & Πολύζος, 2008).

Βιβλιογραφία

Ακολουθούν οι βιβλιογραφικές αναφορές (πηγές) της Εργασίας.

Πυθαρούλη, Σ. Ι. & Στείρος, Σ. Κ. (2007). Μελέτη της μακροχρόνιας παραμόρφωσης του φράγματος Κρεμαστών με βάση ανάλυση γεωδαιτικών δεδομένων και μεταβολών στάθμης ταμιευτήρα. Πανεπιστήμιο Πατρών.

Ντούνιας, Γ. (2006). Μακροχρόνια Συμπεριφορά Γεωφραγμάτων (Long Term Behavior of Embankment Dams). Imperial College.

Φιλίντας, Α. Θ. & Πολύζος, Σ. Θ. (2008). Φράγματα, λειτουργίες οικοσυστήματος και περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Τμήμα Γεωργικών Μηχανών & Αρδεύσεων, ΤΕΙ Λάρισας.

Κοτζαγεωργής, Γ., Βαγιαννού, φ., Παπαρηγορίου, Σ. (2008). Η ανάπτυξη φραγμάτων μετά την Οδηγία Πλαίσιο για τα Νερά της Ευρωπαϊκής Ένωσης (2000/60/EK)

Δημητρακόπουλος, Α. (2018). Στοιχεία υδραυλικής κλειστών και ανοικτών αγωγών. Εκδόσεις Gotsis.

Λιακόπουλος, Α. (2020). Υδραυλική. Εκδόσεις Τζιόλα.

Στάμου, Α. (2016). Εφαρμοσμένη Υδραυλική. Εκδόσεις Παπασωτηρίου.

Μίχας, Σ., Ευστρατιάδης, Α., Δερματάς, Δ. (2015). Σημειώσεις μαθήματος «Υδραυλικές Κατασκευές – Φράγματα». Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, doc_id=1591

Χαριδήμος, Π. (2011). Εκτίμηση Πλημμυρικού Κινδύνου στην Πόλη των Σερρών με την Χρήση Μορφομετρικών και Υδραυλικών Μοντέλων. Μεταπτυχιακή διατριβή, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών.

Χασιάκος, Α. & Φαρμάκης, Π. Οργάνωση Έργων & Εργοταξίων, Φράγματα & κατασκευαστικές μέθοδοι.

Ευστρατιάδης, Α., Σαργέντης, Γ. Φ., Μαμάσης, Ν. (2019). Σημειώσεις Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων: Ανάλυση περιβαλλοντικών επιπτώσεων μεγάλων υδραυλικών έργων. Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, doc_id=1993

Δημόπουλος, Δ., Στεφανάκος, Ι. Π. (2008). Υπερχειλιστές και εκκενωτές πυθμένα στα τέσσερα παλαιότερα φράγματα της ΔΕΗ από σκυρόδεμα. portal.tee.gr/portal/page/portal/teelar/EKDILWSEIS/damConference/eisigiseis/10.1.pdf

Πολύζος, Σ. & Παράσχης, Κ. (2003). Προϋποθέσεις σχεδιασμού και κατασκευής μεγάλων Φραγμάτων: Η Εμπειρία από τα έργα Σμοκόβου και Αχελώου. Πρακτ. Συνεδρίου: «Διαχείριση Υδάτινων Πόρων και Αειφόρος Ανάπτυξη της Θεσσαλίας», Λάρισα Δεκέμβριος.

Χατζημπίρος, Κ. (2007). Οικολογία. Οικοσυστήματα και Προστασία του Περιβάλλοντος, Γ' έκδοση, Συμμετρία, Αθήνα, 360 σελ.

Τσώχος Γ., (1997). Περιβαλλοντική οδοποιία, Αθήνα, Univerity Studio Press, σελ. 270.

Μερτζάνης Α., Marabini F., Παπαδόπουλος Α., (2002). Μεταβολές στους υδάτινους πόρους και στα γεωλογικά-γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά των ορεινών περιοχών από την κατασκευή και λειτουργία οδικών έργων. Η περίπτωση του οδικού άξονα Λαμίας-Καρπενησίου.

Κανταρτζής, Θ. (2012). Εκτίμηση κινδύνων από φράγματα, η περίπτωση του φράγματος Ταυρωπού. Μεταπτυχιακή διατριβή, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών.

Ελαφρού, Ε. & Λουράκη, Χ. (2019). Μεθοδολογία εκτίμησης Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων. Ερευνητική εργασία. ΑΠΘ, Τμήμα Μηχανικών Χωροταξίας και Ανάπτυξης.

Papadopoulos, G. A., & Fokaefs, A. (2011). Seismicity of Greece and surrounding areas: recent trends. Bulletin of the Geological Society of Greece.

Moustaka, A., et al. (2010). Hydrological monitoring networks in Greece: status and challenges. Water Resources Management.

Koutsoyiannis, D. (2011). Hydrological variability and climate change impacts in Greece. Hydrological Sciences Journal.

Beringen, H. & Doudoumis, V. (2008). Seismic design considerations for dams in Greece. Proceedings of Hellenic Geotechnical Conference.

Takashi, A. & Rashid, Md H. (2012). The impacts of sediment released from dams on downstream sediment bar vegetation. Journal of Hydrology, Vol. 430-431, pages 25-38. doi 10.1016/j.hydrol.2012.01.040

Robert, P. D., Mazeika, S., Sullivan, P., Stefanik, K. C. (2017). Reductions in fish-community contamination following lowhead dam removal linked more to shifts in food-web structure than sediment pollution. *Environmental Pollution*, Vol.231, Part 1, pp 671-680. Doi 10.1016/j.envpol.2017.07.096

Evans, J. E. (2015). Contaminated Sediment Management in Dam Removals and River Restoration Efforts: Critical Need for Research and Policy Development. American Geophysical Union, Fall Meeting 2015, abstract id. EP32A-08

Bernacsek, G. M. Environmental issues, capacity and information base for management of fisheries affected by dams. Global Aquatic Corporation. www.fao.org/4/y2785e/y2785e05.htm

Riemer, W. (1992). Landslides and reservoirs.

Efstratiadis, A. (2023). Lecture notes on Hydraulic Structures & Dams. Department of Water Resources and Environmental Engineering. National Technical University of Athens, doc_id=2435. www.itia.ntua.gr/en/docinfo/2435/

Dimas, P., Lykou, A., Zarkadoulas, G. K., Efstratiadis, A., Makropoulos, C., Louloudi, A. (2025). Cascading impacts of individual failures across critical infrastructure: The case of upper dam breach in pumped-storage hydropower schemes. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 128, 105736, doi: 10.1016/j.ijdr.2025.105736, 2025.

Tzitzis, S. P. (2008). Environmental impacts and benefits by the construction of large dams of PPC S.A. Generation Environment Department, HEP Sector.

Widiarti, W. Y., Wiyomo, R. U. A., Laksono, N. J. T., & Wahyuni, S. (2021). The hydraulics analysis of the USBR stilling basin type of a dam under multiple flow discharge scenarios (A case study of Temef Dam, East Nusa Tenggara, Indonesia). *IOP Conf. Ser.: Earth and Environmental Science*, Sci. 724 012043

Hongyue, P., Yingkui, W., Hua, L., Liangpeng, W., Kun, W., Xiaoyue, T. (2019). Study on Environment-Friendly Energy Dissipator of Hydropower project. *IOP Conf. Ser.: Earth and Environmental Science*, Sci. 304 022051, doi:10.1088/1755-1315/304/2/022051

Hadjibiros, K. (2014). Life Cycle of Dams. Department of Water Resources and Environmental Engineering, NTUA
portal.tee.gr/portal/page/portal/teelar/EKDILWSEIS/damConference/eisigiseis/2.3.pdf

Chavhan, S., & Nistane, H. P. (2026). Environmental Impact Assessment of Road Construction. International Research Journal of Modernization in Engineering Technology and Science. Vol. 08/Issue 02, Impact Factor-8.187, doi:<https://www.doi.org/10.56726/IRJMETS90300>

Bhatti, M. (2023). Environmental Issues on Road Projects & their Management.

Goldsmith, E. & Hildyard, N. (1984). The Social and Environmental Effects of Large Dams. San Francisco, CA, USA: A Sierra Club Book, 404 pp.

Ronayne, M. (2005). The cultural and environmental impact of large dams in Southeast Turkey. National University of Ireland, Galway.

S. Georgalas, S. (2014). Estimation of environmental flow from Marathonas' dam and management of available water. MSc thesis, 111 pages, doc_id=1506

Fearnside, P. M. (1989). Brazil's Balbina Dam: Environment versus the legacy of the Pharaohs in Amazonia. Environmental Management, July/Aug 1989, Volume 13, Issue 4, pp 401-423

Yardley, J. (2007). Chinese Dam Projects Criticized for Their Human Costs. New York Times

USBR & USACE (2012). Internal Erosion Risks. Best Practices in Dam and Levee Safety Risk Analysis Presentation Series. Denver: U.S. Bureau of Reclamation & U.S. Army Corps of Engineers.

Forman, R.T.T. & Alexander, L.E. (1998). Roads and Their Major Ecological Effects. Annual Review of Ecology and Systematics, 29:207–231.

Grígenas, A. & Wende, W. (eds.) (2014). Guidance on No-Net-Loss and Net-Gain of Biodiversity—Practical Approaches for European Projects (various EU guidance documents / member-state manuals).

Chapra, S.C. (2017). Surface Water-Quality Modeling. Waveland Press. — Μοντέλα μεταφοράς ρυπαντών και επίδραση σε DO/ευτροφισμό.

Pant, P. & Harrison, R.M. (2013). Critical review of receptor modelling for particulate matter: A case study of construction and demolition dust. Atmospheric Environment, 68: 236–252.

Stansfeld, S.A. & Matheson, M.P. (2003). Noise pollution: non-auditory effects on health. British Medical Bulletin, 68:243–257.

- Fetter, C.W. (2001). Applied Hydrogeology (4th ed.). Prentice Hall.
- Rosenberg, D.M., McCully, P. & Pringle, C.M. (2000). Global-scale environmental effects of hydrological alterations: introduction. *BioScience*, 50(9):746–751.
- Cowx, I.G. & Welcomme, R.L. (1998). Rehabilitation of rivers for fish. *Fisheries Management and Ecology*.
- Tchobanoglous, G., Theisen, H. & Vigil, S. (1993). Integrated Solid Waste Management: Engineering Principles and Management Issues. McGraw-Hill. — Ολοκληρωμένη διαχείριση στερεών αποβλήτων, τεχνικές και διοίκηση.
- Jones, P. & O'Shea, M. (2008). Construction site waste management: Quantification and reduction strategies. *Waste Management*, 28(2): 276–284.
- Scudder, T. (2005). The Future of Large Dams: Dealing with Social, Environmental, Institutional and Political Costs. Earthscan.
- Glasson, J., Therivel, R. & Chadwick, A. (2013). Introduction to Environmental Impact Assessment. Routledge.
- Mann, S. & Waring, J. (2014). Construction projects and community safety: social impacts and mitigation. *Journal of Urban Affairs*.
- Hinze, J. (2011). Construction Safety. Prentice Hall.
- Renfrew, C. & Bahn, P. (2016). Archaeology: Theories, Methods and Practice.
- Morgan, R.K. (2012). Environmental Impact Assessment: A Methodological Perspective. Springer.
- Poff, N.L., Allan, J. D., Bain, M. B., James, R. K., Sparks, R. E., and Stromberg, J. C. (1997). The natural flow regime. *BioScience*, 47(11):769–784.
- Lucas, M.C. & Baras, E. (2001). Migration of Freshwater Fishes. Blackwell Science.
- Poff, N. L., Casey M. B., Theodore E. G., John H. M., Palmer, A. M., Spence, C. M., Wilby, R. L., Haasnoot, M., Mendoza G. F., Dominique K. C., & Baeza, A. (2016). Sustainable water management under future uncertainty with eco-engineering decision scaling. *Nature Climate Change*. 6, 25-34.

- Katopodis, C. (2005). Developing a decision support model for selection of fish passage technologies. *River Research and Applications*, 21(4):363–383.
- Metcalf & Eddy; Tchobanoglous, G., et al. (2014). *Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery*.
- Arthington, A. H., Bhaduri, A., Bunn, S. E., Jackson, S.E., Tharme, R. E., Tickner, D., Young, B. (2018). The Brisbane Declaration and global action agenda on environmental flows. *Frontiers in Environmental Science*.
- Graf, W.L. (2006). *Downstream Hydrologic and Geomorphic Effects of Large Dams*.
- Likens, G. E. (2010). Some perspectives on long-term ecological research. In: *Long-Term Studies in Ecology*.
- Ligon, F. K., Dietrich, W. E. & Trush, W. J. (1995). Downstream ecological effects of dams. *BioScience*, 45(3):183–192.
- Deemer, B. R., Harrison, J. A., Li, S., Beaulieu, J. J., Barros, N. (2016). Greenhouse gas emissions from reservoir water surfaces. *BioScience*, 66(11):949–964.
- Nilsson, C. & Berggren, K. (2000). Alterations of riparian ecosystems caused by river regulation. *BioScience*, 50(9):783–792.
- Nilsson, C., Reidy, C. A., Dynesius, M., Revenga, C. (2005). *Science*, 308:405–408.
- Munoz-Sevilla, O., Reuter, J.E. & DeBaca, J. (2009). Climate variability effects on reservoir stratification and water quality. *Water Resources Research*.
- Wetzel, R. G. (2001). *Limnology: Lake and River Ecosystems*.
- Kroll, E. (1992). Ancient Water Works and Dams in Greece. In: *Hydraulic Engineering History*
- Kumar, A., et al. (2017). Small hydro power: a review of development drivers, opportunities and challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*.
- Hughes, D. (2000). *A History of Water: Early Modern Europe to the Present*. Bloomsbury Academic.
- Rinne, J.N. (1994). *Historical development of dam engineering in Europe*.

- Liska, I., et al. (2017). Historical development of dam construction and reservoir management in Europe: a review.
- Vicuna, S., et al. (eds.) (2016). Reservoir Sedimentation and Sustainable Reservoir Management.
- Petts, G. E. (1984). Impounded Rivers: Perspectives for Ecological Management.
- Liermann, C.R., Nilsson, C., Robertson, J. (2012). Implications of dam obstruction for global freshwater fish diversity. *BioScience*, 62:539–548.
- Noonan, M. J., Grant, J. W. A., & Jackson, C. D. (2012). A quantitative assessment of fish passage efficiency. *Fish and Fisheries*, 13(4), 450–464.
- Kondolf, G. M. (1997). Hungry Water: Effects of dams and gravel mining on river channels. *Environmental Management*, 21(4), 533–551.
- Kondolf, G.M., Boulton, A.J., O’Daniel, S., Poole, G.C., Rahel, F.J., Stanley, E.H., Wohl, E., Bang, A., Carlstrom, J., Cristoni, C., Huber, H., Koljonen, S., Louhi, P., Nakamura, K. (2006). “Process-based ecological river restoration: Visualizing three-dimensional connectivity and dynamic vectors to recover lost linkages.” *Ecology and Society*, 11(2), 5.
- Metcalf & Eddy (2014). *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse*.
- Walling, D. E., & Collins, A. L. (2008). The catchment sediment budget as a management tool. *Environmental Science & Policy*.
- Nurnberg, G. K. (1984). Trophic state of lakes and reservoirs: hypothesis and observations on effects of stratification and hypolimnetic oxygen depletion. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 41(11), 1659–1667.
- Winter, T.C., Harvey, J.W., Franke, O.L., and Alley, W., 1998, Ground water and surface water: A single resource: U.S. Geological Survey Circular.
- Pizzuto, J. (2011). Effects of dam removal on river form and process. *BioScience*, 61(9), 671–682.
- Stanley, E. H., & Doyle, M. W. (2003). Trading off: the ecological effects of dam removal. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 1(1), 15–22.

- Bednarek, A. T. (2001). Undamming rivers: a review of the ecological impacts of dam removal. *Environmental Management*, 27(6), 803–814.
- Canter, L. W. (1996). *Environmental Impact Assessment* (2nd ed.)
- Sadler, B. (1996). *Environmental Assessment in a Changing World: Evaluating Practice to Improve Performance*. International Study of the Effectiveness of Environmental Assessment.
- Leopold, L., Clarke, F., Hanshaw, B., & Balsley, J. (1971). A Procedure for Evaluating Environmental Impact. U.S. Geological Survey Circular 645.
- Uusitalo, L. (2007). Advantages and challenges of Bayesian networks in environmental modelling. *Ecological Modelling*, 203(3–4), 312–318
- Uusitalo, L. (2007). Bayesian networks in environmental modelling. *Environmental Modelling & Software*.
- Zanis, P., et al. (2014). Climate change projections for Greece. *Journal of Hydrology and Climate Studies*.
- Marcot, B. G., Steventon, J. D., Sutherland, G. D., & McCann, R. K. (2006). Guidelines for developing and updating Bayesian belief networks applied to ecological modeling and conservation. *Canadian Journal of Forest Research*, 36(12), 3063–3074.
- Pearl, J. (2000). *Causality: Models, Reasoning and Inference*. Cambridge University Press.
- Burrough, P. A., & McDonnell, R. A. (1998). *Principles of Geographical Information Systems*. Oxford University Press.
- Malczewski, J. (1999). *GIS and Multicriteria Decision Analysis*. Wiley. (θεωρία weighted overlay & MCE)
- European Commission. Directive 2000/60/EC — Water Framework Directive.
- European Commission (2001). Directive 2001/42/EC on the assessment of the effects of certain plans and programs on the environment (SEA Directive).
- International Association for Impact Assessment (IAIA). Guidance documents on EIA good practice
- IFC (2012). Performance Standard 5: Land Acquisition and Involuntary Resettlement.

Οδηγία 2000/60/EK του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 23ης Οκτωβρίου 2000 για τη θέσπιση πλαισίου κοινοτικής δράσης στον τομέα της πολιτικής των υδάτων. Επίσημη Εφημερίδα των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων. 22.12.2000 L327/1 ypen.gov.gr

PCER. 2008b. Ecological Effects of Small Dams. Patrick Center for Environmental Research, www.ansp.org/research/pcer

World Commission on Dams (WCD), (2000). Dams and Development: A new framework for Decision Making.

Αναφορές

1. Ενημερωτικά φυλλάδια Δ/σης Επικοινωνίας ΔΕΗ για τα έργα (ΥΗΕ ΛΑΔΩΝΑ, ΥΗΕ ΤΑΥΡΩΠΟΥ, ΥΗΕ ΛΟΥΡΟΥ, ΜΥΗΕ ΓΛΑΥΚΟΥ, εκδόσεις ΔΕΗ.
2. Σχέδια, μελέτες και έγγραφα από τα αρχεία των αρμοδίων για τα υδροηλεκτρικά έργα υπηρεσιών της ΔΕΗ
3. <https://www.encardio.com/blog/dams-environmental-impact-hydropower-irrigation-flood-control#:~:text=3.%20What%20are%20the%20major%20environmental%20impacts,patterns%2C%20affecting%20both%20aquatic%20and%20terrestrial%20habitats>
4. www.converge.io (2023). 8 methods to reduce the environmental impacts of construction sites.
5. <http://www.e-ecorisk.info>
6. <https://eemf.gr/stoixeia-ellhnikwn-fragmatwn/>

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α «Τα φράγματα της Ελλάδας»

Κατάλογος με τα **138** Μεγάλα Φράγματα στην Ελλάδα, με ύψος μεγαλύτερο από 15 μέτρα. Βασισμένος στα στοιχεία της Ελληνικής Επιτροπής Φραγμάτων (2013)

ΦΡΑΓΜΑ	ΕΤΟΣ	ΝΟΜΟΣ	ΠΟΤΑΜΙ	ΦΟΡΕΑΣ	ΤΥΠΟΣ	Χωρ/τα [m ³]
Μαραθώνα	1929	Αττικής	Χάραδρος	ΕΥΔΑΠ	Βαρύτητας	41,000,000
Λιθότοπου	1933/65/82	Σερρών	Στρυμώνας	Περ. Κεντρικής Μακεδονίας	Χωμάτινο	345,000,000
Λούρου	1954	Πρέβεζας	Λούρος	ΔΕΗ	Βαρύτητας	1,076,000
Λάδωνα	1955	Αρκαδίας	Λάδωνας	ΔΕΗ	Αντηριδωτό	57,600,000
Ταυρωπού	1959	Καρδίτσας	Ταυρωπός	ΔΕΗ	Τοξωτό	400,000,000
Περδίκας	1962	Κοζάνης	Περδίκας	ΥΠ.ΑΝ	Χωμάτινο	10,000,000
Κρεμαστών	1965	Ευρυτανίας-Αιτωλ/νίας	Αχελώος	ΔΕΗ	Χωμάτινο	4,750,000,000
Πηνειού Ηλείας	1966	Ηλείας	Πηνειός	Περ. Δυτικής Ελλάδας	Χωμάτινο	420,000,000
Καστρακίου	1969	Αιτωλοακαρνανίας	Αχελώος	ΔΕΗ	Χωμάτινο	165,000,000
Πολυφύτου	1974	Κοζάνης	Αλιάκμονας	ΔΕΗ	Λιθόρριπτο	2,244,000,000
Κοντιά	1976	Λέσβου (Λήμνος)	Χανδριάς	Υπ. Αγροτικής Ανάπτυξης	Χωμάτινο	2,000,000
Μόρνου	1979	Φωκίδας	Μόρνος	ΕΥΔΑΠ	Χωμάτινο	764,000,000
Πουρναρίου	1981	Άρτας	Άραχθος	ΔΕΗ	Χωμάτινο	730,000,000
Ασωμάτων	1985	Ημαθίας	Αλιάκμονας	ΔΕΗ	Χωμάτινο	53,000,000
Κοκκινοπήλου	1985	Λάρισας		Δήμος Ολύμπου	Χωμάτινο	70,000
Σφηκιάς	1985	Ημαθίας	Αλιάκμονας	ΔΕΗ	Λιθόρριπτο	99,000,000
Απολακκιάς	1987	Δωδεκανήσου (Ρόδος)	Απολακκιώτης	Υπ. Αγροτικής Ανάπτυξης	Χωμάτινο	8,100,000
Μπραμινανού	1987	Λασιθίου	Μπραμινανός	Οργ. Ανάπτυξης Κρήτης	Χωμάτινο	16,400,000
Στράτου	1988	Αιτωλοακαρνανίας	Αχελώος	ΔΕΗ	Χωμάτινο	14,900,000
Επταλόφου	1989	Κιλκίς			Χωμάτινο	
Πηγών Αώου	1989	Ιωαννίνων	Αώος	ΔΕΗ	Χωμάτινο	180,000,000
Βοηθητικό Πηγών Αώου	1990	Ιωαννίνων	Αώος	ΔΕΗ	Λιθόρριπτο	
Πέντε Αλωνίων 1	1990	Ιωαννίνων	Αώος	ΔΕΗ	Λιθόρριπτο	
Πέντε Αλωνίων 2	1990	Ιωαννίνων	Αώος	ΔΕΗ	Λιθόρριπτο	
Πολισίων 1	1990	Ιωαννίνων	Αώος	ΔΕΗ	Λιθόρριπτο	
Πολισίων 2	1990	Ιωαννίνων	Αώος	ΔΕΗ	Λιθόρριπτο	
Πολισίων 3	1990	Ιωαννίνων	Αώος	ΔΕΗ ΑΕ	Λιθόρριπτο	
Βάθης	1992	Κιλκίς				
Καλυβίων / Γελαδαριές	1992	Λάρισας		Δήμος Ολύμπου	Χωμάτινο	60,000
Λόγχης	1992	Γρεβενών	Κορυφόρεμα	Περ. Δυτικής Μακεδονίας	Χωμάτινο	
Μαραθίου	1992	Κυκλάδων (Μύκονος)	Μαράθι	Υπ. Αγροτικής Ανάπτυξης	Βαρύτητας	2,950,000
Μαυραναίων	1992	Γρεβενών	Λάκος	Περ. Δυτικής Μακεδονίας	Χωμάτινο	350,000
Θέρμης	1993	Θεσσαλονίκης		Δήμος Θέρμης	Χωμάτινο	
Κρανέας Καρυά 2	1993	Λάρισας		Δήμος Ελασσόνας	Χωμάτινο	110,000
Λόφου ή Ασπροχώματος	1993	Λάρισας	Μπαλού	Περ. Θεσσαλίας	Χωμάτινο	500,000
Εγγαρών	1994	Κυκλάδων (Νάξος)	Αμμίτης	Υπ. Αγροτικής Ανάπτυξης	Χωμάτινο	570,000

Ζυφιά	1994	Χίου	Ζυφιάς	Υπ. Αγροτικής Ανάπτυξης	Χωμάτινο	370,000
Λευκόγειας	1994	Δράμας	Μυλόρεμα+Κρουον έρι	Υπ. Αγροτικής Ανάπτυξης	Χωμάτινο	12,990,000
Μονής Αγ.Γρηγορίου	1994	Άγιο Όρος				
Αιμιλιανού	1995	Γρεβενών	Ξερόλακκος	Περ. Δυτικής Μακεδονίας	Χωμάτινο	750,000
Άνοιξης	1995	Γρεβενών	Βάρκα	Περ. Δυτικής Μακεδονίας	Χωμάτινο	400,000
Κατακάλης	1995	Γρεβενών	Καραβίδα	Περ. Δυτικής Μακεδονίας	Χωμάτινο	600,000
Κέντρου	1995	Γρεβενών	Μύλος	Περ. Δυτικής Μακεδονίας	Χωμάτινο	400,000
Μπάρας	1995	Γρεβενών	Μπάρα	Περ. Δυτικής Μακεδονίας	Χωμάτινο	300,000
Μυλοπότα	1995	Κυκλάδων (Ιος)	Μυλοπότας	Υπ. Αγροτικής Ανάπτυξης	Λιθόρριπτο	230,000
Ραχών (Πεζίου)	1995	Σάμου (Ικαρία)	Πέζι (Χαλάρι)	Υπ. Αγροτικής Ανάπτυξης	Χωμάτινο	920,000
Φελλίου	1995	Γρεβενών	Καστράκι	Περ. Δυτικής Μακεδονίας	Χωμάτινο	400,000
Φωλιάς	1995	Καβάλας	Δαφνόμεμα	Περ. Α. Μακεδονίας-Θράκης	Λιθόρριπτο	915,000
Αγ.Γεωργίου	1996	Γρεβενών	Μύλοι	Περ. Δυτικής Μακεδονίας	Χωμάτινο	650,000
Βασιλικών	1996	Θεσσαλονίκης			Χωμάτινο	
Θησαυρού	1996	Δράμας	Νέστος	ΔΕΗ	Λιθόρριπτο	705,000,000
Μεγ. Ελευθεροχωρίου	1996	Λάρισας		Περ. Θεσσαλίας	Χωμάτινο	300,000
Φενεού ή Δόξας	1996	Κορινθίας	Δόξα	Υπ. Αγροτικής Ανάπτυξης	Χωμάτινο	5,300,000
Αμπδές Δεσκάτης	1997	Γρεβενών	Αμπδές	Περ. Δυτικής Μακεδονίας	Χωμάτινο	280,000
Άνω Μεράς	1997	Κυκλάδων (Μύκονος)	Άνω Μερά	Υπ. Αγροτικής Ανάπτυξης	Βαρύτητας	1,090,000
Δασοχωρίου Δεσκάτης	1997	Γρεβενών	Σκρόφα	Περ. Δυτικής Μακεδονίας	Χωμάτινο	420,000
Λιβαδίου Αστυπάλαιας	1997	Δωδεκανήσου (Αστυπάλαια)	Λιβάδι	Υπ. Αγροτικής Ανάπτυξης	Χωμάτινο	1,040,000
Κακής Λαγκάδας	1998	Κερκύρας (Παξοί)	Κακή Λαγκάδα	Υπ. Αγροτικής Ανάπτυξης	Χωμάτινο	138,000
Παλιοχωρίου	1998	Γρεβενών	Χάβρος	Περ. Δυτικής Μακεδονίας	Χωμάτινο	
Πλατανόβρυσης	1998	Δράμας	Νέστος	ΔΕΗ	Βαρύτητας	57,000,000
Πουρναρίου II	1998	Άρτας	Άραχος	ΔΕΗ	Χωμάτινο	4,500,000
Πηγ. Παιώνιας / Μεταλλείου	1999	Κιλκίς	Κότζα Ντέρε	Περ. Κεντρικής Μακεδονίας	Λιθόρριπτο	2,750,000
Πρόδρομου Δεσκάτης	1999	Γρεβενών	Άγιος Πρόδρομος	Περ. Δυτικής Μακεδονίας	Χωμάτινο	220,000
Ασκητών	2000	Ροδόπης		Περ. Α. Μακεδονίας-Θράκης	Χωμάτινο	
Κρανέας Λιβάδια	2000	Λάρισας		Δήμος Ελασσόνας	Χωμάτινο	250,000
Λογγά	2000	Τρικάλων	Μουργκάνι	Περ. Θεσσαλίας	Χωμάτινο	390,000
Αγ. Αντωνίου	2001	Θεσσαλονίκης		Δήμος Θέρμης	Χωμάτινο	300,000
Πουρναρίου-Όρνια	2001	Λάρισας		Δήμος Τεμπών	Χωμάτινο	50,000
Εξάρχου	2001	Γρεβενών	Άγιος Αθανάσιος	Περ. Δυτικής Μακεδονίας	Χωμάτινο	120,000

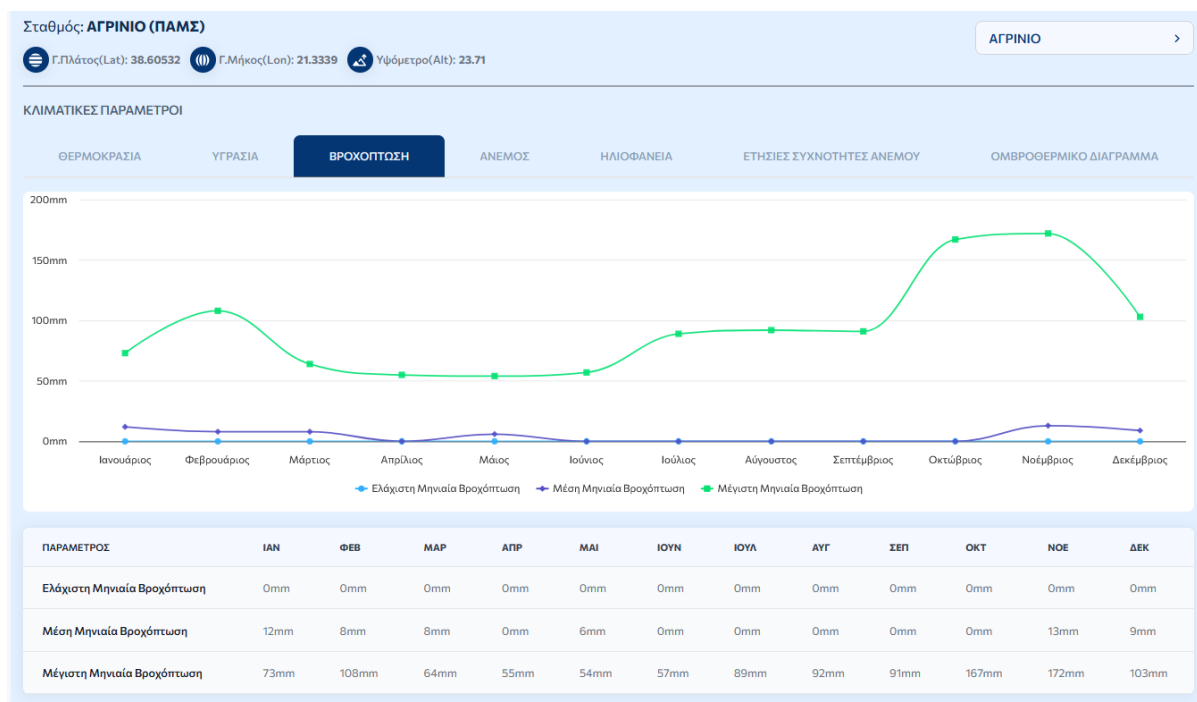
Εύηνου	2001	Αιτωλοακαρνανίας	Εύηνος	ΕΥΔΑΠ	Χωμάτινο	138,000,000
Κατάφυτου	2001	Δράμας	Περσέκ+Σινέ (Γιάπυλης)	Υπ. Αγροτικής Ανάπτυξης	Χωμάτινο	1,450,000
Κρανέας Αχελινάδικα	2001	Τρικάλων		Δήμος Καλαμπάκας	Χωμάτινο	140,000
Λιβαδίου Καστέλι	2001	Λάρισας		Δήμος Ελασσόνας	Χωμάτινο	150,000
Λουτρού (Κρέμασης)	2001	Λάρισας	Ρέμα Μουράδα	Δήμος Ελασσόνας	Χωμάτινο	135,000
Τούρλου	2001	Κυκλάδων (Πάρος)	Τούρλος	Περ. Νοτίου Αιγαίου	Βαρύτητας	42,000
Γρατινής	2002	Ροδόπης	Αμυδαλόρεμα	ΔΕΗ	Χωμάτινο	12,800,000
Ερεσσού	2002	Λέσβου	Χαλάνδρας	Υπ. Αγροτικής Ανάπτυξης	Χωμάτινο	2,755,000
Παρθένι	2002	Δωδεκάνησου (Λέρος)	Παρθένι	Υπ. Αγροτικής Ανάπτυξης	Χωμάτινο	920,000
Σμοκόβου	2002	Καρδίτσας	Σοφαδίτης	Υπ. Μεταφ. Υποδομών, ΔΕΗ	Λιθόρριπτο	240,000,000
Άκρη Λουτρού «Αμάρμπετης»	2003	Λάρισας		Δήμος Ελασσόνας	Χωμάτινο	135,000
Λιβάδας	2003	Κυκλάδων (Τήνος)		Υπ. Αγροτικής Ανάπτυξης	Χωμάτινο	300,000
Λύρας II	2003	Έβρου	Λύρα	Περ. Α. Μακεδονίας-Θράκης	Λιθόρριπτο	1,500,000
Παναγιώτικο	2003	Μαγνησίας	Πλατανόρεμα	Περ. Θεσσαλίας	Λιθόρριπτο	1,628,000
Στενού	2003	Κυκλάδων (Σέριφος)	Στενό	Υπ. Αγροτικής Ανάπτυξης	Βαρύτητας	730,000
Αρδανίου-Καβήσσου	2004	Έβρου	Καρβουνιάρικο	Περ. Α. Μακεδονίας-Θράκης	Χωμάτινο	1,400,000
Ραπεντώσας	2004	Αττικής	Ραπεντώσα, Αγ. Γεώργιος	ΕΥΔΑΠ	Λιθόρριπτο	1,285,000
Φανερωμένης Νάξου	2004	Κυκλάδων (Νάξος)	Σκίνος	Υπ. Αγροτικής Ανάπτυξης	Λιθόρριπτο	1,460,000
Φανερωμένης ή Λαλουμά	2004	Ηρακλείου	Κουτσουλίδης	Υπ. Αγροτικής Ανάπτυξης	Χωμάτινο	19,679,000
Διπόταμου	2005	Έβρου		Δήμος Αλεξανδρούπολης	Λιθόρριπτο	
Λιβαδίου Πάτμου	2005	Δωδεκανήσου (Πάτμος)	Λιβάδι	Υπ. Αγροτικής Ανάπτυξης	Λιθόρριπτο	460,000
Λιβαδίου Λάρισας	2005	Λάρισας	Λάκα	Περ. Θεσσαλίας	Χωμάτινο	1,700,000
Προβατώνα	2005	Έβρου	Τσαϊ	Περ. Α. Μακεδονίας-Θράκης	Χωμάτινο	870,000
Γέρμας	2006	Καστοριάς	Ξηροπόταμος	Περ. Δυτικής Μακεδονίας	Χωμάτινο	700,000
Δεσκάτης (Διασταύρωση)	2006	Γρεβενών	Διασταύρωση	Περ. Δυτικής Μακεδονίας	Χωμάτινο	1,200,000
Ιτέας	2006	Γρεβενών	Πλάκα	Περ. Δυτικής Μακεδονίας	Χωμάτινο	120,000
Σισσανίου	2006	Κοζάνης	Μύριχος	Περ. Δυτικής Μακεδονίας	Λιθόρριπτο	820,000
Ταξιάρχη	2006	Γρεβενών	Καλόγηρος	Περ. Δυτικής Μακεδονίας	Χωμάτινο	450,000
Αγ. Βαρβάρας	2007	Ημαθίας	Αλιάκμονας	ΔΕΗ	Χωμάτινο	3,000,000
Γαδουρά	2007	Δωδεκανήσου (Ρόδος)	Γαδουράς	Υπ. Μεταφ. Υποδομών	Χωμάτινο	67,000,000
Θεοδωρακείου	2007	Πέλλας	Γατόρεμα	Δήμος Αλμωπίας	Χωμάτινο	80,000
Λύκων	2007	Πέλλας	Ρέμα	Δήμος Έδεσσας	Χωμάτινο	120,000

Μορνιώτικου ή Μόρνας	2007	Πιερίας				325,000
Πλατάνη	2007	Πέλλας	Μέγα Ρέμα	Δήμος Έδεσσας	Χωμάτινο	527,000
Πραμόριτσας	2007	Κοζάνης	Πραμόριτσα	Περ. Δυτικής Μακεδονίας	Λιθόρριπτο	5,586,000
Βακέτας	2008	Κυκλάδων (Τήνος)	Λαγκάδι Βακέτας	Περ. Νοτίου Αιγαίου	Βαρύτητας/Ρουφράκτης	120,000
Βασιλειάδας/Μελισσότοπου	2008	Καστοριάς	Ξηροπόταμος	Περ. Δυτικής Μακεδονίας	Χωμάτινο	650,000
Ινίου-Μαχαιρών	2008	Ηρακλείου	Ινιώτης	Υπ. Αγροτικής Ανάπτυξης	Χωμάτινο	1,790,000
Καλαμωτή-Κατράρη	2008	Χίου	Κατράρης	Περ. Βορείου Αιγαίου	Χωμάτινο	5,000,000
Καλύβας-Κομάρων	2008	Έβρου	Καλύβα	Περ. Α. Μακεδονίας-Θράκης	Χωμάτινο	8,500,000
Καμαρών	2008	Κυκλάδων (Σίφνος)	Καμαρών	Περ. Νοτίου Αιγαίου	Βαρύτητας/Ρουφράκτης	
Καρπερού	2008	Γρεβενών	Μουσταφά	Περ. Δυτικής Μακεδονίας	Χωμάτινο	330,000
Μεσημεριου	2008	Πέλλας	Πηγή	Δήμος Έδεσσας	Χωμάτινο	150,000
Παλαιοπρίνου	2008	Ημαθίας	Παλαιοπρίνο	Περ. Κεντρ. Μακεδονίας	Χωμάτινο	500,000
Παπαδιάς	2008	Φλώρινας	Γεροπόταμος	ΔΕΗ	Λιθόρριπτο	14,000,000
Πενταπλάτανου	2008	Πέλλας	Σχισμένο Ρέμα	Δήμος Γιαννιτσών	Χωμάτινο	340,000
Ποταμών (Αμαρίου)	2008	Ρεθύμνου	Σφακορύακο	Οργ. Ανάπτυξης Κρήτης	Λιθόρριπτο	22,500,000
Αλέξη (Ασπροκκλησιάς)	2009	Τρικάλων		Περ. Θεσσαλίας	Χωμάτινο	74,000
Αρτζάν-Αμάτοβο	2009	Κιλκίς	τάφος Αγιάκ άντληση	Υπ. Αγροτικής Ανάπτυξης	Χωμάτινο	8,600,000
Κολχικής	2009	Φλώρινας	Λυκόρρεμα	Περ. Δυτικής Μακεδονίας	Χωμάτινο	1,210,000
Μεσόβουνου	2009	Κοζάνης	Αγίων Αναργύρων	Περ. Δυτικής Μακεδονίας	Λιθόρριπτο	891,000
Μηλοχωρίου	2009	Κοζάνης	Αγρόμυλος	Περ. Δυτικής Μακεδονίας	Χωμάτινο	200,000
Ρούκουνα	2009	Κυκλάδων (Ανάφη)	Λαγκάδι	Περ. Νοτίου Αιγαίου	Βαρύτητας	69,800
Τάκα	2009	Αρκαδίας	Σαρανταπόταμος	Υπ. Αγροτικής Ανάπτυξης	Χωμάτινο	12,000,000
Βράχου	2010	Καστοριάς	Μπουγάζι	Υπ. Αγροτικής Ανάπτυξης	Λιθόρριπτο	1,948,500
Γυρτώνης	2010	Λάρισας	Πηνιός	Υπ. Μεταφ. Υποδομών	Βαρύτητας/Ρουφράκτης	5,000,000
Δαφνοζωνάρας	2010	Ευρυτανίας-Αιτωλ/νίας	Αχελώς	ΤΕΡΝΑ ΑΤΕ	Βαρύτητας	2,550,000
Καρατζά	2010	Αττικής	2 εξωποτάμια ρέματα	Δήμος Τροιζηνίας	Λιθόρριπτο	400,000
Κάρλας	2010	Μαγνησίας	Πηνειός	Υπ. Μεταφ. Υποδομών	Χωμάτινο	198,000,000
Σκεπαρίου Αγ.Παρασκευής	2010	Τρικάλων		Περ. Θεσσαλίας	Χωμάτινο	70,000
Καστανιάς	2011	Μαγνησίας (Αλόννησος)	Καστανιά	Υπ. Αγροτικής Ανάπτυξης	Λιθόρριπτο	609,000
Σαραπιού	2011	Χίου	Πηγές Ρήνας	Περ. Βορείου Αιγαίου	Λιθόρριπτο	1,000,000
Αποσελέμη	2012	Ηρακλείου	Αποσελέμης	Υπ. Μεταφ. Υποδομών	Λιθόρριπτο	36,200,000
Ιλαρίωνα	2012	Κοζάνης	Αλιάκμονας	ΔΕΗ	Χωμάτινο	520,000,000
Βαλσαμιώτη	2014	Χανίων	Βαλσαμιώτης	Οργ. Ανάπτυξης Κρήτης	Σκληρού επιχώματος	6,000,000

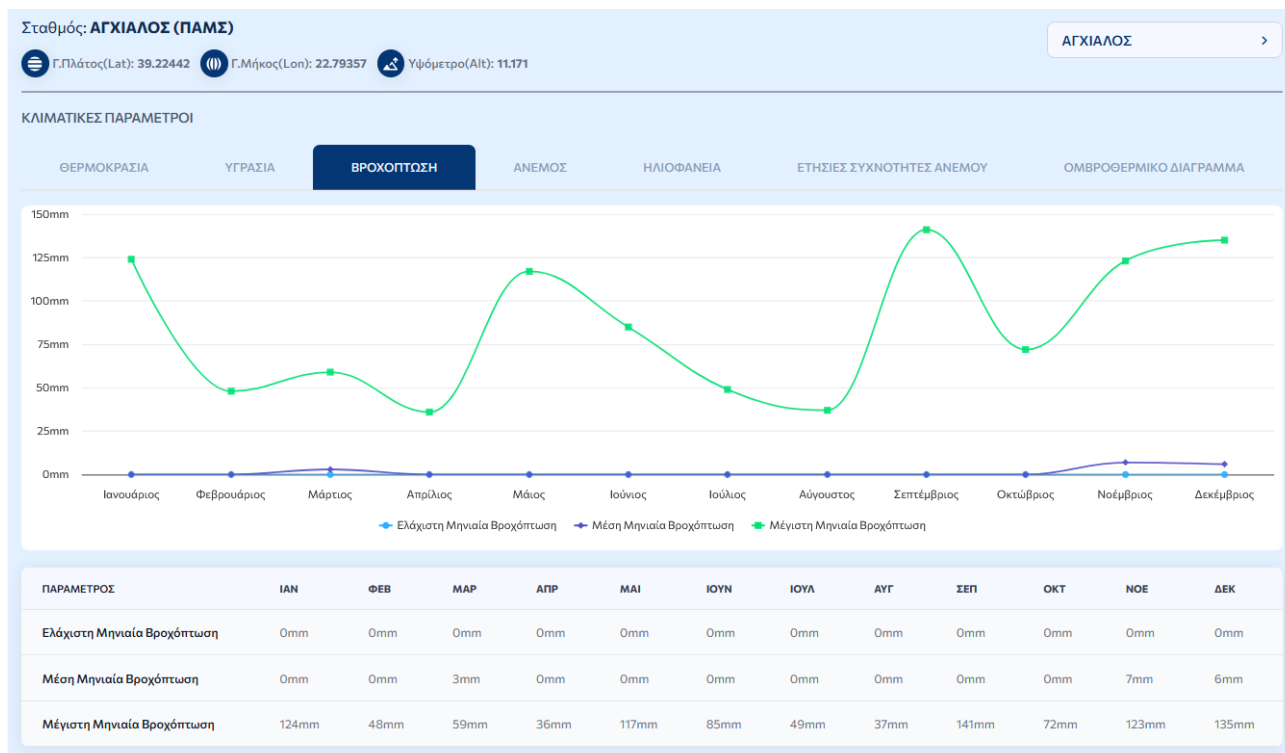
Ντασκά (Βελιμαχίου)	2014	Αχαΐας	Σπλιθάρια	Περ. Δυτικής Ελλάδας	Χωμάτινο	1,200,000
Πείρου- Παραπείρου (Αστερίου)	2019	Αχαΐας	Παραπείρος	Περ. Δυτικής Ελλάδας	Χωμάτινο	40,000,000
Μεσοχώρας	υπό κατ.	Τρικάλων	Αχελώος	ΔΕΗ	Λιθόρριπτο	358,000,000
Ληθαίου	υπό κατ.	Τρικάλων	Ληθαίος	Περ. Θεσσαλίας		

Πηγή: <https://www.geogreece.gr/fragma-list.php>

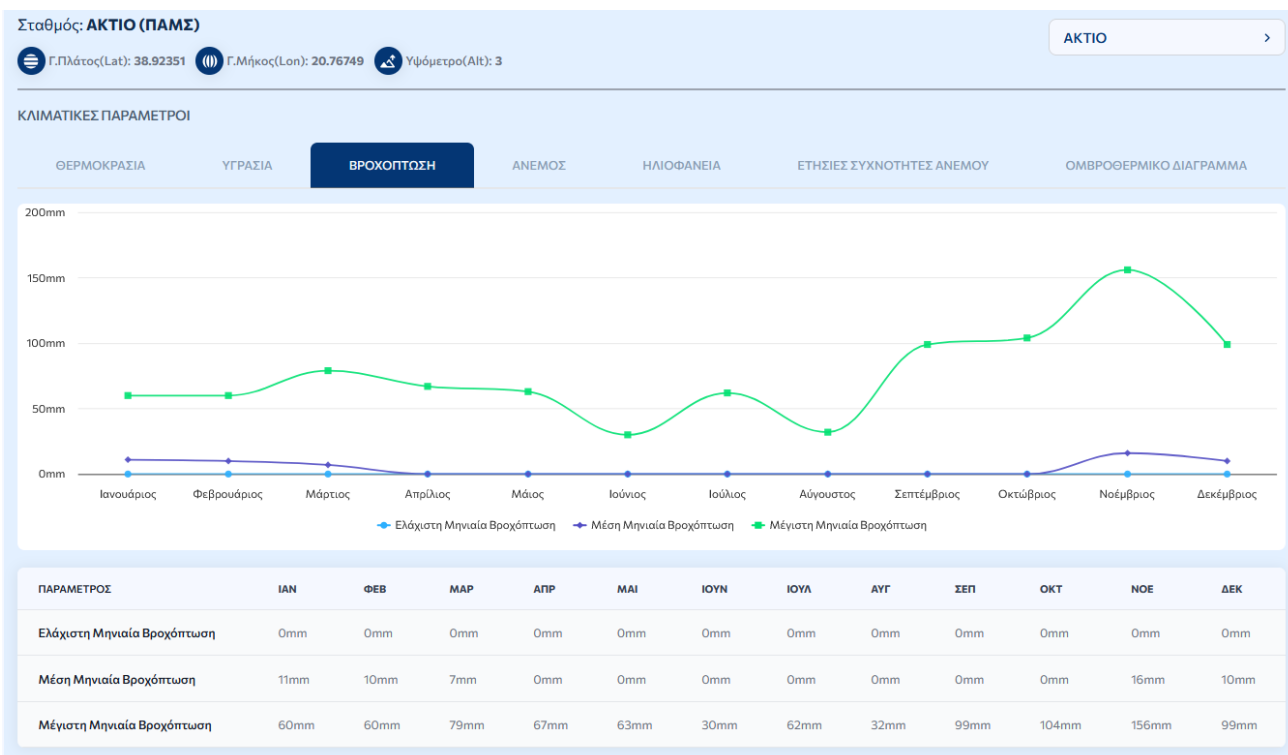
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β «Κλιματικά δεδομένα – Βροχόπτωση»



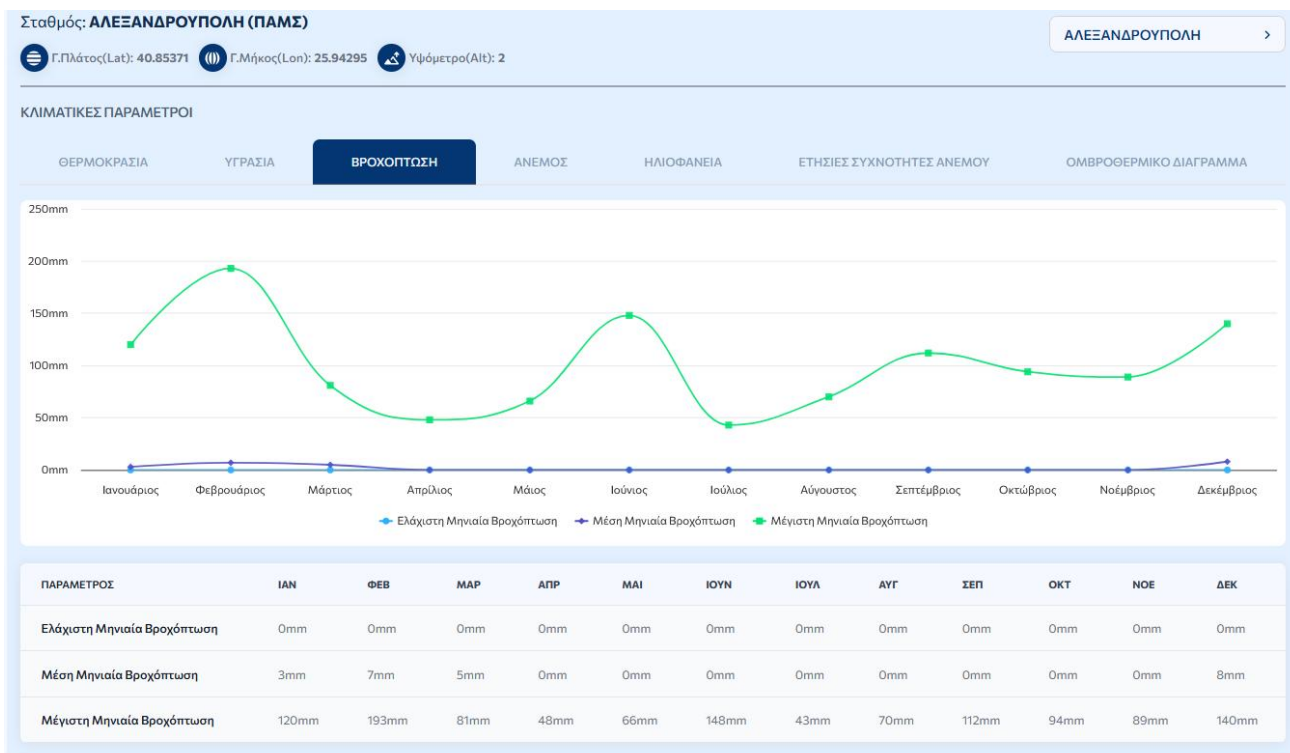
Πηγή: <https://www.geogreece.gr/fragma-list.php>



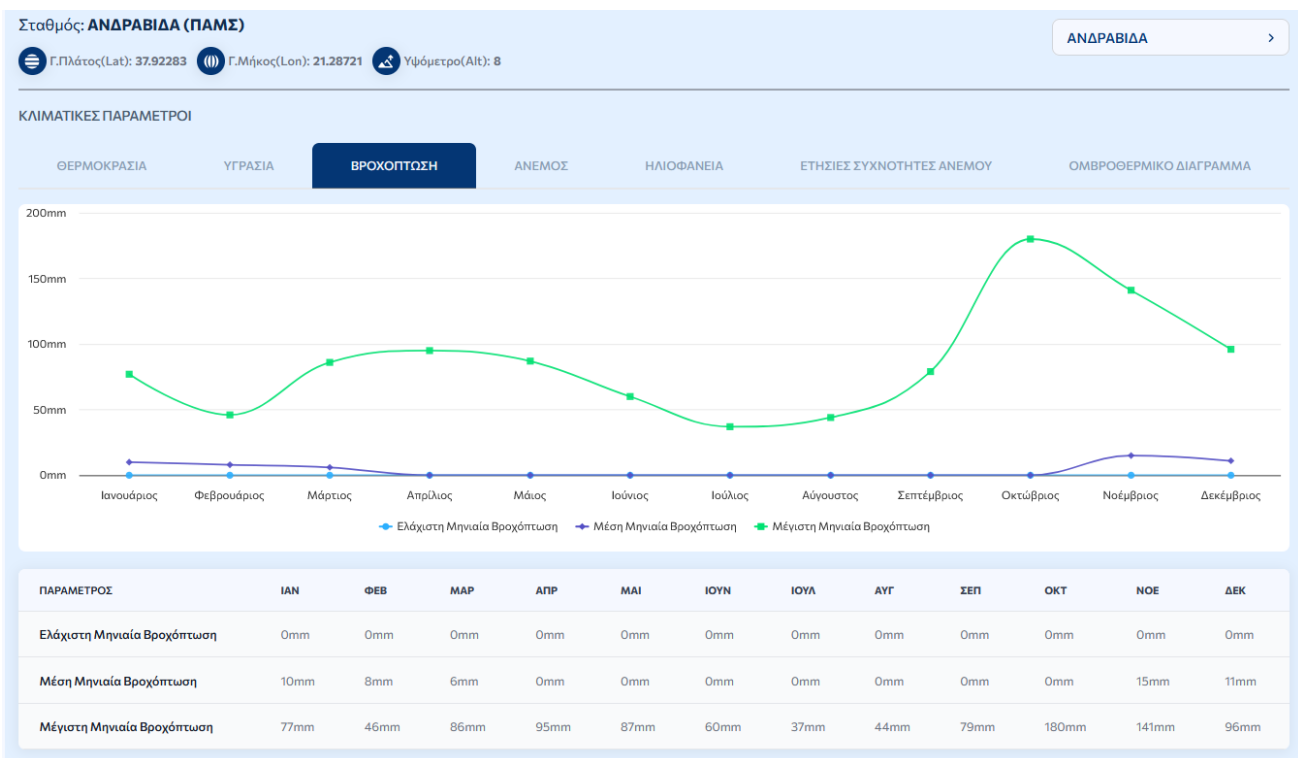
Πηγή: <https://www.geogreece.gr/fragma-list.php>



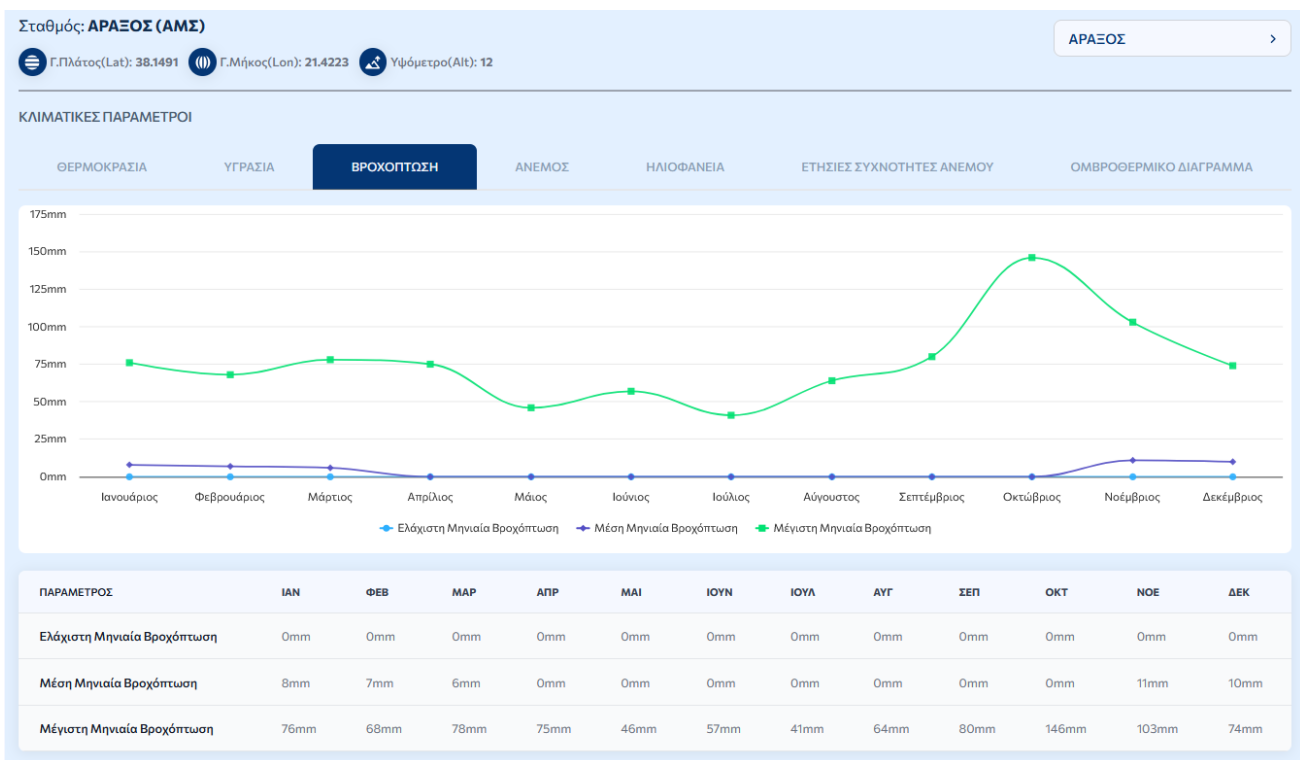
Πηγή: <https://www.geogreece.gr/fragma-list.php>



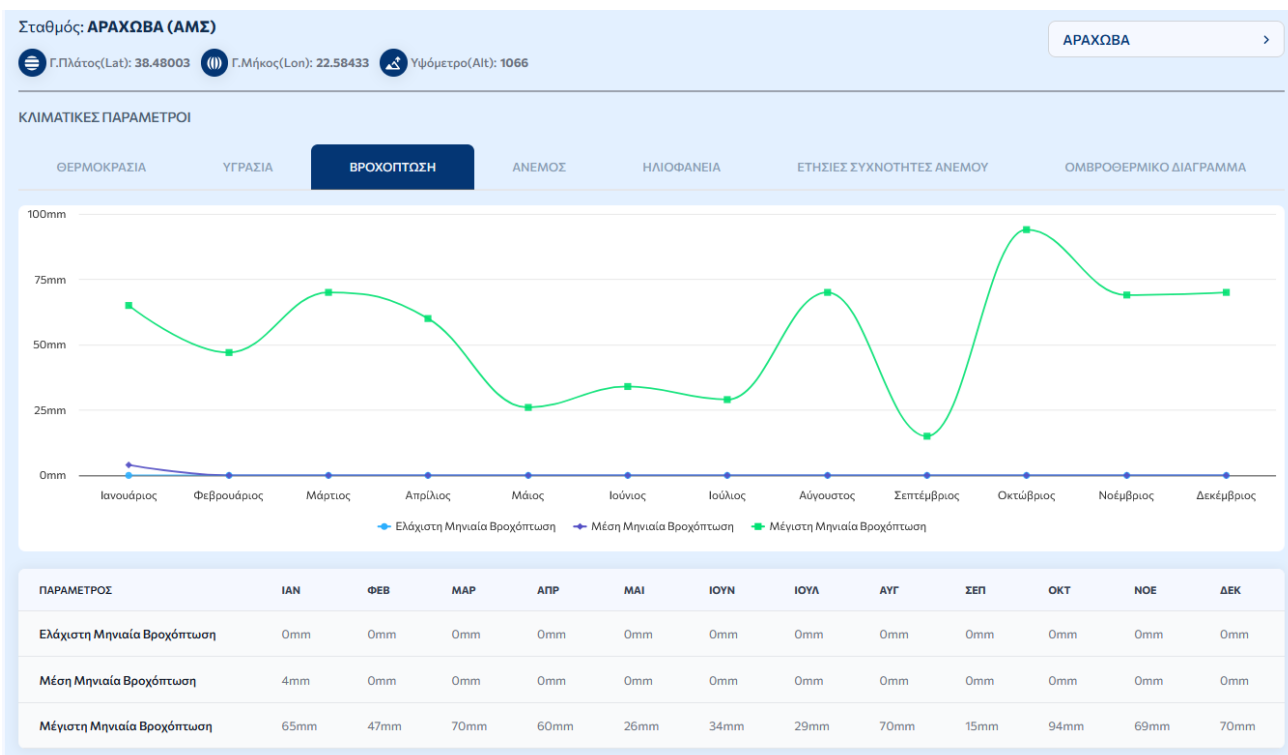
Πηγή: <https://www.geogreece.gr/fragma-list.php>



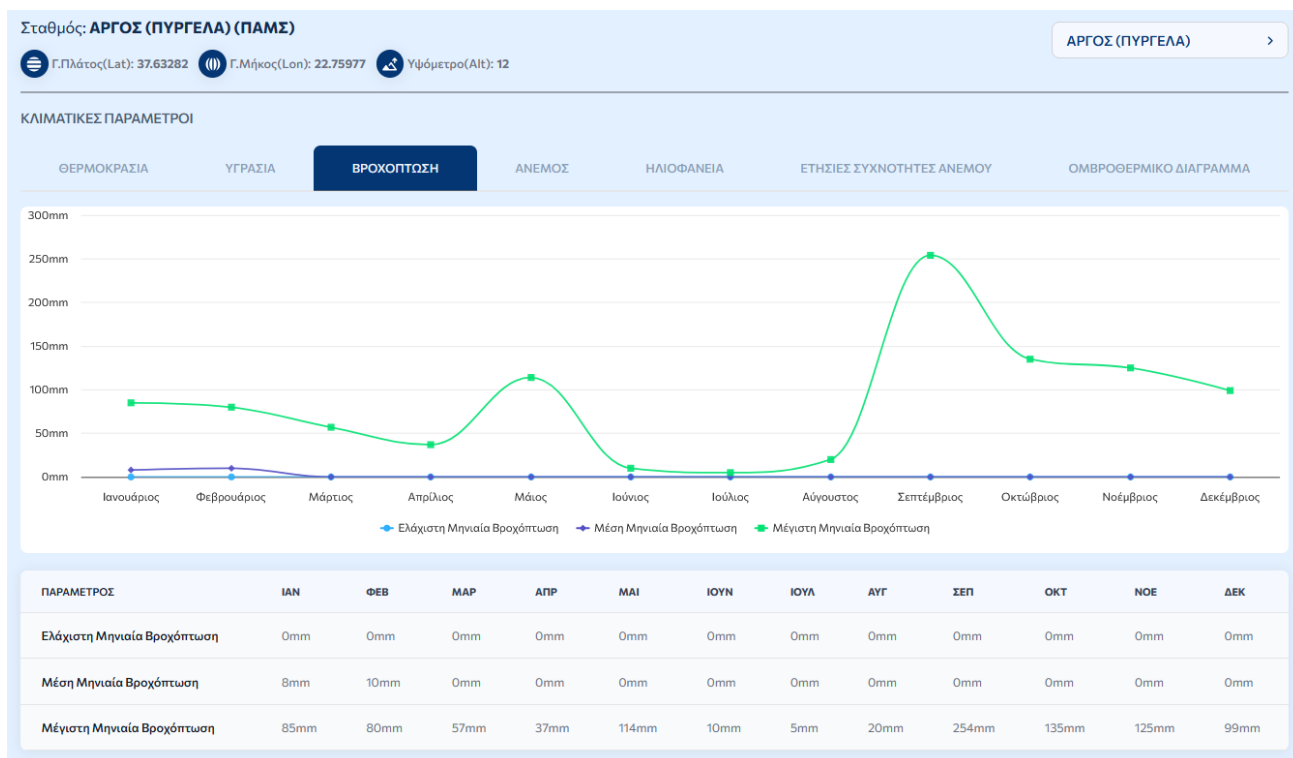
Πηγή: <https://www.geogreece.gr/fragma-list.php>



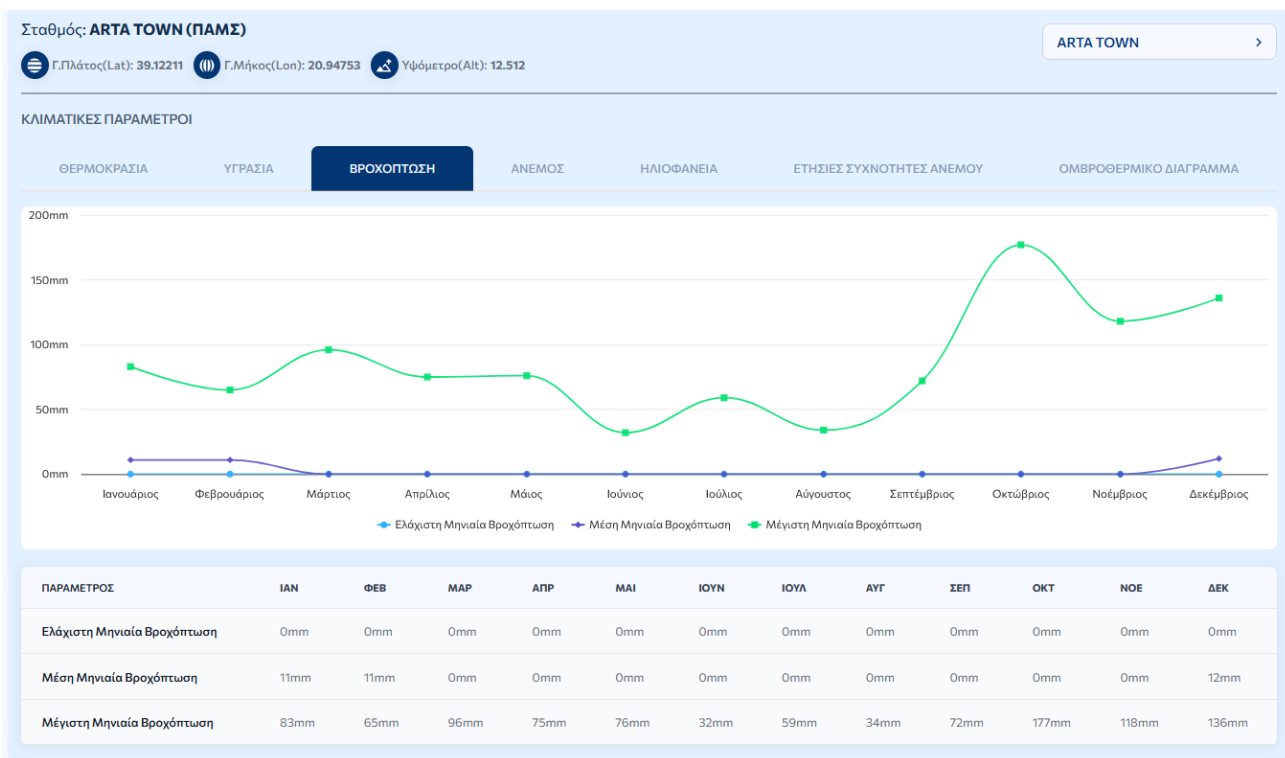
Πηγή: <https://www.geogreece.gr/fragma-list.php>



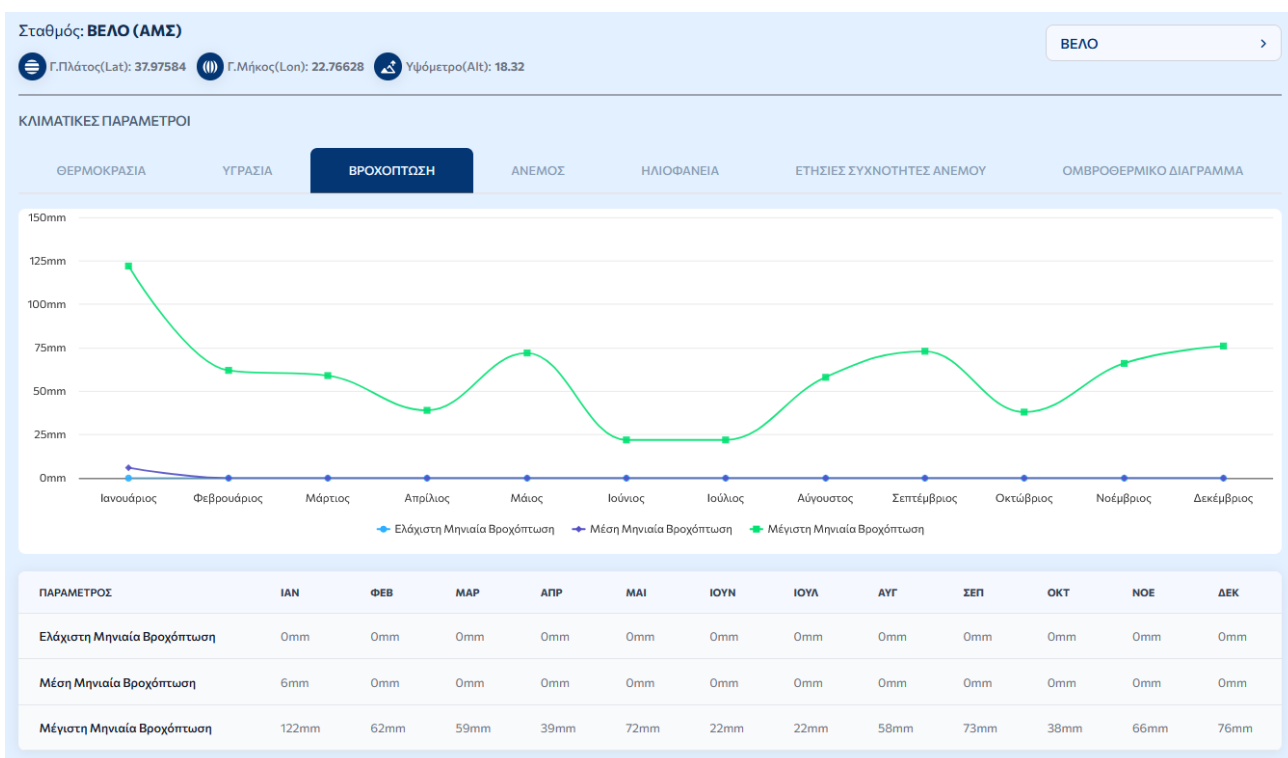
Πηγή: <https://www.geogreece.gr/fragma-list.php>



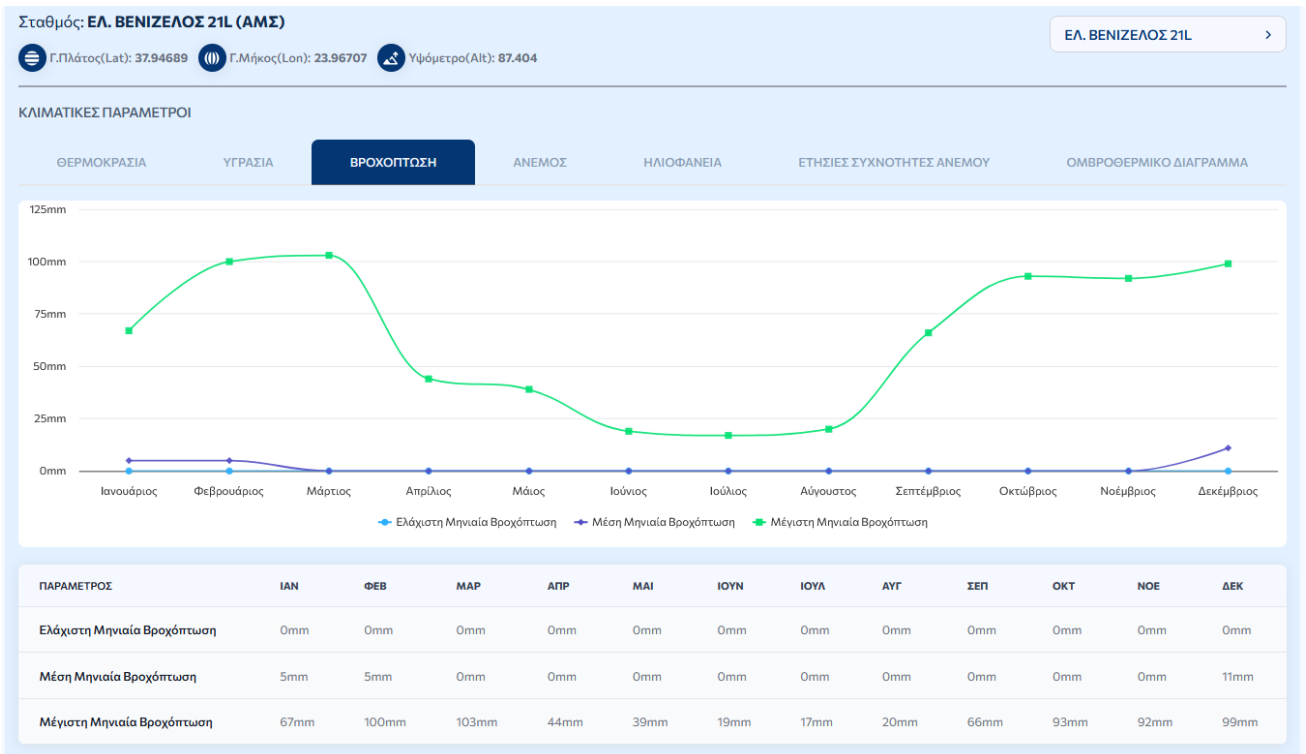
Πηγή: <https://www.geogreece.gr/fragma-list.php>



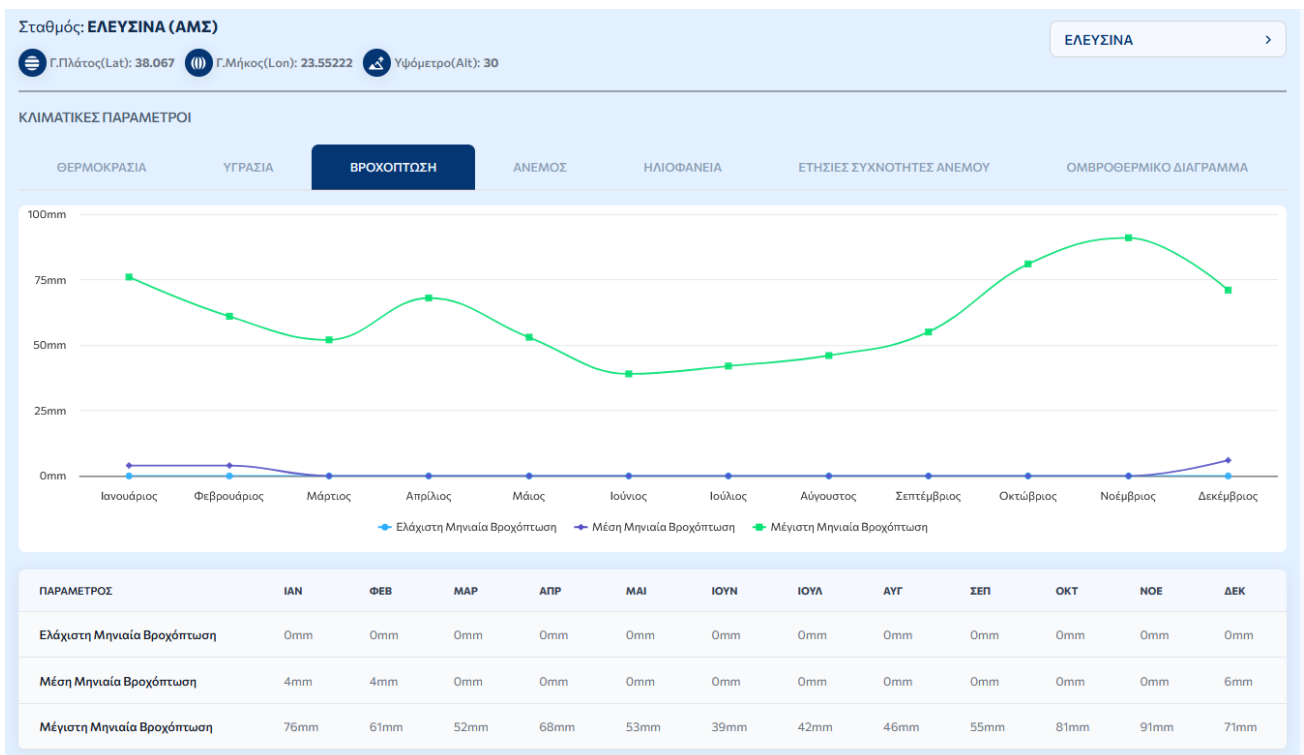
Πηγή: <https://www.geogreece.gr/fragma-list.php>



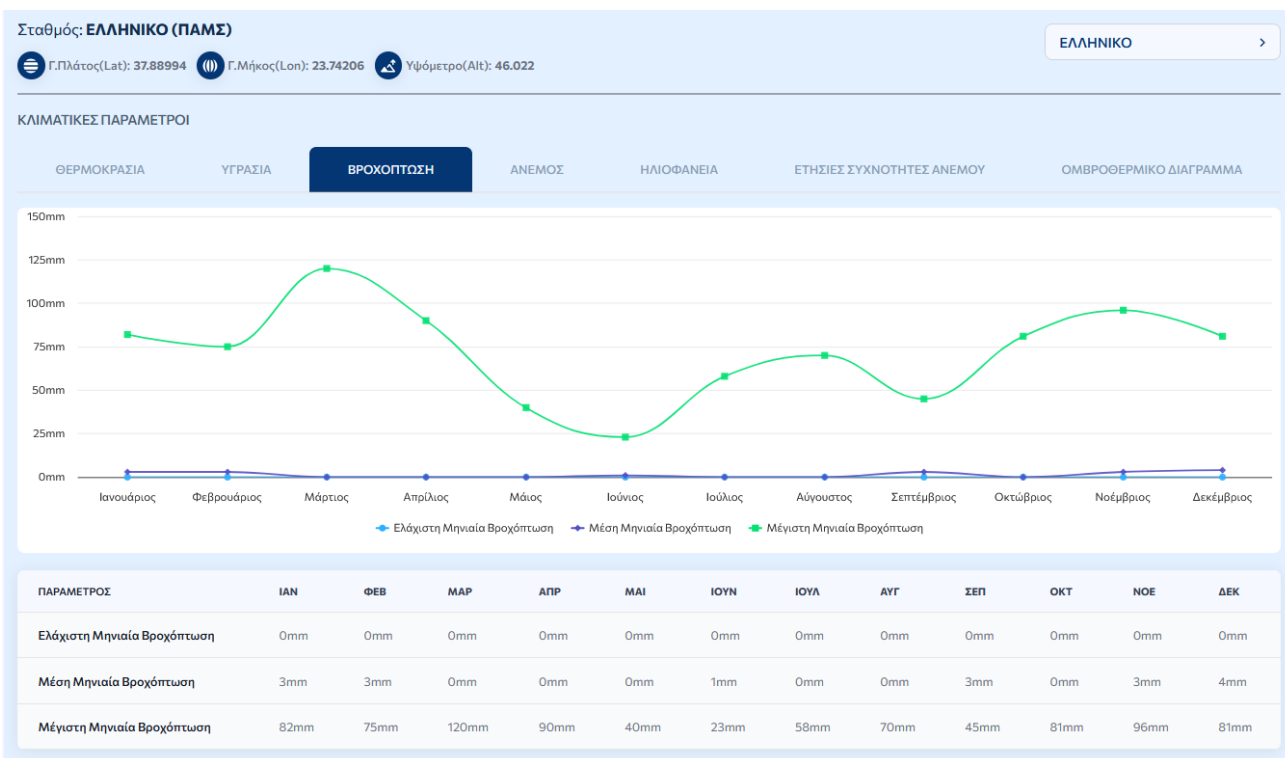
Πηγή: <https://www.geogreece.gr/fragma-list.php>



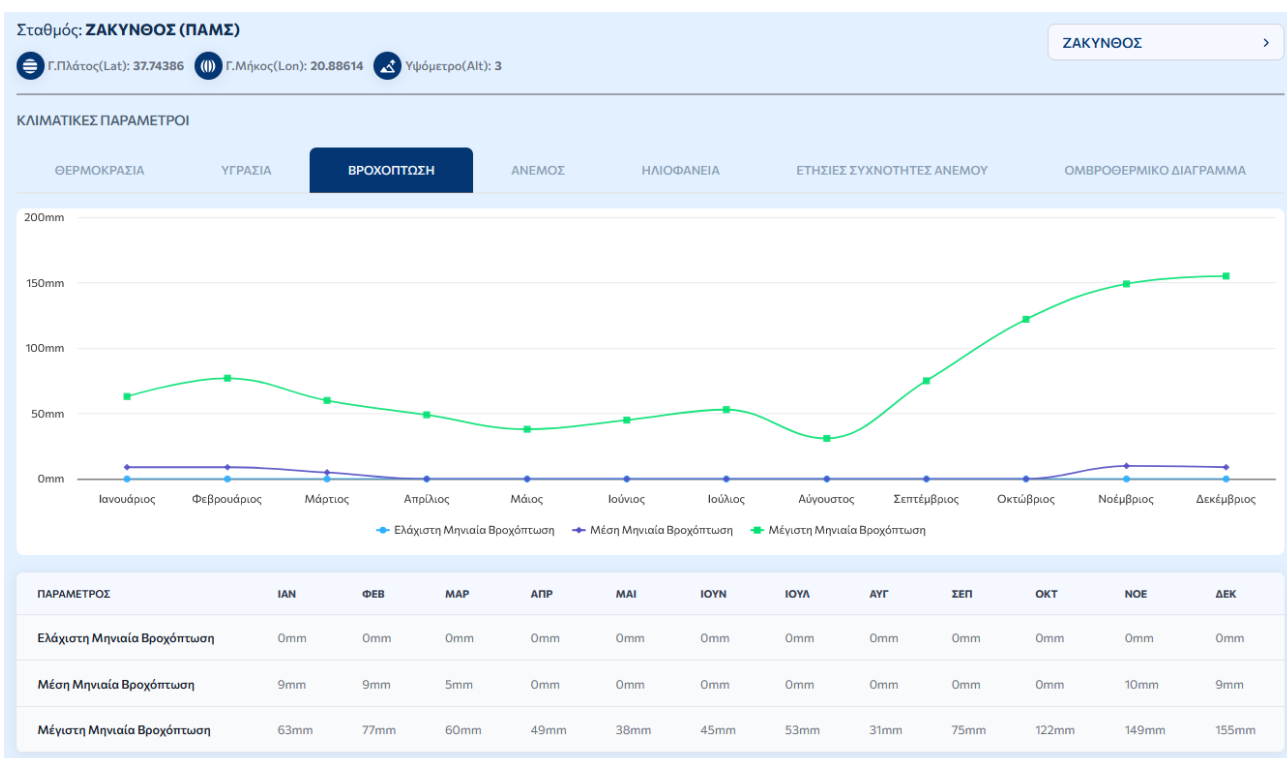
Πηγή: <https://www.geogreece.gr/fragma-list.php>



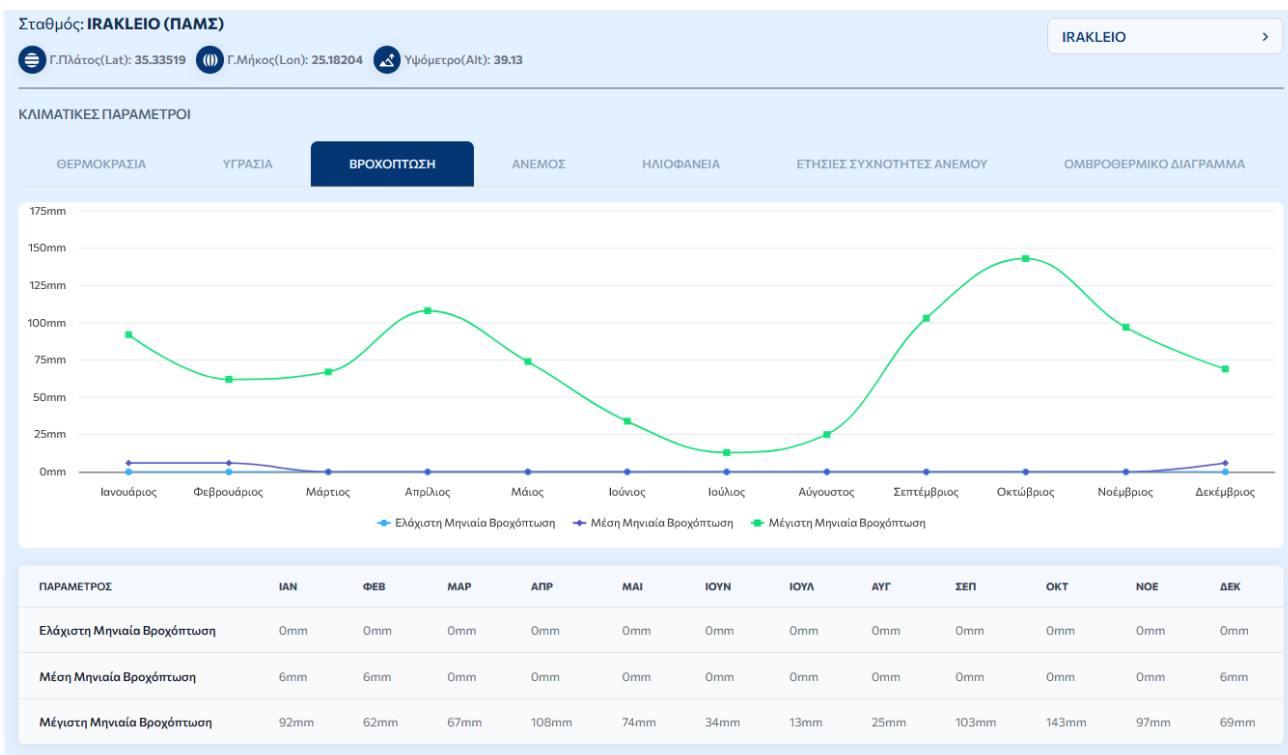
Πηγή: <https://www.geogreece.gr/fragma-list.php>



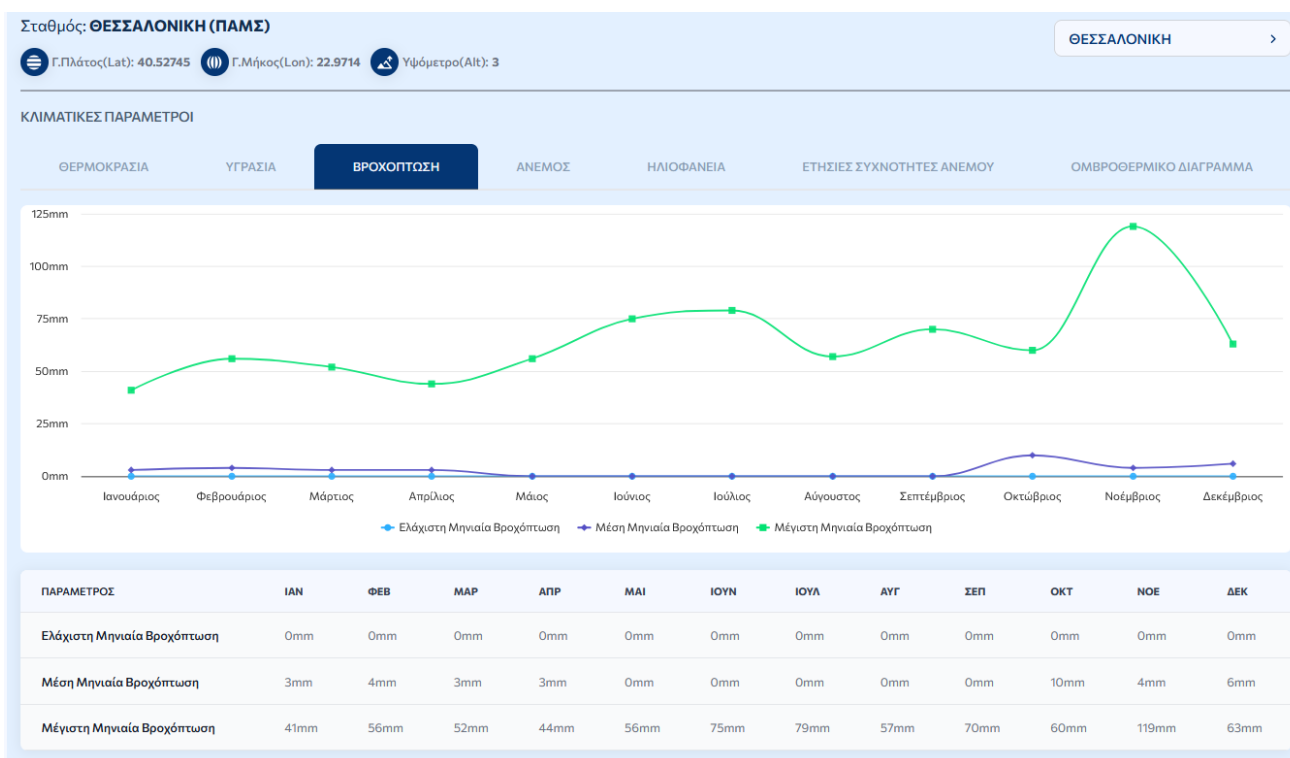
Πηγή: <https://www.geogreece.gr/fragma-list.php>



Πηγή: <https://www.geogreece.gr/fragma-list.php>



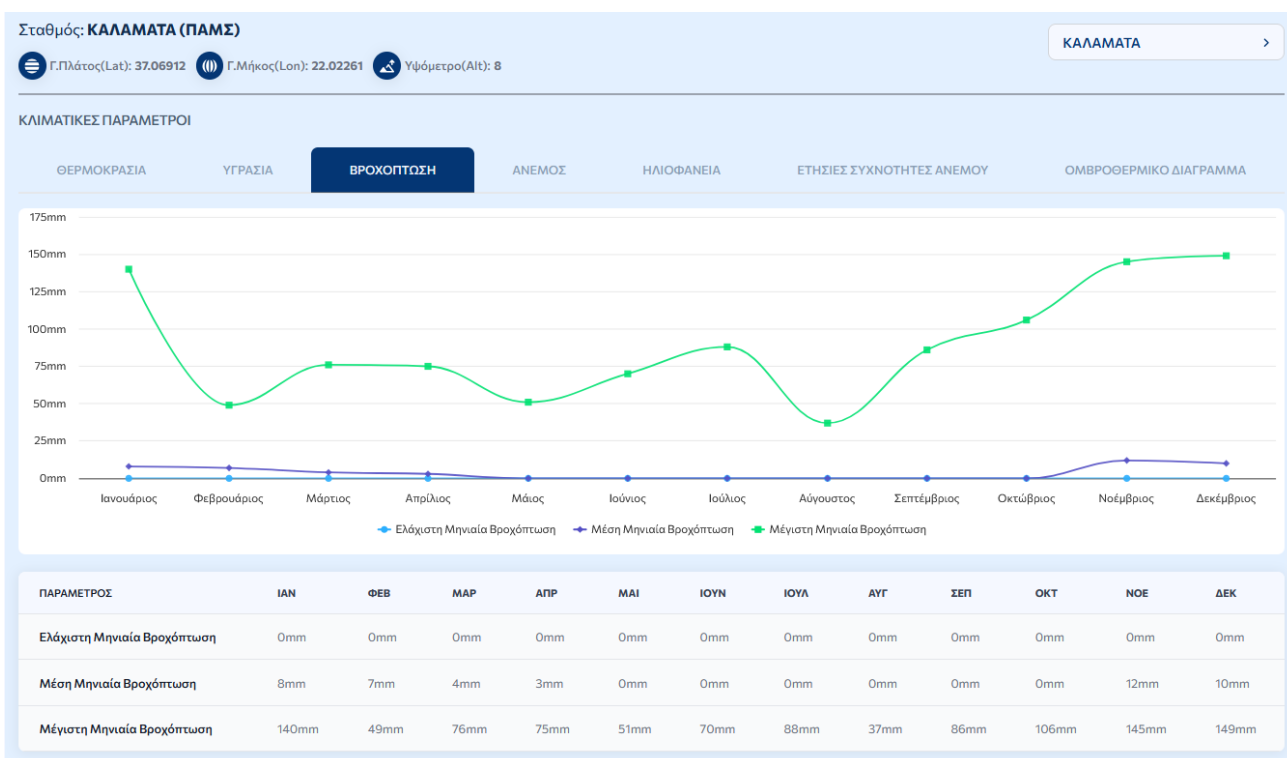
Πηγή: <https://www.geogreece.gr/fragma-list.php>



Πηγή: <https://www.geogreece.gr/fragma-list.php>



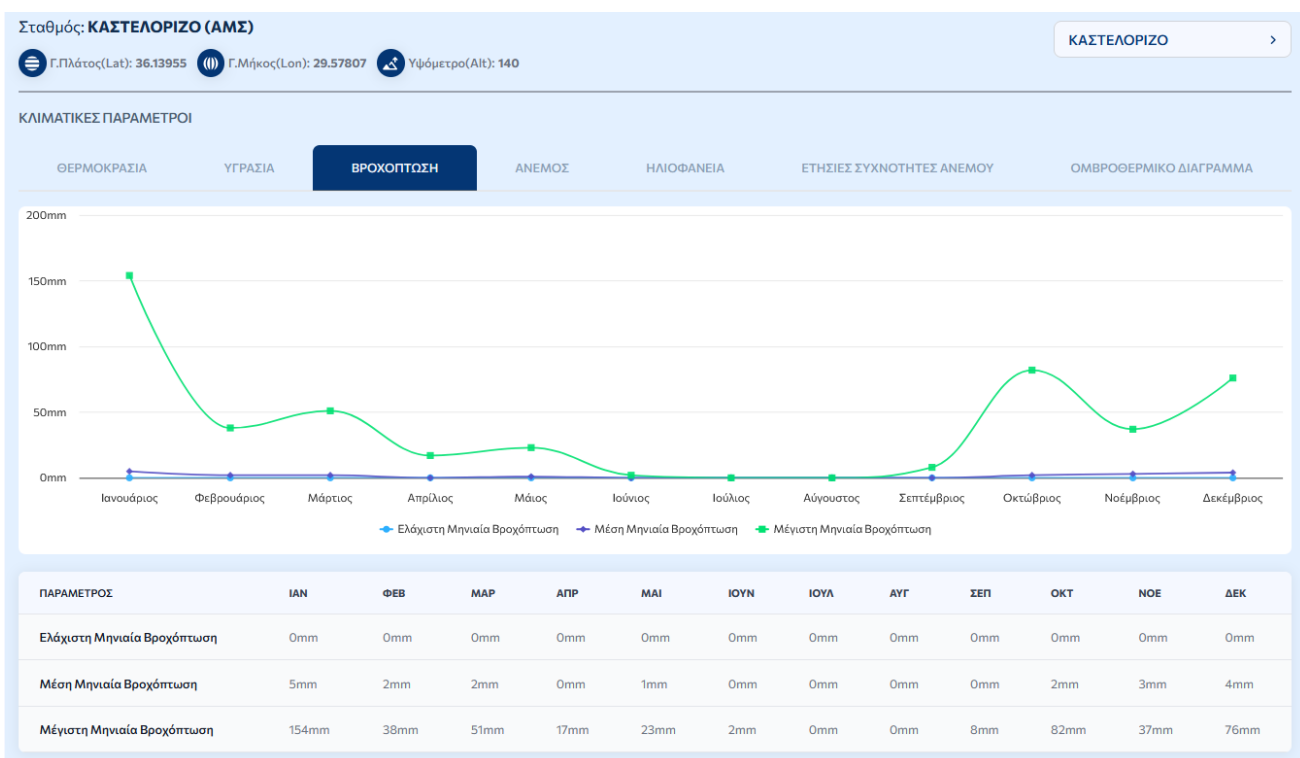
Πηγή: <https://www.geogreece.gr/fragma-list.php>



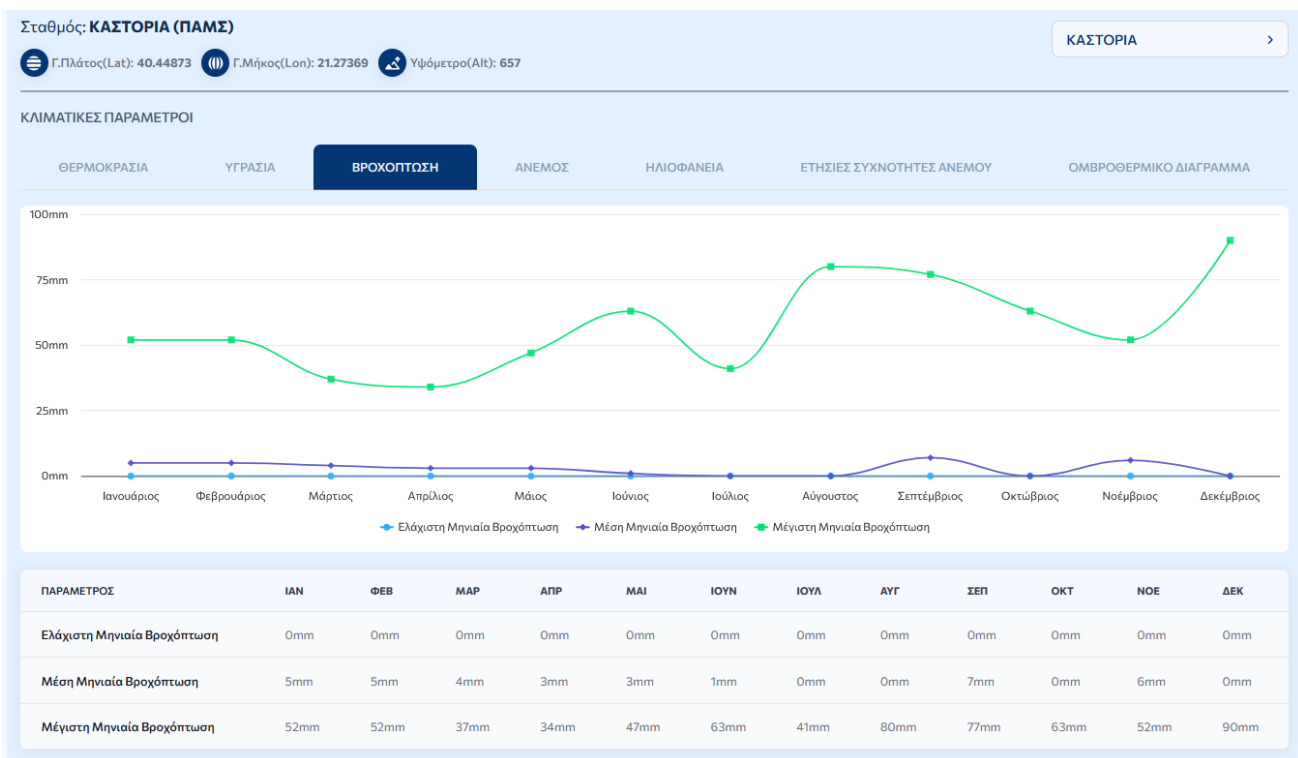
Πηγή: <https://www.geogreece.gr/fragma-list.php>



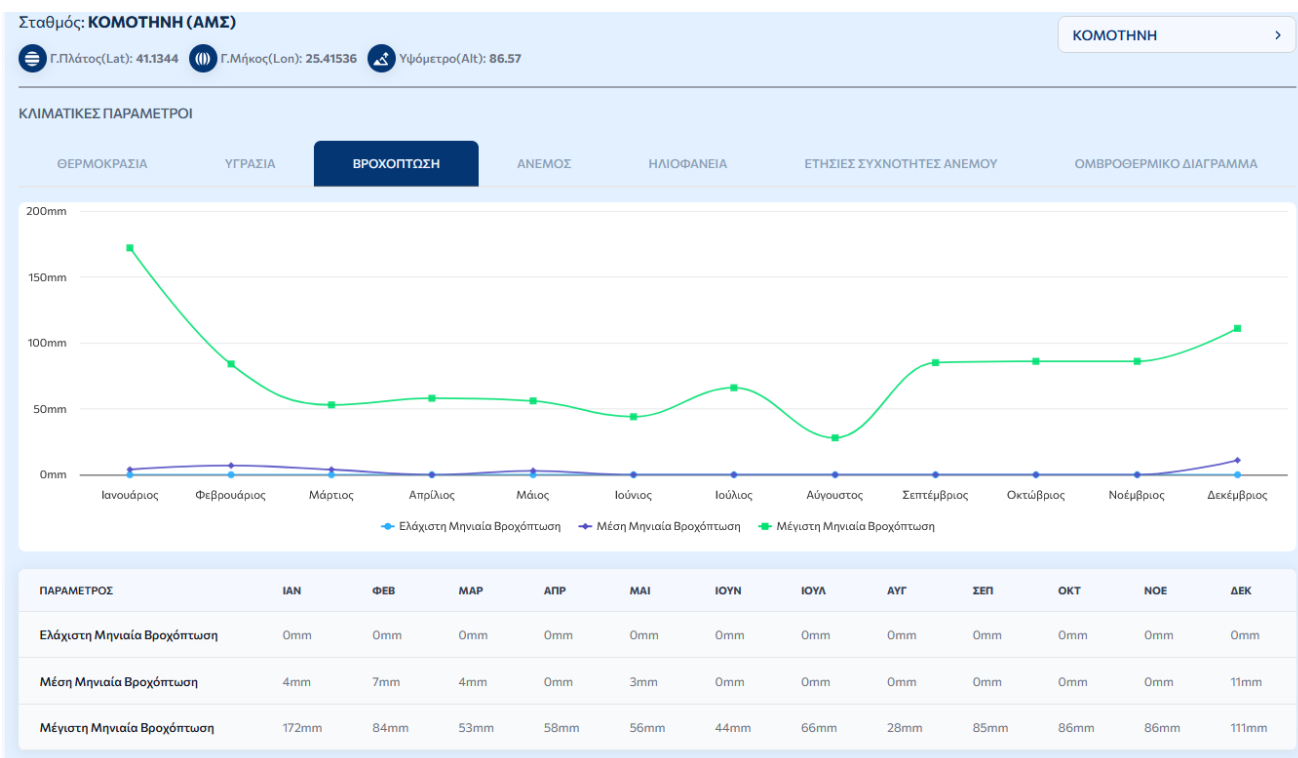
Πηγή: <https://www.geogreece.gr/fragma-list.php>



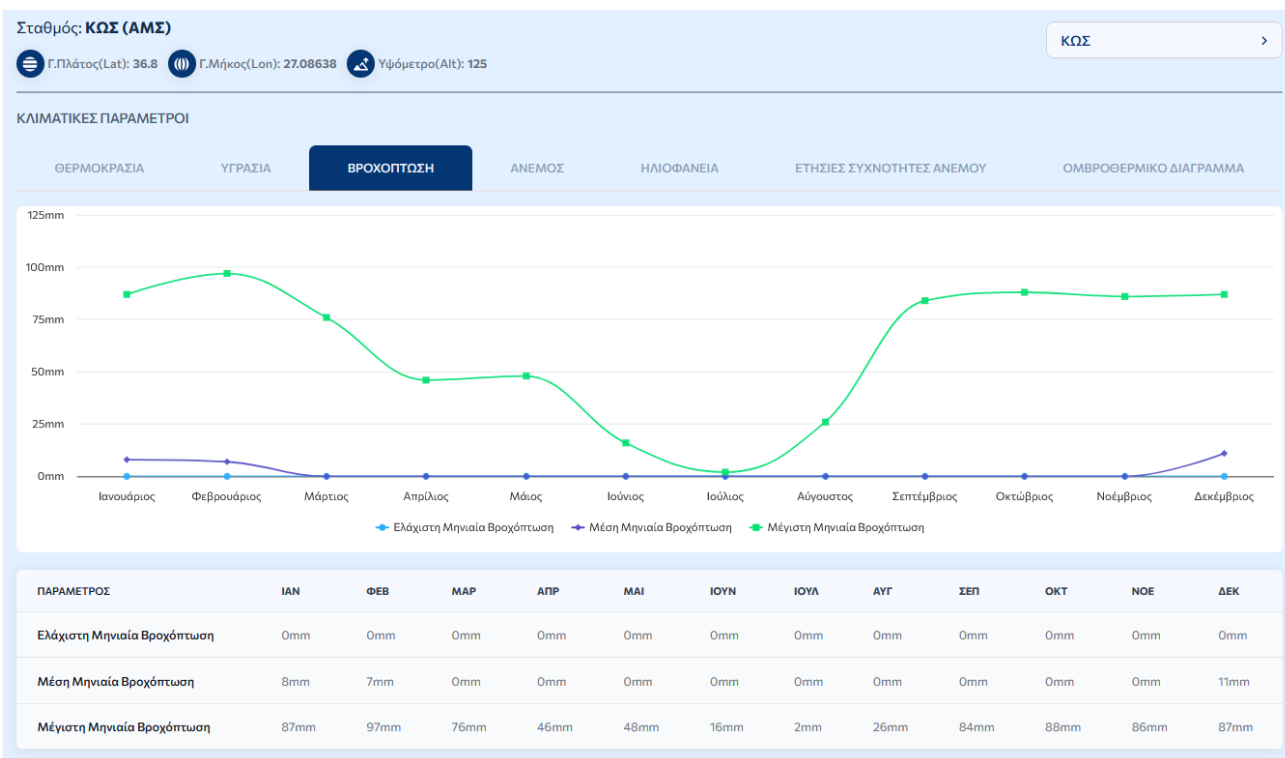
Πηγή: <https://www.geogreece.gr/fragma-list.php>



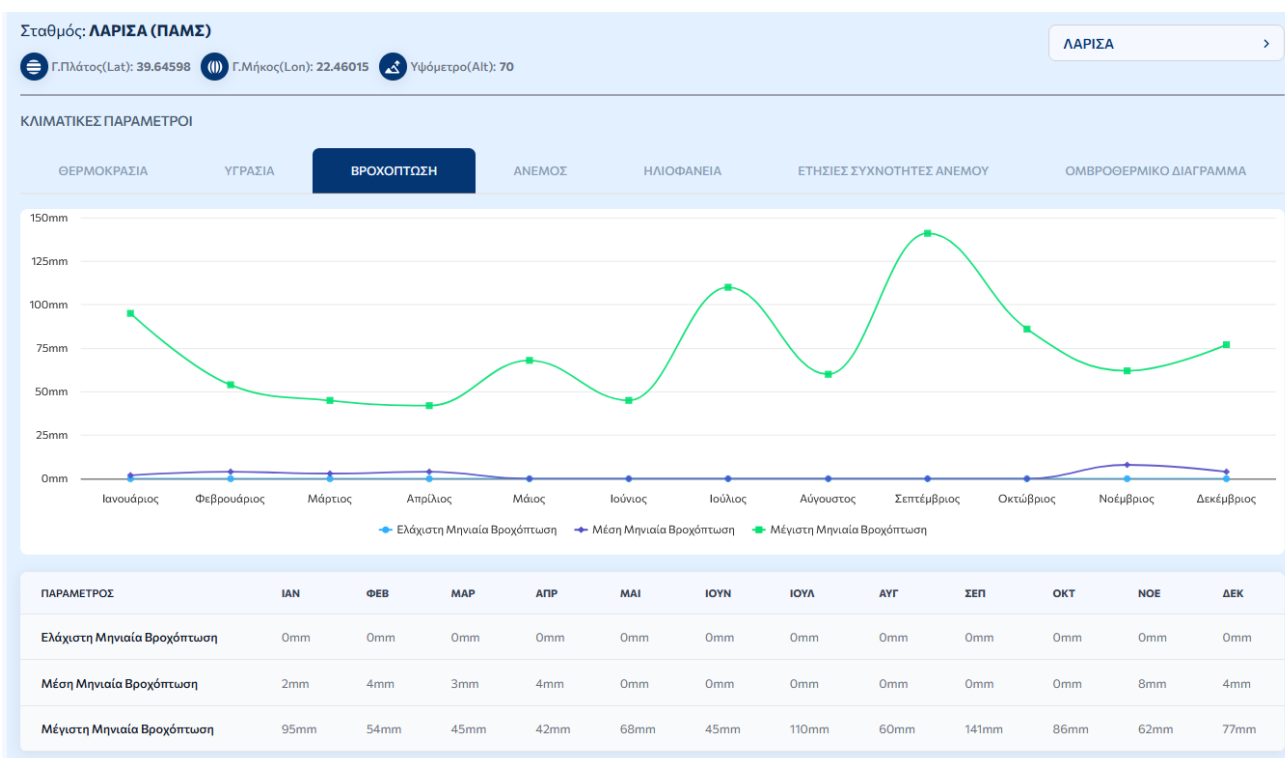
Πηγή: <https://www.geogreece.gr/fragma-list.php>



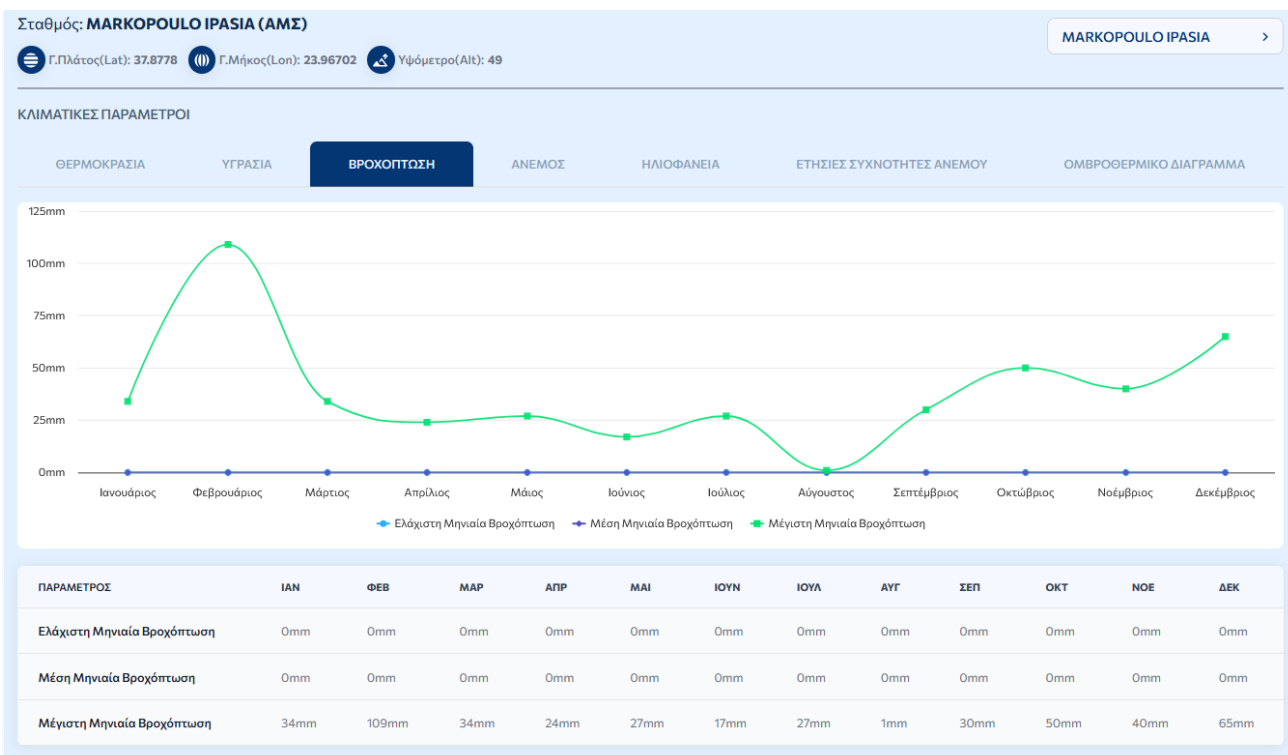
Πηγή: <https://www.geogreece.gr/fragma-list.php>



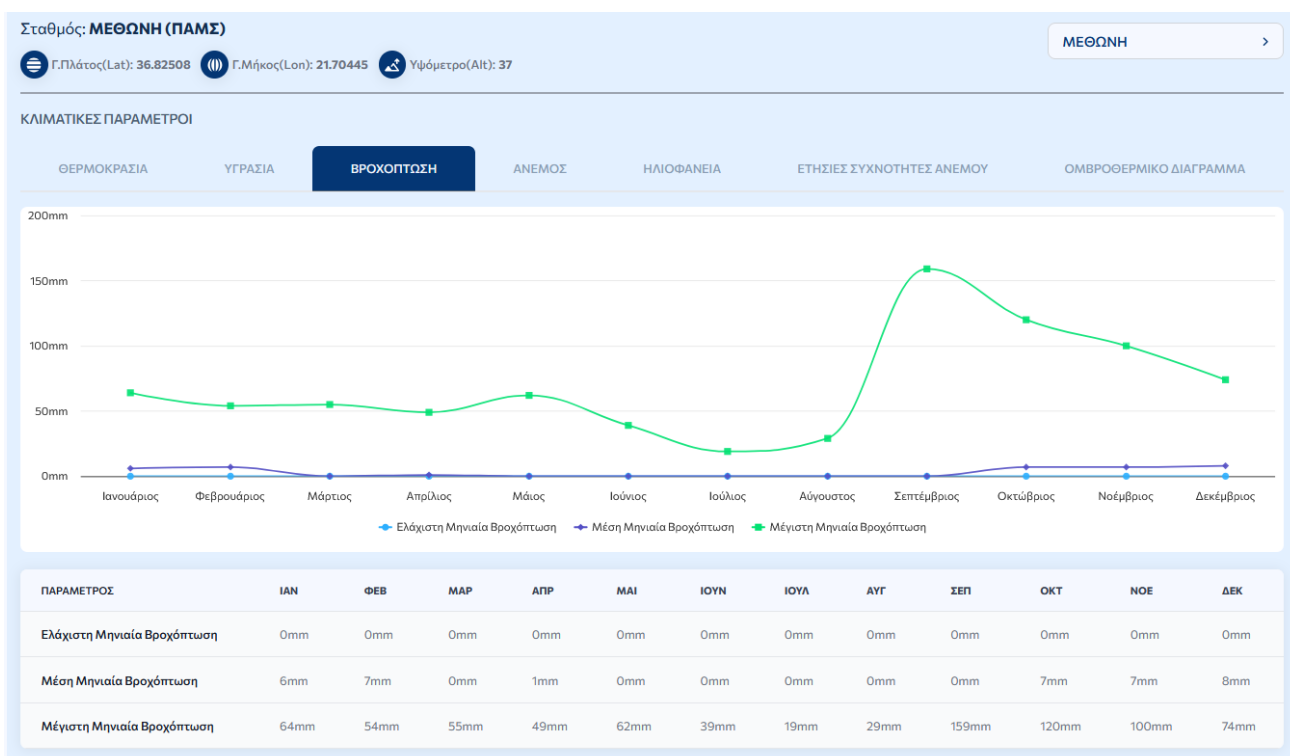
Πηγή: <https://www.geogreece.gr/fragma-list.php>



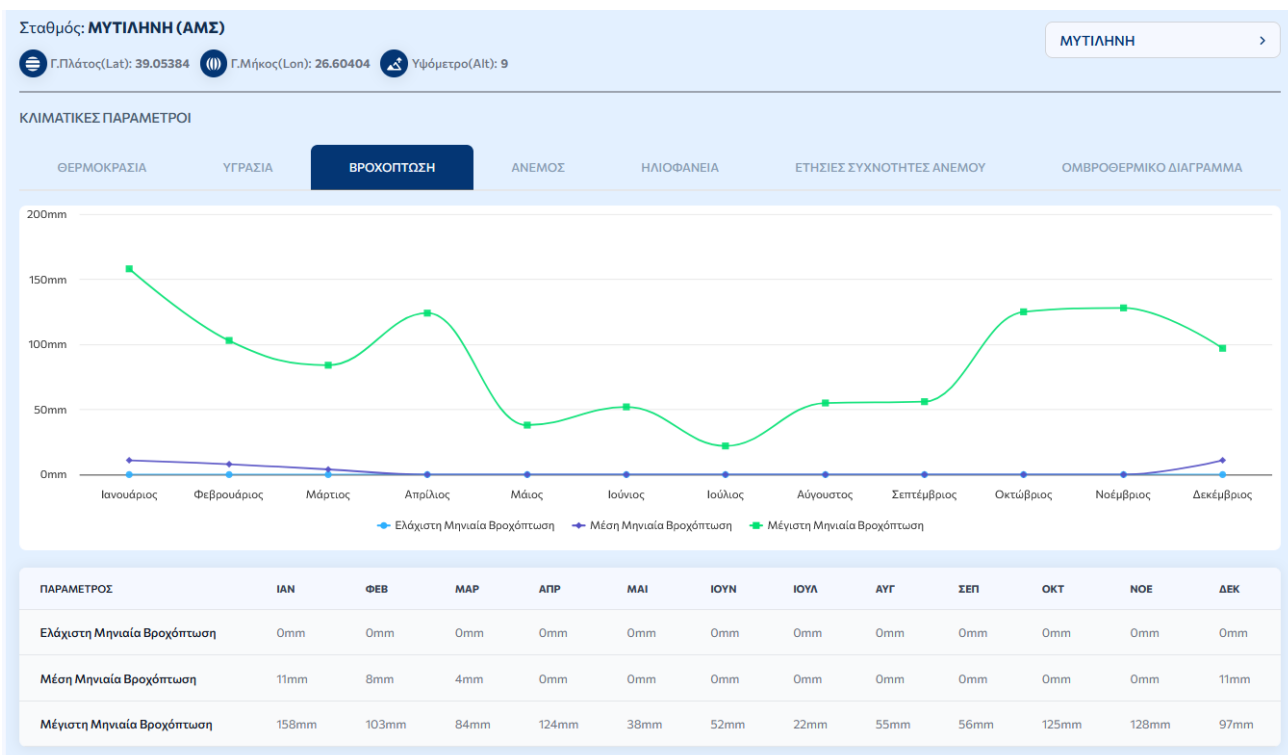
Πηγή: <https://www.geogreece.gr/fragma-list.php>



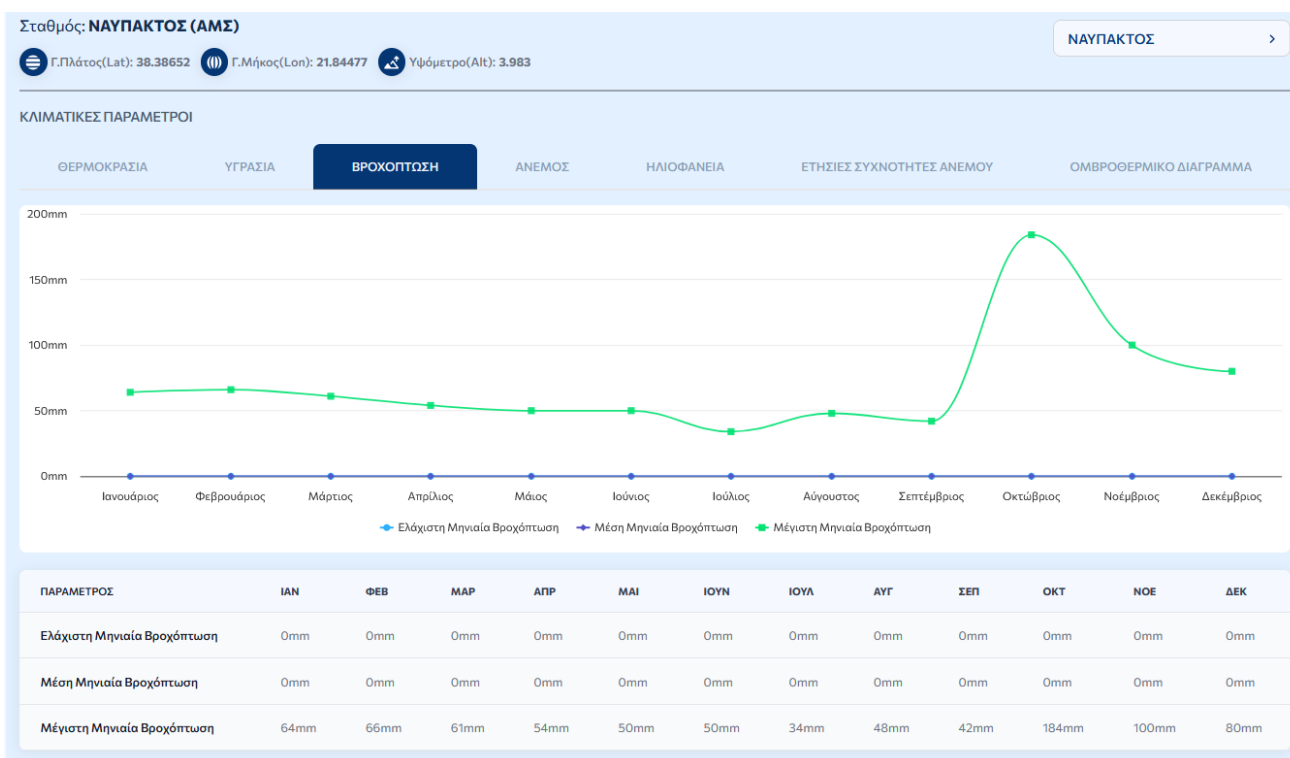
Πηγή: <https://www.geogreece.gr/fragma-list.php>



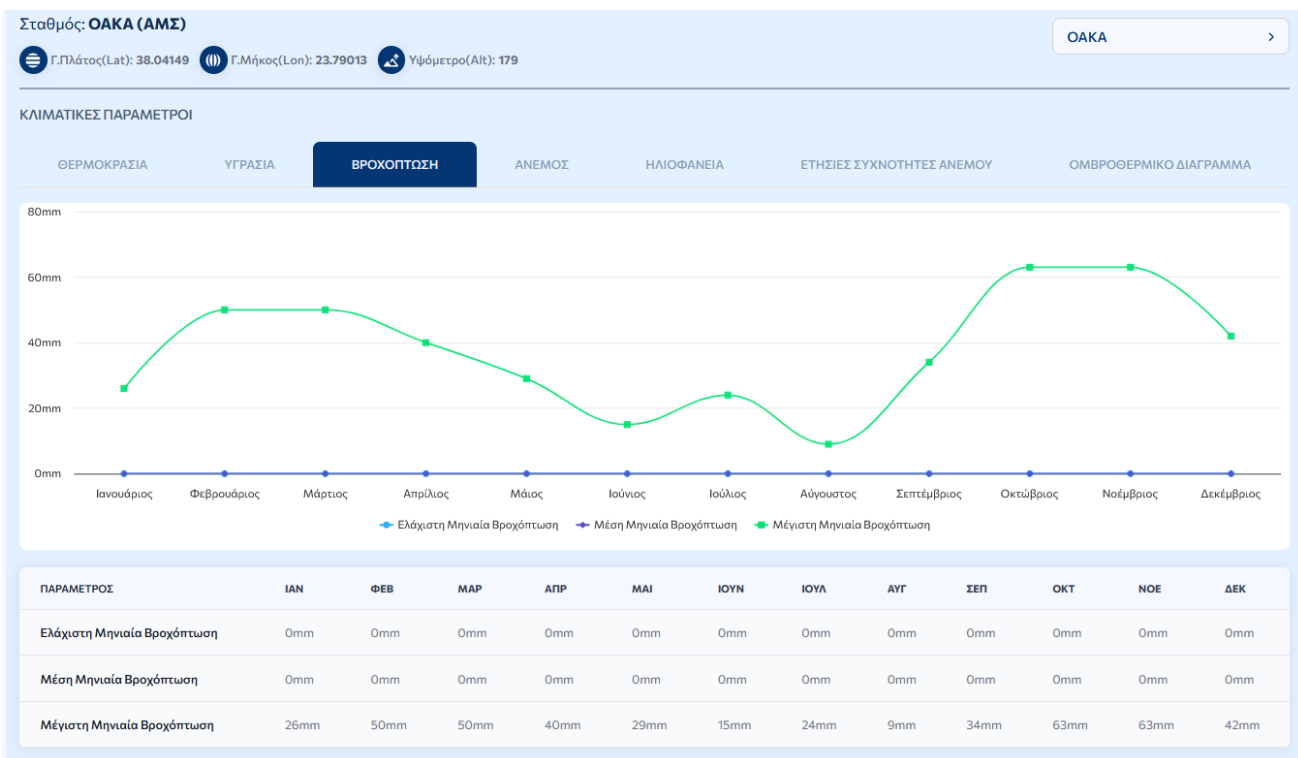
Πηγή: <https://www.geogreece.gr/fragma-list.php>



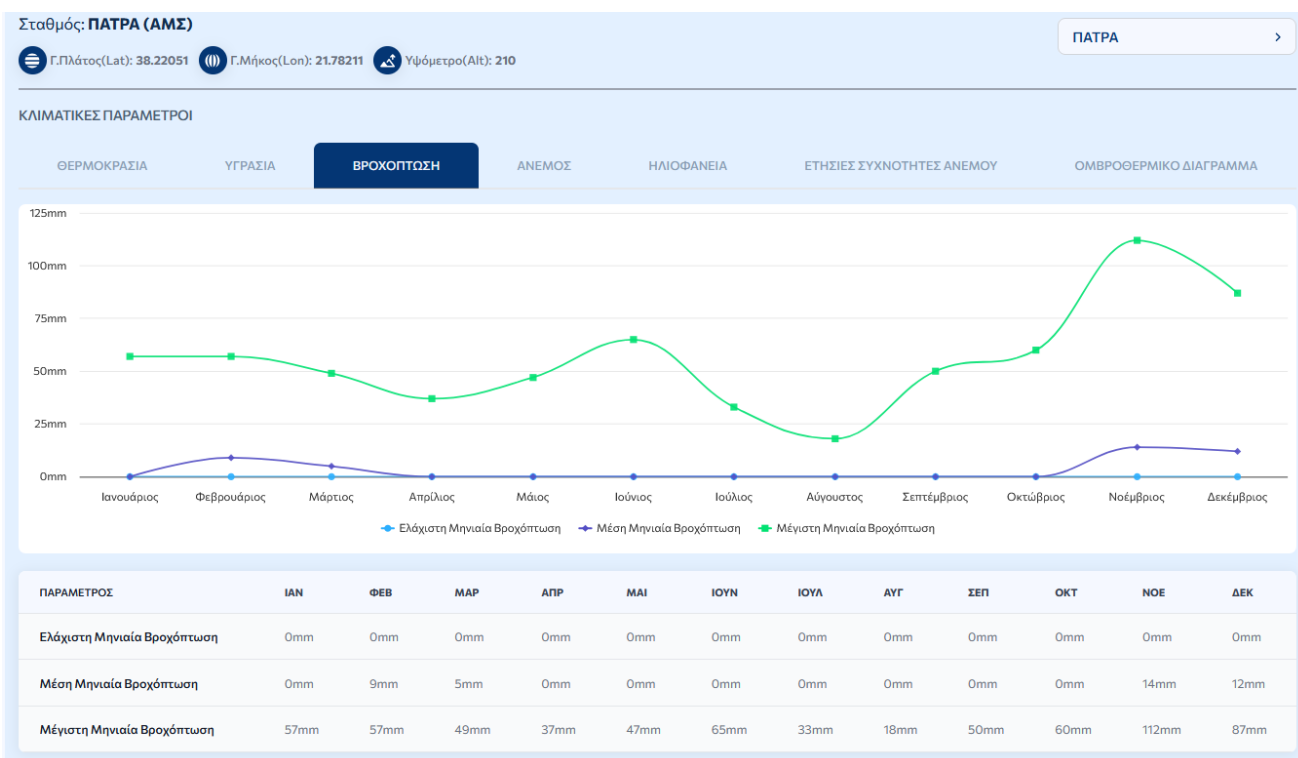
Πηγή: <https://www.geogreece.gr/fragma-list.php>



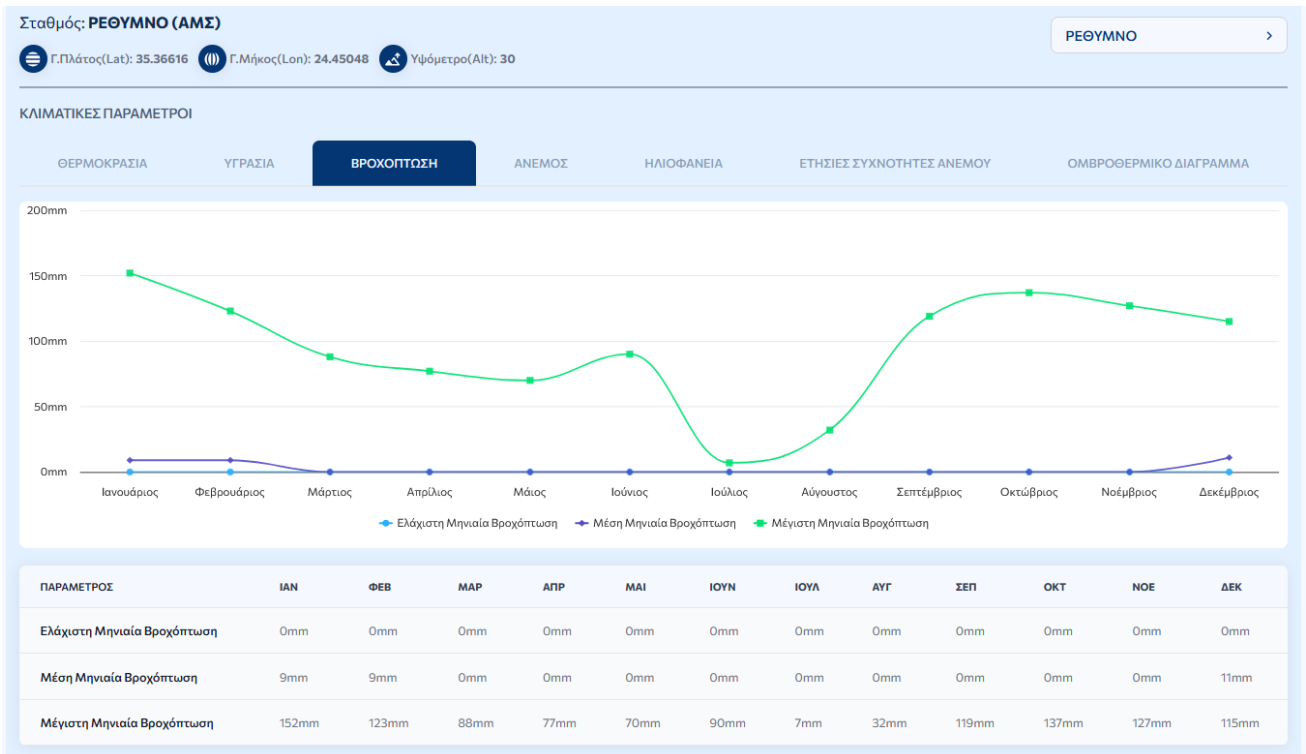
Πηγή: <https://www.geogreece.gr/fragma-list.php>



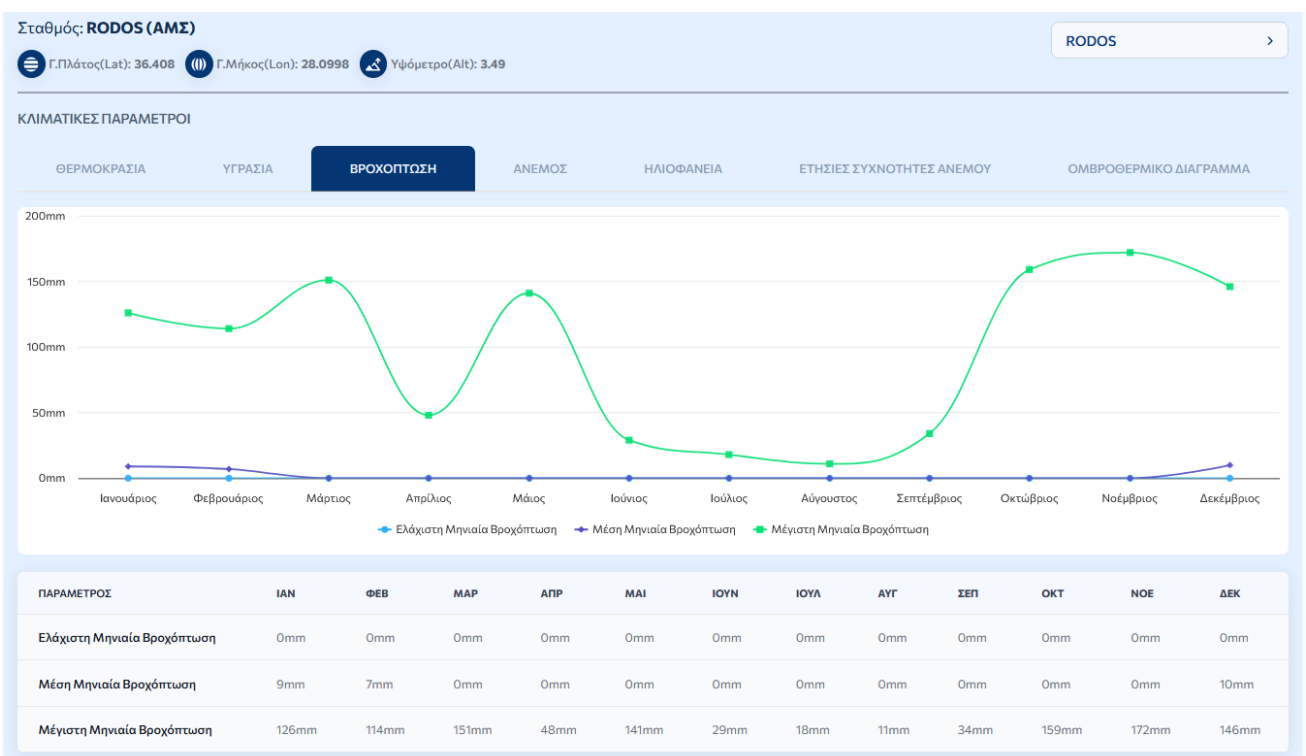
Πηγή: <https://www.geogreece.gr/fragma-list.php>



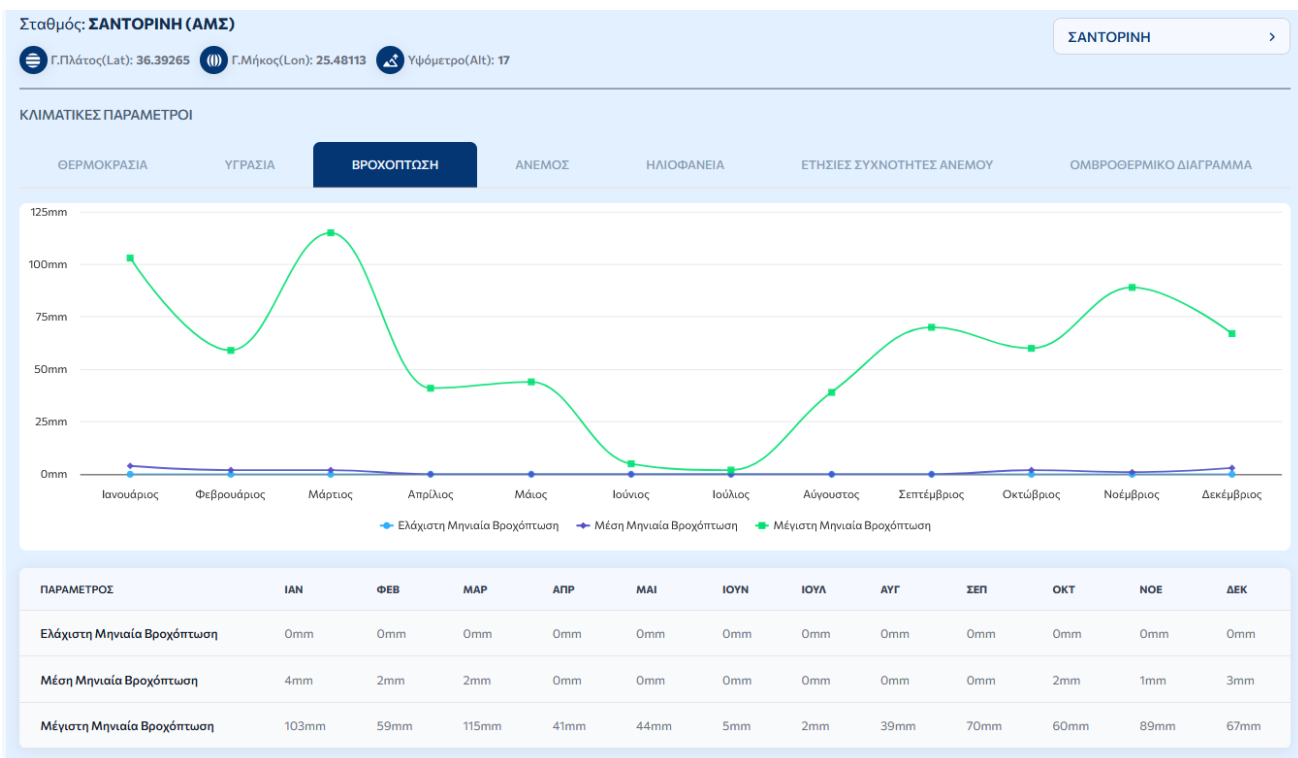
Πηγή: <https://www.geogreece.gr/fragma-list.php>



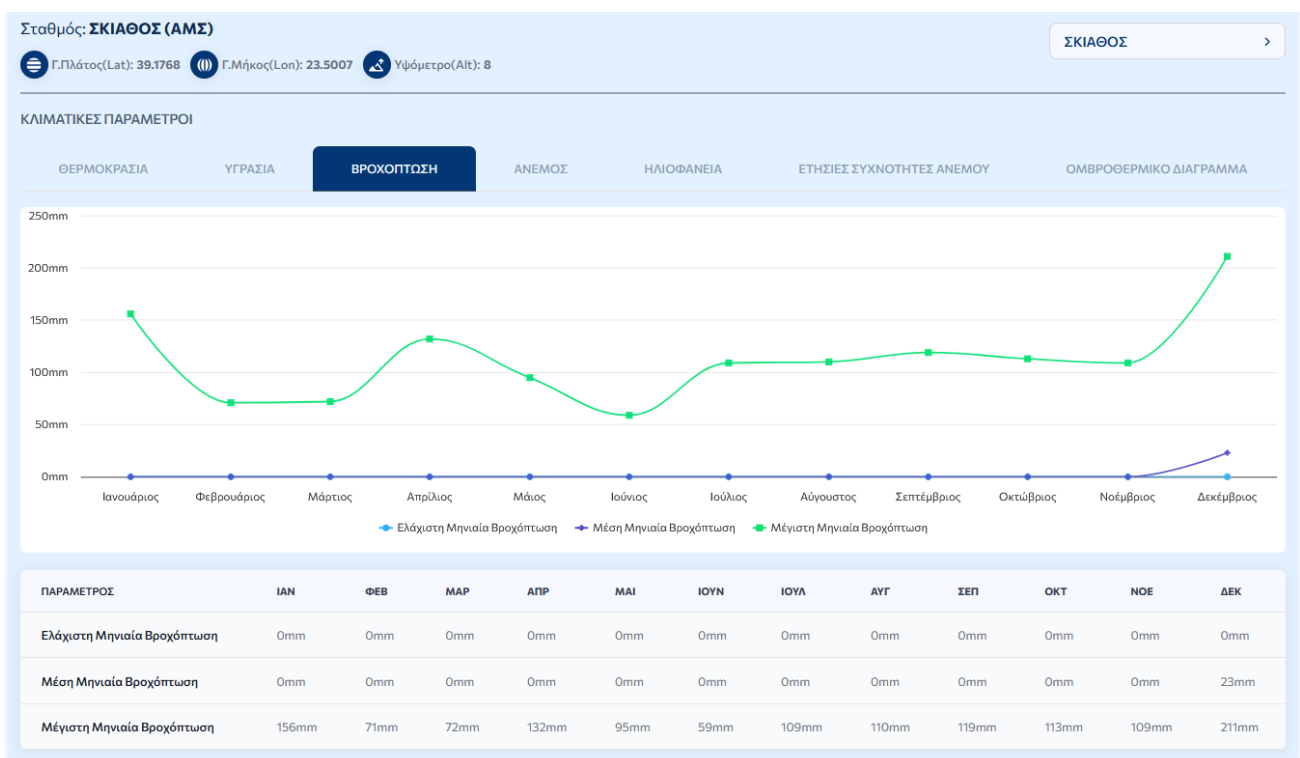
Πηγή: <https://www.geogreece.gr/fragma-list.php>



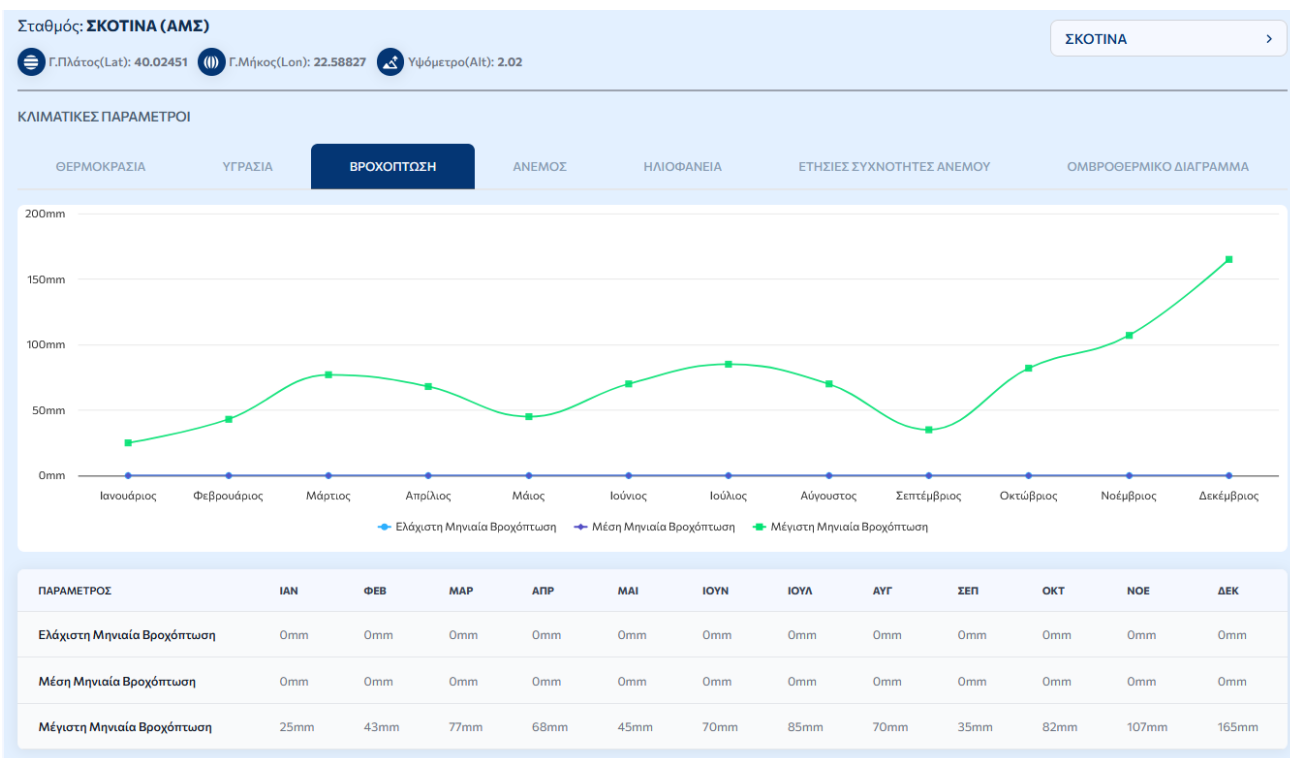
Πηγή: <https://www.geogreece.gr/fragma-list.php>



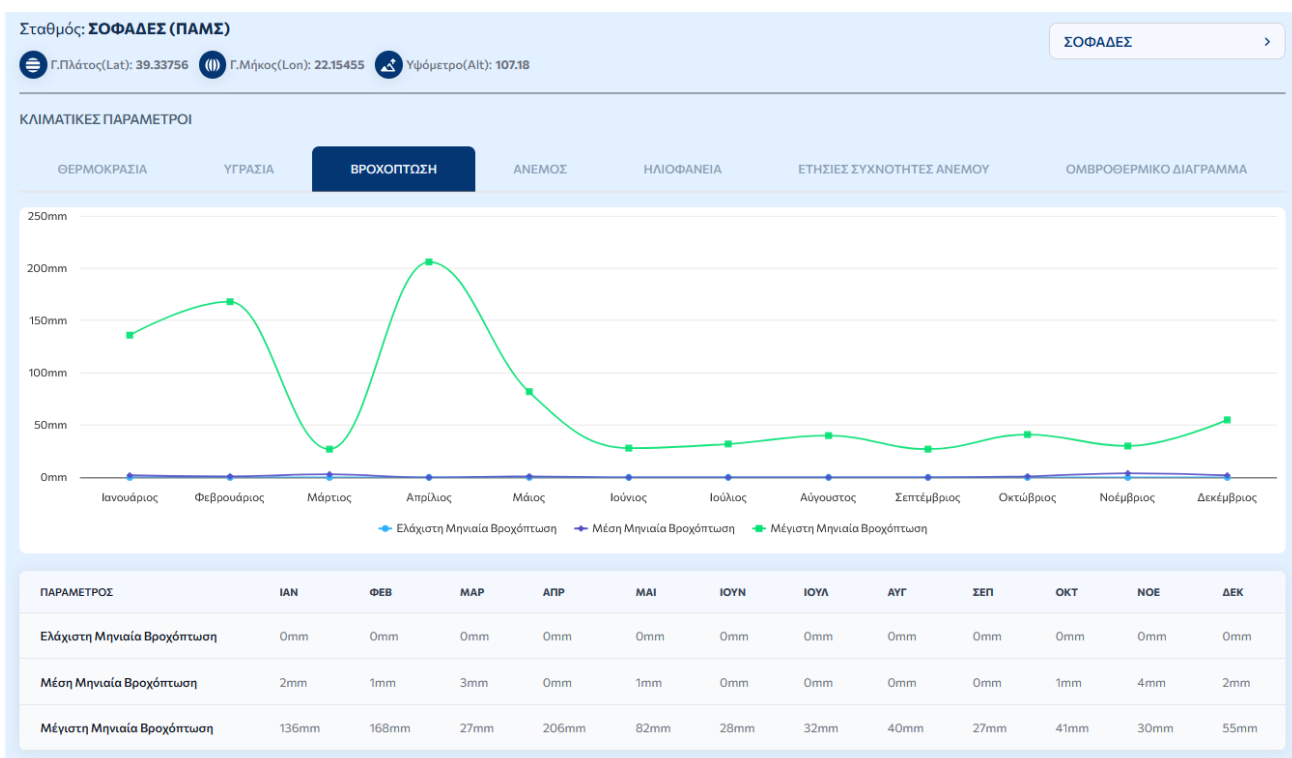
Πηγή: <https://www.geogreece.gr/fragma-list.php>



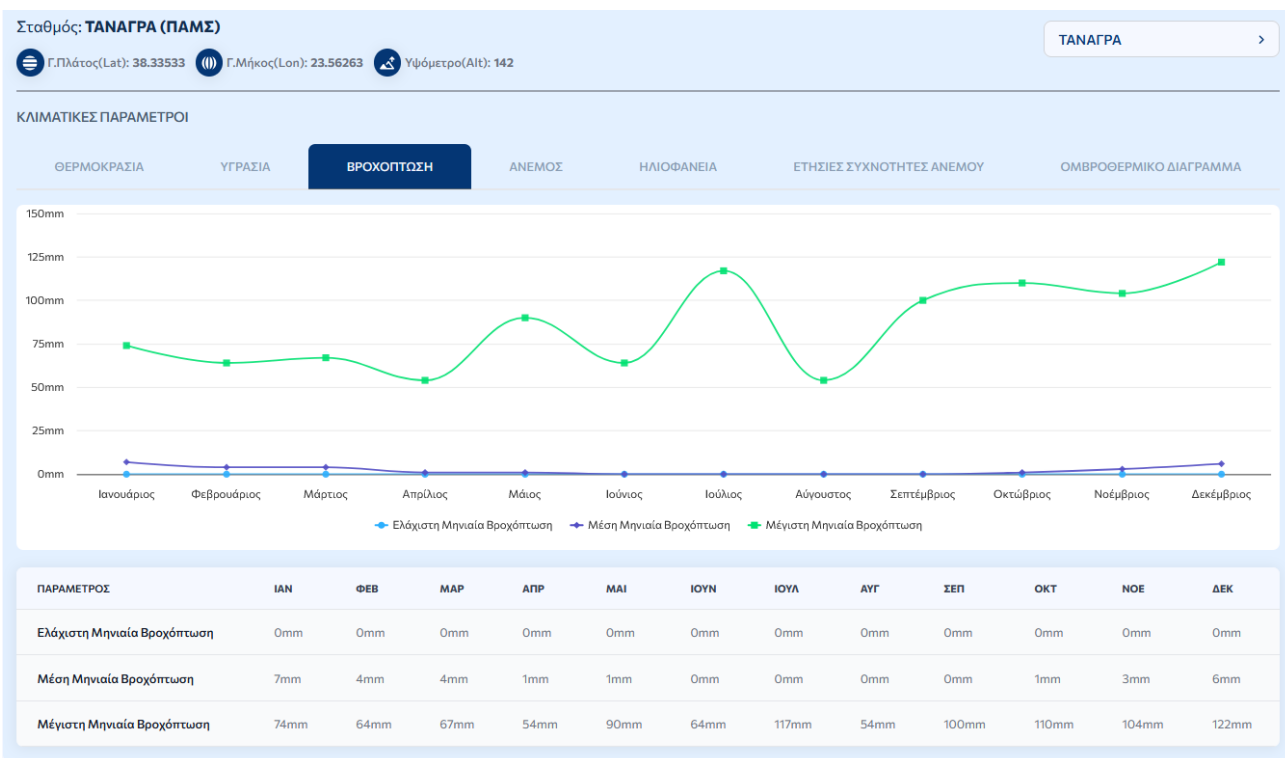
Πηγή: <https://www.geogreece.gr/fragma-list.php>



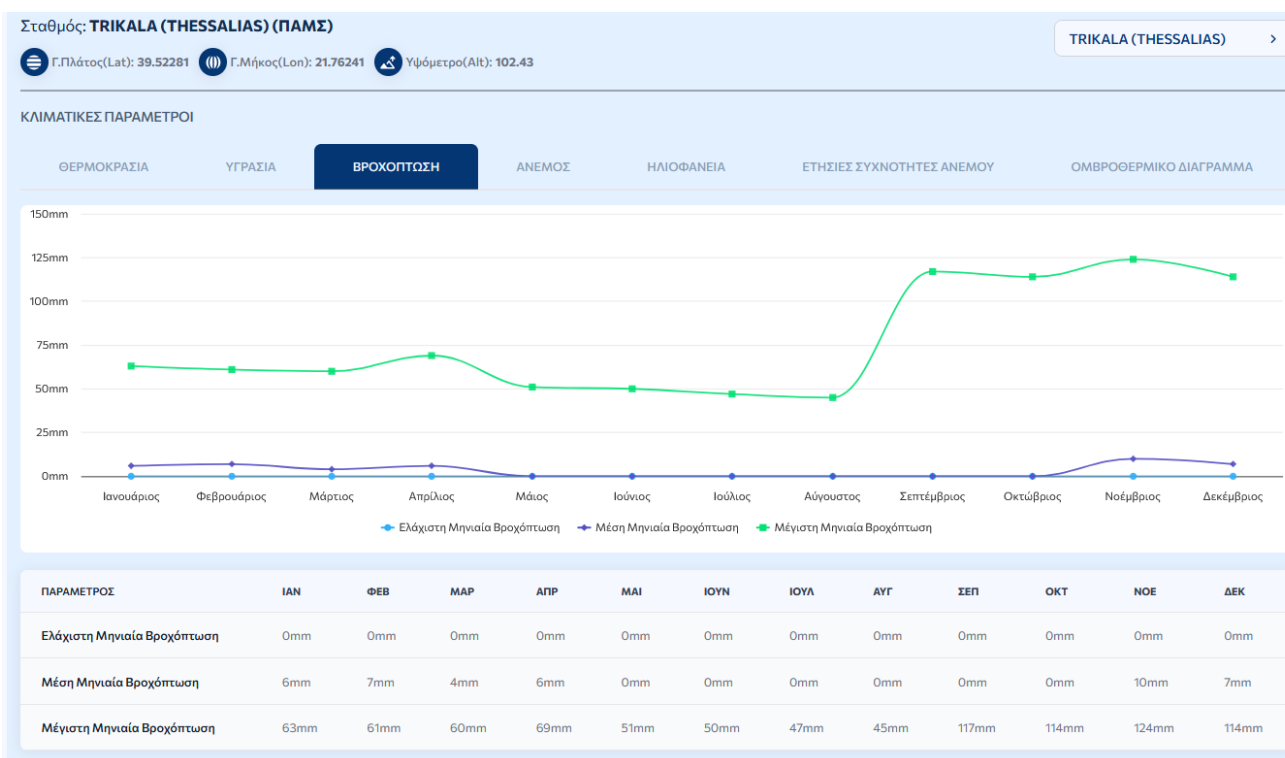
Πηγή: <https://www.geogreece.gr/fragma-list.php>



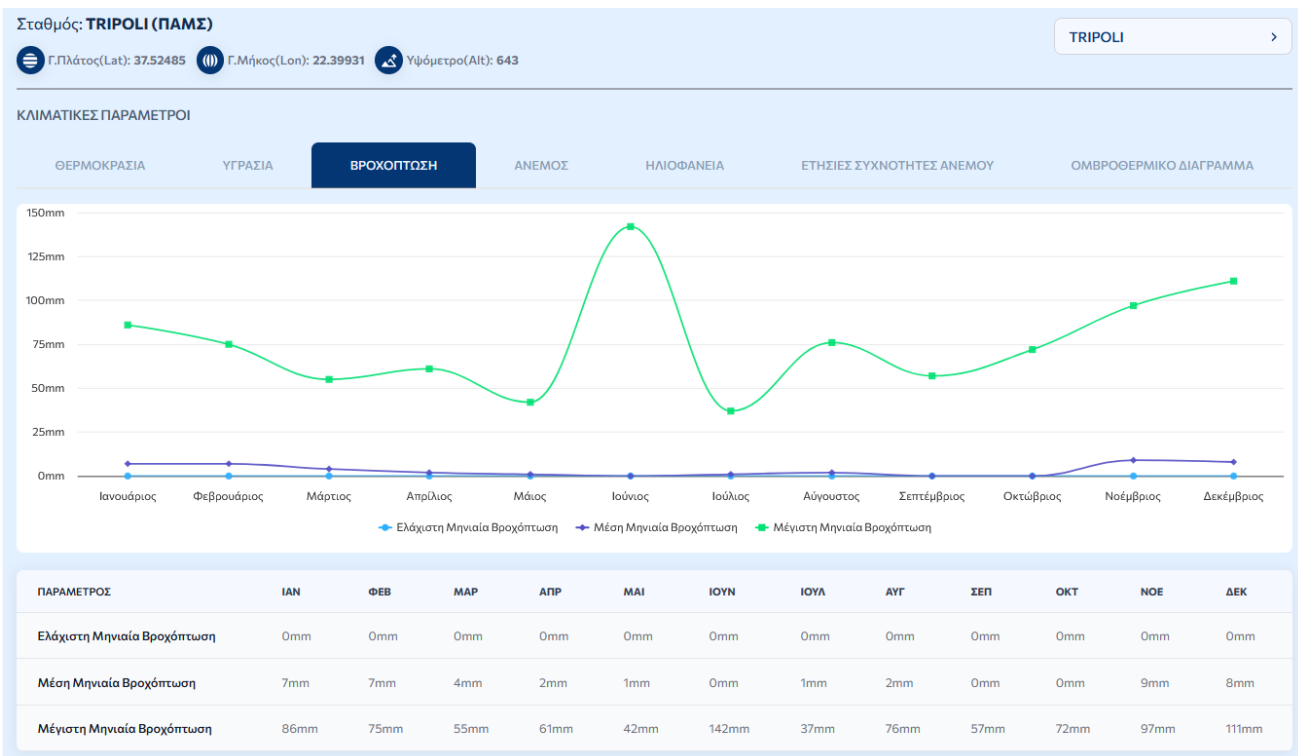
Πηγή: <https://www.geogreece.gr/fragma-list.php>



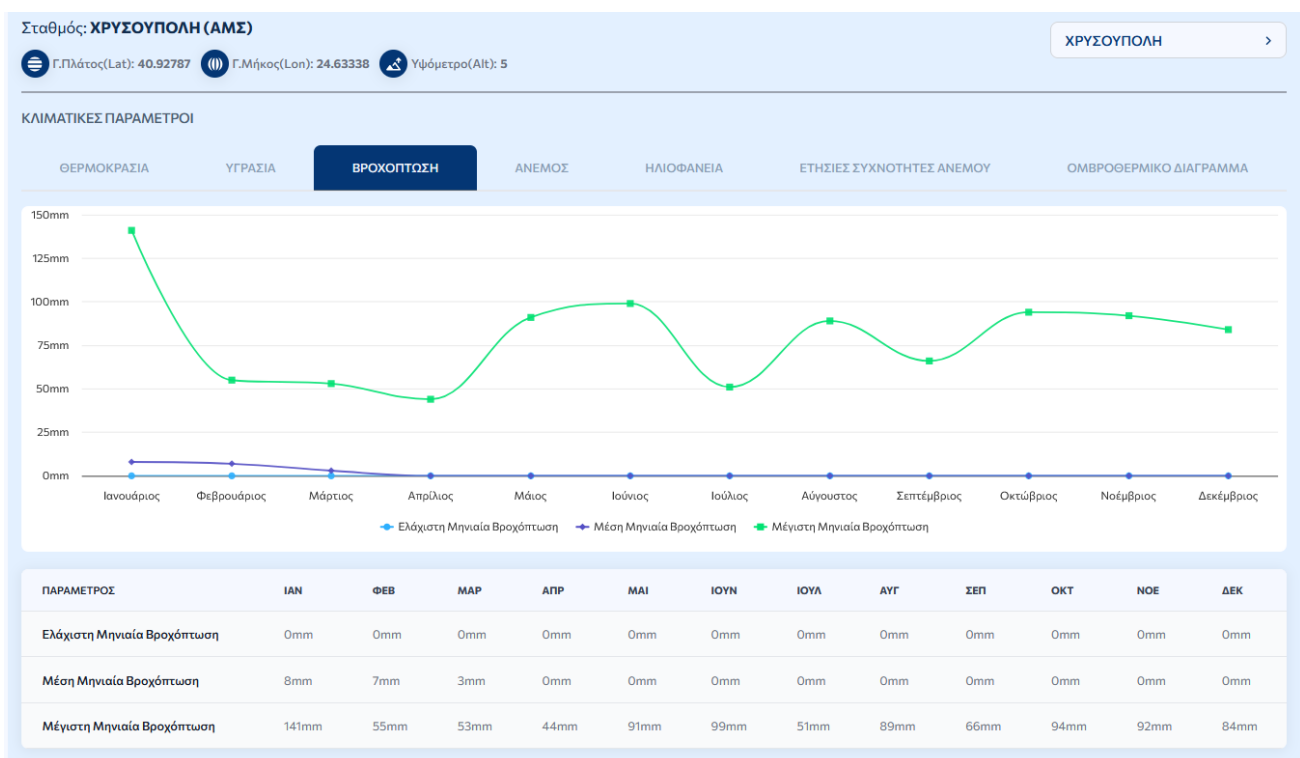
Πηγή: <https://www.geogreece.gr/fragma-list.php>



Πηγή: <https://www.geogreece.gr/fragma-list.php>



Πηγή: <https://www.geogreece.gr/fragma-list.php>



Πηγή: <https://www.geogreece.gr/fragma-list.php>