ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ

ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Διπλωματική Εργασία

ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΒΟΥΛΓΑΡΙΑΣ-ΕΛΛΑΔΑΣ ΣΤΟΝ ΠΟΤΑΜΟ ΝΕΣΤΟ: ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΤΟΥΣ ΠΟΡΟΥΣ ΝΕΡΟΥ-ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ-ΤΡΟΦΗΣ-ΟΙΚΟΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

ΑΝΔΡΕΑΣ ΠΕΤΤΑΣ

Υπεβλήθη για την εκπλήρωση μέρους των απαιτήσεων για την απόκτηση του Διπλώματος Πολιτικού Μηχανικού

ΒΟΛΟΣ 2025

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 11:28:09 EEST - 216.73.216.250

© 2025 Ανδρέας Πέττας

Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας από το Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών της Πολυτεχνικής Σχολής του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας δεν υποδηλώνει αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα (Ν. 5343/32 αρ. 202 παρ. 2).

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 11:28:09 EEST - 216.73.216.250

Εγκρίθηκε από τα Μέλη της Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής:

Πρώτος Εξεταστής	Δρ. Νικόλαος Μέλλιος
(Επιβλέπων)	Ε.ΔΙ.Π., Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
Δεύτερος Εξεταστής	Δρ. Χρυσή Λασπίδου
	Καθηγήτρια, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
Τρίτος Εξεταστής	Δρ. Μάριος – Ευστάθιος Σπηλιωτόπουλος
	Ε.ΔΙ.Π., Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 11:28:09 EEST - 216.73.216.250

Ευχαριστίες

Πρώτα απ’ όλα, θέλω να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα της διπλωματικής εργασίας, κ. Μέλλιο Νικόλαο, για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγησή του κατά τη διάρκεια της δουλειάς μου. Επίσης, είμαι ευγνώμων στα υπόλοιπα μέλη της εξεταστικής επιτροπής της διπλωματικής εργασίας μου, Καθηγήτρια Δρ. Χρυσή Λασπίδου και τον Δρ. Μάριο-Ευστάθιο Σπηλιωτόπουλο Μέλος του Εργαστηριακού Διδακτικού Προσωπικού (Ε.ΔΙ.Π.) για την προσεκτική ανάγνωση της εργασίας μου και για τις πολύτιμες υποδείξεις τους.

Ευχαριστώ όλους όσους μέσα σε αυτά τα έξι χρόνια ήταν μαζί μου κάνοντας το ταξίδι ευκολότερο και πιο ενδιαφέρον. Πάνω απ’ όλα όμως, είμαι ευγνώμων στους γονείς μου, για την ανιδιοτελή αγάπη και την πολύτιμη στήριξή τους όλα αυτά τα χρόνια. Αφιερώνω αυτή την εργασία στην οικογένεια μου τον Δημήτρη, την Γεωργία και την Ειρήνη.

Ανδρέας Πέττας

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 11:28:09 EEST - 216.73.216.250

ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΒΟΥΛΓΑΡΙΑΣ-ΕΛΛΑΔΑΣ ΣΤΟΝ ΠΟΤΑΜΟ ΝΕΣΤΟ: ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΤΟΥΣ ΠΟΡΟΥΣ ΝΕΡΟΥ-ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ-ΤΡΟΦΗΣ-ΟΙΚΟΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Πέττας Ανδρέας

Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, 2025

Επιβλέπων Καθηγητής: Δρ. Νικόλαος Μέλλιος, Ε.ΔΙ.Π.

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία εξετάζει σε βάθος την διακρατική συμφωνία μεταξύ Ελλάδας και Βουλγαρίας για τον ποταμό Νέστο/Mesta. Γίνεται εκτενής ανάλυση για την αποτυχημένη ελληνο-βουλγαρική συνθήκη και την γενικότερη φύση των διακρατικών συμφωνιών, των επιστημονικών θεωριών και των τεχνολογικών μέσων που βοηθούν στην ολοκληρωμένη προσέγγιση τους. Παρουσιάζεται η ολιστική οπτική του WEFE Nexus η οποία σε συνδυασμό με το Nexogenesis και τα Μοντέλα Προσομοίωσης Δυναμικής Συστημάτων μας προσφέρουν μια ξεκάθαρη ματιά πάνω σε περιβαλλοντικά θέματα. Εφαρμόζοντας τέσσερις πολιτικές που αφορούν, την μείωση των απωλειών του νερού , την μείωση των εκπομπών CO_2e και την αναδάσωση, έγινε κατανοητή η δυναμική σχέση αλληλεξάρτησης των τεσσάρων πυλώνων (Νερό-Ενέργεια-Τροφή-Οικοσύστημα) αλλά και το ευεργετικό αντίκτυπο των πολιτικών αυτών στην άμεση βελτίωση της κατάστασης, μέσα από την μείωση της ζήτησης και σταθεροποίησης της διαθεσιμότητας του νερού, την μεταστροφή σε πράσινες πηγές ενέργειας και την διασφάλιση της πανίδας. Καταλήγοντας, έγινε φανερό μέσα από το μοντέλο πως οι αλλαγές μπορούν να έρθουν μόνο εάν τα προβλήματα αντιμετωπιστούν ολιστικά και συνδυασμένα και από τις δύο πλευρές των συνόρων του ποταμού.

Λέξεις Κλειδιά: *Ποταμός Νέστος/Mesta, Διακρατική συμφωνία, WEFE Nexus, Nexogenesis, Κλιματική Αλλαγή, Systems Dynamics Modeling, Υδροδιπλωματία*

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 11:28:09 EEST - 216.73.216.250

ANALYSIS OF BULGARIA-GREECE POLICIES ON THE NESTOS RIVER: SYSTEM DYNAMICS MODELING IN THE WATER-ENERGY-FOOD-ECOSYSTEM RESOURCES

Andreas Pettas

University of Thessaly, Department of Civil Engineering, 2025

Supervisor: Dr. Nikolaos Mellios, Laboratory Teaching staff

Abstract

. The present thesis provides an in-depth examination of the transboundary agreement between Greece and Bulgaria concerning the Nestos/Mesta River. It includes an extensive analysis of the failed Greek–Bulgarian treaty, as well as of the general nature of transboundary agreements, the scientific theories, and the technological tools that support their integrated approach. Presents the WEFE Nexus combined with Nexogenesis and System Dynamics Models that offers a clear insight into environmental issues. By implementing four policies related to water loss reduction, CO_2e reduction, and reforestation, the dynamic interdependent relationship among the four pillars (Water–Energy–Food–Ecosystem) became evident, as did the beneficial impact of these policies on the immediate improvement of conditions, through the reduction of demand and the stabilization of water availability, the transition to green energy and the protection of wildlife. Ultimately, the model revealed that meaningful change can only occur if problems are addressed holistically and jointly by both sides of the river's borders.

Keywords: Nestos/Mesta River, Transboundary Agreement, WEFE Nexus, Nexogenesis, Climate Change, Systems Dynamics Modeling, Hydrodiplomacy

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 11:28:09 EEST - 216.73.216.250

Πίνακας περιεχομένων

1 Εισαγωγή 12

1.1 Κίνητρο και υπόβαθρο 12

1.2 Ερευνητικά ερωτήματα και σκοπός της διπλωματικής εργασίας 12

1.3 Οργάνωση διπλωματικής εργασίας 13

2 Θεωρητικό Πλαίσιο 15

2.1 Ολοκληρωμένη προσέγγιση στα ζητήματα διακρατικών ποταμών 15

2.1.1 Συγκρούσεις και συνεργασίες σε διακρατικά ποτάμια. 15

2.1.2 Ινδία- Μπουτάν 18

2.1.3 Νεπάλ, Μπαγκλαντές και Ινδία 21

2.1.4 Δούναβης 21

2.1.5 Μελέτες για την επίλυση των διαφορών σε διασυνοριακούς ποταμούς 26

2.1.6 Θεσμικό Πλαίσιο και Διεθνείς Συμβάσεις για τη Διαχείριση Διασυνοριακών Υδάτων 33

2.1.7 Οι διασυνοριακοί ποταμοί της Ελλάδας 35

2.2 Ιστορική αναδρομή στη διασυνοριακή συνθήκη του Νέστου 36

2.2.1 Περιορισμοί και προκλήσεις στην εφαρμογή της συμφωνίας 38

3 WEFE Nexus και System Dynamics Modeling 40

3.1 Το WEFE Nexus και το Nexogenesis 40

3.1.1 Διακυβέρνηση και πολιτική του Nexus 40

3.1.2 Οφέλη της ολοκληρωμένης οπτικής του Nexus 40

3.1.3 WEFE NEXUS 41

3.1.4 Χαρακτηριστικά διακυβέρνησης Nexus 42

3.1.5 Υλοποίηση του Nexogenesis 43

3.2 System Dynamics Modeling 45

3.2.1 Βασικές αρχές της System Dynamics 45

3.2.2 Χρήση SDM στη διαχείριση φυσικών συστημάτων. 50

4 Περιοχή Μελέτης: Ο Ποταμός Νέστος 54

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 11:28:09 EEST - 216.73.216.250

4.1 Βασικά χαρακτηριστικά 54

4.2 Κοινωνικοοικονομικές δραστηριότητες και πλαίσιο 55

5 Μεθοδολογία 65

5.1 Εννοιολογικό μοντέλο 65

5.1.1 Υδρολογικό μοντέλο και δυναμική του συστήματος 66

5.2 Μοντέλο δυναμικής συστήματος 70

5.2.1 Μοντελοποίηση της συνιστώσας του νερού 72

5.2.2 Μοντελοποίηση της συνιστώσας της ενέργειας 76

5.2.3 Μοντελοποίηση της συνιστώσας των τροφίμων 79

5.2.4 Μοντελοποίηση της συνιστώσας του οικοσυστήματος 82

5.2.5 Μοντελοποίηση της συνιστώσας του κλίματος 85

6 Εφαρμογή Πολιτικών Σεναρίων 87

6.1 Ανάλυση Πολιτικών 87

6.1.1 Πολιτική 1η - Αλλαγή συστημάτων άρδευσης 87

6.1.2 Πολιτική 2η – Αντικατάσταση αρδευτικών καναλιών 88

6.1.3 Πολιτική 3η – Αναδασώσεις 88

6.1.4 Πολιτική 4η – Μείωση ηλεκτρικής ενέργειας από συμβατικές πηγές 88

6.2 Παρουσίαση και Σχολιασμός Αποτελεσμάτων 89

6.2.1 Νερό 91

6.2.2 Ενέργεια 97

6.2.3 Τροφή 103

6.2.4 Οικοσύστημα 107

7 Συμπεράσματα και Προτάσεις 112

7.1 Γενικά συμπεράσματα 112

7.2 Προτάσεις 114

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 116

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 11:28:09 EEST - 216.73.216.250

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 2.1: Συνοπτικός πίνακας της συνεισφοράς των επιστημονικών προσεγγίσεων.....33

Πίνακας 6.1: Συνοπτικός Πίνακας των πολιτικών.....89

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 11:28:09 EEST - 216.73.216.250

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 2.1: Διεθνείς λεκάνης απορροής στην Ευρώπη **Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.**

Εικόνα 2.2: Χάρτης Κεντρικής Ασίας (Νεπάλ, Μπουτάν, Ινδία) 19

Εικόνα 2.3: Λεκάνη απορροής του Δούναβη 26

Εικόνα 2.4: Διαδικασίες και μηχανισμοί της διεθνούς συνεργασίας 29

Εικόνα 3.1:Λειτουργία WEFE Nexus 41

Εικόνα 3.2: Διακρατικές λεκάνες για την υλοποίηση του Nexogenesis 44

Εικόνα 4.1: Ο ποταμός Νέστος 54

Εικόνα4.2:Φράγμα της Πλατανόβρυσης 57

Εικόνα 4.3: Φράγμα Θησαυρός, το μεγαλύτερο λιθόρριπτο φράγμα των Βαλκανίων 58

Εικόνα 4.4: Λεκάνη απορροής του ποταμού Νέστου 59

Εικόνα 5.1: Εννοιολογικός χάρτης υψηλού επιπέδου που απεικονίζει τις διασυνδέσεις Nexus για τη λεκάνη απορροής του ποταμού Νέστου/Μέστα 65

Εικόνα 5.2: Λεκάνη, υπολεκάνη, χρήσεις γης και υψόμετρα του ποταμού Νέστου 66

Εικόνα 5.3: Ενδεικτικά αποτελέσματα για μια ελληνική υπολεκάνη σε διαφορετικά κλιματικά σενάρια 68

Εικόνα 5.4: Πρώτη επισκόπηση του ΣΔΜ για τον Νέστο/Μέστα 71

Εικόνα 5.5: Απεικόνιση της μονάδας νερού στην υπολεκάνη W830 73

Εικόνα 5.6: Απεικόνιση της δυναμικής της παραγωγής, κατανάλωσης και ισορροπίας ενέργεια. 76

Εικόνα 5.7: Απεικόνιση της δυναμικής της παραγωγής και ζήτησης τροφίμων μαζί με επισιτιστικό ισοζύγιο στην Ελλάδα 80

Εικόνα 5.8 Απεικόνιση του Ελληνικού οικοσυστήματος 82

Εικόνα 5.9: Απεικόνιση της δυναμικής εκπομπών και απορρόφησης $C0_2$ 85

Εικόνα 6.1: Διάγραμμα διαθεσιμότητας και ζήτησης για το ευμενές σενάριο (RCP2.6/SSP2) στην ελληνική υπολεκάνη 91

Εικόνα 6.2: Διάγραμμα διαθεσιμότητας και ζήτησης για το ευμενές σενάριο (RCP2.6/SSP2) στην βουλγαρική υπολεκάνη 92

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 11:28:09 EEST - 216.73.216.250

Εικόνα 6.3: Διάγραμμα διαθεσιμότητας και ζήτησης για το δυσμενές σενάριο (RCP8.5/SSP2) στην ελληνική υπολεκάνη 93
Εικόνα 6.4: Διάγραμμα διαθεσιμότητας και ζήτησης για το δυσμενές σενάριο (RCP8.5/SSP2) στην βουλγαρική υπολεκάνη 94
Εικόνα 6.5: Διάγραμμα του ελληνικού ενεργειακού ισοζυγίου στην υπολεκάνη του Νέστου 97
Εικόνα 6.6: Διάγραμμα του βουλγαρικού ενεργειακού ισοζυγίου στην υπολεκάνη του Νέστου 98
Εικόνα 6.7: Συγκριτικό διάγραμμα εκπομπών CO_2e στην Ελληνική υπολεκάνη 100
Εικόνα 6.8: Συγκριτικό διάγραμμα εκπομπών CO_2e στην βουλγαρική υπολεκάνη 101
Εικόνα 6.9: Διάγραμμα παραγωγής και κατανάλωσης τροφίμων για την ελληνική υπολεκάνη στο ευμενές σενάριο (RCP2.6/SSP2) 103
Εικόνα 6.10: Διάγραμμα παραγωγής και κατανάλωσης τροφίμων για την Βουλγαρική υπολεκάνη στο ευμενές σενάριο (RCP2.6/SSP2) 104
Εικόνα 6.11: Διάγραμμα παραγωγής και κατανάλωσης τροφίμων για την ελληνική υπολεκάνη στο δυσμενές σενάριο (RCP8.5/SSP2) 105
Εικόνα 6.12: Διάγραμμα παραγωγής και κατανάλωσης τροφίμων για την βουλγαρική υπολεκάνη στο δυσμενές σενάριο (RCP8.5/SSP2) 106
Εικόνα 6.13: Διάγραμμα μέσης αφθονίας αμφίβιων ζώων στην ελληνική υπολεκάνη 108
Εικόνα 6.14: Διάγραμμα μέσης αφθονίας αμφίβιων ζώων στην βουλγαρική υπολεκάνη 109
Εικόνα 6.15: Διάγραμμα μέσης αφθονίας χερσαίων ζώων στην ελληνική υπολεκάνη 109
Εικόνα 6.16: Διάγραμμα μέσης αφθονίας χερσαίων ζώων στην βουλγαρική υπολεκάνη 110

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 11:28:09 EEST - 216.73.216.250

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 11:28:09 EEST - 216.73.216.250

1 Εισαγωγή

1.1 Κίνητρο και υπόβαθρο

Η σημερινή εποχή χαρακτηρίζεται από έντονη μεταβλητότητα, διακρατικές εντάσεις, κλιματική κρίση και ανάγκη νέων καινοτόμων ιδεών στην διαχείριση των βασικών αγαθών. Το νερό, όσο δεδομένο και αν θεωρείται, αποτελεί το πολυτιμότερο αγαθό για τον άνθρωπο και τις υπόλοιπες μορφές ζωής του πλανήτη. Είναι σημαντικό σε καιρούς κρίσεων οι πολιτικοί δρώντες να στοχεύουν στην συνεργασία και την εξομάλυνση των σχέσεων, μέσω της κοινής χάραξης πολιτικών πάνω σε κοινά τους προβλήματα. Για να συμβεί αυτό πρέπει να γίνει κατανοητό πως ο μόνος τρόπος που μπορεί να επιτευχθεί αλλά και να διατηρηθεί η συνεργασία είναι η ποιότητα της πληροφορίας και ο σωστός διαμοιρασμός της. Οι δυνατότητες που προσφέρονται με την ανάπτυξη της τεχνολογίας, είναι ικανές να ξεδιαλύνουν το τοπίο και να προσφέρουν την δυνατότητα έρευνας σε θέματα που άλλοτε δεν υπήρχε τρόπος να μελετηθούν, θέτοντας μια νέα βάση στα ζητήματα διακρατικών υδάτων.

1.2 Ερευνητικά ερωτήματα και σκοπός της διπλωματικής εργασίας

Η παρούσα διπλωματική επιδιώκει να προσφέρει μια εναλλακτική ματιά στον ρόλο του μηχανικού αλλά και στις διεθνείς σχέσεις, βασισμένη στον ποταμό Νέστου/Mesta. Διευρύνοντας το φάσμα από το πολιτικό του κομμάτι, προσπαθεί να κάνει εμφανή την σημασία της επιστήμης και της τεχνολογίας μέσα από την χρήση μοντέλων προσομοίωσης στις συμφωνίες των κρατών. Παρουσιάζει μια ολιστική προσέγγιση βασισμένη σε 4 βασικούς πυλώνες (Νερό-Ενέργεια-Τροφή-Οικοσύστημα), στους οποίους εφαρμόζονται πολιτικές, έτσι ώστε μέσα από την μοντελοποίηση τους να γίνει αντιληπτή η συνεισφορά τους, μεμονωμένα στον τομέα εφαρμογής τους αλλά και στο γενικότερο πλαίσιο μέσω της αλληλεξάρτησης των τεσσάρων βασικών πυλώνων. Είναι σημαντικό να γίνει αντιληπτό πως αγαθά όπως το νερό απαιτούν πολυδιάστατες ενέργειες που θα μπορέσουν να συμπεριλάβουν όλους τους τομείς στους οποίους αντικατοπτρίζεται η αξία του. Χρησιμοποιώντας σαν παράδειγμα συμφωνίες που πέτυχαν αλλά και άλλες που δεν ευδοκίμησαν, προσπαθούμε μέσα από το πρίσμα της διεθνούς νομοθεσίας και την μοντελοποίηση της δυναμικής συστημάτων (System dynamics modeling) να σκιαγραφήσουμε έναν σωστό τρόπο προσέγγισης διεθνών προβλημάτων για το περιβάλλον.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 11:28:09 EEST - 216.73.216.250

Τα ερευνητικά ερωτήματα που επιχειρεί να καλύψει η ακόλουθη εργασία συνοψίζονται στον παρακάτω κατάλογο:

1. Πως μπορεί μια διακρατική συνθήκη να είναι κερδοφόρα και για τις δύο πλευρές παρά την διαφορά ισχύος;
2. Τι προβλέπει η διεθνής νομοθεσία για την διαχείριση διακρατικών ποταμών και λεκανών απορροής;
3. Πως η ολιστική προσέγγιση του WEFE Nexus μπορεί να φέρει αλλαγές στην βιώσιμη ανάπτυξη;
4. Ποια είναι η τωρινή διακρατική συμφωνία Ελλάδας-Βουλγαρίας για την ποταμό Νέστο/Mesta και πως αντιμετωπίζεται;
5. Πώς είναι η κοινωνικό-οικονομική κατάσταση του ποταμού Νέστου;
6. Πώς η χρήση μοντέλων προσομοίωσής (SDM) ενισχύει την γνώση που έχουμε πάνω στα περιβαλλοντικά φαινόμενα;
7. Ποια είναι η διαδικασία διάρθρωσης του περίπλοκου μοντέλου (SDM);
8. Με ποιους τρόπους επηρεάζει η εφαρμογή πολιτικών την υφιστάμενη κατάσταση του ποταμού;
9. Ποια είναι η σωστή κατεύθυνση για την ολοκληρωμένη διαχείριση του ποταμού Νέστου/Mesta;

1.3 Οργάνωση διπλωματικής εργασίας

Το υπόλοιπο αυτής της διπλωματικής εργασίας χωρίζεται σε έξι ενότητες που καταλαμβάνουν τα Κεφάλαια 2 - 7, αντίστοιχα. Συγκεκριμένα:

Στο Κεφάλαιο 2 Αναλύεται το θεωρητικό υπόβαθρο της εργασίας. Ξεκινώντας με 3 case studies διακρατικών συμφωνιών, τα οποία δείχνουν το κλίμα που απαιτείται για την σύναψη τους, συνεχίζει στην αναφορά της νομοθεσίας πάνω στα διακρατικά ύδατα και την τωρινή συνθήκη μεταξύ Ελλάδας-Βουλγαρίας.

Στο Κεφάλαιο 3 παρουσιάζεται η οπτική του WEFE Nexus και το Nexogenesis μαζί με τα System Dynamics Models τον τρόπο με τον οποίο φτιάχνονται και την σημασία της χρήσης τους.

Στο Κεφάλαιο 4 παρουσιάζεται η περιοχή μελέτης. Τα βασικά γεωμορφολικά της χαρακτηριστικά, η κοινωνικο-οικονομική της κατάσταση καθώς και το πολιτικό καθεστώς διαχείρισης περιβάλλοντος.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 11:28:09 EEST - 216.73.216.250

Στο Κεφάλαιο 5 αναπτύσσεται διεξοδικά η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για να διαρθρωθεί το μοντέλο.

Στο Κεφάλαιο 6 αναλύονται οι πολιτικές που εφαρμόζονται στο μοντέλο και παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προκύπτουν σε κάθε τομέα εφαρμογής με και χωρίς την εφαρμογή πολιτικών.

Τα τελικά συμπεράσματα της διπλωματικής εργασίας και οι κατευθύνσεις για περαιτέρω έρευνα παρουσιάζονται στο Κεφάλαιο 7.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 11:28:09 EEST - 216.73.216.250

2 Θεωρητικό Πλαίσιο

2.1 Ολοκληρωμένη προσέγγιση στα ζητήματα διακρατικών ποταμών

2.1.1 Συγκρούσεις και συνεργασίες σε διακρατικά ποτάμια.

Είναι ευρέως αποδεκτό ότι οι υδάτινοι πόροι είναι άρρηκτα συνδεδεμένοι με κοινωνικές, οικονομικές και περιβαλλοντικές διαστάσεις, διαδραματίζοντας έτσι καθοριστικό ρόλο στην αειφόρο ανάπτυξη τόσο των τοπικών κοινοτήτων όσο και των εθνών. Όταν οι πόροι αυτοί εκτείνονται σε εδάφη γειτονικών χωρών —είτε αυτές είναι μέλη διεθνών οργανισμών είτε όχι— συχνά γίνονται πηγές διπλωματικών εντάσεων ή συνεργασίας. Οι διασυνοριακές λεκάνες ποταμών και λιμνών καταλαμβάνουν σχεδόν το 47 % της ηπειρωτικής έκτασης της Γης, ποσοστό που αυξάνεται σε πάνω από 60 % στην Αφρική, την Ασία και τη Νότια Αμερική. Επί του παρόντος, 261 ποταμοί διασχίζουν ή οριοθετούν διεθνή σύνορα. Γεωγραφικά, η Ευρώπη φιλοξενεί τον μεγαλύτερο αριθμό διασυνοριακών λεκανών (69), ακολουθούμενη από την Αφρική (59), την Ασία (57), τη Βόρεια Αμερική (40) και τη Νότια Αμερική (38). Η Οικονομική Επιτροπή των Ηνωμένων Εθνών για την Ευρώπη (UNECE) εποπτεύει περισσότερους από 150 μεγάλους ποταμούς και 50 λίμνες που διασχίζουν ή οριοθετούν τα σύνορα δύο ή περισσότερων χωρών. Εντός της Ευρώπης, 20 χώρες εξαρτώνται από γειτονικά κράτη για περισσότερο από το 10% των συνολικών υδάτινων πόρων τους, ενώ πέντε χώρες λαμβάνουν έως και το 75% του εφοδιασμού τους σε γλυκό νερό από χώρες που βρίσκονται ανάντη. Επιπλέον, έχουν εντοπιστεί περισσότερα από 100 διασυνοριακά υδροφόρα στρώματα, και ο αριθμός αυτός αναμένεται να αυξηθεί στο εγγύς μέλλον. (Eleftheriadou, 2006).

Η φυσική πορεία των ποταμών περιπλέκει τη διαχείρισή τους, καθώς ρέουν αδιακρίτως πέρα από τα πολιτικά σύνορα, δημιουργώντας ζώνες αλληλεξάρτησης μεταξύ των χωρών που είναι υποχρεωμένες να τα μοιράζονται. Ομοσπονδιακά κράτη όπως οι Ηνωμένες Πολιτείες, η Ινδία και η Αυστραλία μπορούν να επιλύουν εσωτερικές διαμάχες σχετικά με το νερό πιο εύκολα, καθώς όλοι οι χρήστες λειτουργούν στο πλαίσιο του ίδιου νομοθετικού πλαισίου. Η πρόκληση γίνεται σημαντικά πιο περίπλοκη όταν πρέπει να συνεργαστούν κυρίαρχα έθνη. Η απουσία θεσμών με ίση εξουσία, οι αποκλίνουσες πολιτικές ατζέντες και οι διαφορετικές

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 11:28:09 EEST - 216.73.216.250

εθνικές προτεραιότητες, σε συνδυασμό με τα μοναδικά χαρακτηριστικά κάθε περίπτωσης, καθιστούν τη συνεργασία ιδιαίτερα δύσκολη. Καθώς το γλυκό νερό γίνεται όλο και πιο σπάνιο σε σχέση με τη ζήτηση, οι εντάσεις γύρω από τα διεθνή ποτάμια είναι πιθανό να ενταθούν. Χωρίς ισχυρούς και αξιόπιστους υπερεθνικούς νομικούς και θεσμικούς μηχανισμούς, η δίκαιη κατανομή και η βιώσιμη διατήρηση των κοινών υδάτων θα παραμείνουν μια διαρκής πηγή τριβών στις διεθνείς σχέσεις.

Αν και αυτές οι εντάσεις μπορεί να προέρχονται από ζητήματα που σχετίζονται με το νερό, οι ρίζες τους συχνά βρίσκονται σε βαθύτερες ιστορικές, οικονομικές και πολιτισμικές διαιρέσεις που προϋπάρχουν των ίδιων των συγκρούσεων. Αυτοί οι προϋπάρχοντες παράγοντες εκφράζονται μέσω των εξαρτήσεων που δημιουργούνται από τους κοινούς ποταμούς. Είναι επομένως απαραίτητο να αποτραπεί η κλιμάκωση αυτών των εντάσεων σε ευρύτερες πολιτικές ή ακόμη και στρατιωτικές συγκρούσεις. Η διεθνής κοινότητα πρέπει να υιοθετήσει μια ολιστική προσέγγιση στη διαχείριση των διασυνοριακών υδάτων, αναγνωρίζοντας ότι το νερό δεν είναι απλώς ένας φυσικός πόρος, αλλά και ένα ζωτικό πολιτιστικό, οικονομικό και κοινωνικό αγαθό. Η προστασία και η δίκαιη κατανομή του απαιτούν συντονισμένες νομοθετικές και εκτελεστικές πρωτοβουλίες μεταξύ όλων των εμπλεκόμενων μερών. Μόνο μέσω τέτοιων συλλογικών προσπαθειών μπορεί η ανθρωπότητα να αποφύγει τα ανησυχητικά σενάρια των «πολέμων για το νερό» και άλλων υπαρξιακών απειλών για αυτό το πιο ουσιαστικό στοιχείο της ζωής.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 11:28:09 EEST - 216.73.216.250

Εικόνα 2.1: Διεθνείς λεκάνης απορροής στην Ευρώπη
πηγή: (international-river-basins-europe-2018)

Οι συγκρούσεις για το νερό σε διασυνοριακές λεκάνες απορροής μπορούν να μετριαστούν μέσω καλά σχεδιασμένων συμφωνιών που θεσπίζουν σαφείς κανόνες και κανονισμούς που διέπουν τη συμπεριφορά των παραποτάμιων κρατών. Αυτές οι συνθήκες μπορούν επίσης να παρέχουν λεπτομερή πλαίσια για την επίλυση διαφορών. Δυστυχώς, στον σημερινό κόσμο, οι συγκρούσεις τείνουν να προσελκύουν πολύ μεγαλύτερη πολιτική και δημοσιογραφική προσοχή από ό,τι η συνεργασία, και όσοι υποστηρίζουν την αντιπαράθεση είναι συχνά πιο ορατοί από όσους προωθούν την κοινή διαχείριση. Παρ' όλα αυτά, υπάρχουν αξιοσημείωτα παραδείγματα αποτελεσματικής συνεργασίας. Η σχετικά άγνωστη συμφωνία μεταξύ Ινδίας και Μπουτάν αποτελεί πρότυπο αμοιβαία επωφελούς συνεργασίας, όπου μια μικρή και λιγότερο ανεπτυγμένη χώρα κατάφερε να ευημερήσει μέσω μιας δίκαιης και ισορροπημένης συμφωνίας με τη μεγαλύτερη γείτονά της, την Ινδία. Ένα άλλο παράδειγμα είναι η Συμφωνία για τη Λεκάνη του Δούναβη, η οποία αποδεικνύει την επιτυχή πολυμερή συνεργασία σε μια περιοχή που ιστορικά χαρακτηρίζεται από πολιτικές και εθνικές διαιρέσεις.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 11:28:09 EEST - 216.73.216.250

Αντίθετα, υπάρχουν και παραδείγματα βαθιά ριζωμένων διαφωνιών που δεν έχουν επιλυθεί πλήρως και, σε ορισμένες περιπτώσεις, έχουν οδηγήσει σε νέες εντάσεις παρά την ύπαρξη επίσημων συνθηκών, όπως οι διαμάχες μεταξύ Ινδίας και Μπαγκλαντές σχετικά με τη μεταβλητή ροή του ποταμού Γάγγη κατά τη διάρκεια περιόδων ξηρασίας. Αυτές οι αντιθετικές εμπειρίες δείχνουν σαφώς ότι η φωτισμένη ηγεσία, η πολιτική βούληση και η αμοιβαία εμπιστοσύνη είναι αποφασιστικοί παράγοντες για τη μετατροπή των κοινών υδάτινων πόρων από πιθανές πηγές σύγκρουσης σε κινητήριους μοχλούς περιφερειακής σταθερότητας και ευημερίας.

2.1.2 Ινδία- Μπουτάν

Η συνεργασία μεταξύ της Ινδίας και του Μπουτάν αποτελεί ένα εξαιρετικό παράδειγμα του τρόπου με τον οποίο μπορούν να διαχειριστούν οι διασυνοριακοί ποταμοί στο πλαίσιο μιας ευρύτερης συνεργασίας για την ανάπτυξη, όπου η αξιοποίηση των υδάτινων πόρων αποτελεί κινητήρια δύναμη για την οικονομική ανάπτυξη και τη μείωση της φτώχειας σε μία από τις φτωχότερες περιοχές του κόσμου. Λόγω του μικρού μεγέθους και του περιορισμένου πληθυσμού του, το Μπουτάν αποκόμισε σημαντικά οφέλη από αυτή τη συνεργασία. Η Ινδία επίσης κέρδισε σημαντικά, αν και ο αντίκτυπος ήταν συγκριτικά μικρότερος δεδομένης της κλίμακας της οικονομίας και του πληθυσμού της. Μέχρι τη δεκαετία του 1960, το Μπουτάν παρέμενε σε μεγάλο βαθμό απομονωμένο από τη διεθνή κοινότητα. Ως μια χώρα χωρίς πρόσβαση στη θάλασσα, που βρίσκεται ψηλά στα Ιμαλάια, ξεκίνησε το πρώτο της αναπτυξιακό σχέδιο το 1961, σε μια εποχή που είχε το χαμηλότερο κατά κεφαλήν εισόδημα στη Νότια Ασία και ένα από τα χαμηλότερα παγκοσμίως (Abbas & Subramanian, 1984). Το ορεινό του ανάγλυφο περιόριζε σοβαρά τις γεωργικές δυνατότητες (Εικόνα 2.2), αλλά προσέφερε σημαντικές ευκαιρίες για υδροηλεκτρική ενέργεια, που εκτιμάται σε περίπου 20.000 μεγαβάτ (MW) — ελαφρώς λιγότερο από το ένα τέταρτο της υδροηλεκτρικής ικανότητας του δυτικού γείτονά του, του Νεπάλ (Biswas, 2009). Αναγνωρίζοντας το νερό ως ένα από τα πιο πολύτιμα φυσικά του περιουσιακά στοιχεία, το Μπουτάν κατάλαβε ότι η βιώσιμη οικονομική και κοινωνική πρόοδος θα εξαρτιόταν από την αποτελεσματική αξιοποίηση των υδάτινων πόρων του. Δεδομένου ότι σχεδόν όλοι οι ποταμοί του διασχίζουν διεθνή σύνορα, το Μπουτάν επέλεξε να συνεργαστεί στενά με την Ινδία για την από κοινού αξιοποίησή τους.

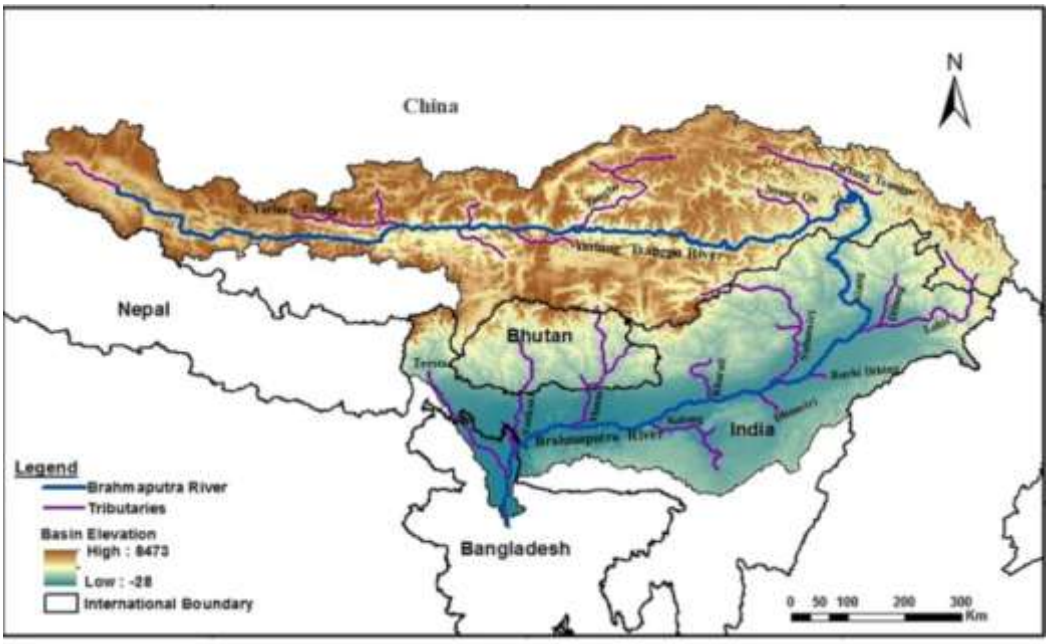
Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 11:28:09 EEST - 216.73.216.250

Η στρατηγική του Μπουτάν βασίστηκε σε ρεαλιστικούς και εθνικούς στόχους, οι οποίοι συνοψίζονται σε τρεις βασικές αρχές:

- Η ανάπτυξη των υδάτινων πόρων δεν πρέπει να θεωρείται αυτοσκοπός, αλλά μέσο για τη βελτίωση του βιοτικού επιπέδου του πληθυσμού.

- Το Μπουτάν δεν διαθέτει το χρηματοοικονομικό κεφάλαιο, την τεχνική εμπειρογνωμοσύνη και τη διαχειριστική ικανότητα για να αναπτύξει γρήγορα και ανεξάρτητα τους υδροηλεκτρικούς πόρους του.

- Ακόμη και αν οι πόροι αξιοποιούνταν πλήρως, ο μικρός και διάσπαρτος πληθυσμός της χώρας θα περιόριζε την ικανότητά της να απορροφήσει όλα τα οικονομικά οφέλη που θα προέκυπταν εντός της επικράτειάς της (Biswas, 2011).



Εικόνα 2.2: Χάρτης Κεντρικής Ασίας (Νεπάλ, Μπουτάν, Ινδία), πηγή: (Biswas, 2011)

Το Μπουτάν υιοθέτησε μια σαφώς διαφορετική προσέγγιση σε σύγκριση με το Μπαγκλαντές ή το Νεπάλ, επιλέγοντας να αξιοποιήσει τους διασυνοριακούς ποταμούς του μέσω στενής συνεργασίας με την Ινδία, με την οποία μοιράζεται αυτές τις υδάτινες οδούς(Sutcliffe et al,.2011). Γύρω στο 1980, το Μπουτάν ξεκίνησε ένα μεγάλο έργο για την αξιοποίηση του υδροηλεκτρικού δυναμικού του ποταμού Wangchu στο Chukha, σε

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 11:28:09 EEST - 216.73.216.250

συνεργασία με την Ινδία. Μετά από εκτενείς διαβουλεύσεις, η Ινδία συμφώνησε να κατασκευάσει ένα υδροηλεκτρικό εργοστάσιο ισχύος 336 MW, χρηματοδοτούμενο κατά 60% από επιχορήγηση και κατά 40% από δάνειο(Biswas, 2011). Το έργο, με εκτιμώμενο κόστος 2,45 δισεκατομμύρια ρουπίες, τέθηκε σε λειτουργία σταδιακά από το 1988 και αποδείχθηκε τόσο επιτυχημένο που το κόστος του αποσβέστηκε ήδη από το 1993. Με την υποστήριξη της Ινδίας στον σχεδιασμό, την κατασκευή και τη διαχείριση, το Μπουτάν συμφώνησε να πουλήσει την πλεονάζουσα ηλεκτρική ενέργεια στην Ινδία σε συμφωνημένη τιμή. Κατασκευάστηκε μια γραμμή μεταφοράς που συνδέει την Τιμπού, την πρωτεύουσα του Μπουτάν, με την Ινδία, επιτρέποντας τη διανομή ηλεκτρικής ενέργειας σε τέσσερις ινδικές πολιτείες. Σύμφωνα με τη διμερή συμφωνία, το Μπουτάν διατηρεί την προτεραιότητα χρήσης της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας για εγχώρια κατανάλωση πριν από την εξαγωγή της πλεονάζουσας ενέργειας (Sutcliffe, 2011). Πριν από το έργο στη Chukha, η παροχή ηλεκτρικής ενέργειας στο Μπουτάν προερχόταν κυρίως από γεννήτριες ντίζελ και μικρής κλίμακας υδροηλεκτρικούς σταθμούς, με αποτέλεσμα την περιορισμένη διαθεσιμότητα ενέργειας λόγω του δύσκολου εδάφους της χώρας. Μετά την έναρξη λειτουργίας του σταθμού Chukha, η κατά κεφαλήν κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας αυξήθηκε σταθερά. Μέχρι το 2008, η κατά κεφαλήν κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας στο Μπουτάν είχε σχεδόν εξισωθεί με αυτή της Ινδίας (385 kg ισοδύναμου πετρελαίου), είχε φτάσει το επίπεδο του Πακιστάν (370 kg) και ήταν σημαντικά υψηλότερη από αυτή του Μπαγκλαντές (125 kg) και του Νεπάλ (47 kg). Από την ολοκλήρωση του έργου Chukha, το κόστος παραγωγής υδροηλεκτρικής ενέργειας στο Μπουτάν έχει μειωθεί σταθερά, χάρη στις οικονομίες κλίμακας και την πιο αποτελεσματική διαχείριση. Το εθνικό δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας έχει επεκταθεί σταδιακά, μειώνοντας την εξάρτηση από καυσόξυλα και εισαγόμενο πετρέλαιο από την Ινδία. Αυτή η αλλαγή έχει περιορίσει την αποψίλωση, με θετικά αποτελέσματα για το περιβάλλον. Το Μπουτάν πουλάει το πλεόνασμα ηλεκτρικής ενέργειας στην Ινδία και τα έσοδα όχι μόνο καλύπτουν άνετα τις δανειακές υποχρεώσεις του έργου, αλλά και δημιουργούν πρόσθετα κεφάλαια για περαιτέρω ανάπτυξη και κοινωνικά προγράμματα. Αυτό το μοντέλο «win-win» δείχνει πώς τα παραποτάμια κράτη μπορούν να διαχειριστούν αποτελεσματικά τους κοινούς υδάτινους πόρους για να προωθήσουν την περιφερειακή οικονομική ανάπτυξη, να βελτιώσουν το βιοτικό επίπεδο, να μειώσουν τη φτώχεια και να προστατεύσουν το περιβάλλον(Biswas, 2011). Η συνεργασία μεταξύ του Μπουτάν και της Ινδίας ήταν επομένως αμοιβαία επωφελής από κάθε άποψη, συμβάλλοντας επίσης στην ειρήνη και τη σταθερότητα στην ευρύτερη περιοχή. Οι αναπτυξιακές

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 11:28:09 EEST - 216.73.216.250

πρωτοβουλίες με βάση το νερό έχουν μεταμορφώσει την οικονομία του Μπουτάν, ανεβάζοντας το κατά κεφαλήν ΑΕΠ του από το χαμηλότερο στη Νότια Ασία το 1980 στο υψηλότερο στη λεκάνη του Γάγγη-Μπραμαπούτρα-Μεγκνά το 2008, φτάνοντας τα 1.932,8 δολάρια ΗΠΑ σε σύγκριση με τα 1.061,3 της Ινδίας, τα 1.010,2 του Πακιστάν και 493,7 του Μπαγκλαντές και 465,4 του Νεπάλ (Bisht, 2010). Αυτή η αξιοσημείωτη μεταμόρφωση κατέστη δυνατή χάρη στην προνοητική και συνεργατική στρατηγική του Μπουτάν για την από κοινού ανάπτυξη των διασυνοριακών ποταμών του με την Ινδία.

2.1.3 Νεπάλ, Μπαγκλαντές και Ινδία

Σε έντονη αντίθεση με την επιτυχημένη συνεργασία μεταξύ Ινδίας και Μπουτάν, η περίπτωση του Νεπάλ, της Ινδίας και του Μπαγκλαντές αντιπροσωπεύει μια σημαντική χαμένη ευκαιρία στον τομέα της διασυνοριακής διαχείρισης των υδάτινων πόρων, κυρίως λόγω της επίμονης δυσπιστίας μεταξύ των τριών χωρών. Αυτές οι συνθήκες επιβεβαιώνουν την προνοητικότητα του Τζαβαχαρλάλ Νεχρού, του πρώτου πρωθυπουργού της ανεξάρτητης Ινδίας, ο οποίος προέτρεψε τις χώρες της Νότιας Ασίας να ξεπεράσουν τις στενές εθνικές αντιπαλότητες (Biswas, 2011). Αν και οι διμερείς διαπραγματεύσεις μεταξύ Νεπάλ και Ινδίας, καθώς και μεταξύ Ινδίας και Μπαγκλαντές, έχουν οδηγήσει σε διάφορες συμφωνίες και συνθήκες, η ουσιαστική πρόοδος στην αξιοποίηση των κοινών ποταμών ως μέσων οικονομικής ανάπτυξης και μείωσης της φτώχειας παραμένει περιορισμένη(Verghese, 1990). Εάν το Νεπάλ, η Ινδία και το Μπαγκλαντές είχαν προσεγγίσει τον σχεδιασμό και τη διαχείριση των διασυνοριακών ποταμών τους συλλογικά και με πνεύμα αμοιβαίας εμπιστοσύνης και εποικοδομητικής συνεργασίας, τα πιθανά οφέλη όσον αφορά την περιφερειακή ανάπτυξη, τη μείωση της φτώχειας και τη βελτίωση του βιοτικού επιπέδου θα ήταν σημαντικά. Δυστυχώς, αυτό το όραμα δεν υλοποιήθηκε ποτέ, εν μέρει λόγω της πολιτικής αστάθειας που επισκίασε τις διαπραγματεύσεις και εν μέρει λόγω των ασύμμετρων σχέσεων εξουσίας μεταξύ των τριών χωρών. Πολλά από αυτά τα εμπόδια θα μπορούσαν να είχαν ξεπεραστεί με την εφαρμογή της Δοξασίας Γκουτζράλ της δεκαετίας του 1990, η οποία απέρριπτε ρητά την αρχή της αυστηρής αμοιβαιότητας στις σχέσεις της Ινδίας με τους μικρότερους γείτονές της. Αν και αυτή η διπλωματική πρωτοβουλία αρχικά προκάλεσε αισιοδοξία και κινητοποίηση, η δυναμική της σύντομα εξαντλήθηκε (Abbas & Subramanian, 1984). Κατά συνέπεια, κατέστη χαμένη ευκαιρία για όλους τους εμπλεκόμενους, ιδίως για το Νεπάλ και το Μπαγκλαντές, τα οποία

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 11:28:09 EEST - 216.73.216.250

είχαν πολύ λιγότερες αναπτυξιακές εναλλακτικές λύσεις σε αναπτυξιακές πολιτικές (Biswas, 2011).

Η συνολική κατάσταση στην περιοχή παραμένει απογοητευτική: περίπου το ήμισυ του πληθυσμού συνεχίζει να ζει κάτω από το όριο της φτώχειας (Verghese, 1990). Παρά τις πρόσφατες οικονομικές βελτιώσεις, ο απόλυτος αριθμός των φτωχών ανθρώπων έχει αυξηθεί, κυρίως ως αποτέλεσμα της αύξησης του πληθυσμού. Επομένως, δεν αποτελεί έκπληξη το γεγονός ότι οι δείκτες υγείας και κοινωνικής πρόνοιας παραμένουν εξαιρετικά προβληματικοί. Μεταξύ των περιορισμένων φυσικών πόρων της περιοχής, το νερό ξεχωρίζει ως ένας από τους λίγους που έχουν τη δυνατότητα να τονώσουν τη μακροπρόθεσμη οικονομική ανάπτυξη. Για να αξιοποιήσουν αυτό το δυναμικό, οι χώρες της περιοχής πρέπει να θεσπίσουν στρατηγικές συνεργασίας και κοινά σχέδια δράσης, στα οποία το νερό θα λειτουργεί ως καταλύτης για την οικονομική μεταμόρφωση. Εδώ και δεκαετίες υπάρχουν πολυάριθμες ευκαιρίες συνεργασίας, ιδίως σε τομείς όπως:

- Η παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας
- Η διαχείριση των πλημμυρών
- Η μετριασμός της ξηρασίας
- Η αγροτική ανάπτυξη

Η λεκάνη απορροής των ποταμών Γάγγη-Βραμαπούτρα-Μεγκνά (GBM) παραμένει μία από τις πιο φτωχές περιοχές του κόσμου (Rahman, 2009). Οι κοινωνικοοικονομικοί δείκτες, συμπεριλαμβανομένων εκείνων που σχετίζονται με την οικονομική απόδοση, την εκπαίδευση και την υγεία, είναι ανησυχητικά χαμηλοί, ειδικά σε σύγκριση με άλλες αναπτυσσόμενες περιοχές. Περίπου το 40% των φτωχών του κόσμου ζει σε αυτή τη λεκάνη απορροής. Αν και τα σχετικά ποσοστά φτώχειας έχουν μειωθεί, ο απόλυτος αριθμός των φτωχών ανθρώπων έχει αυξηθεί λόγω της ταχείας αύξησης του πληθυσμού. (Biswas, 2011). Οι δείκτες υγείας είναι ιδιαίτερα δυσοίωνοι: τόσο τα ποσοστά θνησιμότητας των βρεφών (κάτω του ενός έτους) όσο και των παιδιών (κάτω των πέντε ετών) υπερβαίνουν κατά πολύ τους μέσους όρους των αναπτυσσόμενων χωρών και τον παγκόσμιο μέσο όρο. Ενώ η πρόσβαση σε καθαρό νερό έχει βελτιωθεί σε κάποιο βαθμό, μόνο ένα μικρό ποσοστό του πληθυσμού έχει πρόσβαση σε επαρκή συστήματα αποχέτευσης και επεξεργασίας λυμάτων (Biswas, 2011). Περίπου το 45% της γης της περιοχής GBM είναι καλλιεργήσιμη, αλλά η διαθεσιμότητα γεωργικής γης ανά κάτοικο

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 11:28:09 EEST - 216.73.216.250

είναι πολύ χαμηλή — περίπου ένα δέκατο του εκταρίου, ή περίπου το μισό του παγκόσμιου μέσου όρου. Η αστικοποίηση αποτελεί μια άλλη κρίσιμη πρόκληση. Μεταξύ 1995 και 2000, οι ετήσιοι ρυθμοί αστικής ανάπτυξης ήταν 5,2% στο Μπαγκλαντές, 3,0% στην Ινδία και 6,5% στο Νεπάλ (Biswas & Uitto, 2001), σημαντικά υψηλότεροι από αυτούς που καταγράφηκαν σε:

- Ευρώπη (0.5%),
- Λατινική Αμερική (2,3%),
- Αυστραλία (1,2%),
- Ηνωμένες Πολιτείες και Καναδάς (1,2%)
- Ιαπωνία (0,4%).

Οι ρυθμοί αστικοποίησης στη Νότια Ασία προβλέπεται να συνεχίσουν να αυξάνονται ραγδαία. Μέχρι το 2025, ο αστικός πληθυσμός της Ινδίας και του Μπαγκλαντές αναμένεται να υπερβεί το 50%, ενώ του Νεπάλ θα φτάσει περίπου το 22%. Αυτή η δημογραφική μεταβολή θα έχει σημαντικές επιπτώσεις στη ζήτηση για νερό, ενέργεια και άλλους φυσικούς πόρους, καθώς και στην περιβαλλοντική βιωσιμότητα (Rahman, 2009). Παρά τις σοβαρές κοινωνικοοικονομικές προκλήσεις της περιοχής, αυτή παραμένει πλούσια σε φυσικούς πόρους, ιδίως σε νερό, γη και ενεργειακούς πόρους. Αυτή η παράδοξη κατάσταση υπογραμμίζει την επείγουσα ανάγκη για συνεργασία και διαπραγματεύσεις βασισμένες στην εμπιστοσύνη. Η αποτελεσματική χρήση αυτών των κοινών πόρων έχει παρεμποδιστεί από ένα συνδυασμό:

- μακροχρόνιων πολιτικών
- διαφορών αμοιβαίας δυσπιστίας
- έλλειψης καλής θέληση
- ανεπαρκούς πολιτικής βούλησης

Οι άφθονοι υδάτινοι πόροι της λεκάνης του GBM θα μπορούσαν να αποτελέσουν βασικό μοχλό οικονομικής προόδου για εκατομμύρια φτωχούς ανθρώπους. Ωστόσο, η βέλτιστη αξιοποίηση των κοινών ποταμών μπορεί να επιτευχθεί μόνο μέσω πραγματικής συνεργασίας. Είναι επομένως επιτακτική ανάγκη να δημιουργηθεί ένα μακροπρόθεσμο πλαίσιο συνεργασίας για τη βιώσιμη ανάπτυξη, το οποίο θα είναι αποδεκτό και ρεαλιστικά εφαρμόσιμο και από τις τρεις χώρες (Biswas, 2011).

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 11:28:09 EEST - 216.73.216.250

2.1.4 **Δούναβης**

Ο ποταμός Δούναβης αποτελεί ένα από τα καλύτερα παραδείγματα για το πώς πολλαπλές χώρες με ιστορικό συγκρούσεων μπορούν να συνεργαστούν για τη διαφύλαξη της ποιότητας των υδάτων και τη διασφάλιση της βιώσιμης διαχείρισης. Καλύπτοντας μια λεκάνη απορροής περίπου 800.000 τετραγωνικών χιλιομέτρων, ο Δούναβης είναι ο πιο διεθνής ποταμός στον κόσμο, καθώς ρέει μέσα ή κατά μήκος των συνόρων 18 χωρών (Εικόνα 2.3): Γερμανία, Αυστρία, Τσεχική Δημοκρατία, Σλοβακία, Ουγγαρία, Σλοβενία, Κροατία, Βοσνία-Ερζεγοβίνη, Σερβία και Μαυροβούνιο, Ρουμανία, Βουλγαρία, Μολδαβία, Ουκρανία, Ελβετία, Ιταλία, Πολωνία, Αλβανία και Βόρεια Μακεδονία. Διασχίζει τέσσερις πρωτεύουσες — τη Βιέννη, τη Μπρατισλάβα, τη Βουδαπέστη και το Βελιγράδι — και δέχεται βιομηχανικά, γεωργικά και οικιακά λύματα από εκατομμύρια κατοίκους (Pliakas & Diamantis, 2006). Μέχρι τη δεκαετία του 1980, η ποιότητα του νερού του ποταμού είχε επιδεινωθεί σημαντικά. Αναγνωρίζοντας αυτό το γεγονός, οι οκτώ χώρες από τις οποίες διέρχεται ο Δούναβης υπέγραψαν τη Διακήρυξη του Βουκουρεστίου το 1985 (Διακήρυξη των χωρών του Δούναβη για συνεργασία σε θέματα διαχείρισης των υδάτων του Δούναβη). Η συμφωνία αυτή εξέφραζε τη συλλογική δέσμευσή τους για συνεργασία στη διαχείριση του ποταμού και επιβεβαίωνε την αρχή ότι η περιβαλλοντική κατάσταση του Δούναβη εξαρτάται από την υγεία ολόκληρης της λεκάνης απορροής του. Οι υπογράφοντες δεσμεύτηκαν να ακολουθήσουν μια ολοκληρωμένη προσέγγιση στη διαχείριση των υδάτων, ξεκινώντας με τη δημιουργία ενός ενοποιημένου δικτύου παρακολούθησης σε ολόκληρη τη λεκάνη απορροής. (Kallioras et al,. 2006)**.**

Κατά τη διάρκεια του Ψυχρού Πολέμου, το πολιτικό χάσμα μεταξύ Ανατολής και Δύσης είχε ουσιαστικά χωρίσει τη λεκάνη του Δούναβη, περιορίζοντας σοβαρά την ανταλλαγή περιβαλλοντικών δεδομένων και τον διασυνοριακό συντονισμό. Η πτώση του Σιδηρού Παραπετάσματος το 1989 αναδιαμόρφωσε ριζικά το γεωπολιτικό τοπίο της Ευρώπης, δημιουργώντας νέα κράτη και επανασχεδιάζοντας τα σύνορα (Linnerooth, 1990). Ωστόσο, η διάλυση της Σοβιετικής Ένωσης επιδείνωσε επίσης τα υπάρχοντα προβλήματα ποιότητας των υδάτων, καθώς πολλές αναδυόμενες οικονομίες δεν διέθεταν τους οικονομικούς πόρους για την αντιμετώπιση της περιβαλλοντικής υποβάθμισης. Αξιοποιώντας τη δυναμική της Διακήρυξης του Βουκουρεστίου, οι χώρες του Δούναβη προχώρησαν στη θεσμοθέτηση της συνεργασίας τους. Το 1991, ξεκίνησαν το Περιβαλλοντικό Πρόγραμμα για τη Λεκάνη του Δούναβη (EPDRB) (Stalzer & Wolfgang, 2001) , με σκοπό την ενίσχυση των εθνικών

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 11:28:09 EEST - 216.73.216.250

προσπαθειών για την αποκατάσταση και την προστασία της λεκάνης. Στο πλαίσιο αυτού του προγράμματος, τα συμμετέχοντα κράτη συμφώνησαν:

- Να υιοθετήσουν ένα ενοποιημένο σύστημα παρακολούθησης για την αξιολόγηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων,
- Να μοιραστούν την ευθύνη για τη διασυνοριακή ρύπανση,
- Να θεσπίσουν κανονισμούς για την προστασία των υγροτόπων και
- Να αναπτύξουν κατευθυντήριες γραμμές για τη διατήρηση περιοχών με οικολογική ή αισθητική σημασία.

Συγκροτήθηκε μια προσωρινή ομάδα εργασίας για τον συντονισμό των συλλογικών προσπαθειών των χωρών του Δούναβη. Στα μέλη της περιλαμβάνονταν η Αυστρία, η Βουλγαρία, η Κροατία, η Τσεχική Δημοκρατία, η Γερμανία, η Ουγγαρία, η Μολδαβία, η Ρουμανία, η Σλοβακία, η Σλοβενία Επιπλέον, συμμετείχαν αρκετοί σημαντικοί διεθνείς οργανισμοί, όπως η Ευρωπαϊκή Επιτροπή, η Ευρωπαϊκή Τράπεζα Ανασυγκρότησης και Ανάπτυξης (EBRD), η Ευρωπαϊκή Τράπεζα Επενδύσεων (EIB), η Σκανδιναβική Τράπεζα Επενδύσεων (NIB), το Πρόγραμμα Ανάπτυξης των Ηνωμένων Εθνών (UNDP), το Πρόγραμμα των Ηνωμένων Εθνών για το Περιβάλλον (UNEP) και η Παγκόσμια Τράπεζα. Σημαντικές μη κυβερνητικές οργανώσεις (ΜΚΟ), όπως η Διεθνής Ένωση για τη Διατήρηση της Φύσης (IUCN) και το Παγκόσμιο Ταμείο για τη Φύση (WWF), συμμετείχαν επίσης ενεργά.

Ένας από τους πρωταρχικούς στόχους της Ομάδας Εργασίας ήταν η ανάπτυξη ενός Στρατηγικού Σχεδίου Δράσης (SAP) το 1993, με στόχο τη μετάβαση από το στάδιο του σχεδιασμού στο στάδιο της υλοποίησης. Το σχέδιο εστίαζε στην αντιμετώπιση των επειγόντων περιβαλλοντικών απειλών στη λεκάνη μέσω πρακτικών μέτρων και ρεαλιστικών περιορισμών. Ενημερωνόταν περιοδικά με τη συμβολή των υπευθύνων λήψης αποφάσεων, των τεχνικών εμπειρογνωμόνων και των σχετικών ενδιαφερόμενων μερών. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι αυτή η διαδικασία σηματοδότησε την πρώτη περίπτωση στην οποία απαιτήθηκε ρητά η συμμετοχή του κοινού στη διαμόρφωση ενός διεθνούς σχεδίου διαχείρισης λεκάνης απορροής ποταμού, αναγνωρίζοντας ότι η πραγματική επιτυχία εξαρτάται από τη συμμετοχή και την υποστήριξη όσων επηρεάζονται άμεσα από την εφαρμογή του. Κατά την ίδια περίοδο που εκπονούταν το Στρατηγικό Σχέδιο Δράσης, οι χώρες του Δούναβη εργάστηκαν επίσης για τη σύνταξη μιας νομικά δεσμευτικής συνθήκης: της Σύμβασης για τη Συνεργασία για την

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 11:28:09 EEST - 216.73.216.250

Προστασία και την Αειφόρο Χρήση του Ποταμού Δούναβη, κοινώς γνωστή ως Σύμβαση για την Προστασία του Ποταμού Δούναβη. Η Σύμβαση υπογράφηκε στις 29 Ιουνίου 1994 στη Σόφια της Βουλγαρίας από εκπροσώπους έντεκα χωρών της λεκάνης του Δούναβη —Αυστρία, Βουλγαρία, Κροατία, Τσεχική Δημοκρατία, Γερμανία, Ουγγαρία, Μολδαβία, Ρουμανία, Σλοβακία, Σλοβενία και Ουκρανία— καθώς και από την Ευρωπαϊκή Κοινότητα. Οι μεταγενέστερες προσχωρήσεις επέκτειναν τη συμμετοχή: η Σερβία (τότε μέρος της ένωσης με το Μαυροβούνιο) προσχώρησε στη Σύμβαση το 2003, ακολουθούμενη από τη Βοσνία-Ερζεγοβίνη το 2005. Μετά την απόσχιση του Μαυροβουνίου από τη Σερβία, το Μαυροβούνιο έγινε το 15ο συμβαλλόμενο μέρος της Διεθνούς Επιτροπής για την Προστασία του Δούναβη (ICPDR) το 2008.

Εικόνα 2.3: Λεκάνη απορροής του Δούναβη, πηγή: (Schnabl, 2014)

Οι υπογράφοντες της Σύμβασης δεσμεύτηκαν να συνεργαστούν σε βασικά θέματα διαχείρισης των υδάτων, όπως:

- η διατήρηση, βελτίωση και ορθολογική χρήση των επιφανειακών και υπόγειων υδάτινων πόρων.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 11:28:09 EEST - 216.73.216.250

- η υιοθέτηση προληπτικών μέτρων για την αντιμετώπιση κινδύνων που προκύπτουν από ατυχήματα, πλημμύρες, σχηματισμό πάγου και επικίνδυνες ουσίες.
- η μείωση των ρύπων που εισέρχονται στη Μαύρη Θάλασσα από πηγές εντός της λεκάνης απορροής του Δούναβη.

Η Διεθνής Επιτροπή για την Προστασία του Δούναβη (ICPDR) έχει εξελιχθεί από τότε στον μεγαλύτερο διεθνή οργανισμό εμπειρογνωμόνων για τη διαχείριση λεκανών απορροής ποταμών στην Ευρώπη. Αποστολή της είναι η προώθηση και ο συντονισμός της αειφόρου διαχείρισης των υδάτων προς όφελος όλων των κατοίκων της λεκάνης απορροής του Δούναβη. Από την ίδρυσή της, η ICPDR έχει συγκεντρώσει ανώτερους κυβερνητικούς εκπροσώπους, τεχνικούς ειδικούς, μέλη της κοινωνίας των πολιτών και την επιστημονική κοινότητα, οι οποίοι συνεργάζονται για τη συνεχή βελτίωση της ποιότητας των υδάτων και της οικολογικής υγείας της λεκάνης απορροής. Η δέσμευση αυτή ενισχύθηκε περαιτέρω το 2000, όταν όλα τα συμβαλλόμενα μέρη συμφώνησαν να συντονίσουν την εφαρμογή της οδηγίας-πλαισίου της Ευρωπαϊκής Ένωσης για τα ύδατα (WFD) μέσω της ICPDR. Το 2007, η συνεργασία επεκτάθηκε ώστε να συμπεριλάβει την οδηγία της ΕΕ για τις πλημμύρες, ενισχύοντας ακόμη περισσότερο τις προσπάθειες ολοκληρωμένης διαχείρισης. Ο διαρκής στόχος της ICPDR είναι η πλήρης υλοποίηση της Σύμβασης για την Προστασία του Δούναβη, μετατρέποντάς την σε έναν δυναμικό μηχανισμό για τη βιώσιμη και δίκαιη διαχείριση των υδάτων της λεκάνης απορροής. Η μακροπρόθεσμη αποστολή της περιλαμβάνει τη διατήρηση, την ενίσχυση και την υπεύθυνη χρήση των υδάτινων πόρων προς όφελος όλων των χωρών και των λαών της λεκάνης απορροής του Δούναβη, με προοπτική να επεκταθεί στις επόμενες δεκαετίες και πέραν αυτών.

2.1.5 Μελέτες για την επίλυση των διαφορών σε διασυνοριακούς ποταμούς

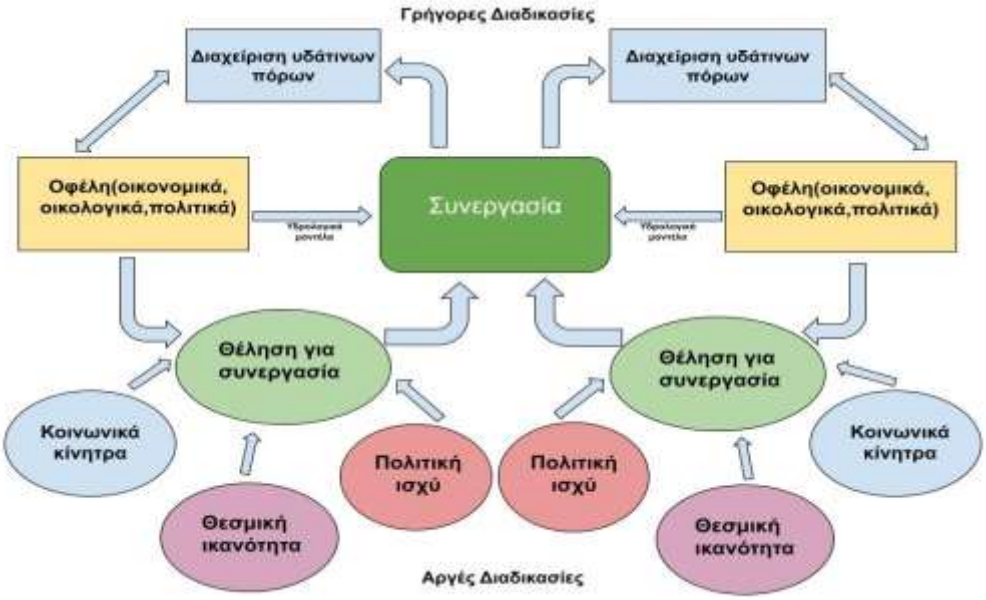
Υπάρχουν πολύ πλούσιες εμπειρικές μελέτες για την επίλυση των διαφορών στη διαχείριση διασυνοριακών ποταμών σε παγκόσμια και τοπική κλίμακα, και έχουν αναπτυχθεί αρκετές παγκόσμιες βάσεις δεδομένων για να υποστηρίξουν την αξιολόγηση αυτών των παραγόντων. Η Διεθνής Βάση Δεδομένων Υδατικών Συμβάντων καταγράφει παγκόσμια υδατικά συμβάντα με αναφορά σε συγκρούσεις και συνεργασίες κατά την περίοδο 1948–2008. Η Βάση δεδομένων για διασυνοριακές διαμάχες του γλυκού νερού (TFDD) είναι μια βάση δεδομένων ειδικά για παγκόσμια και περιφερειακή αξιολόγηση συγκρούσεων και διαδικασιών επίλυσης σε σχέση με τα ύδατα. Η WARICC (Water-Related Intrastate Conflict and Cooperation) εστιάζει σε εθνικά

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 11:28:09 EEST - 216.73.216.250

υδατικά επεισόδια διαφωνιών σε 35 χώρες της Μεσογείου, της Μέσης Ανατολής και του Σαχέλ από το 1997 έως το 2009. Έχουν επίσης αναπτυχθεί διάφορα σύνολα δεικτών για την αξιολόγηση του επιπέδου σύγκρουσης και συνεργασίας από διαφορετικές οπτικές γωνίες. Το Ινστιτούτο του Ειρηνικού κατηγοριοποιεί τα συμβάντα σύγκρουσης ανάλογα με τον σκοπό ελέγχου των υδάτων: το νερό θεωρείται στρατιωτικό ή πολιτικό «εργαλείο». Ο Δείκτης Συνεργασίας για το Νερό (Water Cooperation Quotient) εντοπίζει δέκα βασικά στοιχεία που διευκολύνουν τη συνεργασία μεταξύ δύο ή περισσότερων χωρών, όπως: επίσημες συμφωνίες, επιτροπές λεκάνης απορροής, συναντήσεις υπουργών, τεχνικά έργα, κοινή παρακολούθηση ροών, πλημμυρών, φραγμάτων και δεξαμενών, ισχυρή πολιτική δέσμευση ένταξη στην οικονομική συνεργασία· και πραγματική λειτουργία.

Οι Zeitoun και Mirumachi (Zeitoun &Mirumachi, 2008) ανέπτυξαν ποσοτικοποιήσιμες, δισδιάστατες μήτρες και τις επέκτειναν στη μορφή του δικτύου αλληλεπίδρασης για τα διασυνοριακά ύδατα (TWINS), το οποίο εστιάζει στη σύγκριση συγκρούσεων και συνεργασιών μεταξύ διαφορετικών χωρών και πώς αυτές εξελίσσονται με τον χρόνο. Ανέπτυξαν μια 15-βαθμη Κλίμακα Κινδύνου Λεκάνης (Basins at Risk – BAR) για να ταξινομήσει και να μετρήσει το βαθμό σύγκρουσης και συνεργασίας για τα ύδατα. Η Ολοκληρωμένη Κλίμακα Κινδύνου Λεκάνης (iBAR) περιλαμβάνει επίσης ανισότητες και αδικίες στην αξιολόγηση. Ο Conca (Conca, 2006) πρότεινε τα βασικά κανονιστικά στοιχεία για την αξιολόγηση της διασυνοριακής διακυβέρνησης: η αρχή της δίκαιης χρήσης, η αρχή της μη πρόκλησης βλάβης, η κυρίαρχη ισότητα και εδαφική ακεραιότητα, η ανταλλαγή πληροφοριών, η διαβούλευση με άλλες παραποτάμιες χώρες, η προειδοποίηση, η προστασία του περιβάλλοντος, και η ειρηνική επίλυση διαφορών. Αυτές οι βάσεις δεδομένων προσφέρουν μια παγκόσμια εικόνα των γεγονότων σύγκρουσης και συνεργασίας σε διασυνοριακές λεκάνες απορροής σε διάφορες χρονικές και χωρικές κλίμακες, ενώ οι αξιολογικές μελέτες ορίζουν και μετρούν τα γεγονότα με διαφορετικά σύνολα δεικτών. Παρόλο που παρέχουν πλούσιες περιγραφές των φαινομένων σύγκρουσης και συνεργασίας μεταξύ παραποτάμιων χωρών, έχουν περιορισμένη ικανότητα αποκάλυψης σχέσεων αιτίου-αποτελέσματος ή πρόβλεψης μελλοντικών τάσεων, κυρίως λόγω του περιορισμένου δεσμού τους με βασικές διαδικαστικές κατανοήσεις των φαινομένων.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 11:28:09 EEST - 216.73.216.250



Εικόνα 2.4: Διαδικασίες και μηχανισμοί της διεθνούς συνεργασίας

Τα θέματα των διεθνών σχέσεων αποτελούν πολύπλευρα προβλήματα, που δεν μπορούν να αντιμετωπιστούν με μονοδιάστατες πολιτικές. Όταν μέσα σε αυτήν την πολυπλοκότητα εμπλέκεται και το νερό, ένα αγαθό με πολλές εφαρμογές στην οικονομία, το περιβάλλον, την κοινωνία και την υγεία, τα προβλήματα εντείνονται. Για τον λόγο αυτό οι διεθνείς διαπραγματεύσεις πρέπει να πλευρίζονται πολυδιάστατα ενσωματώνοντας οικονομικές, πολιτικές και επιστημονικές αναλύσεις έτσι ώστε να γίνονται ξεκάθαρα τα προβλήματα, τα οφέλη και οι αντιμαχίες. (Yongping Wei et al., 2022)

- Επιστημονικές προσεγγίσεις

Οι υδρολογικές μελέτες έχουν προσφέρει σημαντική συμβολή στην κατανόηση των συγκρούσεων και της συνεργασίας σε διασυνοριακές λεκάνες απορροής ποταμών. Περιλαμβάνουν μελέτες συγκεκριμένων τόπων και θεμάτων για τις επιπτώσεις της χωρικής τοποθέτησης, της διαθεσιμότητας νερού, της εξάρτησης από εξωτερικά ύδατα, της κλιματικής αλλαγής και της ανάπτυξης υποδομών σε διασυνοριακές λεκάνες ποταμών (De Stefano et al., 2017, Furlong et al., 2006, Nordås & Gleditsch, 2007). Έχουν αναπτυχθεί υδρολογικά μοντέλα με ενσωμάτωση οικολογίας, γεωμορφολογίας και άλλων κλάδων των φυσικών επιστημών για να αξιολογήσουν τις βιοφυσικές συνέπειες των συγκρούσεων και τη βιοφυσική δυνατότητα

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 11:28:09 EEST - 216.73.216.250

συνεργασίας. Προσομοιώνοντας τις επιπτώσεις των ανάντη αλλαγών όχι μόνο στην ποσότητα, τη διάρκεια της ροής και την ποιότητα του νερού αλλά και στη μορφολογία του ποταμού, στη γεωργία, την αλιεία, την παραγωγή ενέργειας, τη ναυσιπλοΐα και τα οικοσυστήματα των κατάντη χωρών.

- Οικονομική προσέγγιση

Πολλές υδρολογικές μελέτες έχουν ενσωματωθεί στενά με νεοκλασικά οικονομικά μοντέλα για την προσομοίωση και εξήγηση της ανθρώπινης συμπεριφοράς, εστιάζοντας σε απτά οικονομικά οφέλη και υποθέτοντας ότι οι άνθρωποι δρουν ορθολογικά, έχοντας πλήρη ενημέρωση για όλες τις διαθέσιμες επιλογές και τις συνέπειές τους (Schill et al., 2019). Αυτά τα υδρο-οικονομικά μοντέλα έχουν αναπτυχθεί για την αξιολόγηση των οικονομικών οφελών από υδρολογικές αλλαγές μέσω αποθήκευσης και λειτουργίας φραγμάτων. Χρησιμοποιούν σειρές συναρτήσεων παραγωγής νερού (Harou et al., 2009), με ορισμένες εξειδικευμένες για την προσομοίωση συνεργασίας σε σχέση με διασυνοριακούς ποταμούς (Espey & Towfique, 2004). Η θεσμική οικονομία είναι ένας άλλος κλάδος των οικονομικών που εστιάζει στην κατανόηση της δια οργανωτικής συνεργασίας μέσω αξιολόγησης της οικονομικής απόδοσης υπό διαφορετικά θεσμικά πλαίσια (Schmid, 2008). Σε περιοχές διασυνοριακών ποταμών, η θεσμική οικονομία συνεργάζεται συχνά με τη νομική επιστήμη για να εξετάσει συνθήκες και συμφωνίες με σκοπό την ενίσχυση της εμπιστοσύνης και της συμμόρφωσης στις διαπραγματεύσεις, και τη μείωση του κόστους συναλλαγών της συνεργασίας (Rees, 2010,Boin & Lodge, 2016, Saleth & Dinar, 2004). Ορισμένες μελέτες υποστηρίζουν ότι η θεσμική ανεπάρκεια είναι η ρίζα πολλών υδατικών συγκρούσεων, όπου οι ταχείες αλλαγές σε βιοφυσικούς (π.χ. μονομερή έργα ανάπτυξης, απροσδόκητες ξηρασίες ή πλημμύρες) και κοινωνικοοικονομικούς (π.χ. πληθυσμιακή αύξηση, τεχνολογική ανάπτυξη) παράγοντες ξεπερνούν τη θεσμική ικανότητα προσαρμογής (Wolf et al., 2003).

- Θεωρία των Παιγνίων

Χαλαρώνοντας περαιτέρω την υπόθεση της απεριόριστης ορθολογικότητας μέσω μοντέλων συμπεριφορικής οικονομίας (Conlisk, 1996), οι Schill et al. (2019) αναγνώρισαν ότι η επιλογή συνεργασίας ή όχι, με αναφορά σε διασυνοριακούς ποταμούς, εξαρτάται από τις προσδοκίες μιας χώρας για απόλυτα οικονομικά οφέλη, τα οφέλη προηγούμενων περιόδων ως επίπεδο αναφοράς, τα σχετικά οφέλη σε σύγκριση με άλλες χώρες και άυλα οφέλη (όπως οικολογικά,

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 11:28:09 EEST - 216.73.216.250

κοινωνικά, πολιτικά ή διπλωματικά). Αυτό οδήγησε στην ενσωμάτωση θεωρίας παιγνίων, μοντέλων βασισμένων σε πράκτορες και δυναμικών συστημάτων για την προσομοίωση συγκρούσεων και συνεργασίας (Yu et al., 2019, Khan et al., 2017, Ding et al., 2016, Sehlke & Jacobson, 2005). Ωστόσο, τα μοντέλα αυτά επικρίνονται: υπάρχουν διαρκείς δυσκολίες στον καθορισμό και τη διάκριση κοινωνικών παραγόντων πέραν των οικονομικών τους οφελών. Συχνά παραγνωρίζουν τις κοινωνικές διαστάσεις της συνεργατικής συμπεριφοράς μέσω ανώνυμων υποκειμένων και αδυνατούν να αποτυπώσουν την ποικιλία της ανθρώπινης συμπεριφοράς (Schlüter et al., 2017, Futehally, 2014, Ribes-Iñesta et al., 2006).

- Θεσμική Προσέγγιση

Στη γενικότερη διαχείριση φυσικών πόρων, η Ostrom (2009) και μελέτες που προέκυψαν από αυτήν ανέπτυξαν ένα κοινωνικό-οικολογικό πλαίσιο (SES) τα τελευταία 30 χρόνια, το οποίο βοηθά στη διάγνωση θεσμικών αναντιστοιχιών στη ρύθμιση των αλληλεπιδράσεων μεταξύ πόρων, χρηστών πόρων, συστημάτων πόρων και συστημάτων διακυβέρνησης (Thiel et al., 2015). Αυτές οι μελέτες παρέχουν πλούσια θεωρητική βάση για την κατανόηση της σύγκρουσης και της συνεργασίας σε διασυνοριακούς ποταμούς από θεσμική σκοπιά, ωστόσο, δεν έχουν ενσωματωθεί σε διαδικαστικά υδρολογικά μοντέλα και, έτσι, δεν έχουν συνδέσει τη θεσμική ανεπάρκεια με τις υδρολογικές αλλαγές που προκάλεσαν.

- Ψυχολογική προσέγγιση

Η γνωστική ψυχολογία και η πολιτισμική κοινωνιολογία προσφέρουν πλούσια κατανόηση της συνεργατικής συμπεριφοράς από την οπτική της κοινωνικής σύγκρισης, της αυτοαντανάκλασης και των νοητικών μοντέλων για το μέλλον (Schlüter et al., 2017). Οι κοινωνικοί ψυχολόγοι αναγνωρίζουν ότι οι άνθρωποι διαφέρουν θεμελιωδώς όσον αφορά τις κοινωνικές τους αξίες και τα χαρακτηριστικά προσωπικότητας. Αυτές οι αξίες και τα χαρακτηριστικά είναι οι βασικοί κινητήριοι παράγοντες των συνεργατικών κινήτρων και επιλογών, οι οποίοι μπορεί να επηρεάσουν τη συνεργασία σε καταστάσεις κοινωνικού διλήμματος (Bogaert et al., 2012, Hoff & Stiglitz, 2016). Αναγνωρίζονται συνήθως δύο αντίθετοι κοινωνικοί προσανατολισμοί: ο «ατομοκεντρικός» και ο «κοινωνιοκεντρικός». Οι κοινωνιοκεντρικοί πιστεύουν ότι η συνεργασία είναι αποτελεσματική και δίκαιη, ενώ οι ατομοκεντρικοί συνεργάζονται επειδή θεωρούν ότι θα είναι σε χειρότερη θέση εάν δεν το κάνουν (Bogaert et al., 2008). Ο Schwartz (1992) και ο Howat (2021) προσδιόρισαν δέκα

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 11:28:09 EEST - 216.73.216.250

βασικές κοινωνικές αξίες, όπως: προθυμία στην αλλαγή, διατήρηση, υπέρβαση του εαυτού, αυτοενίσχυση, συμμόρφωση κ.ά., και συζητούν τις σχέσεις τους. Αυτές οι θεωρίες υποδηλώνουν ότι η ενίσχυση της συνεργασίας μπορεί να απαιτεί διαφορετικές προσεγγίσεις. Οι περισσότερες μελέτες από αυτούς τους κλάδους για διασυνοριακές συγκρούσεις και συνεργασία είναι εννοιολογικές, εστιάζοντας στη σημασία του νερού, της ταυτότητας ή των εθνικών αξιών και στην αντιληπτή απειλή από την υπερεκμετάλλευση πόρων (Baranyai, 2020,Brochmann & Gleditsch, 2012, Elhance, 1999), δεν έχουν ενσωματωθεί σε υδρολογικά μοντέλα· έτσι, δεν έχουμε ακόμη κατανοήσει πώς οι αξίες επηρεάζουν τις υδρολογικές αλλαγές.

- Πολιτική και Διπλωματία

Εν μέρει λόγω της σημασίας της ισότητας, της κυριαρχίας, της διπλωματίας και της εθνικής ασφάλειας στη διαχείριση διασυνοριακών ποταμών, μελετητές στις πολιτικές επιστήμες και τις διεθνείς σχέσεις έχουν επίσης κάνει σημαντικές συνεισφορές στην κατανόηση συνεργατικής συμπεριφοράς (Giordano & Wolf, 2003, Munia et al., 2016). Η πολιτική είναι η μελέτη της εξουσίας (Lasswell, 2003). Η υδρο-πολιτική είναι ένας κλάδος όπου η πολιτική εφαρμόζεται στη διαχείριση διασυνοριακών υδάτων, χαρακτηρίζεται από ηγεμονικές διαμορφώσεις λόγω γεωγραφικής θέσης, και υποστηρίζει ότι οι ισχυρότερες παραποτάμιες χώρες έχουν πλεονέκτημα έναντι των ασθενέστερων στη διανομή νερού και επιβολή ευνοϊκών συμφωνιών. (Mirumachi & Allan, 2007, Zeitoun et al., 2011). Ένας άλλος κλάδος είναι η υδρο-διπλωματία, η οποία στοχεύει στη δημιουργία ή βελτίωση της συνεργασίας και της σταθερότητας στη χρήση των υδάτων (Milman & Gerlak, 2020). Η συνεργασία στην υδρο-διπλωματία θεωρείται ως διπλής κατεύθυνσης αλληλεπίδραση μεταξύ εσωτερικής και διεθνούς πολιτικής, που περιβάλλεται από ζητήματα κυριαρχίας και πολιτισμικές κατασκευές που χρονολογούνται από γενιές (π.χ. θρησκευτικές διαστάσεις του νερού) (Warner, 2016). Ο Schwartz (1992) και ο Howat (2021) χρησιμοποίησαν οκτώ πολιτικές αξίες για να κατανοήσουν τη σύγκρουση μεταξύ ομάδων: ισότητα, πολιτικές ελευθερίες, αυτάρκεια, ελεύθερη οικονομία, στρατιωτική ισχύς, τυφλός πατριωτισμός, νόμος και τάξη, και παραδοσιακή ηθική. Η υδρο-πολιτική όσο και η υδρο-διπλωματία υποστηρίζουν ότι η διαχείριση των διασυνοριακών ποταμών είναι μια πολιτική διαδικασία υποκείμενη στις διαθέσεις της ισχύος (Zeitoun & Mirumachi, 2008), αφήνοντας μικρό χώρο για οικονομική συνεργασία. Υπάρχει πλήρης συμφωνία και στους δύο

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 11:28:09 EEST - 216.73.216.250

τομείς ότι η υδρολογική γνώση είναι η βάση, ωστόσο, τα υδρολογικά μοντέλα δεν έχουν ενσωματωθεί με πολιτικές ή διπλωματικές κατανοήσεις.

Πίνακας 2.1: Συνοπτικός πίνακας της συνεισφοράς των επιστημονικών προσεγγίσεων

	Συνεισφορά	Πλεονεκτήματα και αδυναμίες
Εμπειρική και αξιολογική μελέτη	Περιγραφή των συγκρούσεων και της συνεργασίας με ρεαλιστικούς όρους	Πλούσια περιγραφή και εκτίμηση στο πλαίσιο των υδρολογικών αλλαγών χωρίς όμως να υπάρχουν ολοκληρωμένα υδρολογικά μοντέλα
Ολοκληρωμένη υδρολογική, οικολογική και γεωμορφολογική ανάλυση	Προσομοίωση των βιοφυσικών συνεπειών των συγκρούσεων και των καταστάσεων συνεργασίας για τα διακρατικά ποτάμια	Αναπτύσσεται στο κείμενο
Ανάλυση συμπεριφορικής οικονομίας	Αξιολόγηση της οικονομικής σκοπιμότητας μιας συνεργασίας	Οικονομικά μοντέλα έχουν ενσωματωθεί καλά με υδρολογικά μοντέλα χωρίς όμως να μπορούν να εξηγήσουν τον ορθολογισμό της συνεργασίας
Θεσμική οικονομία	Εξηγεί τους θεσμικούς παράγοντες της συνεργασίας	Πλούσια και εμπειρική ανάπτυξη χωρίς όμως να συνδέεται ολοκληρωτικά με τα υδρολογικά μοντέλα, έχοντας σαν αποτέλεσμα την έλλειψη ξεκάθαρης συνάφειας μεταξύ υδρολογικών μεταβολών και θεσμικής ανεπάρκειας
Πολιτισμική κοινωνιολογία και ψυχολογία	Σκιαγραφεί τα κοινωνικά κίνητρα και διεργασίες της συνεργασίας	Καλή θεωρητική ανάλυση που συχνά δεν μπορεί να αποδοθεί τέλεια από τα υδρολογικά μοντέλα με αποτέλεσμα να χάνεται η σύνδεση με τα κοινωνικά κίνητρα για συνεργασία
Πολιτική επιστήμη	Ανάλυση της επιρροής των διεθνών πολιτικών στις συνεργασίες	Μεγάλη ανάλυση ως προς την αλλαγή συμπεριφοράς σε θέματα υδρολογίας και λεκάνες απορροής, χώρος ιδιαίτερη πρωτοβουλία στο τεχνικό κομμάτι

2.1.6 Θεσμικό Πλαίσιο και Διεθνείς Συμβάσεις για τη Διαχείριση Διασυνοριακών Υδάτων

Οι διεθνείς οργανισμοί και οι κοινότητες δίνουν μεγάλη σημασία στη διαχείριση των διασυνοριακών υδάτινων πόρων για όλους τους τύπους υδάτινων σωμάτων (ποτάμια, λίμνες

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 11:28:09 EEST - 216.73.216.250

και υπόγειοι υδροφορείς). Οι περισσότερες μελέτες όμως, προσεγγίζουν το ζήτημα της κατανομής μέσω λύσεων της αγοράς, ή μέσω συνεργασίας με τη μορφή κοινών αναπτυξιακών έργων. Είναι σημαντικό εκτός από τεχνοκρατικές λύσεις να υπάρχουν και ισχυρά νομοθετικά εργαλεία τα οποία υποστηριζόμενα από διεθνείς οργανισμούς μπορούν να δεσμεύουν, είτε να παροτρύνουν τα κράτη να ενεργούν επιδιώκοντας το όφελος μέσα από την συνεργασία. Για τον λόγο αυτό έχουν καθοριστεί μέσα από ένα εκτενές πλέγμα συνθηκών, συμφωνιών και οδηγιών οι προτροπές προς τα κράτη αλλά και οι υποχρεώσεις των δεύτερων, έτσι ώστε να αντιμετωπιστεί ολιστικά η διαχείριση των διασυνοριακών υδάτων. Οι πιο σημαντικές από αυτές είναι οι εξής:

- **Η Συνθήκη του Ελσίνκι (1992),** γνωστή ως «Σύμβαση για την Προστασία και Χρήση των Διασυνοριακών Υδατορρευμάτων και των Διεθνών Λιμνών», θεσπίστηκε από την Οικονομική Επιτροπή του ΟΗΕ για την Ευρώπη (UNECE) και αποτελεί ένα νομικό πλαίσιο για τη βιώσιμη και ειρηνική διαχείριση των διασυνοριακών υδάτων. Σύμφωνα με το Άρθρο 2, τα συμβαλλόμενα μέρη υποχρεούνται να λαμβάνουν όλα τα κατάλληλα μέτρα για την πρόληψη, τον έλεγχο και τη μείωση της ρύπανσης που επηρεάζει τα διασυνοριακά ύδατα. Το Άρθρο 3 προβλέπει την υιοθέτηση εθνικών μέτρων, συμπεριλαμβανομένων αδειοδοτήσεων και ορίων εκπομπών, ενώ το Άρθρο 9 ενθαρρύνει τη σύναψη διμερών ή πολυμερών συμφωνιών για τη διαχείριση κοινών υδάτων και τη δημιουργία κοινών επιτροπών. Ιδιαίτερη σημασία έχει και το Άρθρο 13, το οποίο προβλέπει την ανταλλαγή πληροφοριών και την τακτική αξιολόγηση της εφαρμογής της Σύμβασης.
- Η **Οδηγία 2000/60/ΕΚ** του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου, γνωστή και ως Οδηγία-Πλαίσιο για τα Ύδατα, θεσπίζει ένα κοινό πλαίσιο πολιτικής για τα ύδατα στην Ευρωπαϊκή Ένωση, με στόχο την επίτευξη "καλής κατάστασης" για όλα τα ύδατα έως συγκεκριμένα χρονικά όρια. Το Άρθρο 3 καθορίζει ότι κάθε κράτος-μέλος πρέπει να προσδιορίσει τις λεκάνες απορροής εντός της επικράτειάς του και να διασφαλίσει τον συντονισμό με άλλα κράτη για τις διασυνοριακές λεκάνες. Επιπλέον, το Άρθρο 13 ορίζει την υποχρέωση εκπόνησης και δημοσιοποίησης σχεδίων διαχείρισης λεκάνης απορροής ποταμού, τα οποία για τις διασυνοριακές περιπτώσεις πρέπει να εκπονούνται σε συνεργασία με τα εμπλεκόμενα κράτη. Σημαντικό είναι και το Παράρτημα VII, το οποίο καθορίζει το περιεχόμενο των σχεδίων διαχείρισης, συμπεριλαμβανομένων των διακρατικών συνεργασιών.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 11:28:09 EEST - 216.73.216.250

- **Η Σύμβαση του ΟΗΕ για το Δίκαιο των Μη Πλοήσιμων Χρήσεων των Διεθνών Υδατορρευμάτων** (γνωστή ως UN Watercourses Convention), η οποία υιοθετήθηκε το 1997 και τέθηκε σε ισχύ το 2014. Αποτελεί τη σημαντικότερη παγκόσμια νομική πράξη που ρυθμίζει τη χρήση και προστασία των διακρατικών ποταμών, λιμνών και υπόγειων υδροφορέων. Βασίζεται στις αρχές της ισότιμης και λογικής χρήσης των υδατικών πόρων, της υποχρέωσης αποφυγής σημαντικής ζημίας προς άλλα κράτη, και της διαφάνειας μέσω ανταλλαγής πληροφοριών. Η σύμβαση ενθαρρύνει τη δημιουργία διμερών ή πολυμερών συμφωνιών μεταξύ των εμπλεκομένων χωρών, ενώ παράλληλα προβλέπει μηχανισμούς πρόληψης και επίλυσης διαφορών.
- **Η Οδηγία 2007/60/ΕΚ** για την Αξιολόγηση και Διαχείριση των Κινδύνων Πλημμύρας εστιάζει στη διαχείριση πλημμυρικών κινδύνων στις λεκάνες απορροής, με ιδιαίτερη σημασία στις διασυνοριακές περιοχές. Η οδηγία απαιτεί από τα κράτη μέλη της ΕΕ να προβαίνουν σε χαρτογράφηση επικινδυνότητας, σύνταξη σχεδίων διαχείρισης κινδύνου και διακρατικό συντονισμό, με στόχο την προστασία της ανθρώπινης ζωής, του περιβάλλοντος και των οικονομικών δραστηριοτήτων.
- **Σύμβαση UNECE** όπου μέσω συνεργασιών με οργανισμούς όπως η UNESCO και ο Global Environment Facility (GEF), έχει αναπτυχθεί ένα εξειδικευμένο νομικό και τεχνικό πλαίσιο για τη διαχείριση των διασυνοριακών υπόγειων υδροφορέων. Η προσπάθεια αυτή βασίζεται στην αναγνώριση ότι τα υπόγεια ύδατα συχνά αγνοούνται στις διεθνείς πολιτικές, παρότι αποτελούν κρίσιμο φυσικό πόρο. Έως σήμερα έχουν καταγραφεί περισσότερα από 590 διασυνοριακά συστήματα παγκοσμίως. Το εν λόγω πλαίσιο προωθεί την κοινή χαρτογράφηση, τη θεσμική συνεργασία και την ανταλλαγή τεχνικής πληροφόρησης μεταξύ των κρατών ενθαρρύνοντας την ανταλλαγή εμπειρίας, την ενίσχυση διοικητικών ικανοτήτων και τη συστηματική παρακολούθηση της εφαρμογής, ιδίως σε χώρες με περιορισμένους θεσμικούς ή τεχνικούς πόρους.

2.1.7 Οι διασυνοριακοί ποταμοί της Ελλάδας

Τα περισσότερα από τα μεγάλα ποτάμια της Ελλάδας είναι διασυνοριακά, ρέοντας κατά μήκος ή πέρα από τα διεθνή σύνορα. Αυτοί περιλαμβάνουν τον Αώο (κοινό με την Αλβανία), τον Αξιό (κοινό με τη Βόρεια Μακεδονία), τον Στρυμόνα (κοινό με τη Βόρεια Μακεδονία, τη Σερβία και τη Βουλγαρία), τον Νέστο/Mesta (κοινό με τη Βουλγαρία) και τον Έβρο (κοινό με τη Βουλγαρία και την Τουρκία). Εκτός από τη Βουλγαρία, η οποία είναι υποψήφια για ένταξη

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 11:28:09 EEST - 216.73.216.250

στην Ευρωπαϊκή Ένωση, οι άλλες παραποτάμιες χώρες δεν είναι κράτη μέλη της ΕΕ, γεγονός που περιπλέκει το πλαίσιο της διεθνούς συνεργασίας για τη διαχείριση των υδάτων. Ο ποταμός Νέστος/Mesta πηγάζει από τα βουνά Ρίλα της κεντρικής Βουλγαρίας και ρέει προς τα νότια στην Ελλάδα, εκβάλλοντας στη Θρακική Θάλασσα, όπου σχηματίζει το Δέλτα του Νέστου, μία από τις πιο ευαίσθητες από οικολογική άποψη και με τη μεγαλύτερη βιοποικιλότητα υγροτοπικές περιοχές της Ελλάδας. Η συνολική έκταση της λεκάνης απορροής του ποταμού είναι περίπου 5.479 km², εκ των οποίων τα 3.437 km² βρίσκονται στο βουλγαρικό έδαφος. Το συνολικό μήκος του ποταμού είναι περίπου 234 χιλιόμετρα, με τα 130 χιλιόμετρα να βρίσκονται στην Ελλάδα. Ο ποταμός Νέστος/Mesta διαδραματίζει ζωτικό ρόλο στην αναπλήρωση των Καρστικών πηγών, οι οποίες αποτελούν βασική πηγή άρδευσης και πόσιμου νερού για τους νομούς Δράμας, Καβάλας και Ξάνθης (Διαμαντής, 1996). Αυτές οι υδρολογικές διασυνδέσεις καθιστούν τη λεκάνη απορροής βασικό πόρο για την περιφερειακή ασφάλεια των υδάτων, υπογραμμίζοντας την ανάγκη αποτελεσματικής διμερούς διαχείρισης μεταξύ Ελλάδας και Βουλγαρίας για τη διασφάλιση της βιώσιμης χρήσης και της οικολογικής διατήρησης.

2.2 Ιστορική αναδρομή στη διασυνοριακή συνθήκη του Νέστου

Η πρώτη διακυβερνητική συμφωνία σχετικά με την κοινή διαχείριση των υδάτινων πόρων του ποταμού Νέστου/Mesta συνάφθηκε στην Αθήνα στις 9 Ιουλίου 1964. Η Ελλάδα και η Λαϊκή Δημοκρατία της Βουλγαρίας συμφώνησαν να συνεργαστούν για τη χρήση και τη διαχείριση των ποταμών που διασχίζουν τα κοινά τους σύνορα. Το 1975, οι δύο χώρες υπέγραψαν άλλη μια συμφωνία για τη σύσταση μιας ελληνοβουλγαρικής επιτροπής συνεργασίας στους τομείς της ενέργειας και της χρήσης των υδάτων. Στη συνέχεια, τον Μάιο του 1981, εκπόνησαν σχέδιο συμφωνίας που προέβλεπε ετήσια παροχή νερού περίπου 300×10^6 m³, ποσότητα σημαντικά υψηλότερη από την ελάχιστη που απαιτείται για τη διατήρηση της οικολογικής ισορροπίας στην κοίτη του ποταμού — τη λεγόμενη περιβαλλοντική ροή, που εκτιμάται σε 130×10^6 m³ ετησίως. Τον Μάρτιο του 1988, σε συνάντηση στη Σόφια, Βούλγαροι και Έλληνες εμπειρογνώμονες συζήτησαν όλα τα θέματα που αφορούσαν τη διασυνοριακή διαχείριση του ποταμού Νέστου/Mesta. Και οι δύο πλευρές ενέκριναν τη σύσταση μιας κοινής ελληνοβουλγαρικής επιτροπής για τη διαχείριση του ποταμού. Τον επόμενο χρόνο, τον Απρίλιο του 1989, κατά τη διάρκεια συνάντησης στο Χάσκοβο της Βουλγαρίας, η Ελλάδα παρουσίασε

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 11:28:09 EEST - 216.73.216.250

το Μακροπρόθεσμο Πρόγραμμα Οικονομικής, Βιομηχανικής, Επιστημονικής και Τεχνολογικής Συνεργασίας, το οποίο κάλυπτε επίσης θέματα σχετικά με τους υδάτινους πόρους του Νέστου. Περαιτέρω πρόοδος σημειώθηκε τον Νοέμβριο του 1991, όταν οι δύο πλευρές υπέγραψαν στη Σόφια το Πρωτόκολλο της Μεικτής Ελληνοβουλγαρικής Επιτροπής Εμπειρογνωμόνων για την ποσοτική και ποιοτική παρακολούθηση του ποταμού Νέστου/Mesta (Kallioras, 2006). Στο πλαίσιο του πρωτοκόλλου αυτού εγκρίθηκε ένα πρόγραμμα με τίτλο «Σύστημα παρακολούθησης και ελέγχου της ποιότητας των υδάτων των ποταμών Έβρου, Νέστου και Στρυμόνα», το οποίο προέβλεπε τη δημιουργία στο βουλγαρικό έδαφος:

- τεσσάρων μόνιμων σταθμών παρακολούθησης στους ποταμούς
- τέσσερις κινητούς σταθμούς, ένας σε κάθε ποταμό
- δύο χημικά εργαστήρια, που βρίσκονται στο Μπλαγκόεβγκραντ και στο Ντιμιτρόβγκραντ.

Σημαντικό στοιχείο της συμφωνίας του 1995 ήταν η σύσταση μόνιμης ελληνοβουλγαρικής υδρο-οικονομικής επιτροπής, η οποία είναι αρμόδια για τον έλεγχο και τη διασφάλιση της συνεπούς εφαρμογής της συμφωνίας. Η συμφωνία έχει διάρκεια 35 ετών, μετά την πάροδο των οποίων, ένα έτος πριν από τη λήξη της, τα δύο μέρη θα διαπραγματευτούν την ανανέωσή της με βάση την ισχύουσα νομοθεσία. Η περαιτέρω συνεργασία ενισχύθηκε στις 27 Ιουλίου 2010, όταν το ελληνικό Υπουργείο Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής και το βουλγαρικό Υπουργείο Περιβάλλοντος και Υδάτων υπέγραψαν κοινή δήλωση σχετικά με την εφαρμογή της νομοθεσίας της ΕΕ για τα ύδατα και τη διασυνοριακή διαχείριση των υδάτων. Δημιουργήθηκε μια κοινή ομάδα εμπειρογνωμόνων για τον συντονισμό των δράσεων στο πλαίσιο αυτό, η οποία πραγματοποίησε διαδοχικές συναντήσεις στη Δράμα (2011), τη Σόφια (2011), τη Θεσσαλονίκη (2013), την Αθήνα (2014), την Αθήνα (2015), το Σαντάνσκι (2016) και την Καβάλα (2017) (Karasani et al., 2022). Αξίζει να σημειωθεί ότι οι δύο χώρες ταξινομούν διαφορετικά το νομικό καθεστώς της συμφωνίας αυτής. Σύμφωνα με την έκθεση εφαρμογής της οδηγίας-πλαισίου για τα ύδατα της Βουλγαρίας για το 2019, η λεκάνη απορροής των ποταμών Mesta/Νέστου κατατάσσεται στην κατηγορία 3, δηλαδή στις διεθνείς λεκάνες απορροής ποταμών με ενεργή συμφωνία. Αντίθετα, η έκθεση εφαρμογής της Ελλάδας για το 2018 κατατάσσει τη λεκάνη απορροής στην κατηγορία 2, πράγμα που σημαίνει ότι εμπίπτει σε διεθνή συμφωνία που υποστηρίζεται από μόνιμο μηχανισμό συνεργασίας ο οποίος ισχύει επί του παρόντος (Karasani et al., 2022).

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 11:28:09 EEST - 216.73.216.250

2.2.1 Περιορισμοί και προκλήσεις στην εφαρμογή της συμφωνίας

Παρόλο που είχαν περάσει δεκαπέντε χρόνια από την υπογραφή της συμφωνίας πριν από την επανέναρξη των συζητήσεων και των συνεδριάσεων της επιτροπής το 2010, δεν παρατηρήθηκαν απτές βελτιώσεις στη διαχείριση του ποταμού Νέστου. Παρά το γεγονός ότι η συμφωνία επικυρώθηκε νομικά και στις δύο χώρες (το 2005 στην Ελλάδα και το 1996 στη Βουλγαρία) κανένα από τα δύο κράτη δεν έλαβε τα απαραίτητα μέτρα για να εξασφαλίσει την αποτελεσματική εφαρμογή των διατάξεών της. Επιπλέον, τα άρθρα της συμφωνίας είναι συχνά ασαφή και υπερβολικά γενικά, παρέχοντας ελάχιστες συγκεκριμένες ή τεχνικές οδηγίες για την εφαρμογή τους, ενώ περιέχουν και σημαντικές παραλείψεις (Eleftheriadou, 2006).

Συγκεκριμένα:

- Ασαφής κατανομή της ροής: Η συμφωνία δεν διευκρινίζει εάν το 29% του νερού που πρέπει να αποδεσμεύσει η Βουλγαρία αναφέρεται σε μηνιαίες ή ετήσιες απορρίψεις. Αυτή η έλλειψη ακρίβειας επιτρέπει στην ουσία στη βουλγαρική πλευρά να ασκεί διακριτική ευχέρεια στον καθορισμό του χρόνου και του όγκου των απορρίψεων νερού.
- Απουσία διατάξεων σχετικά με την οικολογική ροή: Η συμφωνία δεν αναφέρεται ρητά στην ελάχιστη ροή που απαιτείται για τη διατήρηση των ποτάμιων οικοσυστημάτων.
- Κατά τη διάρκεια περιόδων ακραίας ξηρασίας, μια ορισμένη βασική ποσότητα νερού πρέπει να συνεχίζει να ρέει μέσω του ποταμού για να αποφευχθεί η μη αναστρέψιμη υποβάθμιση του περιβάλλοντος. Ως εκ τούτου, η συμφωνία θα πρέπει να περιλαμβάνει διατάξεις για τις περιπτώσεις στις οποίες αυτή η οικολογική ροή υπερβαίνει την τρέχουσα κατανομή του 29%.
- Ανεπαρκής συντονισμός για τον έλεγχο της ρύπανσης: Αν και η συμφωνία προωθεί τη διμερή συνεργασία σε θέματα ρύπανσης, καμία από τις δύο πλευρές δεν έχει καταρτίσει κοινό κατάλογο επικίνδυνων ουσιών προτεραιότητας ή αντίστοιχων ορίων συγκέντρωσης.
- Έλλειψη τυποποιημένων πρωτοκόλλων παρακολούθησης: Αν και η συμφωνία συνιστά στις δύο χώρες να υιοθετήσουν κοινές διαδικασίες μέτρησης, δεν καθορίζει τις συγκεκριμένες μεθόδους παρακολούθησης, τη συχνότητα δειγματοληψίας ή τις ακριβείς τοποθεσίες δειγματοληψίας, με αποτέλεσμα την ασυνέπεια στη συλλογή και την υποβολή δεδομένων.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 11:28:09 EEST - 216.73.216.250

- Έλλειψη σχεδίων έκτακτης ανάγκης για ακραία φαινόμενα: Η συμφωνία δεν περιλαμβάνει εναλλακτικά σενάρια διαχείρισης για την αντιμετώπιση ακραίων υδρολογικών συνθηκών, όπως πλημμύρες ή ξηρασίες, με αποτέλεσμα και οι δύο χώρες να μην είναι προετοιμασμένες για καταστάσεις κρίσης που θα μπορούσαν να διαταράξουν την κατανομή των υδάτων ή να προκαλέσουν ζημιά στα οικοσυστήματα.

Συνοψίζοντας, αν και το διμερές πλαίσιο μεταξύ Ελλάδας και Βουλγαρίας υφίσταται τυπικά, οι πρακτικοί και τεχνικοί περιορισμοί της συμφωνίας παρουσιάζουν έντονες ελλείψεις. Επίσης, κανένα από τα άρθρα της συμφωνίας δεν έχει εφαρμοστεί αποτελεσματικά μέχρι σήμερα. Πιο συγκεκριμένα:

- Άρθρο 1: Το συμφωνηθέν σενάριο για την κατανομή των υδάτων μεταξύ των δύο χωρών δεν βασίστηκε σε ενδελεχή αξιολόγηση των πραγματικών αναγκών και απαιτήσεων των τοπικών πληθυσμών. Είναι ευρέως αποδεκτό ότι η τελική συμφωνία ήταν αποτέλεσμα πολιτικών διαπραγματεύσεων και αμοιβαίων παραχωρήσεων σε άσχετα εξωτερικά θέματα και όχι επιστημονικής αξιολόγησης. Επιπλέον, η προγραμματισμένη περιοδική αναθεώρηση των ποσοτήτων νερού δεν πραγματοποιήθηκε ποτέ, πράγμα που σημαίνει ότι η συμφωνηθείσα κατανομή νερού δεν έχει εφαρμοστεί επίσημα.
- Άρθρο 3: Η συνεργασία στον τομέα της παρακολούθησης της ρύπανσης και των απορρίψεων παραμένει εξαιρετικά αδύναμη. Η βουλγαρική πλευρά δεν έχει παράσχει επίσημα στοιχεία σχετικά με τις απορρίψεις λυμάτων ή τις δραστηριότητες κατακράτησης νερού στο έδαφός της, με αποτέλεσμα την έλλειψη διαφάνειας και λογοδοσίας.
- Άρθρο 4: Τα οικολογικά συστήματα στη λεκάνη απορροής του ποταμού Νέστου επιδεινώνονται σταθερά, ιδίως στην περιοχή του δέλτα, η οποία αντιμετωπίζει πολυάριθμες εξωτερικές πιέσεις παρά το γεγονός ότι προστατεύεται από τη Σύμβαση Ραμσάρ για τους υγρότοπους.
- Άρθρο 5: Η Μεικτή Επιτροπή, η οποία είναι υπεύθυνη για την εποπτεία και την επίβλεψη της συμφωνίας, δεν έχει συνεδριάσει ποτέ. Δεδομένου ότι ο οργανισμός αυτός αποτελεί τον κύριο μηχανισμό παρακολούθησης της συμμόρφωσης, η αδράνειά του έχει καταστεί σημαντικό εμπόδιο για την εφαρμογή της συμφωνίας (Mylopoulos et.al., 2004).

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 11:28:09 EEST - 216.73.216.250

3 WEFE Nexus και System Dynamics Modeling

3.1 Το WEFE Nexus και το Nexogenesis

Το ερευνητικό έργο NEXOGENESIS, χρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση στο πλαίσιο του Horizon 2020 και στοχεύει στην ανάπτυξη νέων, ολιστικών και συστημικών εργαλείων πολιτικής για τη διακυβέρνηση του Nexus Νερού–Ενέργειας–Τροφίμων–Οικοσυστημάτων (WEFE). Το έργο ενσωματώνει τεχνολογίες τεχνητής νοημοσύνης, μεθοδολογίες δυναμικής συστημάτων (System Dynamics Modeling – SDM) και συμμετοχικές διαδικασίες σχεδιασμού, με σκοπό την υποστήριξη της λήψης αποφάσεων σε διατομεακά, διασυνοριακά και πολυεπίπεδα περιβάλλοντα.

3.1.1 Διακυβέρνηση και πολιτική του Nexus

Η βιώσιμη διαχείριση των φυσικών πόρων αντιμετωπίζει πολλές προκλήσεις λόγω της πολύπλοκης λειτουργίας των συστημάτων πόρων και των έμφυτων αλληλεξαρτήσεών τους (Pahl-Wostl et al., 2018). Στην πραγματικότητα, για να διαχειριστούμε βιώσιμα τους υδατικούς πόρους, είναι απαραίτητο να ληφθούν υπόψη οι αποφάσεις που λαμβάνονται από άλλους τομείς, όπως ο ενεργειακός ή ο αγροτικός τομέας, καθώς αυτοί έχουν σημαντική επίδραση στη διαθεσιμότητα και την ποιότητα του νερού. Για παράδειγμα, οι ανάγκες άρδευσης της γεωργίας επηρεάζουν τη διαθεσιμότητα νερού σε περιφερειακό επίπεδο, ενώ οι πολιτικές που ρυθμίζουν τη χρήση λιπασμάτων στοχεύουν στην προστασία της ποιότητας του νερού. Ομοίως, η καλλιέργεια ενεργειακών φυτών για παραγωγή βιοκαυσίμων μπορεί να επηρεάσει την ποσότητα παραγωγής τροφίμων, καθώς ανταγωνίζονται για καλλιεργήσιμη γη (Pahl-Wostl et al., 2021). Επιπλέον, η προστασία των οικοσυστημάτων μπορεί να περιορίσει τόσο την παραγωγή τροφίμων όσο και ενεργειακών καλλιεργειών βραχυπρόθεσμα. Αυστηρότεροι νόμοι για την προστασία της φύσης μπορούν να επηρεάσουν θετικά την ποιότητα του νερού ακόμη κι αν ο ίδιος ο τομέας του νερού δεν έχει υιοθετήσει κάποια συγκεκριμένη πολιτική. Γίνεται σαφές ότι η διαχείριση των φυσικών πόρων είναι συνήθως κατακερματισμένη, με αποτέλεσμα δυνητικά μη βέλτιστα κοινωνικό-οικολογικά αποτελέσματα (Kurian et al., 2018).

3.1.2 Οφέλη της ολοκληρωμένης οπτικής του Nexus

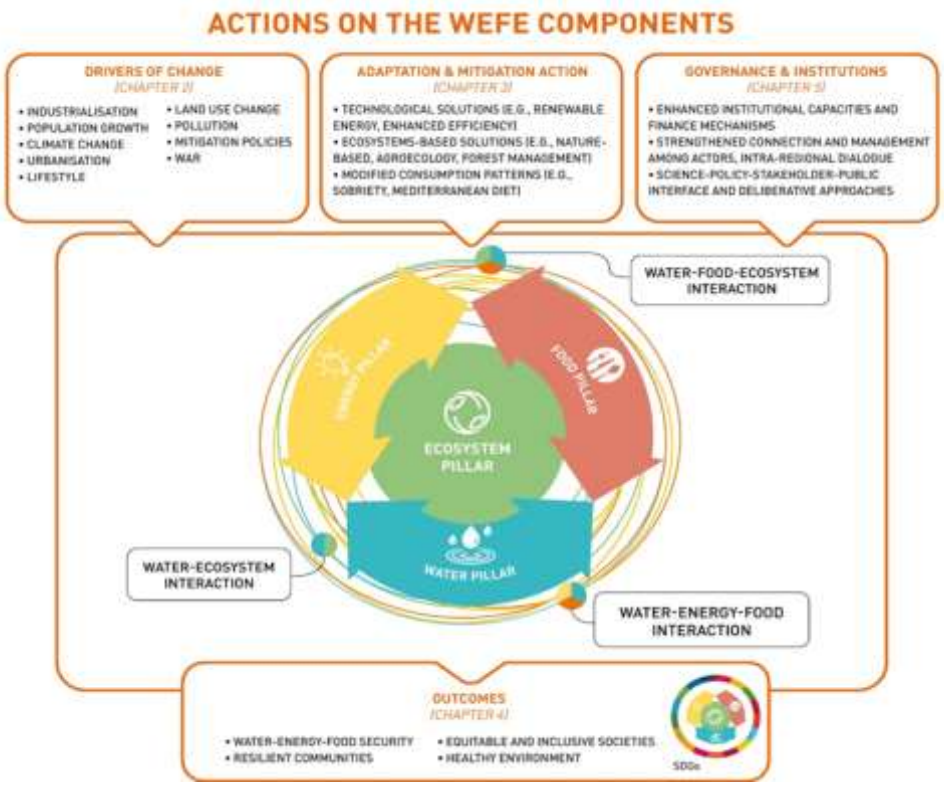
Για να αντιμετωπιστούν οι προκλήσεις που προκύπτουν από την έλλειψη διατομεακού συντονισμού και για να τονιστεί η ανάγκη για ολοκληρωμένη διακυβέρνηση των πόρων, που δεν μπορεί να προσφερθεί από απομονωμένες τομεακές πολιτικές, το Nexus αναδύθηκε ως ένα συστημικό πλαίσιο (Hoff, 2011). Η σκέψη Nexus στοχεύει στο να παρέχει μια πιο ολιστική

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 11:28:09 EEST - 216.73.216.250

προοπτική για τη βιώσιμη διαχείριση των φυσικών πόρων και να εστιάζει στην ενίσχυση των συνεργειών μεταξύ των συστημάτων πόρων και στη μείωση των αντισταθμιστικών αποτελεσμάτων μεταξύ των διαφορετικών τομέων που εμπλέκονται (Pahl-Wostl et al., 2021).

3.1.3 WEFE NEXUS

Τα τελευταία χρόνια, αναπτύχθηκαν διάφορες έννοιες nexus, που περιλαμβάνουν διαφορετικούς συνδυασμούς πόρων (Bleischwitz et al., 2018). Το nexus νερού-ενέργειας-τροφίμων (WEF) τράβηξε ιδιαίτερη προσοχή, καθώς προωθήθηκε σε συνέδριο προετοιμασίας μετά τη σύνοδο κορυφής Rio + 20 για τη βιωσιμότητα (Hoff, 2011,Pahl-Wostl et al., 2018). Σε άλλες μελέτες, το WEF nexus επεκτάθηκε ώστε να περιλάβει και το στοιχείο της γης, το nexus νερού-ενέργειας-τροφίμων-γης (WEFL). Αυτό αποσκοπεί στο να λαμβάνει πιο αποτελεσματικά υπόψη τα αντισταθμιστικά αποτελέσματα που σχετίζονται με την παραγωγή βιοκαυσίμων (Lazaro et al., 2021). Το έργο SIM4Nexus της Ευρωπαϊκής Ένωσης στο πλαίσιο του Horizon2020 τοποθέτησε στο επίκεντρο το nexus νερού-ενέργειας-τροφίμων-γης-κλίματος (WEFLC), ώστε να συμπεριλάβει την πολυπλοκότητα και την ανατροφοδότηση που προκύπτει από τις κλιματικές δυναμικές (Sušnik et al., 2018). Το Routledge Handbook of the ResourceNexus (2018) προτείνει ένα nexus πέντε κόμβων που περιλαμβάνει νερό, ενέργεια, τρόφιμα, γη και υλικά (WEFLM nexus).



Εικόνα 3.1:Λειτουργία WEFE Nexus

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 11:28:09 EEST - 216.73.216.250

Το nexus νερού-ενέργειας-τροφίμων-οικοσυστημάτων (WEFE) βρίσκεται στον πυρήνα του NEXOGENESIS, ως απάντηση στις προκλήσεις που προκύπτουν από την εξαιρετικά περίπλοκη και ελλιπώς κατανοητή φύση του WEF nexus καθώς και την έλλειψη ένταξης των οικοσυστημάτων σε αυτό, ενώ τα οικοσυστήματα επηρεάζονται έντονα από τους τομείς του νερού, της ενέργειας και των τροφίμων. Η έννοια του nexus αντιμετωπίζει την απομονωμένη ανάπτυξη πολιτικών στους τομείς WEFE, εστιάζοντας στην πολύπλοκη λειτουργία και αλληλεξάρτηση των συστημάτων φυσικών πόρων. Το WEFE nexus στοχεύει στο να λαμβάνει καλύτερα υπόψη τα αντισταθμιστικά αποτελέσματα μεταξύ συστημάτων και χρηστών πόρων και να ενισχύει τις συνέργειες μεταξύ αυτών. Μια καλύτερη κατανόηση της τρέχουσας κατάστασης του WEFE nexus (Εικόνα 3.1) στις περιπτωσιολογικές μελέτες που διερευνώνται στο NEXOGENESIS αναμένεται να υποστηρίξει τη διαμόρφωση πιο συνεκτικών πολιτικών σχετικών με το νερό, που θα αξιοποιούν αποτελεσματικά τις συνέργειες και θα μειώνουν τα trade-offs. Αυτό μπορεί να ενισχύσει την αποδοτικότερη χρήση των πόρων, να εντοπίσει μοχλούς για πιο προσανατολισμένη στη λογική του nexus στην λήψη αποφάσεων και να προωθήσει τη διατομεακή συνεργασία.

3.1.4 Χαρακτηριστικά διακυβέρνησης Nexus

Για να προσδιοριστούν τα χαρακτηριστικά του WEFE Nexus, με περισσότερη λεπτομέρεια, χρησιμοποιούνται οι διαστάσεις διακυβέρνησης που προτάθηκαν από το εργαλείο αξιολόγησης DROP Governance Assessment Tool (GAT) των (Bressers et al. 2015), έτσι το DROP GAT, παρέχει τη βάση για την προσέγγιση συν-δημιουργίας για τη διακυβέρνηση Nexus στο NEXOGENESIS μέσω των παρακάτω μεταβλητών:

•Επίπεδα και κλίμακες: Η διακυβέρνηση Nexus χαρακτηρίζεται από διατομεακές αλληλεπιδράσεις, που μπορούν να λάβουν τη μορφή συνεργασίας σε διαφορετικές κλίμακες, διεξαγόμενες από πολλαπλούς δρώντες (de Andrade Guerra et al., 2021). Αυτό αυξάνει την αβεβαιότητα για τις νόμιμες ενέργειες και τα αποτελεσματικά αποτελέσματα πολιτικών, αντιπροσωπεύοντας ένα σημαντικό στοιχείο του Nexus (Pahl-Wostl et al., 2021). Η διακυβέρνηση Nexus στοχεύει στον εντοπισμό και την ενεργοποίηση συνεργειών μεταξύ τομέων και κλιμάκων (de Andrade Guerra et al., 2021, Salmoral et al., 2019).

•Δρώντες και δίκτυα: Ισχυροί δρώντες και δίκτυα έχουν μεγαλύτερη ικανότητα να αντιμετωπίσουν τις προκλήσεις της διακυβέρνησης Nexus (Kurian et al., 2018). Ωστόσο, οι δυναμικές αυτές μπορούν να αμφισβητήσουν υφιστάμενες ισορροπίες ισχύος.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 11:28:09 EEST - 216.73.216.250

•Αντιλήψεις προβλημάτων και φιλοδοξίες στόχων: Οι προσεγγίσεις Nexus απομακρύνονται από τις «τομεακά» αναπτυγμένες πολιτικές και τις πόρο-κεντρικές οπτικές. Ενισχύουν την ανθεκτικότητα των κοινωνικο-οικολογικών συστημάτων και συμβάλλουν στους Στόχους Βιώσιμης Ανάπτυξης (SDGs).

•Στρατηγικές και μέσα: Απαιτούν στρατηγικό συγχρονισμό και καινοτόμες στρατηγικές, ώστε να διαχειριστούν διαφορές ισχύος και αντικρουόμενες απαιτήσεις. Μπορούν να πυροδοτήσουν μετασχηματιστικές αλλαγές και χρησιμοποιούν διατομεακά εργαλεία, συνεργατική διαχείριση λεκανών απορροής και διασυνοριακή συνεργασία.

•Ευθύνες και πόροι: Σχετίζονται με τη θεσμική αλληλεπίδραση, περιλαμβάνουν τη διαχείριση της πολυπλοκότητας, την αύξηση της θεσμικής ικανότητας και την παροχή δεδομένων για υποστήριξη αποφάσεων σε όλους τους τομείς του Nexus.

3.1.5 Υλοποίηση του Nexogenesis

Το NEXOGENESIS υλοποιείται μέσα από πέντε πιλοτικές λεκάνες ποταμών, οι οποίες επιλέχθηκαν ώστε να καλύπτουν διαφορετικές γεωγραφικές, κοινωνικές και θεσμικές συνθήκες: ο ποταμός Νέστος/Mesta (Ελλάδα–Βουλγαρία), ο ποταμός Lielupe (Λετονία–Λιθουανία), ο ποταμός Jiu (Ρουμανία), ο ποταμός Adige (Ιταλία) και ο ποταμός Inkomati–Usuthu (Νότια Αφρική–Eswatini) (Εικόνα 3.2). Σε κάθε περιοχή, το έργο οργανώνει συμμετοχικά εργαστήρια (co-creation workshops), όπου οι τοπικοί φορείς διακυβέρνησης, χρήστες νερού, αγρότες, ενεργειακοί πάροχοι και οργανώσεις πολιτών εμπλέκονται στη συνδιαμόρφωση και αξιολόγηση πολιτικών σεναρίων. Η προσέγγιση αυτή επιδιώκει να ενισχύσει τη διατομεακή συνεργασία και την κοινωνική αποδοχή των λύσεων που προτείνονται. Μία από τις βασικές περιπτωσιολογικές μελέτες του έργου είναι η λεκάνη του διασυνοριακού ποταμού Νέστου. Η περιοχή χαρακτηρίζεται από έντονη πολυτομεακή πίεση και ευπάθεια στις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής. Η λεκάνη του Νέστου επιλέχθηκε ως πεδίο πιλοτικής εφαρμογής της προσέγγισης SDM στο πλαίσιο του NEXOGENESIS, με στόχο τη μοντελοποίηση των σύνθετων σχέσεων μεταξύ φυσικών πόρων, πολιτικών παρεμβάσεων και κοινωνικοοικονομικών εξελίξεων.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 11:28:09 EEST - 216.73.216.250

Εικόνα 3.2: Διακρατικές λεκάνες για την υλοποίηση του Nexogenesis
Πηγή: (https://nexogenesis.eu/downloads)

Το μοντέλο WEFE Nexus που αναπτύχθηκε για τον Νέστο, ενσωματώνει μεταβλητές σχετικές με τη διαθεσιμότητα και ζήτηση νερού, την αγροτική παραγωγή, την κατανάλωση ενέργειας, καθώς και την οικολογική κατάσταση της περιοχής. Μέσω της Συστημικής Δυναμικής, αποτυπώνονται οι σχέσεις αιτίου-αποτελέσματος, οι βρόχοι ανατροφοδότησης και η χρονική εξέλιξη των κρίσιμων παραμέτρων, επιτρέποντας την προσομοίωση εναλλακτικών σεναρίων πολιτικής και περιβαλλοντικής αλλαγής.

Η εφαρμογή του μοντέλου περιλαμβάνει τη διερεύνηση πολιτικών παρεμβάσεων, όπως μέτρα εξοικονόμησης νερού, επενδύσεις σε ανανεώσιμες πηγές, σενάρια εντατικοποίησης ή εκσυγχρονισμού της γεωργίας και πρωτοβουλίες οικοσυστημικής αποκατάστασης. Οι παρεμβάσεις αυτές αξιολογούνται σε συνδυασμό με διαφορετικά σενάρια κλιματικής και κοινωνικοοικονομικής εξέλιξης, βασισμένα στα παγκόσμια πρότυπα RCP2.6/SSP2 (ήπια μετάβαση) και RCP8.5/SSP2 (έντονη κλιματική αλλαγή). Το αποτέλεσμα είναι η δημιουργία μιας δυναμικής πλατφόρμας υποστήριξης αποφάσεων, η οποία επιτρέπει στους εμπλεκόμενους φορείς να αναλύσουν τις επιπτώσεις, τις ανταλλαγές και τις συνέργειες μεταξύ των διαφορετικών τομέων. Η μεθοδολογία αυτή ενισχύει τη διατομεακή συνεννόηση και τη συνεργατική διακυβέρνηση, προσφέροντας ένα πρακτικό εργαλείο πολιτικής τόσο σε τοπικό όσο και σε διασυνοριακό επίπεδο. Μέσω της περίπτωσης του ποταμού Νέστου, το NEXOGENESIS επιδεικνύει πώς η μοντελοποίηση πολύπλοκων συστημάτων μπορεί να στηρίξει τη βιώσιμη ανάπτυξη και τη λήψη τεκμηριωμένων πολιτικών αποφάσεων στο πλαίσιο του WEFE Nexus (Hüesker & Frank, 2020).

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 11:28:09 EEST - 216.73.216.250

3.2 System Dynamics Modeling

3.2.1 Βασικές αρχές της System Dynamics

Στον τομέα των δυναμικών μοντέλων, σύνθετες και αλληλένδετες έννοιες συμβάλλουν συλλογικά στην κατανόηση των μηχανισμών λειτουργίας του συστήματος. Η συσσώρευση και η ροή των πόρων, η δομή και η συμπεριφορά εντός των συστημάτων και οι αλληλεπιδράσεις των σχέσεων αιτίου-αποτελέσματος και των βρόχων ανατροφοδότησης - κάθε μία από αυτές τις έννοιες παρέχει κρίσιμα στοιχεία για την επίλυση σύνθετων προβλημάτων. (Sihui Xin et al., 2024)

3.2.1.1 Απόθεμα και ροή

Αντιπροσωπεύουν τις αποθήκες ύλης ή ενέργειας σε ένα οικοσύστημα και τις ανταλλαγές μεταξύ τους, συνήθως ως "στιγμιότυπο" των ροών που οδήγησαν σε μια συσσώρευση κατά τη διάρκεια μιας συγκεκριμένης χρονικής περιόδου. Τα αποθέματα αναφέρονται στις συσσωρεύσεις ύλης ή ενέργειας, ενώ οι ροές αντιπροσωπεύουν τους ρυθμούς μεταβολής αυτών των καταστάσεων. Τα αποθέματα είναι μέρη όπου αποθηκεύονται και συσσωρεύονται πόροι, ενώ οι ροές είναι οι διαδικασίες με τις οποίες οι πόροι μετακινούνται και μετασχηματίζονται εντός του συστήματος, συμπεριλαμβανομένης της ροής υλικών, της μετακίνησης πληθυσμών, της ροής ενέργειας, της ροής γονιδίων και της ροής οικοσυστημάτων/τοπίων.

Η εφαρμογή αυτών των εννοιών στο πλαίσιο της οικολογικής έρευνας παρέχει ένα χρήσιμο πλαίσιο για την ανάλυση δυναμικών διεργασιών σε διάφορα επίπεδα . Στη σφαίρα της πληθυσμιακής οικολογίας, το απόθεμα ορίζεται ως ο αριθμός των ατόμων στον πληθυσμό ενός συγκεκριμένου είδους. Οι δυναμικές αλλαγές σε αυτό το απόθεμα καθοδηγούνται από τις ροές, δηλαδή τις διαδικασίες της γέννησης, του θανάτου, της μετανάστευσης και της αποδημίας. Οι ροές αυτές καθορίζουν την καθαρή μεταβολή του μεγέθους του πληθυσμού (Xiong et al., 2021). Στο πλαίσιο της νησιωτικής βιογεωγραφίας, η έννοια του αποθέματος εφαρμόζεται στην ποικιλομορφία ειδών σε επίπεδο κοινότητας μέσα σε ετερογενή νησιά-ενδιαιτήματα. Εδώ, το απόθεμα αντιπροσωπεύεται από τον συνολικό πλούτο ειδών που υπάρχει σε ένα νησί. Οι ροές περιλαμβάνουν τη μετανάστευση και την αποδημία ειδών, καθώς και τα συμβάντα εξειδίκευσης και εξαφάνισης, τα οποία διαμορφώνουν συλλογικά την ποικιλότητα εντός του νησιωτικού οικοσυστήματος (Luo et al., 2022). Αυτό το πλαίσιο επιτρέπει στους οικολόγους

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 11:28:09 EEST - 216.73.216.250

να εξετάσουν πώς οι διαδικασίες διασποράς και οι εξελικτικοί μηχανισμοί αλληλοεπιδρούν για να διαμορφώσουν την ισορροπία της ποικιλότητας των ειδών σε χωρικές και χρονικές κλίμακες.

3.2.1.2 Δομή και συμπεριφορά

Περιγράφουν τα θεμελιώδη χαρακτηριστικά και τα πρότυπα λειτουργίας ενός συστήματος. Δηλαδή στα συστατικά στοιχεία ενός συστήματος, τα οποία μπορεί να περιλαμβάνουν διάφορα επίπεδα βιολογικής οργάνωσης, όπως τα άτομα, οι πληθυσμοί, οι κοινότητες, τα οικοσυστήματα και η βιόσφαιρα (Sterman, 2000, Sterman, 2006). Τα συστατικά αυτά αλληλοεπιδρούν μέσω διαφόρων βιολογικών συμπεριφορών και φυσικοχημικών διεργασιών. Η συμπεριφορά αναφέρεται στα δυναμικά χαρακτηριστικά ενός συστήματος με την πάροδο του χρόνου, τα οποία καθορίζονται από τη δομή του συστήματος. Για παράδειγμα, οι μεταβολές στη συγκέντρωση CO2 μπορούν να θεωρηθούν ως μέρος της δομής του οικοσυστήματος, επηρεάζοντας τη συνολική συμπεριφορά του οικοσυστήματος, όπως οι ρυθμοί ανάπτυξης των φυτών και ο κύκλος του άνθρακα. Οι μεταβολές του πληθυσμού αντανακλούν τη συμπεριφορά του πληθυσμού, η οποία μπορεί να καθορίζεται από εσωτερικές αλληλεπιδράσεις (όπως ο ανταγωνισμός και η θήρευση) και εξωτερικούς περιβαλλοντικούς παράγοντες (όπως οι περιορισμοί των πόρων). Η δομή καθορίζει τη συμπεριφορά. Η δομή ενός συστήματος καθορίζει τα πιθανά πρότυπα συμπεριφοράς του, τα οποία μπορούν να αναπαρασταθούν μέσω διαφόρων μοντέλων ανάπτυξης. Τα θεωρητικά μοντέλα και οι μαθηματικές αναπαραστάσεις χρησιμοποιούνται ευρέως στην εφαρμογή της οικολογίας σε διάφορα προβλήματα. Μερικές φορές τείνουμε να επιδιώκουμε απλά μοντέλα εις βάρος της βαθιάς κατανόησης των πολύπλοκων οικοσυστημάτων, και η υπερβολική έμφαση στη μαθηματική ανάλυση στην οικολογία μπορεί να οδηγήσει σε υπερβολική εξάρτηση από τη θεωρία, αγνοώντας την πρακτική εφαρμογή της. Για να εξασφαλιστεί η επιστημονική εγκυρότητα και η πρακτική εφαρμογή των θεωρητικών μοντέλων, είναι επιτακτική ανάγκη να αξιολογούνται αυστηρά τα εμπειρικά τους θεμέλια, να αποφεύγεται η υπεραπλούστευση της πολυπλοκότητας που ενυπάρχει στα συστήματα του πραγματικού κόσμου και να ενισχύεται η σύνδεση μεταξύ θεωρίας και εμπειρικών δοκιμών. Πέρα από την καθαρή θεωρητική εξαγωγή και την εμπειρική επαγωγή, οι τεχνικές προσομοίωσης και μοντελοποίησης, όπως η SD, προσφέρουν μια τέτοια επιστημονική προσέγγιση που ενσωματώνει θεωρητικές υποθέσεις στη δόμηση των συστατικών του συστήματος με πειραματικές δοκιμές που επιτυγχάνονται μέσω

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 11:28:09 EEST - 216.73.216.250

της μίμησης της συμπεριφοράς του συστήματος. Αυτός ο εναλλακτικός τρόπος έρευνας λειτουργεί σε ένα διαφορετικό επιστημονικό πεδίο από την εμπειρική και θεωρητική έρευνα. Επιπλέον, η αποτελεσματική πρακτική της μοντελοποίησης συστημάτων απαιτεί ένα πλαίσιο τριών επιπέδων που περιλαμβάνει το «επιχειρησιακό», το «στρατηγικό» και το «κανονιστικό» επίπεδο. Το επιχειρησιακό επίπεδο δίνει έμφαση στην επιστημονική αυστηρότητα και την αντικειμενικότητα της τεχνικής εκτέλεσης- το στρατηγικό επίπεδο απαιτεί σχεδιασμό και λήψη αποφάσεων χωρίς αποκλεισμούς για την αντιμετώπιση ευρύτερων συστημικών και κοινωνικών ζητημάτων- και το κανονιστικό επίπεδο απαιτεί ευρετικό μέσο και κριτικό προβληματισμό, διασφαλίζοντας ότι τα μοντέλα όχι μόνο αντικατοπτρίζουν την τεχνική ακρίβεια αλλά και παρέχουν διεισδυτικές οδούς για κριτική και μετασχηματιστική δράση. Η επίτευξη αυτών των πολυεπίπεδων στόχων θα ενισχύσει την ικανότητα του μοντέλου να συμβάλει βαθιά και συγκεκριμένα τόσο στην κατανόηση όσο και στην ικανότητά μας να μετασχηματίζουμε τον κόσμο (Ulrich, 1988).

Κατά τη μοντελοποίηση, είναι ζωτικής σημασίας η εξοικείωση με τα υπάρχοντα μοντέλα αναφοράς. Η διαδικασία εφαρμογής και σύγκρισης των δομών του μοντέλου με την αναμενόμενη ή υποθετική συμπεριφορά του συστήματος είναι ουσιαστική, καθώς βοηθά στον εντοπισμό ζητημάτων δυναμικής του συστήματος και στη διατύπωση σχετικών υποθέσεων επικύρωσης. Κατά συνέπεια, η παρούσα ενότητα συνοψίζει ορισμένους βασικούς και ευρέως διαδεδομένους τύπους μοντέλων, συμπεριλαμβανομένων των δομικών χαρακτηριστικών τους και των χαρακτηριστικών συμπεριφοράς ροής αποθεμάτων. Η πολυπλοκότητα των συστημάτων του πραγματικού κόσμου δεν μπορεί πάντοτε να αντιμετωπιστεί πλήρως μέσω απλών ταξινομήσεων, και ενίοτε η κατασκευή μοντέλων μπορεί να οδηγήσει σε σφάλματα. Τα σφάλματα αυτά μπορεί να προκύψουν όταν ένα μοντέλο προσαρμόζεται υπερβολικά στα δεδομένα ή όταν η συνολική ή λεπτομερής δομή του συστήματος δεν είναι καλά κατανοητή, οδηγώντας σε μοντέλα που επιφανειακά ταιριάζουν με περιορισμένα δεδομένα παρατήρησης, αλλά δεν είναι ούτε ισχυρά ούτε αξιόπιστα για άμεση γενίκευση. Επιπλέον, ακόμη και με την ίδια δομή του μοντέλου, δηλαδή όταν οι διαφορικές εξισώσεις παραμένουν αμετάβλητες, η μεταβολή βασικών παραμέτρων ή η ρύθμιση στα διάφορα μέρη μπορεί να οδηγήσει σε διαφορετική συμπεριφορά του συστήματος. Έτσι, η δομή του μοντέλου SDM και η συμπεριφορά δεν αντιστοιχούν πάντα ένα προς ένα και η ανάπτυξη του μοντέλου πρέπει να λαμβάνει υπόψη συγκεκριμένα χαρακτηριστικά και παραμέτρους και όχι να βασίζεται σε απλή δομική εφαρμογή. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι υπάρχουν περιορισμένα εμπειρικά

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 11:28:09 EEST - 216.73.216.250

στοιχεία που δείχνουν ότι οι πραγματικοί πληθυσμοί τηρούν αυστηρά αυτά τα μοντελοποιημένα πρότυπα του. Αυτό το κενό αναδεικνύει τις προκλήσεις στην αποτύπωση της πολυπλοκότητας των φυσικών συστημάτων, όπου παράγοντες όπως η ακρίβεια των μετρήσεων, τα ζητήματα κλιμάκωσης και η εγγενής μεταβλητότητα μπορούν να επηρεάσουν τη δυναμική των πληθυσμών με τρόπους που τα μοντέλα δεν μπορούν να αναπαραστήσουν πλήρως. (Sihui Xin et al., 2024)

3.2.1.3 Αιτία και αποτέλεσμα

Η έμφαση δίνεται στις σχέσεις άμεσης επιρροής μεταξύ γεγονότων ή μεταβλητών. Στο SDM, η κατανόηση των σχέσεων αιτίου-αποτελέσματος είναι κρίσιμη αλλά συχνά εξαιρετικά δύσκολη για την κατανόηση των εσωτερικών μηχανισμών ενός συστήματος και την πρόβλεψη της συμπεριφοράς του. Με την ανάλυση των σχέσεων αιτίου-αποτελέσματος, μπορούν να αποκαλυφθούν οι συνδέσεις μεταξύ των γεγονότων εντός ενός συστήματος, βελτιώνοντας έτσι την κατανόηση των λειτουργικών μηχανισμών του. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι η συσχέτιση δεν συνεπάγεται αιτιώδη συνάφεια. Η συσχέτιση αναφέρεται σε μια στατιστική συσχέτιση μεταξύ δύο ή περισσότερων μεταβλητών, που σημαίνει ότι οι τάσεις μεταβολής τους είναι συνεπείς, αλλά επειδή δύο μεταβλητές μεταβάλλονται μαζί δεν σημαίνει ότι η μία προκαλεί τη μεταβολή στην άλλη. Για παράδειγμα, τα φυτά παρέχουν φωτοσυνθετικά προϊόντα στους μυκοριζικούς μύκητες, οι οποίοι βοηθούν τα φυτά να απορροφούν αποτελεσματικότερα νερό και θρεπτικά συστατικά, ενισχύοντας την ανάπτυξη και την επιβίωση τους. Αυτό, προάγει την ποικιλομορφία των φυτών, η οποία προσφέρει ένα ευρύτερο φάσμα ξενιστών για τους μυκοριζικούς μύκητες, ενισχύοντας την ποικιλομορφία τους - ένας αιτιώδης κύκλος βιοποικιλότητας και οικολογικής λειτουργίας σε ένα οικοσύστημα. Η κατανόηση των σχέσεων αιτίου-αποτελέσματος όχι μόνο βοηθά στην κατανόηση των συνδέσεων μεταξύ των γεγονότων εντός ενός συστήματος, αλλά και στην πρόβλεψη και παρέμβαση στις τάσεις ανάπτυξης του συστήματος. Ως εκ τούτου, η σε βάθος έρευνα και η διερεύνηση των σχέσεων αιτίου-αποτελέσματος αποτελούν κρίσιμες κατευθύνσεις στην έρευνα για την αειφόρο ανάπτυξη. (Sihui Xin et al., 2024)

Στη μοντελοποίηση, η σχέση αιτίου-αποτελέσματος είναι θεμελιώδης, καθώς αποτελεί τη ραχοκοκαλιά των μοντέλων που προσομοιώνουν και προβλέπουν τη συμπεριφορά πολύπλοκων συστημάτων. Οι σχέσεις αυτές προσδιορίζονται και ποσοτικοποιούνται για τη

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 11:28:09 EEST - 216.73.216.250

δημιουργία βρόχων ανατροφοδότησης που αντικατοπτρίζουν τη δυναμική του πραγματικού κόσμου. Αρχικά, ο καθορισμός αυτών των σχέσεων μπορεί να φαίνεται απλός, ειδικά όταν απεικονίζεται μέσω απλών κατασκευών όπως το μοντέλο δεξαμενής βυθού-πηγής. Ωστόσο, στην πράξη, το έργο δεν είναι καθόλου απλό. Τα συστήματα του πραγματικού κόσμου είναι γεμάτα πολυπλοκότητα, όπου πολλαπλές μεταβλητές αλληλοεπιδρούν με μη γραμμικούς τρόπους. Οι περιπλοκές αυτών των αλληλεπιδράσεων σημαίνουν ότι η αιτιότητα στα μοντέλα SDM απαιτεί συχνά αυστηρό έλεγχο και επικύρωση, καθώς οι υποθέσεις που γίνονται χωρίς επαρκή στοιχεία μπορεί να οδηγήσουν σε υπεραπλουστεύσεις που αποκλίνουν σημαντικά από τα πραγματικά φαινόμενα.

Η κατανόηση της αιτιότητας στη μοντελοποίηση απαιτεί επίσης μια διερεύνηση τόσο σε χωρικές όσο και σε χρονικές διαστάσεις, καθώς και σε διάφορες κλίμακες. Η χωρική διάσταση παρέχει πληροφορίες σχετικά με το ποιος ή τι επηρεάζει ο ένας τον άλλον εντός του συστήματος και πώς εκδηλώνονται αυτές οι αλληλεπιδράσεις. Εν τω μεταξύ, η χρονική διάσταση ρίχνει φως στη χρονολογική ακολουθία των γεγονότων, αποκαλύπτοντας πότε και πώς συμβαίνουν αυτές οι αλληλεπιδράσεις με την πάροδο του χρόνου. Για την επίτευξη ενός πραγματικά ισχυρού μοντέλου, είναι ζωτικής σημασίας η συλλογή και ανάλυση πληροφοριών σε διαφορετικά πλαίσια και χρονικές κλίμακες, διασφαλίζοντας ότι οι αιτιώδεις σχέσεις που εντοπίζονται δεν είναι μόνο ακριβείς αλλά και αντανακλούν τη δυναμική του πραγματικού κόσμου που στοχεύουν να αναπαραστήσουν.

Στα πρώτα στάδια της ανάπτυξης της μοντελοποίησης της δυναμικής συστημάτων και της δημιουργίας κλασικών μοντέλων αναφοράς, οι αιτιώδεις σχέσεις μεταξύ των μεταβλητών θεωρούνταν συνήθως ως επιβεβαιωμένη προ υπάρχουσα γνώση και ενσωματώνονταν στη διαδικασία δημιουργίας διαγραμμάτων αιτιώδους βρόχου. Ωστόσο, καθώς η δυναμική συστημάτων εφαρμόστηκε όλο και περισσότερο σε μακροσκοπικά συστήματα μεγάλης κλίμακας με πολλές μεταβλητές, με υψηλή σύζευξη και διάφορα πολύπλοκα συστήματα, ο εντοπισμός αιτιωδών σχέσεων και η κατασκευή αιτιωδών βρόχων ανάδρασης έγιναν σημαντικά πιο δύσκολες. Η κατανόηση των αλληλεπιδράσεων μεταξύ των γεγονότων με την πάροδο του χρόνου και η δημιουργία αιτιωδών συνδέσεων αποτελούν το κλειδί για την κατανόηση των συστημάτων και την πρόβλεψη της συμπεριφοράς τους. Ιδιαίτερα στο πλαίσιο των εξελίξεων στην ανάλυση μεγάλων δεδομένων και των στατιστικών μεθόδων που βασίζονται στη μηχανική μάθηση, δίνεται ολοένα και μεγαλύτερη έμφαση όχι απλώς στην

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 11:28:09 EEST - 216.73.216.250

ποσοτικοποίηση των συσχετίσεων, αλλά στον καθορισμό των αιτιωδών μηχανισμών και των δυναμικών δομών μεταξύ των οντοτήτων. (Sihui Xin et al., 2024)

3.2.2 Χρήση SDM στη διαχείριση φυσικών συστημάτων.

3.2.2.1 Καλές πρακτικές της Συστημικής Δυναμικής (SD) στα διαφορετικά επίπεδα των οικοσυστημάτων

Η Δυναμική συστημάτων (System Dynamics Modeling– SDM), ως μια θεμελιώδης μεθοδολογία μοντελοποίησης, έχει διαδραματίσει σημαντικό ρόλο σε διάφορους τομείς του πεδίου της βιώσιμης ανάπτυξης. Μέσα από τη δυνατότητα προσομοίωσης της δυναμικής συμπεριφοράς πολύπλοκων συστημάτων, η SDM παρέχει επιστημονικά εργαλεία για την κατανόηση των αλληλεπιδράσεων μεταξύ των οικοσυστημάτων, της κλιματικής αλλαγής και των κοινωνικοοικονομικών συστημάτων. Παράλληλα, προσφέρει ένα ισχυρό θεωρητικό υπόβαθρο για τη διαμόρφωση αποτελεσματικών μέτρων διαχείρισης και χάραξης πολιτικής. Η SD αναδεικνύει τα μοναδικά της πλεονεκτήματα σε τομείς όπως η δυναμική του πληθυσμού, η δυναμική του τοπίου, η κλιματική αλλαγή, τα συστήματα φύσης-κοινωνίας (ή συνδυασμένα κοινωνικο-οικολογικά συστήματα) και η λήψη πολιτικών αποφάσεων. (Sihui Xin et al., 2024)

- Επίπεδο πληθυσμού και κοινότητας

Στη μελέτη της δυναμικής του πληθυσμού — που επικεντρώνεται στις μεταβολές του μεγέθους και της δομής του πληθυσμού με την πάροδο του χρόνου — η SD προσφέρει ισχυρά εργαλεία για την ανάλυση σύνθετων βιολογικών συστημάτων. Μέσω μοντελοποίησης, έχουν ανακαλυφθεί έμφυτες μη γραμμικές δυναμικές σε συστήματα ενός μόνο είδους, οι οποίες παρουσιάζουν περιοδικές ταλαντώσεις και χαοτικά φαινόμενα (Werner et al., 2022). Αυτό είναι σημαντικό για την κατανόηση της σημασίας των μη γραμμικών δυναμικών στη διατήρηση της υψηλής βιοποικιλότητας στη φύση και τις πιθανές εφαρμογές τους στη διατήρηση της φύσης. Επιπλέον, τα μοντέλα SD παρουσιάζουν ισχυρή λειτουργικότητα στη μελέτη των οικο-εξελικτικών δυναμικών (eco-evolutionary dynamics). Προσομοιώνοντας τον αντίκτυπο της αλιευτικής δραστηριότητας στα οικοσυστήματα ψαριών, έγινε ξεκάθαρο πώς η αλιευτική πίεση μπορεί να προκαλέσει εξελικτικές αλλαγές στους κορυφαίους θηρευτές μέσω της φυσικής επιλογής και της επιλεκτικής αλιείας με βάση το μέγεθος. Τέτοια μοντέλα όχι μόνο εξηγούν τη δυναμική ενός είδους, αλλά επεκτείνονται και στην ανάλυση σύνθετων τροφικών πλεγμάτων,

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 11:28:09 EEST - 216.73.216.250

αποκαλύπτοντας τις αλληλεπιδράσεις και τους μηχανισμούς ανατροφοδότησης μεταξύ των διαφόρων επιπέδων των οικοσυστημάτων (Ghosh et al., 2021). Για τη βελτιστοποίηση της διαχείρισης στη δυναμική των πληθυσμών, η εισαγωγή δυναμικών μοντέλων που ενσωματώνουν την αναπτυξιακή πλαστικότητα και τις αποκρίσεις σε περιβαλλοντικές αλλαγές μπορεί να οδηγήσει σε πιο ολοκληρωμένη κατανόηση του τρόπου με τον οποίο οι πληθυσμοί ανταποκρίνονται στις περιβαλλοντικές μεταβολές μέσω αναπτυξιακών διεργασιών, προσφέροντας νέες προοπτικές και μεθόδους για την έρευνα της οικο-εξελικτικής δυναμικής (McDowell et al., 2020).

- Επίπεδο τοπίου

Στην οικολογία τοπίου, η οποία μελετά τις χωρικές και χρονικές μεταβολές στα οικοσυστήματα, η εφαρμογή της Δυναμικής Συστημάτων (SD) εστιάζει κυρίως στην προσομοίωση των αλλαγών στη δομή και τη λειτουργία του τοπίου υπό φυσικές και ανθρωπογενείς διαταραχές. Μέσω μοντέλων SD, είναι δυνατόν να αποκαλυφθεί πώς οι έμφυτοι μηχανισμοί ανατροφοδότησης διαμορφώνουν τη γεωμορφολογία σε διαβρωτικά τοπία (Scheingross et al., 2020). Αυτά τα μοντέλα μπορούν να προσομοιώσουν τις πολύπλοκες αλληλεπιδράσεις μεταξύ τοπογραφίας, διάβρωσης και απόθεσης, αναδεικνύοντας τη σημασία των ενδογενών δυναμικών στην εξέλιξη του τοπίου. Επιπλέον, η δυναμική των δασών αποτελεί κρίσιμη πτυχή της έρευνας για τη δυναμική του τοπίου. Τα δασικά οικοσυστήματα επηρεάζονται από ποικίλους παράγοντες διαταραχής, όπως η κλιματική αλλαγή, οι φυσικές καταστροφές και οι ανθρώπινες δραστηριότητες. Τα μοντέλα SD, ενσωματώνοντας τις διαδικασίες διαταραχής σε πολλαπλές κλίμακες, καταγράφουν τις μη γραμμικές αποκρίσεις και τις συμπεριφορές κατωφλίου των δασικών οικοσυστημάτων. Η μοντελοποίηση των αλληλεπιδράσεων μεταξύ διαφορετικών παραγόντων διαταραχής επιτρέπει την καλύτερη κατανόηση και πρόβλεψη των μεταβολών στα δασικά οικοσυστήματα υπό μελλοντικές κλιματικές συνθήκες.

- Επίπεδο μακρό-οικοσυστήματος

Η επίδραση της κλιματικής αλλαγής στα οικοσυστήματα αποτελεί ένα από τα πιο επίκαιρα θέματα στην έρευνα των περιβαλλοντικών επιστημών. Η εφαρμογή των μοντέλων SD σε αυτό το πεδίο αφορά κυρίως την προσομοίωση των ρυθμών και των διεργασιών των οικολογικών αλλαγών που προκαλούνται από την κλιματική αλλαγή. Η επίδραση της κλιματικής αλλαγής

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 11:28:09 EEST - 216.73.216.250

στα υδρολογικά συστήματα δεν μπορεί να αγνοηθεί. Τα μοντέλα SD μπορούν να προσομοιώσουν τις υδρολογικές αποκρίσεις υπό διαφορετικά κλιματικά σενάρια, παρέχοντας επιστημονική υποστήριξη για τη διαχείριση των υδάτινων πόρων σε περιφερειακό επίπεδο. Η έρευνα για τα συστήματα φύσης–κοινωνίας εστιάζει στις αλληλεπιδράσεις μεταξύ φυσικών συστημάτων και της ανθρώπινης κοινωνίας. Η εφαρμογή της SD σε αυτό το πεδίο αποτυπώνεται στην προσομοίωση των αλληλεπιδράσεων μεταξύ πολύπλοκων κοινωνικοοικονομικών συστημάτων και περιβαλλοντικών συστημάτων. Τα μοντέλα SD μπορούν να αποκαλύψουν τις διαδρομές ροής κεφαλαίων και ρίσκου, διευκολύνοντας την κατανόηση και τη διαχείριση των επιπτώσεων των κλιματικών κινδύνων στα χρηματοπιστωτικά συστήματα. Αυτή η προσέγγιση ενσωματώνει περιβαλλοντικούς, οικονομικούς και κοινωνικούς παράγοντες, παρέχοντας ένα ολοκληρωμένο αναλυτικό πλαίσιο για την αξιολόγηση των μακροπρόθεσμων επιπτώσεων και των πιθανών κινδύνων των πολιτικών μέτρων. Στη δημόσια πολιτική, τα μοντέλα SD χρησιμοποιούνται ευρέως για την προσομοίωση και αξιολόγηση των πιθανών επιπτώσεων διαφόρων πολιτικών επιλογών (Banda et al.,2022).

- Επέκταση με χωρική διάσταση

Η μοντελοποίηση με SD αποτελεί προσέγγιση που αποτυπώνει και αναλύει τις σχέσεις μεταξύ ροών και αποθεμάτων ενός συστήματος, με έμφαση στην προσομοίωση και πρόβλεψη χρονοσειρών. Τις τελευταίες δεκαετίες, με την ευρεία υιοθέτηση της τηλεπισκόπησης και της τεχνολογίας GIS, η μακροοικολογία έχει εξοπλιστεί με ιδιαίτερα αποδοτικά εργαλεία για την ανάλυση και οπτικοποίηση χωρικών προτύπων. Η ενσωμάτωση της SD με την έρευνα GIS έχει εμπλουτίσει σημαντικά τόσο τις θεωρητικές όσο και τις εμπειρικές διερευνήσεις στον τομέα. Χρησιμοποιώντας τη SD για χρονολογική μοντελοποίηση και το GIS για χωρική ανάλυση, οι ερευνητές είναι σε θέση να μελετούν ολοκληρωμένα την εξέλιξη μεγάλων γεωγραφικών περιβαλλόντων και οικοσυστημάτων (Sihui Xin et al., 2024). Αυτή η προσέγγιση διευκολύνει ποσοτικές αξιολογήσεις των αλληλεπιδράσεων και των δυναμικών τάσεων μεταξύ διαφορετικών τοποθεσιών και οικολογικών στοιχείων, προσφέροντας ένα ισχυρό πλαίσιο για την ανάλυση της διαδοχής βλάστησης, των προτύπων αστικοποίησης, της μετανάστευσης πληθυσμών και της οικονομικής γεωγραφίας. Παρότι οι χωρικές μοντελοποιήσεις —όπως η ανάλυση χωρικών δικτύων, τα κυτταρικά αυτόματα και το μοντέλο CLUE— έχουν προσφέρει πολύτιμες γνώσεις για τη χωρική δυναμική και προβλέψεις, η σημασία της εμπειρικής έρευνα,

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 11:28:09 EEST - 216.73.216.250

διατηρεί την αξία της. Εκτενείς μελέτες που βασίζονται σε δεδομένα του πραγματικού κόσμου, ιδιαίτερα σε τομείς όπως η αποψίλωση των τροπικών δασών, η αλλαγή χρήσης γης και ο κατακερματισμός των οικοτόπων, ήταν κρίσιμες για την επικύρωση αυτών των μοντέλων. Οι εμπειρικές μελέτες έχουν προσφέρει βαθιές γνώσεις στην οικολογία τοπίου και τη χωρική διάσταση των οικολογικών διεργασιών, λειτουργώντας ως κρίσιμος σύνδεσμος μεταξύ θεωρητικών μοντέλων και παρατηρούμενων μακρο-αλλαγών στη Γη. Ο συνδυασμός εννοιολογικής μοντελοποίησης και εμπειρικής έρευνας έχει αποδειχθεί ιδιαίτερα ισχυρός για το σχεδιασμό περιφερειακής βιώσιμης ανάπτυξης. Καθώς αυτοί οι τομείς συνεχίζουν να συγκλίνουν, η ανάπτυξη ολοκληρωμένων, βασισμένων σε δεδομένα προσεγγίσεων θα ενισχύσει την ικανότητά μας να προβλέπουμε και να διαχειριζόμαστε πολύπλοκα οικολογικά και γεωγραφικά συστήματα πιο αποτελεσματικά. (Sihui Xin et al., 2024).

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 11:28:09 EEST - 216.73.216.250

4 Περιοχή Μελέτης: Ο Ποταμός Νέστος

4.1 Βασικά χαρακτηριστικά

Ο Νέστος/Μέστης είναι ένας διασυνοριακός ποταμός που βρίσκεται στην περιοχή των Βαλκανίων, με σχεδόν το 60% να βρίσκεται στη Βουλγαρία (Mesta) και το υπόλοιπο στην Ελλάδα (Νέστος) . Πηγάζει από τα βουνά Ρίλα στη Βουλγαρία και εκβάλλει στη Θρακική Θάλασσα, στη Βόρεια Ελλάδα (Εικόνα 4.1). Η λεκάνη απορροής του καλύπτει έκταση 5.479 km2 (περίπου 2.000 km2 σε ελληνικό έδαφος) και το μήκος του είναι περίπου 243 km. Το μεγαλύτερο μέρος της λεκάνης απορροής του ποταμού Νέστου/Μέστα είναι (ημι-) ορεινό, με μόνη εξαίρεση την περιοχή του δέλτα (εκβολές). Ο ποταμός σχηματίζει ένα σημαντικό οικοσύστημα σε όλη τη διάρκειά του και το δέλτα του αποτελεί ένα μοναδικό οικοσύστημα που προστατεύεται από τη Σύμβαση Ραμσάρ. Η λεκάνη του Νέστου έχει γεωπολιτική σημασία, παρέχοντας ζωτικής σημασίας νερό για άρδευση και παραγωγή ενέργειας στην Ελλάδα. Περιλαμβάνει δύο περιοχές προτεραιότητας στο πλαίσιο του προγράμματος NATURA 2000 (Skoulikaris, 2008). Το δέλτα διαθέτει εδάφη επιρρεπή σε διάβρωση, ενώ οι τύποι εδαφών ταξινομούνται σε πέντε ευρείες κατηγορίες (Psilovikos, 1990)

Εικόνα 4.1: Ο ποταμός Νέστος
Πηγή: https://www.culturevalley.gr/potamos-nestos

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 11:28:09 EEST - 216.73.216.250

- Κλίμα

Το κλίμα διαφέρει σε όλη τη λεκάνη, το ανώτερο τμήμα του Mesta και του Νέστου είναι υποαλπικό, ενώ το κατώτερο τμήμα είναι μεσογειακό. Οι βροχοπτώσεις ανέρχονται κατά μέσο όρο σε 810 mm στη Βουλγαρία και 790 mm στην Ελλάδα, με σημαντικές χιονοπτώσεις στις ορεινές περιοχές. Το ελληνικό τμήμα έχει μέση ετήσια θερμοκρασία 15,4 °C (Skoulikaris, 2008). Το καρστικό σύστημα στη λεκάνη έχει υδατικό δυναμικό άνω των 105 εκατομμυρίων κυβικών μέτρων, με τα υπόγεια νερά να συνδέονται με τον ποταμό Νέστο. Η μέση μηνιαία παροχή του ρεύματος κατά την περίοδο 1965 έως 1990 σπάνια ξεπερνούσε τα 150 m^3/s. Η ελάχιστη παροχή του Νέστου ήταν συνήθως μικρότερη από 10 m^3/s. Παρά τη ρύθμιση της παροχής λόγω των φραγμάτων, η κατάντη παροχή εξακολουθεί να διατηρείται άνω των 6 m^3/s για περιβαλλοντική προστασία. Σύμφωνα με το σύστημα κλιματικής ταξινόμησης Köppen, το κλιματικό πεδίο της Ξάνθης αντιστοιχεί σε κλίμα «Csa», δηλαδή σε μεσογειακό κλίμα που χαρακτηρίζεται από ήπιο εύκρατο χαρακτήρα με ξηρά καλοκαίρια και ήπιους, υγρούς χειμώνες. Συνολικά, η κλιματική διαβάθμιση μέσα στη λεκάνη του Νέστου/Μέστα μεταβαίνει από υγρό ηπειρωτικό κλίμα στο βόρειο τμήμα σε μεσογειακό κλίμα στο νότιο. Η λεκάνη του Νέστου, ιδιαίτερα οι παράκτιες και χαμηλού υψομέτρου περιοχές της, γίνεται ολοένα και πιο ευάλωτη στις κλιματικές μεταβολές. Οι πρόσφατες τάσεις αναδεικνύουν αυξανόμενη συχνότητα και ένταση φαινομένων ξηρασίας, σηματοδοτώντας σαφή απόκλιση από τα ιστορικά πρότυπα (Mylopoulos et al., 2004).

4.2 Κοινωνικοοικονομικές δραστηριότητες και πλαίσιο

- Πληθυσμός

Η λεκάνη του Mesta εκτείνεται σε έντεκα δήμους της Βουλγαρίας, που χωρίζονται μεταξύ των νομών Μπλαγκόεβγκραντ και Σμόλιαν, με πληθυσμό περίπου 190.000 κατοίκους. Το ελληνικό τμήμα, που βρίσκεται στους νομούς Δράμας, Καβάλας και Ξάνθης, είναι αραιοκατοικημένο στις ορεινές περιοχές, με 42.000 κατοίκους κυρίως στο δέλτα του Νέστου. Ο κύριος ποταμός, ο Νέστος, εκβάλλει στη θάλασσα της Μαρίτσας, και η μεγαλύτερη πόλη στην ελληνική περιοχή είναι η Χρυσούπολη, με 8.800 κατοίκους (Scoulikaris, 2008). Χρήσεις νερού στη λεκάνη του Mesta-Νέστου. Ο ποταμός Mesta χρησιμοποιείται κυρίως για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και την άρδευση. Στη Βουλγαρία, η λεκάνη απορροής είναι ημι-άνυδρη, με τα

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 11:28:09 EEST - 216.73.216.250

υψηλότερα ποσοστά άρδευσης στη χώρα (έως 400 m^3/s), κυρίως μέσω αναποτελεσματικής επιφανειακής άρδευσης. Στην Ελλάδα, ο ποταμός Νέστος χρησιμοποιείται επίσης για υδροηλεκτρική ενέργεια και άρδευση, με τη ροή του νερού να ρυθμίζεται ώστε να καλύπτει τις εποχιακές ανάγκες, αν και οι διακυμάνσεις της ροής περιπλέκουν την άρδευση και τη διαχείριση του δέλτα. Τα υπόγεια ύδατα στο Δέλτα του Νέστου χρησιμοποιούνται όλο και περισσότερο, με αποτέλεσμα την εισροή αλμυρού νερού\

- Γεωργία

Η λεκάνη αποτελείται κυρίως από φυσικούς λειμώνες και δάση (75,4%), με τη γεωργία να καταλαμβάνει το 20,3%. Στη Βουλγαρία, επικρατεί η παραδοσιακή ορεινή γεωργία, με μη αρδευόμενες καλλιέργειες να είναι κοινές στις ανώτερες πεδιάδες. Αντίθετα, το Δέλτα του Νέστου στην Ελλάδα είναι ιδιαίτερα παραγωγικό, με πάνω από 15.000 εκτάρια αρδευόμενης γης. Οι κύριες καλλιέργειες περιλαμβάνουν ρύζι, ζαχαρότευτλα, δημητριακά και, όλο και περισσότερο, ακτινίδια και σπαράγγια, τα περισσότερα από τα οποία εξάγονται (Skoulikaris, 2008). Το αρδευτικό σύστημα του δέλτα τροφοδοτείται από το φράγμα Τοξώτης, το οποίο παρέχει νερό τόσο στην περιοχή της Καβάλας όσο και στην περιοχή της Ξάνθης (Koutrakis et al., 2018). Οι καλλιέργειες υψηλής αξίας (ακτινίδια, ζαχαρότευτλα, ρύζι) καλλιεργούνται εντατικά και, ως εκ τούτου, η διαχείριση των εποχιακών υδάτινων πόρων αποτελεί ένα σημαντικό ζήτημα που πρέπει να επιλυθεί για να ξεπεραστούν οι συγκρούσεις μεταξύ της χρήσης νερού για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και των αναγκών άρδευσης, με αποτέλεσμα, να αντλούνται υπόγεια ύδατα οδηγώντας σε προβλήματα που σχετίζονται με την εισροή θαλασσινού νερού. Το νερό είναι επίσης απαραίτητο για τη διατήρηση του ευαίσθητου και προστατευόμενου οικοσυστήματος του Δέλτα του Νέστου. Τέλος, πρέπει να αναφερθεί ότι η περιοχή αποτελεί σημαντικό κόμβο διαμετακόμισης, καθώς το αεροδρόμιο της Καβάλας και το λιμάνι του Κεραμοτί εξυπηρετούν σημαντικές εθνικές και διεθνείς τουριστικές ροές, ειδικά κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 11:28:09 EEST - 216.73.216.250

- Ενέργεια

Στις αρχές της δεκαετίας του 1990, κατασκευάστηκαν δύο φράγματα κυρίως για σκοπούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, στο ελληνικό τμήμα του ποταμού (κατάντη), ο Θησαυρός ύψους 170μ (Εικόνα 4.3) και Πλατανόβρυση ύψους 95μ (Εικόνα 4.2), από την Ελληνική Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού Α.Ε. (ΔΗΜΗΤΡΙΑ) σε απόσταση 30 χλμ. και 45 χλμ. αντίστοιχα από τα ελληνικά-βουλγαρικά σύνορα. Τα φράγματα, εκτός από την παραγωγή ενέργειας, καλύπτουν τις αρδευτικές ανάγκες καλλιεργούμενων εκτάσεων υψηλής οικονομικής αξίας κατάντη και ρυθμίζουν την οικολογική ροή καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Επιπλέον, κοντά στο χωριό Τοξότες λειτουργεί φράγμα για τη ρύθμιση της ροής του ποταμού κατάντη προς το αρδευτικό δίκτυο της πεδιάδας του δέλτα. Μικρές πόλεις και χωριά βρίσκονται εντός της λεκάνης απορροής των ποταμών Νέστου/Μέστα και οι κύριες δραστηριότητες που στηρίζουν το τοπικό εισόδημα είναι η γεωργία και η κτηνοτροφία

Εικόνα 4.2: Φράγμα της Πλατανόβρυσης
Πηγή:https://www.proodeftiki.gr/index.php/el/έργα/κατασκευή-φραγμάτων/61-η-κατασκευή-του-φράγματος-του-ποταμού-νέστου.html

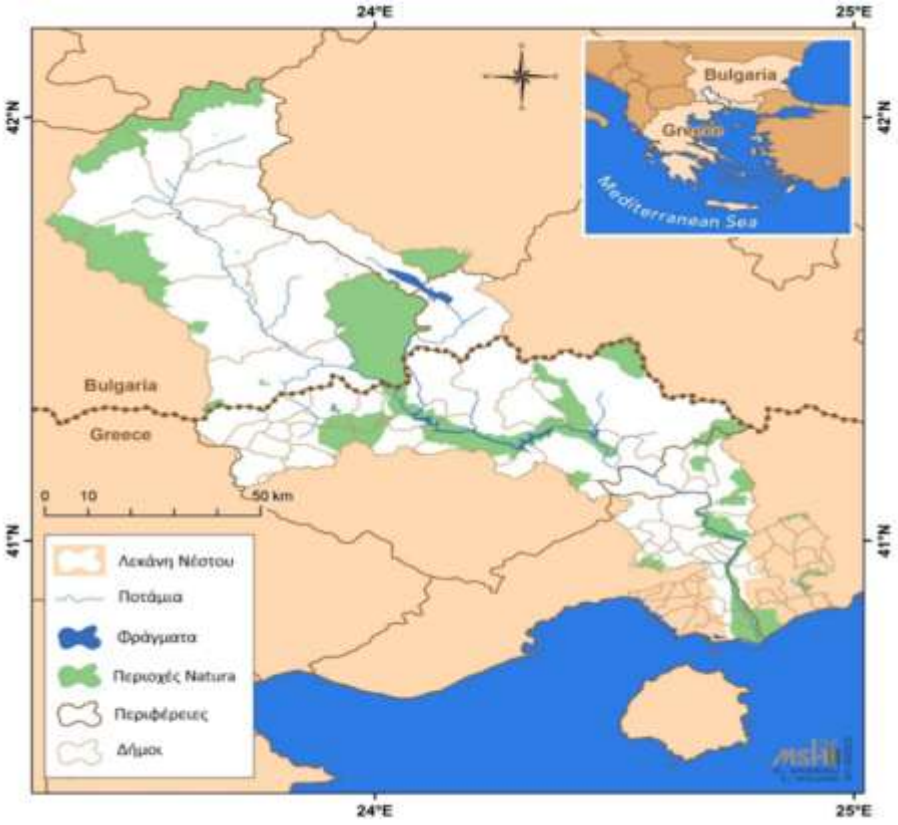
Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 11:28:09 EEST - 216.73.216.250

Εικόνα 4.3: Φράγμα Θησαυρός, το μεγαλύτερο λιθόρριπτο φράγμα των Βαλκανίων.
Πηγή:https://www.iefimerida.gr/travel/fragma-thisayroy-lithorripto-elladas-balkanion

- Παροχή και χρήση νερού

Στην Ελλάδα, η γεωργία αντιπροσωπεύει το 80% της χρήσης νερού, και το γλυκό νερό προέρχεται όλο και περισσότερο από την αφαλάτωση. Οι καρστικές πηγές στην Καβάλα παρέχουν νερό στους δήμους, ενώ στη Βουλγαρία, μικρά φράγματα της σοβιετικής εποχής παρέχουν νερό για οικιακή χρήση και άρδευση. Η υποδομή άρδευσης είναι υποανάπτυκτη και οι βιομηχανικές δραστηριότητες βασίζονται κυρίως στα υπόγεια ύδατα (ΟΟΣΑ, 2020). Εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων έχουν μόνο το Μπάνσκο και το Ράζλογ, ενώ το Γκότσε Ντέλτσεφ δεν διαθέτει τέτοια υποδομή. Στην Ελλάδα, η Χρυσούπολη διαθέτει μονάδα επεξεργασίας, αλλά οι γειτονικές πόλεις απορρίπτουν ακατέργαστα λύματα στον ποταμό Νέστο (Papachristou, 1994).

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 11:28:09 EEST - 216.73.216.250



Εικόνα 4.4: Λεκάνη απορροής του ποταμού Νέστου
Πηγή: (https://nexogenesis.eu/downloads)

- Πολιτικά μέσα

Η Βουλγαρία είναι ένα ενιαίο δημοκρατικό κράτος. Ο αρχηγός της κυβέρνησης, ο Πρωθυπουργός, κατέχει την ισχυρότερη εκτελεστική θέση. Ο αρχηγός του κράτους, ο Πρόεδρος, διαθέτει κυρίως αντιπροσωπευτικές εξουσίες καθώς και περιορισμένες εξουσίες αρνησικυρίας (βέτο). Το κοινοβούλιο αποτελείται από τη Λαϊκή Συνέλευση, η οποία απαρτίζεται από 240 άμεσα εκλεγμένους βουλευτές. Ο Πρόεδρος της Βουλγαρίας εκλέγεται επίσης άμεσα από τον λαό. Η Δημοκρατία έχει τρία επίπεδα διακυβέρνησης: κεντρικό, περιφερειακό και δημοτικό. Η επικράτεια της χώρας οργανώνεται σε 6 περιφέρειες σχεδιασμού, 28 επαρχίες (με την περιφέρεια και την επαρχία να αντιπροσωπεύουν το περιφερειακό επίπεδο, ενώ η πρωτεύουσα υπολογίζεται ως μία από αυτές) και 265 δήμους. Οι επαρχίες έχουν κυρίως στατιστικές και διοικητικές λειτουργίες. Η διαδικασία αποκέντρωσης σε δημοτικό επίπεδο ξεκίνησε ήδη από τη δεκαετία του 1990 με τον Νόμο περί Τοπικής Αυτοδιοίκησης και Τοπικής Διοίκησης. Οι δήμοι απέκτησαν διοικητικές αρμοδιότητες, οι

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 11:28:09 EEST - 216.73.216.250

οποίες συμπληρώθηκαν με κάποια οικονομική αυτονομία το 2002. Το 2020, το Κοινοβούλιο ενέκρινε τον νόμο για την τροποποίηση και συμπλήρωση του Νόμου περί Περιφερειακής Ανάπτυξης. Οι στόχοι είναι η μείωση του αριθμού των στρατηγικών εγγράφων και η απλούστευση της διαχείρισης των επιχειρησιακών προγραμμάτων. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι οι διοικητικές επαρχίες (oblasti), γνωστές και ως «περιφέρειες κατώτερου επιπέδου», είναι αποκεντρωμένες διαιρέσεις της κεντρικής κυβέρνησης και δεν εκλέγονται άμεσα. Ο δήμος (obshtina) αποτελεί το μοναδικό επίπεδο στο οποίο ασκείται αυτοδιοίκηση. Η Βουλγαρία είναι ένα ιδιαίτερα συγκεντρωτικό κράτος, καθώς το Εθνικό Υπουργικό Συμβούλιο διορίζει απευθείας τους περιφερειάρχες και όλες οι επαρχίες εξαρτώνται πλήρως από τον κρατικό προϋπολογισμό, ενώ οι δήμοι εξαρτώνται λιγότερο. Οι κρατικές αρχές και οι εδαφικές τους υποδιαιρέσεις ασκούν έλεγχο νομιμότητας επί των πράξεων των μονάδων τοπικής αυτοδιοίκησης.

Η Ελλάδα είναι μια κοινοβουλευτική δημοκρατία, επίσημα γνωστή ως Ελληνική Δημοκρατία. Είναι ένα ενιαίο κράτος οργανωμένο σε αποκεντρωμένη βάση, που περιλαμβάνει δύο κύρια επίπεδα διακυβέρνησης: την κεντρική κυβέρνηση και την τοπική αυτοδιοίκηση. Η κεντρική κυβέρνηση λειτουργεί τόσο σε εθνικό επίπεδο (μέσω υπουργείων) όσο και σε αποκεντρωμένο επίπεδο (μέσω περιφερειακών κρατικών διοικήσεων), ενώ η τοπική αυτοδιοίκηση είναι δομημένη σε περιφερειακές (περιφερειακές) και δημοτικές αρχές. Τις τελευταίες δεκαετίες, η Ελλάδα έχει υποστεί μια προοδευτική διαδικασία αποκέντρωσης. Αυτή ξεκίνησε το 1986 με τη δημιουργία 13 διοικητικών περιφερειών, ενισχύθηκε το 1994 με την εισαγωγή εκλεγμένων νομαρχιακών συμβουλίων και την επέκταση των αρμοδιοτήτων των δήμων, και εδραιώθηκε περαιτέρω με το πρόγραμμα μεταρρυθμίσεων «Καλλικράτης» του 2010, το οποίο αναδιοργάνωσε την εδαφική δομή της χώρας με τη συγχώνευση πολλών δήμων. Από το 2011, η Ελλάδα χωρίζεται σε επτά Αποκεντρωμένες Διοικήσεις, 13 Περιφέρειες και 325 Δήμους. Οι Αποκεντρωμένες Διοικήσεις λειτουργούν ως περιφερειακές επεκτάσεις του κράτους (δηλ. αποκεντρωμένες μονάδες), των οποίων οι επικεφαλής διορίζονται από την κεντρική κυβέρνηση. Οι πρώην νομοί συνεχίζουν να υφίστανται σε μεγάλο βαθμό, αλλά τώρα αναφέρονται ως περιφερειακές ενότητες, που λειτουργούν ως διοικητικές και εδαφικές υποδιαιρέσεις εντός κάθε περιφέρειας. Οι αρχές της αποκέντρωσης και της τοπικής αυτοδιοίκησης είναι κατοχυρωμένες στο ελληνικό Σύνταγμα. Οι περιφέρειες

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 11:28:09 EEST - 216.73.216.250

είναι υπεύθυνες για τη διαχείριση των περιφερειακών υποθέσεων, τον σχεδιασμό και την εφαρμογή πολιτικών στους τομείς αρμοδιότητάς τους, καθώς και για την προώθηση της βιώσιμης ανάπτυξης και της κοινωνικής συνοχής, σε συνάρτηση με τις εθνικές και ευρωπαϊκές πολιτικές. Οι δήμοι, από την άλλη πλευρά, είναι επιφορτισμένοι με τη διαχείριση των τοπικών υποθέσεων. Διαχειρίζονται και ρυθμίζουν όλα τα τοπικά ζητήματα με βάση τις αρχές της επικουρικότητας και της εγγύτητας, με στόχο την προστασία, την ανάπτυξη και τη συνεχή βελτίωση της ευημερίας και της ποιότητας ζωής των τοπικών κοινοτήτων τους. Η σχέση μεταξύ των δύο επιπέδων της τοπικής αυτοδιοίκησης —περιφερειών και δήμων— δεν είναι ιεραρχική, αλλά συνεργατική. Η συνεργασία τους καθορίζεται από το νόμο, αμοιβαίες συμφωνίες και τον συντονισμό κοινών πρωτοβουλιών, εξασφαλίζοντας συνεκτική και αποτελεσματική διακυβέρνηση σε όλα τα διοικητικά επίπεδα.

- Εθνική διαχείριση υδάτων

1. Βουλγαρία

Το Υπουργείο Περιβάλλοντος και Υδάτων είναι υπεύθυνο για το νερό και τις προστατευόμενες περιοχές, όπως το δίκτυο Natura 2000. Το Σχέδιο Ανάκαμψης και Ανθεκτικότητας (RRP) της Βουλγαρίας, με τις πληροφορίες που περιλαμβάνονται στο Εθνικό Σχέδιο για την Ενέργεια και το Κλίμα 2021–2030 και σε σχέση με τη συμβολή στους στόχους της Ένωσης για το κλίμα και την ενέργεια έως το 2030–2050 και τον στόχο της κλιματικής ουδετερότητας έως το 2050, έχει εγκριθεί από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή. Η Βουλγαρία έχει τη μεγαλύτερη ένταση άνθρακα στην ΕΕ, τέσσερις φορές τον ευρωπαϊκό μέσο όρο. Το εν λόγω Σχέδιο απαιτεί ένα χρονοδιάγραμμα για τη σταδιακή κατάργηση των μονάδων παραγωγής ενέργειας από άνθρακα και λιγνίτη και την επιβολή ρυθμιστικού ορίου στις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα που θα ισχύει από την 1η Ιανουαρίου 2026. Οι αρχές (από το εθνικό έως το τοπικό επίπεδο) επωφελούνται από διάφορα είδη υποστήριξης (νόμοι, σχέδια δράσης, στρατηγικές κ.λπ.) για τη διαχείριση των πόρων στις επικράτειές τους (νερό, ενέργεια, τροφή και οικοσύστημα). Ασκούν δραστηριότητα σε έναν ή περισσότερους τομείς, έχοντας ρυθμιστικές, ενημερωτικές και ελεγκτικές λειτουργίες. Οι ελεγκτικές δραστηριότητες σχετίζονται με την πρόληψη της ρύπανσης ή των ζημιών, την αποκατάσταση του περιβάλλοντος από ρύπανση ή ζημιές, την προστασία των υδάτων από ρύπανση, τη συμμόρφωση με τις απαιτήσεις για τη διασφάλιση φιλικής προς το

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 11:28:09 EEST - 216.73.216.250

περιβάλλον διαχείρισης αποβλήτων, την προστασία των στοιχείων του Εθνικού Οικολογικού Δικτύου και της βιοποικιλότητας, καθώς και την προστασία της ποιότητας της ατμόσφαιρας.

Άλλα συναρμόδια υπουργεία για τα ζητήματα ύδατος περιλαμβάνουν: το Υπουργείο Περιφερειακής Ανάπτυξης (για τα συστήματα ύδρευσης, αποχέτευσης και επεξεργασίας λυμάτων, καθώς και για την προστασία από τις επιβλαβείς επιπτώσεις των υδάτων – συμπεριλαμβανομένων των πλημμυρών – σε αστικές περιοχές), το Υπουργείο Γεωργίας, Τροφίμων και Δασοκομίας (MAFF), το οποίο αποτελεί τον κύριο καταναλωτή υδατικών πόρων, διαχειρίζεται τα αρδευτικά συστήματα και λειτουργεί το κρατικό υδρο-βελτιωτικό ταμείο για τη διαχείριση των υδάτων που χρησιμοποιούνται για την άρδευση των γεωργικών καλλιεργειών. Είναι επίσης υπεύθυνο για διάφορα έργα αποστράγγισης και προστασίας, όπως αναχώματα, φράγματα συγκράτησης και αποστραγγιστικά πεδία. Άλλες δομές του MAFF που διαθέτουν σχετικές αρμοδιότητες είναι: η Εκτελεστική Υπηρεσία Αλιείας και Υδατοκαλλιεργειών, η Εκτελεστική Υπηρεσία Δασών, καθώς και οι διευθύνσεις φυσικών πάρκων του Υπουργείου Περιβάλλοντος και Υδάτων. Το Υπουργείο Υγείας είναι υπεύθυνο για τον ποιοτικό έλεγχο του πόσιμου νερού, των ιαματικών νερών που χρησιμοποιούνται για λόγους υγείας και των νερών κολύμβησης.

Η βασική νομοθεσία για τον τομέα των υδάτων στη Βουλγαρία είναι η εξής:

- Ο Νόμος περί Υδάτων ρυθμίζει τη διαχείριση των υδατικών πόρων με ολοκληρωμένο τρόπο, συμπεριλαμβανομένων των απαιτήσεων σχετικά με την ιδιοκτησία, τη διαχείριση, τη λειτουργία και τον σχεδιασμό των δημόσιων υποδομών ύδρευσης και αποχέτευσης, καθώς και τις υποχρεώσεις των Υδρονομικών Συνδέσμων (για τους περιφερειακούς φορείς εκμετάλλευσης) και των τοπικών δήμων (για τους μικρότερους δημοτικούς φορείς).
- Ο Νόμος για τη Ρύθμιση των Υπηρεσιών Ύδρευσης και Αποχέτευσης θεσπίζει κανόνες για την εθνική ρύθμιση των τιμολογίων και της ποιότητας των υπηρεσιών ύδρευσης και αποχέτευσης, που παρέχονται από την Επιτροπή Ρύθμισης Ενέργειας και Υδάτων (EWRC).

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 11:28:09 EEST - 216.73.216.250

2. Ελλάδα

Ο τομέας του νερού στην Ελλάδα διαχειρίζεται σε εθνικό και περιφερειακό επίπεδο. Το Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας είναι υπεύθυνο για τον στρατηγικό σχεδιασμό, την ανάπτυξη και την αξιολόγηση πολιτικών για την ορθολογική και βιώσιμη διαχείριση των υπηρεσιών ύδατος μέσω της Γενικής Διεύθυνσης Υδάτων. Η Γενική Διεύθυνση Υδάτων της Γενικής Γραμματείας Φυσικού Περιβάλλοντος και Υδάτων του Υπουργείου Περιβάλλοντος και Ενέργειας έχει αναλάβει τις ρυθμιστικές αρμοδιότητες στον τομέα του νερού στην Ελλάδα. Οι κύριες αρμοδιότητες της Γενικής Διεύθυνσης Υδάτων είναι:

- Η ανάπτυξη και εφαρμογή όλων των προγραμμάτων που σχετίζονται με την προστασία και διαχείριση των υδατικών πόρων της Ελλάδας·
- Η υποβολή προτάσεων τιμολογιακής πολιτικής στους κυβερνητικούς φορείς λήψης αποφάσεων (όπως η Εθνική Επιτροπή Υδάτων)
- Η εκπόνηση στρατηγικού σχεδιασμού
- Η ανάπτυξη και αξιολόγηση πολιτικών για την ορθολογική και βιώσιμη διαχείριση των υπηρεσιών ύδατος.

Η Εθνική Επιτροπή Υδάτων αποτελεί ένα διυπουργικό όργανο με αποφασιστικό ρόλο στη διαμόρφωση της εθνικής πολιτικής για τα ύδατα. Το Εθνικό Συμβούλιο Υδάτων έχει συμβουλευτικό και γνωμοδοτικό ρόλο σε προγράμματα προστασίας και διαχείρισης των υδάτων. Οι Διευθύνσεις Υδάτων (συνολικά 13) των Αποκεντρωμένων Διοικήσεων υποστηρίζουν τη Γενική Διεύθυνση Υδάτων στην προστασία, διαχείριση, παρακολούθηση και αξιολόγηση των υδατικών πόρων εντός της γεωγραφικής τους δικαιοδοσίας. .Οι υπηρεσίες ύδρευσης παρέχονται από 2 δημόσιες εταιρείες (την ΕΥΔΑΠ για την Αθήνα και την ΕΥΑΘ για τη Θεσσαλονίκη), 130 δημοτικές επιχειρήσεις ύδρευσης και αποχέτευσης, καθώς και 183 δήμους (WAREG, 2021).Οι περιφερειακές αρχές είναι υπεύθυνες για την αδειοδότηση των απορρίψεων βιομηχανικών και αστικών λυμάτων από εγκαταστάσεις επεξεργασίας. Στον τομέα του περιβάλλοντος, είναι υπεύθυνες για τη διαμόρφωση κατευθυντήριων γραμμών περιβαλλοντικής πολιτικής.. Όλοι οι ποταμοί στην Ελλάδα υπάγονται στην ευθύνη πολλών αρχών. Για τους διασυνοριακούς ποταμούς, εμπλέκεται επίσης το Υπουργείο Εξωτερικών, καθώς και τα Υπουργεία Περιβάλλοντος, Γεωργίας και Οικονομικών. Όλες οι αρμόδιες αρχές είναι υπεύθυνες για τη διαχείριση της ποσότητας και της ποιότητας των υδάτων.. Το 2017, η

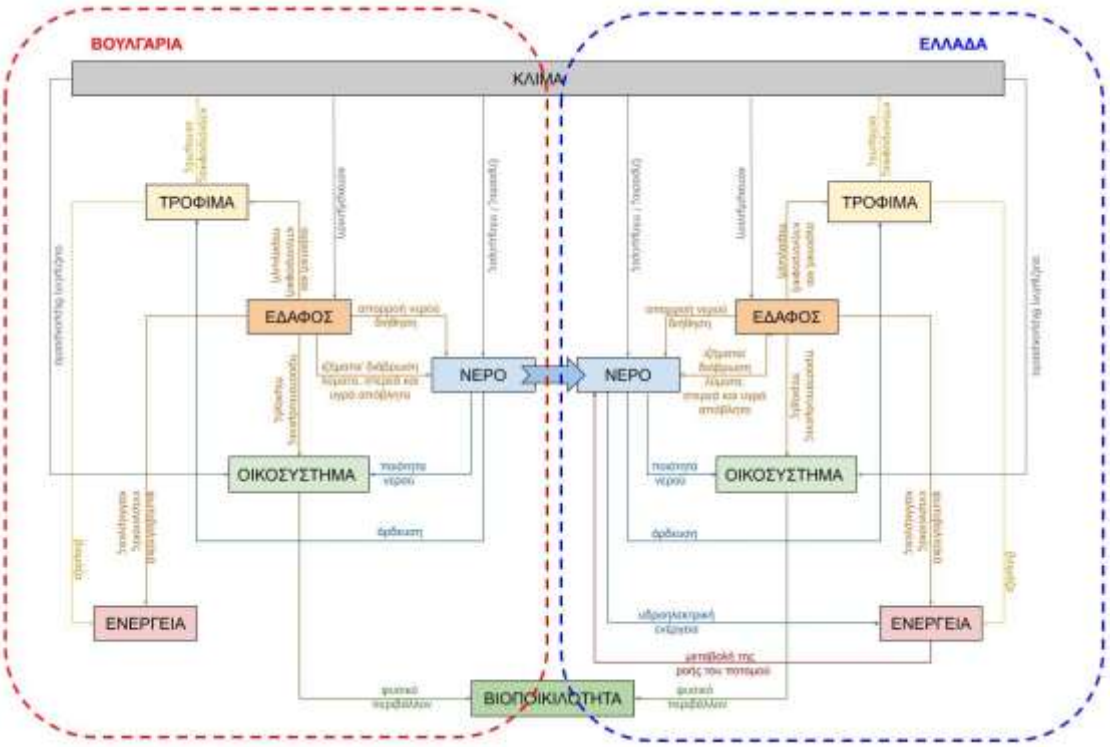
Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 11:28:09 EEST - 216.73.216.250

Ελλάδα ενέκρινε τον δεύτερο κύκλο των Σχεδίων Διαχείρισης Λεκανών Απορροής Ποταμών (ΣΔΛΑΠ) στο πλαίσιο της Οδηγίας Πλαίσιο για τα Ύδατα (WFD), μετά από καθυστέρηση δύο ετών (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2019).

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 11:28:09 EEST - 216.73.216.250

5 Μεθοδολογία

5.1 Εννοιολογικό μοντέλο



Εικόνα 5.1: Εννοιολογικός χάρτης υψηλού επιπέδου που απεικονίζει τις διασυνδέσεις Nexus για τη λεκάνη απορροής του ποταμού Νέστου/Μέστα, πηγή: (Laspidou et., al., 2022)

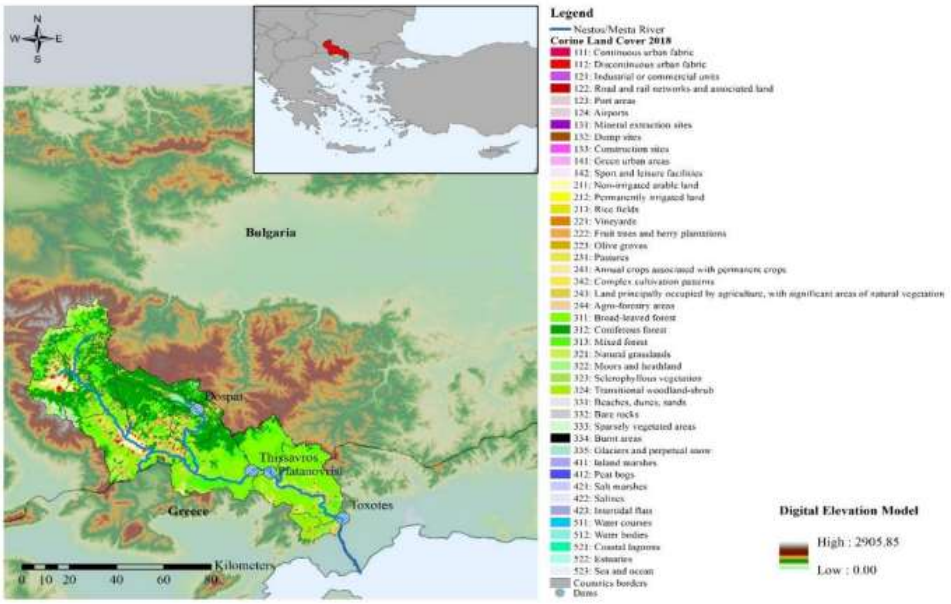
Το εννοιολογικό μοντέλο της περιπτωσιολογικής μελέτης Νέστου/Μέστα αποτελεί ένα απλό διάγραμμα που απεικονίζει τις διασυνδέσεις μεταξύ των συνιστωσών του Nexus WEFE (Εικόνα 5.1). Χωρίζεται σε δύο υποσυστήματα, το ανάντη (βουλγαρικό τμήμα - Mesta) και το κατάντη (ελληνικό τμήμα -Νέστος), όπου το νερό ρέει πέρα από τα σύνορα των δύο χωρών (Laspidou et al., 2022). Το νερό είναι το «κοινό συστατικό» που μοιράζονται οι δύο χώρες. Οι βροχοπτώσεις και ρυθμοί εξατμισοδιαπνοής εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τις κλιματικές συνθήκες που επηρεάζουν άμεσα το υδατικό ισοζύγιο στη λεκάνη απορροής του ποταμού. Η διαθεσιμότητα του νερού επηρεάζει επίσης τα οικοσυστήματα, τα ενδημικά είδη (χλωρίδας και πανίδας) και την περιβαλλοντική ροή. Το νερό χρησιμοποιείται για άρδευση, ύδρευση, την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και την επεξεργασία τροφίμων. Η ποιότητά του αποτελεί σημαντικό παράγοντα για τη διασφάλιση της λειτουργίας των οικοσυστημάτων και την παραγωγή γεωργικών προϊόντων υψηλής ποιότητας. Ο ενεργειακός τομέας αφορά κυρίως την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από υδροηλεκτρικούς σταθμούς και συνεπώς απαιτεί

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 11:28:09 EEST - 216.73.216.250

σημαντικές ποσότητες νερού. Σύμφωνα με το (Corine Land Cover, 2018), οι κύριες χρήσεις γης στην περιοχή είναι: δασικές καλλιέργειες, γεωργικές καλλιέργειες, λιβάδια και μεταβατικά δάση-θάμνοι. Η γεωργία επηρεάζει την ποιότητα του νερού (απορροή), ενώ οι ανθρώπινοι οικισμοί και οι βιομηχανικές δραστηριότητες είναι επίσης «υπεύθυνοι» για τη διάθεση αποβλήτων στον ποταμό.

5.1.1 Υδρολογικό μοντέλο και δυναμική του συστήματος

Η λεκάνη απορροής του ποταμού Νέστου/Mesta (GR-BG) είναι μία από τις 71 διασυνοριακές λεκάνες απορροής ποταμών της Ευρώπης και βρίσκεται στην περιοχή των Βαλκανίων (Εικόνα 5.2). Η λεκάνη βρίσκεται στην οικολογική περιοχή 7 (Ανατολικά Βαλκάνια, Οδηγία 2000/60/ΕΚ-Παράρτημα XIA) και η συνολική λεκάνη απορροής της είναι περίπου 5.479 km2. Με ελάχιστη περιβαλλοντική ροή τα 6 m3/s, τα οποία απαιτείται να μείνουν σταθερά, για τη διατήρηση των οικοσυστημάτων στο Δέλτα του ποταμού και τη στήριξη των κτηνοτροφικών και γεωργικών προϊόντων υψηλής αξίας όπως και τις υδατοκαλλιεργητές δραστηριότητες (π.χ. μυδοκαλλιέργειες) που λαμβάνουν χώρα στην περιοχή.



Εικόνα 5.2: Λεκάνη, υπολεκάνη, χρήσεις γης και υψόμετρα του ποταμού Νέστου

Πηγή: (https://nexogenesis.eu/downloads)

Στο πλαίσιο της περιπτωσιολογικής μελέτης Nestos/Mesta, σχεδιάστηκε ένα προηγμένο υδρολογικό μοντέλο(Kourtis et al., 2023, Kourtis et al., 2025), που περιλαμβάνει 11 υπολεκάνες της διασυνοριακής λεκάνης ποταμού Νέστου/Μέστα (7 υπολεκάνες στη βουλγαρική και 4 υπολεκάνες στην ελληνική πλευρά της λεκάνης). Στην Εικόνα 5.2 παρουσιάζεται η περιοχή μελέτης με τις υπολεκάνες, τα υψόμετρα, τα φράγματα και τις χρήσεις

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 11:28:09 EEST - 216.73.216.250

γης. Οι επικρατέστεροι τύποι χρήσεων γης-αναλογικά με την επικάλυψη του εδάφους στην λεκάνη είναι:

- δάση και ημιφυσικές περιοχές (81,0%)
- γεωργικές περιοχές (16,4%)
- τεχνητές επιφάνειες (1,4%)
- υδάτινα σώματα (1,0%)
- υγρότοποι (0,2%).

Το υδρολογικό μοντέλο της λεκάνης Νέστου/ αναπτύχθηκε με τη χρήση του λογισμικού (HEC-HMS) που αναπτύχθηκε από το Κέντρο Υδρολογικής Μηχανικής (HEC) του Σώματος Μηχανικών του Στρατού των ΗΠΑ. Το λογισμικό HEC-HMS έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως σε όλο τον κόσμο για την προσομοίωση τόσο των συνεχών όσο και των παροδικών διαδικασιών βροχόπτωσης-απορροής των δενδριτικών λεκανών απορροής. Οι κύριες μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για την αναπαραγωγή των φυσικών διεργασιών είναι:

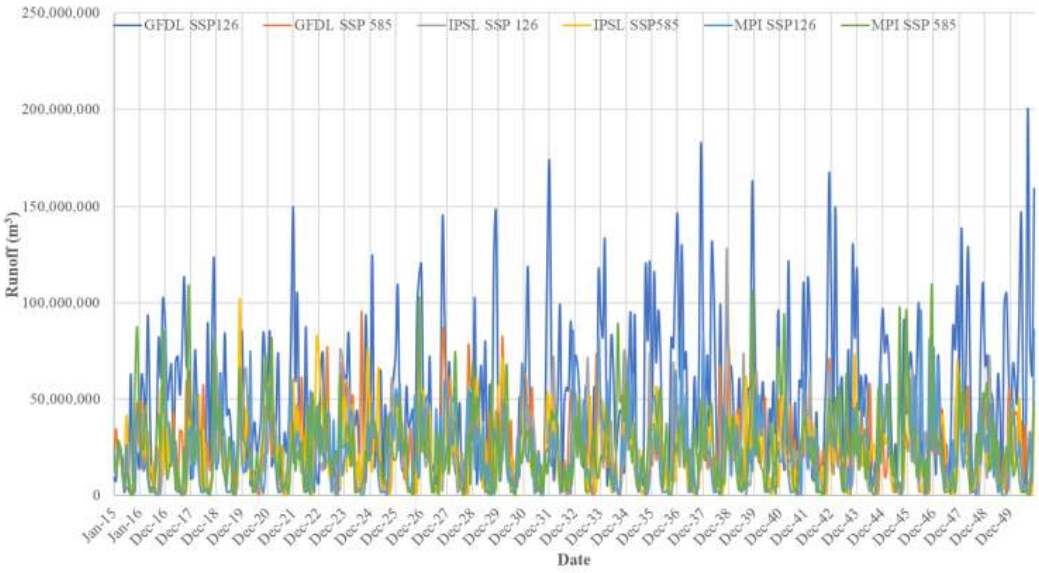
- Η μέθοδος του απλού θόλου (simple canopy) για τη μοντελοποίηση της βροχόπτωσης που συγκρατείται από τα φυτά,
- Η μέθοδος SCS Curve Number για την αναπαράσταση των διαδικασιών διήθησης εντός της λεκάνης απορροής,
- Το μοναδιαίο υδρογράφημα SCS για τη μοντελοποίηση των διεργασιών επιφανειακής απορροής
- Η μηνιαία σταθερά για τη μοντελοποίηση της βασικής ροής στη λεκάνη.

Χρόνος συγκέντρωσης για κάθε υπολεκάνη εκτιμήθηκε με τη μέθοδο Giandotti, ενώ η εξατμισοδιαπνοή εκτιμήθηκε με τη μέθοδο Thornthwaite. Δεδομένα από διάφορες πηγές αξιοποιήθηκαν για την εκτίμηση των διαφόρων παραμέτρων του μοντέλου (π.χ. ψηφιακό μοντέλο υψομέτρου, καταγεγραμμένες και μελλοντικές τιμές βροχόπτωσης και θερμοκρασίας, δεδομένα χρήσης-κάλυψης γης, δεδομένα εδάφους, χαρακτηριστικά φραγμάτων και κανόνες λειτουργίας, παρατηρούμενη εκροή). Για το ελληνικό τμήμα της λεκάνης, οι παρατηρήσεις βροχόπτωσης από οκτώ (8) σταθμούς ήταν διαθέσιμες από το 1980-1981 έως το 2018-2019 (σύμφωνα με το υδρολογικό έτος Οκτώβριος-Σεπτέμβριος), ενώ για το βουλγαρικό τμήμα της λεκάνης, οι παρατηρήσεις βροχόπτωσης από δεκαέξι (16) σταθμούς ήταν διαθέσιμες από την 01/01/2000 έως την 01/01/2006. Επιπλέον, μετρήσεις θερμοκρασίας ήταν διαθέσιμες σε τέσσερις (4) σταθμούς, έναν (1) στο ελληνικό τμήμα και τρεις (3) στο βουλγαρικό τμήμα της

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 11:28:09 EEST - 216.73.216.250

λεκάνης Νέστου/Mesta αντίστοιχα. Η μέση βροχόπτωση εκτιμήθηκε για τη λεκάνη απορροής με τη μέθοδο Thiessen Polygon.

Η βαθμονόμηση του υδρολογικού μοντέλου, χρησιμοποιώντας τον συντελεστή Nash-Sutcliffe ως αντικειμενική συνάρτηση, πραγματοποιήθηκε για την περίοδο που εκτείνεται από 12/2018 έως 12/2010, ενώ η περίοδος επικύρωσης εκτεινόταν από 04/2017 έως 04/2018 μόνο για το ελληνικό τμήμα της λεκάνης με διαθέσιμα παρατηρήσιμα δεδομένα απορροής, στα δύο φράγματα (Θησαυρός και Πλατανόβρυση). Τόσο για τις περιόδους βαθμονόμησης όσο και για τις περιόδους επικύρωσης, τα αποτελέσματα υπέδειξαν πολύ καλή συμφωνία μεταξύ την παρατηρούμενη και την προσομοιωμένη μηνιαία απορροή. Τα δεδομένα μελλοντικής κλιματικής πρόβλεψης από το WP2, δηλαδή, βροχόπτωση και θερμοκρασία, αξιοποιήθηκαν ως είσοδος στο υδρολογικό μοντέλο. Οι προβολές της κλιματικής αλλαγής από τρία κλιματικά μοντέλα (δηλ. GFDL, IPSL και MPI) και δύο σενάρια κοινών κοινωνικοοικονομικών μονοπατιών (SSP- δηλ. SSP1-2.6 και SSP5-8.5) χρησιμοποιήθηκαν ως οδηγοί στο βαθμονομημένο-επικυρωμένο υδρολογικό μοντέλο. Στην Εικόνα 5.3 παρουσιάζονται ενδεικτικά αποτελέσματα, δηλ. εκροή σε m3, παρουσιάζονται για μία από τις ελληνικές υπολεκάνες, του υδρολογικού μοντέλου.



Εικόνα 5.3: Ενδεικτικά αποτελέσματα για μια ελληνική υπολεκάνη σε διαφορετικά κλιματικά σενάρια Πηγή: (https://nexogenesis.eu/downloads)

Τα αποτελέσματα του υδρολογικού μοντέλου, για όλα τα κλιματικά σενάρια και για όλες τις υπολεκάνες, μαζί με μια πληθώρα άλλων δεδομένων που αφορούν το νερό, την ενέργεια, τα τρόφιμα, τη γεωργία, τα οικοσυστήματα, τις χρήσεις γης και το κλίμα,

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 11:28:09 EEST - 216.73.216.250

ενσωματώθηκαν στη Μοντελοποίηση δυναμικής συστημάτων Nestos/Mesta. Τέσσερις εκδόσεις του SDM δόθηκαν στο WP4 για να ενσωματωθούν στο NEPAT, συμπεριλαμβανομένων των σχετικών αποτελεσμάτων των ακόλουθων συνδυασμών σεναρίων RCPs και SSPs:

- RCP2.6: Αντιπροσωπεύει ένα αισιόδοξο μονοπάτι χαμηλών εκπομπών, στο οποίο λαμβάνονται δραστικά μέτρα μετριασμού της κλιματικής αλλαγής. Υποθέτει παγκόσμια συνεργασία, ταχεία ανάπτυξη τεχνολογιών χαμηλών εκπομπών και εκτεταμένες πολιτικές περιορισμού του CO_2. Η αύξηση της μέσης παγκόσμιας θερμοκρασίας περιορίζεται κάτω από τους 2°C έως το 2100.
- RCP8.5: Αντιπροσωπεύει ένα δυσμενές σενάριο, στο οποίο δεν λαμβάνονται ουσιαστικά μέτρα περιορισμού των εκπομπών. Οι παγκόσμιες εκπομπές συνεχίζουν να αυξάνονται καθ' όλο τον αιώνα, οδηγώντας σε υψηλές συγκεντρώσεις CO_2 και αύξηση της μέσης θερμοκρασίας κατά περισσότερο από 4°C έως το 2100. Το σενάριο αυτό χρησιμοποιείται για να αποτιμηθούν οι επιπτώσεις της αδράνειας στην κλιματική πολιτική.
- SSP2 "Μέση οδός": Αντιπροσωπεύει μια ενδιάμεση κοινωνικοοικονομική πορεία, όπου η ανάπτυξη και η τεχνολογική πρόοδος εξελίσσονται με μέτριους ρυθμούς. Οι κοινωνικές ανισότητες παραμένουν, αλλά δεν οξύνονται σημαντικά, ενώ οι πολιτικές περιβαλλοντικής προστασίας εφαρμόζονται αποσπασματικά. Το σενάριο αυτό θεωρείται ρεαλιστικό και ισορροπημένο, καθώς προσομοιώνει μια εξέλιξη "μέσου δρόμου" μεταξύ αισιόδοξων και απαισιόδοξων τάσεων.
- SSP4 "Ανισότητα": Το SSP4 επικεντρώνεται σε έναν κόσμο έντονων κοινωνικών και οικονομικών ανισοτήτων, όπου η τεχνολογική πρόοδος και η περιβαλλοντική προστασία είναι προνόμιο των ανεπτυγμένων περιοχών. Οι αναπτυσσόμενες χώρες αντιμετωπίζουν περιορισμένη πρόσβαση σε καθαρές τεχνολογίες και πόρους, γεγονός που εντείνει την ευαισθησία απέναντι στις κλιματικές επιπτώσεις. Έτσι, το σενάριο αυτό αντανακλά μια ανισόρροπη παγκόσμια ανάπτυξη με σημαντικές περιφερειακές διαφοροποιήσεις.

Για κάθε έκδοση του μοντέλου δυναμικής συστημάτων SDM, παρέχεται στους χρήστες η ευελιξία να αξιολογούν τα αποτελέσματα με ή χωρίς την εφαρμογή συγκεκριμένων πολιτικών που προσανατολίζονται σε εξειδικευμένες εφαρμογές. Επιπλέον, το μοντέλο προσφέρει τη δυνατότητα εξαγωγής αποτελεσμάτων σε πολλαπλές χωρικές κλίμακες,

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 11:28:09 EEST - 216.73.216.250

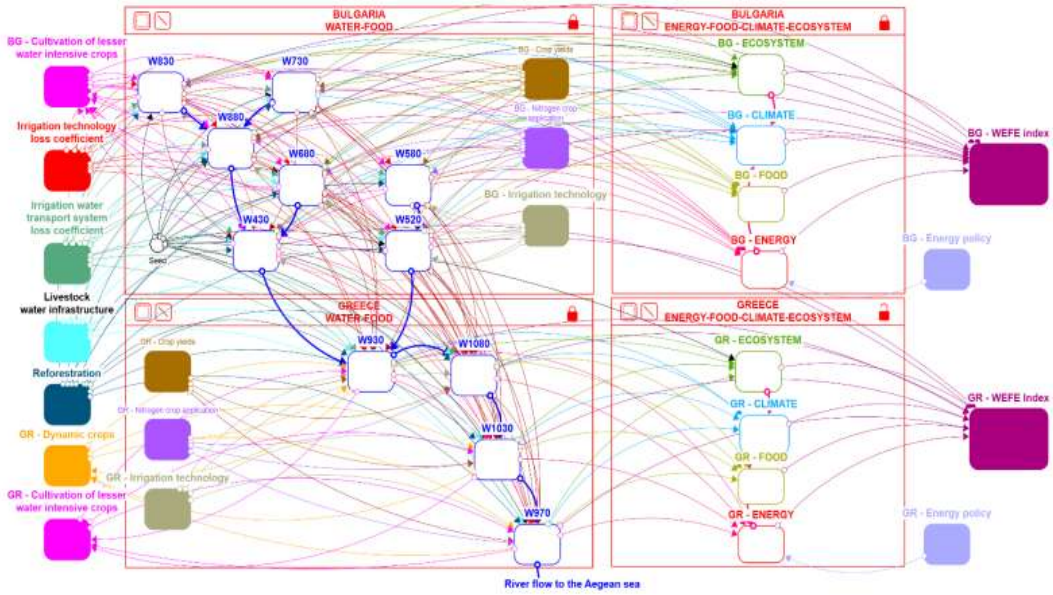
συμπεριλαμβανομένων μεμονωμένων υπολεκανών, των συγκεντρωτικών υπολεκανών εντός της ελληνικής και της βουλγαρικής επικράτειας ή ολόκληρης της λεκάνης απορροής του ποταμού Νέστου/Mesta. Η κλίμακα αναφοράς για τους υπολογισμούς του μοντέλου είναι το επίπεδο της υπολεκάνης, εξασφαλίζοντας λεπτομερείς και ειδικές για την περιοχή αναλύσεις.

5.2 Μοντέλο δυναμικής συστήματος

Ένα Μοντέλο Δυναμικής Συστήματος (SDM) (Εικόνα 5.4) σχεδιάστηκε ειδικά για την λεκάνη απορροής του Νέστος/Mesta αποτυπώνοντας τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ νερού, ενέργειας, τροφίμων, οικοσυστημάτων (WEFE) και κλιματικών μεταβλητών σε όλες τις υπολεκάνες της. Το SDM αντικατοπτρίζει τη φυσική δομή της λεκάνης, όπου οι υπολεκάνες λειτουργούν ως ανεξάρτητες μονάδες που συνεισφέρουν και αποσύρουν νερό από τον ποταμό μέσω διαφόρων ανθρώπινων δραστηριοτήτων. Το μοντέλο αυτό παρακολουθεί αποτελεσματικά τις ροές νερού μέσα στο σύστημα, ξεκινώντας από τις υπολεκάνες και καταλήγοντας στην εκροή του ποταμού στο Αιγαίο Πέλαγος.

Με μπλε περίγραμμα στην Εικόνα 5.4 αντιπροσωπεύονται οι υπολεκάνες του ποταμού, με μπλε βέλη απεικονίζονται οι ροές νερού μεταξύ τους. Το τελευταίο βέλος στο κάτω μέρος του σχήματος υποδηλώνει τη ροή του ποταμού στο Αιγαίο Πέλαγος, σηματοδοτώντας την ολοκλήρωση του ταξιδιού του νερού. Το μοντέλο ενσωματώνει επίσης ενότητες πολιτικής, οι οποίες αναπαρίστανται από τα συμπληρωμένα χρωματιστά στοιχεία, επιτρέποντας στους χρήστες να αξιολογήσουν τα αποτελέσματα της εφαρμογής διαφορετικών πολιτικών. Παραδείγματα τέτοιων πολιτικών περιλαμβάνουν την καλλιέργεια λιγότερο υδροβόρων καλλιεργειών, βελτιώσεις στην τεχνολογία άρδευσης, βελτιώσεις στα συστήματα μεταφοράς αρδευτικού νερού, υποδομές νερού για την κτηνοτροφία, αναδάσωση και υιοθέτηση δυναμικών καλλιεργειών. Οι, μωβ, ενότητες στα δεξιά αντιπροσωπεύουν τους δείκτες WEFE για τις περιοχές της Βουλγαρίας και της Ελλάδας, παρέχοντας μια σύνοψη των συνολικών επιδόσεων των αλληλεπιδράσεων νερού, ενέργειας, τροφίμων και οικοσυστημάτων για κάθε χώρα.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 11:28:09 EEST - 216.73.216.250



Εικόνα 5.4: Πρώτη επισκόπηση του ΣΔΜ για τον Νέστο/Μέστα

Πηγή: (https://nexogenesis.eu/downloads)

Το επάνω αριστερό κόκκινο πλαίσιο, με τίτλο «BULGARIA WATER-FOOD", περιλαμβάνει και τις επτά υπολεκάνες που βρίσκονται στο βουλγαρικό τμήμα της λεκάνης απορροής του ποταμού. Ομοίως, το κάτω αριστερό κόκκινο πλαίσιο, με τίτλο «GREECE WATER-FOOD", περιλαμβάνει τις τέσσερις υπολεκάνες στο ελληνικό τμήμα της λεκάνης απορροής του ποταμού. Σε επίπεδο υπολεκάνης, το SDM επιτρέπει στους χρήστες να υπολογίζουν τόσο τις τρέχουσες όσο και τις μελλοντικές τιμές των μεταβλητών, εστιάζοντας κυρίως σε παραμέτρους που σχετίζονται με το νερό και τα τρόφιμα. Το επάνω και το κάτω δεξιό πλαίσιο του σχήματος αντιπροσωπεύουν περιφερειακές αναλύσεις, όπου οι χρήστες μπορούν να υπολογίσουν μεταβλητές που σχετίζονται με τα τρόφιμα, την ενέργεια, το κλίμα και τις αλληλεπιδράσεις των οικοσυστημάτων τόσο για το βουλγαρικό όσο και για το ελληνικό τμήμα της λεκάνης απορροής του ποταμού. Τέλος, οι ενότητες στο δεξιό άκρο του σχήματος εμφανίζουν τους δείκτες WEFE και για τις δύο περιοχές, παρέχοντας ένα συγκεντρωτικό μέτρο των αλληλεπιδράσεων και των επιδόσεων αυτών των τομέων.

Αυτό το μοντέλο δυναμικής συστημάτων είναι ιδιαίτερα ευέλικτο, δίνοντας στους χρήστες τη δυνατότητα να προσομοιώσουν διαφορετικά σενάρια εφαρμόζοντας διάφορες πολιτικές είτε ανεξάρτητα είτε σε συνδυασμό. Για παράδειγμα, οι χρήστες μπορούν να εφαρμόσουν ταυτόχρονα την πολιτική της καλλιέργειας λιγότερο υδροβόρων καλλιεργειών τόσο στο ελληνικό όσο και στο βουλγαρικό τμήμα ή να εφαρμόσουν έναν συνδυασμό

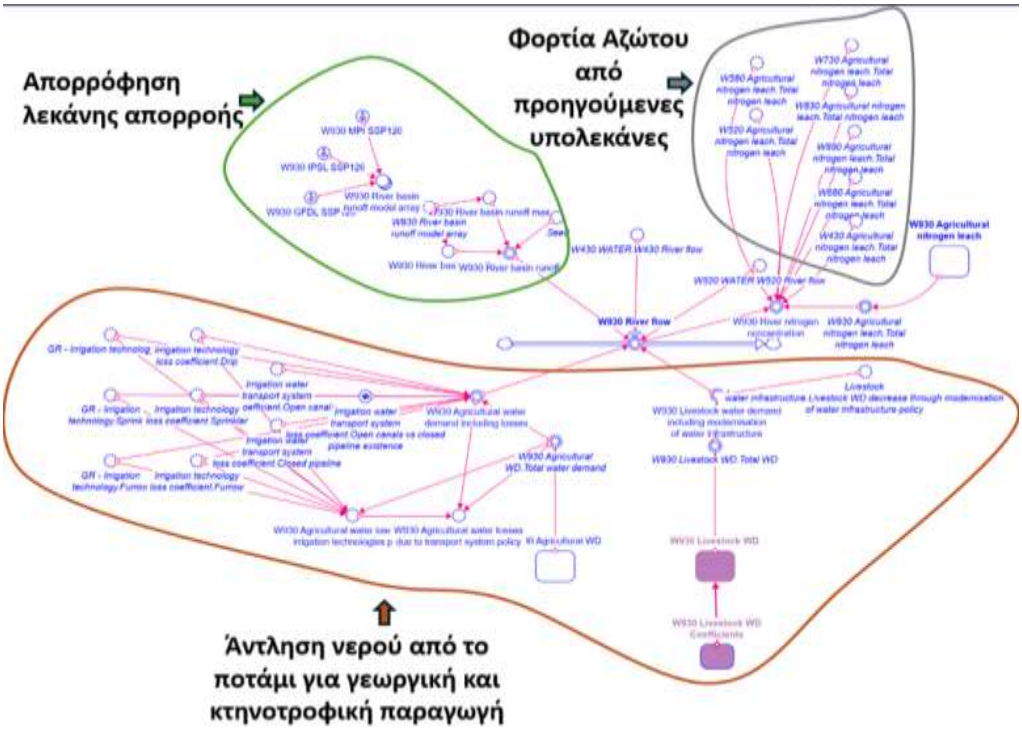
Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 11:28:09 EEST - 216.73.216.250

πολιτικών για να διερευνήσουν συνέργειες και αντισταθμίσεις. Αυτή η ευελιξία διασφαλίζει λεπτομερή, βασισμένο σε σενάρια σχεδιασμό και στιβαρή λήψη αποφάσεων τόσο σε επίπεδο υπολεκάνης, εστιάζοντας στις μεταβλητές του νερού και των τροφίμων, όσο και σε περιφερειακό επίπεδο, αντιμετωπίζοντας τις ευρύτερες αλληλεπιδράσεις του WEFE. Συνοπτικά, το μοντέλο δυναμικής συστημάτων SDM προσφέρει ένα ολοκληρωμένο πλαίσιο για την ανάλυση και τη βελτιστοποίηση των αλληλεπιδράσεων μεταξύ νερού, τροφίμων, ενέργειας και οικοσυστημάτων σε πολλαπλές χωρικές κλίμακες, ενώ παράλληλα επιτρέπει την ενσωμάτωση παρεμβάσεων πολιτικής που καθορίζονται από τον χρήστη. Αυτό εξασφαλίζει μια ισχυρή προσέγγιση για τη βιώσιμη διαχείριση των πόρων της λεκάνης απορροής του ποταμού Νέστου/Mesta. Οι παράγραφοι που ακολουθούν παρέχουν μια σύντομη επισκόπηση όλων των τομέων του WEFE που μοντελοποιήθηκαν στο πλαίσιο του μοντέλου δυναμικής συστήματος.

5.2.1 Μοντελοποίηση της συνιστώσας του νερού

Η Εικόνα 5.5 απεικονίζει τη μονάδα νερού της υπολεκάνης W830, όπως σχεδιάστηκε στο Stella Architect. Αυτή η οπτική αναπαράσταση καταδεικνύει τις αλληλένδετες διεργασίες της υδρολογίας και της διαχείρισης των υδάτων στην υπολεκάνη. Το μοντέλο είναι δομημένο γύρω από τρία βασικά στοιχεία: τη ροή του ποταμού, τη ζήτηση νερού και την ποιότητα του ποταμού, τα οποία αλληλοεπιδρούν δυναμικά για την προσομοίωση της συμπεριφοράς του συστήματος. Μια κρίσιμη είσοδος σε αυτό το σύστημα είναι η απορροή της λεκάνης του ποταμού, η οποία δρομολογεί τη ροή του νερού μέσω της υπολεκάνης και τη συνδέει με τις ανάντη και κατάντη περιοχές.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 11:28:09 EEST - 216.73.216.250



Εικόνα 5.5: Απεικόνιση της μονάδας νερού στην υπολεκάνη W830

Πηγή: (https://nexogenesis.eu/downloads)

5.2.1.1 Απορροή σε λεκάνη απορροής ποταμού

Η απορροή της λεκάνης του ποταμού είναι η κύρια πηγή νερού που εισέρχεται στην υπολεκάνη W830, όπως φαίνεται στο πάνω αριστερό τμήμα της Εικόνας 5.5. Αυτή η απορροή αντιπροσωπεύει τη φυσική ροή του νερού που παράγεται από τις βροχοπτώσεις, την επιφανειακή ροή και τις συνεισφορές ανάντη από προηγούμενες υπολεκάνες. Το σχήμα υπογραμμίζει τον τρόπο με τον οποίο αυτή η απορροή επηρεάζεται από κλιματικούς παράγοντες (π.χ. βροχόπτωση και θερμοκρασία) υπό διαφορετικά σενάρια RCP & SSP, δημιουργώντας μεταβλητότητα στη διαθεσιμότητα του νερού. Επιπλέον, η απορροή λειτουργεί ως φορέας φορτίων αζώτου και άλλων ρύπων που προέρχονται από ανάντη υπολεκάνες. Αυτά τα θρεπτικά φορτία επηρεάζουν άμεσα την ποιότητα των υδάτων στην υπολεκάνη W830 και απεικονίζονται οπτικά στο διάγραμμα, όπου εισέρχονται στο υποτμήμα ροής του ποταμού. Αυτό υπογραμμίζει τον αλυσιδωτό αντίκτυπο των ανάντη διεργασιών στα κατάντη οικοσυστήματα.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 11:28:09 EEST - 216.73.216.250

5.2.1.2 Ροή ποταμού

Το μοντέλο υπολογίζει τη ροή του ποταμού στην υπολεκάνη W830 λαμβάνοντας υπόψη την ισορροπία μεταξύ του νερού που εισέρχεται στο σύστημα (απορροή και εισροή ανάντη) και του νερού που αντλείται για διάφορες ανάγκες (γεωργία και κτηνοτροφία). Ακολουθεί ο τύπος που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αναπαράσταση αυτή διαδικασία μαθηματικά:

Qροής_ποταμού=Qαπορροής+Qανάντη_εισροής - (WDκαλλιέργειας+WDκτηνοτροφίας) (4.1)

Όπου:

- $Q_{ροής_ποταμού}$: Η ροή του ποταμού για την υπολεκάνη W830 (m^3/μήνα)
- $Q_{απορροής}$: Η τοπική απορροή της λεκάνης απορροής του ποταμού που παράγεται στην υπολεκάνη (m^3/μήνα)
- $Q_{ανάντη_εισροής}$: Η εισροή νερού από την ανάντη υπολεκάνη (m^3/μήνα)
- $WD_{καλλιέργειας}$: ζήτηση νερού για γεωργικές δραστηριότητες (m^3/μήνα)
- $WD_{κτηνοτροφίας}$: ζήτηση νερού για κτηνοτροφικές δραστηριότητες (m^3/μήνα)

Η αρθρωτή δομή του μοντέλου εξασφαλίζει ότι κάθε υπολεκάνη διατηρεί τη συνοχή στον τρόπο με τον οποίο ο ποταμός ροή υπολογίζεται και μεταφέρεται, παρέχοντας μια απρόσκοπτη αναπαράσταση της κίνησης του νερού σε ολόκληρη τη λεκάνη απορροής.

5.2.1.3 Ζήτηση Νερού

Η ζήτηση νερού για τη γεωργία εξαρτάται από την καλλιεργούμενη έκταση κάθε τύπου καλλιέργειας και τις ειδικές μηνιαίες απαιτήσεις νερού της. Το μοντέλο ενσωματώνει τις αναποτελεσματικότητες άρδευσης, που εξαρτώνται από την τεχνολογία που χρησιμοποιείται (π.χ., αυλακωτή άρδευση, καταιονισμός, στάγδην άρδευση), καθώς και τις απώλειες στη μεταφορά του νερού (π.χ. ανοικτά κανάλια ή κλειστοί αγωγοί). Αυτό το μέρος του μοντέλου αναδεικνύει τη σημασία των υποδομών και της τεχνολογίας άρδευσης στην αποδοτικότητα της χρήσης νερού .Η μαθηματική αναπαράσταση του μηχανισμού δίνεται από τον παρακάτω τύπο:

$$WD_{καλλιέργειας} = \sum_{i=1}^{n} \left(A_i * WR_i * \left(1 + L_{άρδευσης}\right)\right) \quad (4.2)$$

Όπου:

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 11:28:09 EEST - 216.73.216.250

- A_i: Καλλιεργούμενη έκταση της καλλιέργειας *i* (m^2)
- WR_i: Μηνιαία απαίτηση νερού ανά μονάδα επιφάνειας της καλλιέργειας *i* (m^3/m^2)
- L_iάρδευσης: Συντελεστής απωλειών λόγω αναποτελεσματικότητας της άρδευσης (π.χ., αυλακωτή, καταιονιστική, στάγδην άρδευση, συστήματα μεταφοράς νερού).

5.2.1.4 Ζήτηση Νερού για Κτηνοτροφία

Η ζήτηση νερού για την κτηνοτροφία υπολογίζεται βάσει του πληθυσμού των ζώων και της κατά κεφαλήν κατανάλωσης νερού. Όπως φαίνεται στο μοντέλο, η εκσυγχρονισμένη υποδομή ύδρευσης μπορεί να μειώσει τις απώλειες νερού και κατ' επέκταση τη συνολική ζήτηση νερού, αποδεικνύοντας την ικανότητα του μοντέλου να προσομοιώνει τις επιπτώσεις πολιτικών παρεμβάσεων.

Η μαθηματική αναπαράσταση του μηχανισμού δίνεται από τον παρακάτω τύπο:

$$WD_{\gamma\epsilon\omega\rho\gamma\acute{\iota}\alpha\varsigma} = \sum_{j=1}^{m} (P_j * WC_j) \quad (4.3)$$

Όπου:

- P_j: Πληθυσμός του τύπου ζώου j στην υπολεκάνη
- WC_j: Κατανάλωση νερού ανά ζώο του τύπου j (m^3/μήνα).

5.2.1.5 Ποιότητα Ποταμού

Η υποενότητα της ποιότητας του ποταμού προσομοιώνει τη συγκέντρωση του Ολικού Αζώτου (Total Nitrogen - TN), το οποίο προέρχεται από τη χρήση λιπασμάτων στις γεωργικές περιοχές. Αυτά τα θρεπτικά στοιχεία διηθούνται στο ποτάμιο σύστημα ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του εδάφους, την ικανότητα απορρόφησης των καλλιεργειών και την εγγύτητα προς τον ποταμό.

Η Εικόνα 5.5 απεικονίζει τον τρόπο με τον οποίο αυτά τα ρυπογόνα στοιχεία μεταφέρονται κατάντη, αυξάνοντας τα φορτία θρεπτικών συστατικών στις επόμενες υπολεκάνες. Καταγράφοντας αυτή τη δυναμική, το μοντέλο παρέχει χρήσιμες πληροφορίες για τον περιβαλλοντικό αντίκτυπο των γεωργικών πρακτικών στην ποιότητα του νερού.

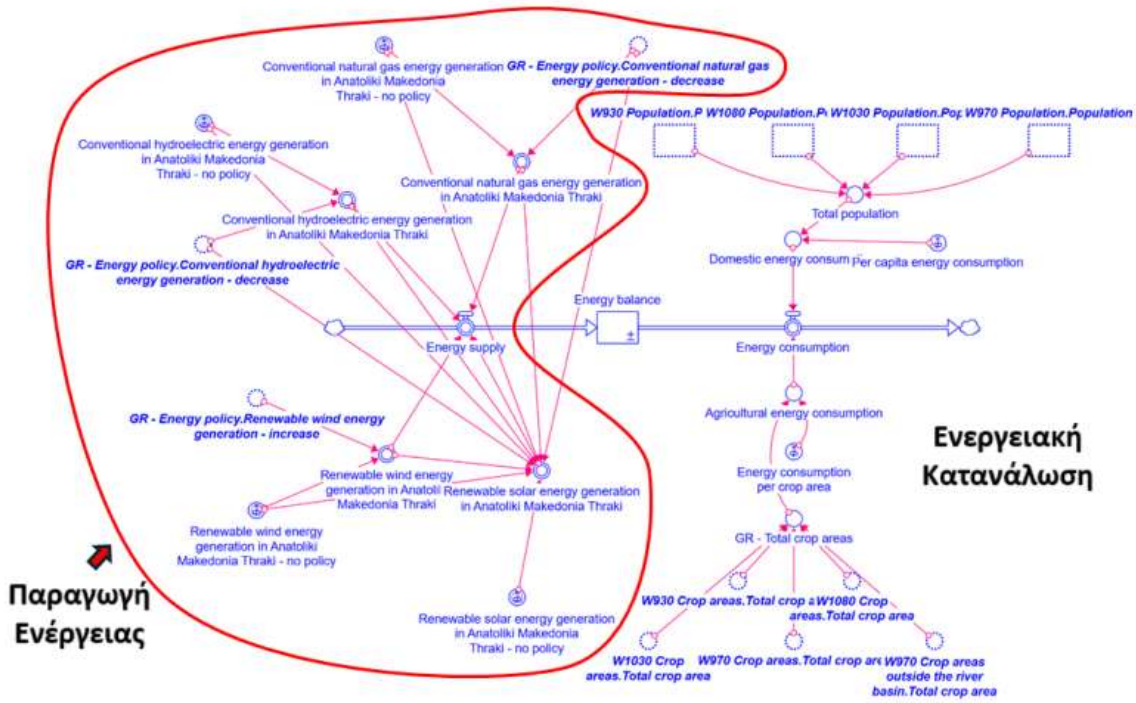
Η Εικόνα 5.5 αναδεικνύει τη τμηματική (modular) δομή της υπολεκάνης, όπου η απορροή της λεκάνης απορροής του ποταμού αποτελεί το σημείο εκκίνησης όλων των

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 11:28:09 EEST - 216.73.216.250

υδρολογικών διεργασιών. Το διάγραμμα παρουσιάζει τη διασύνδεση μεταξύ ροής νερού, ζήτησης και ποιότητας, ενώ οπτικοποιεί βρόχους ανατροφοδότησης και αλληλεξαρτήσεις. Αυτή η σχεδιαστική προσέγγιση διασφαλίζει συνέπεια μεταξύ όλων των υπολεκανών, ενώ επιτρέπει λεπτομερή παρακολούθηση της δυναμικής του νερού στη λεκάνη του ποταμού Νέστου/Mesta.

5.2.2 Μοντελοποίηση της συνιστώσας της ενέργειας

Η ενεργειακή ενότητα που περιλαμβάνεται στο Σύστημα Δυναμικής Μοντελοποίησης (SDM) καταγράφει τη δυναμική της παραγωγής, κατανάλωσης και ισορροπίας ενέργειας εντός της υπολεκάνης W830 (Εικόνα 5.6). Αυτό το μοντέλο ενσωματώνει πολλαπλές πηγές ενέργειας, παράγοντες κατανάλωσης και σενάρια πολιτικής με στόχο την προσομοίωση της αλληλεπίδρασης προσφοράς και ζήτησης, εξασφαλίζοντας ολιστική αναπαράσταση των ροών ενέργειας. Ενώ η ενότητα συγκρίνει την τοπική παραγωγή ενέργειας με την κατανάλωση εντός της υπολεκάνης, είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι η παραγόμενη ενέργεια τροφοδοτεί το εθνικό ενεργειακό δίκτυο. Ως εκ τούτου, η σύγκριση της τοπικής παραγωγής με την κατανάλωση αποτελεί μοντελοποιητική παραδοχή, αντί για μια αυστηρά τοπική ενεργειακή λογιστική προσέγγιση.



Εικόνα 5.6: Απεικόνιση της δυναμικής της παραγωγής, κατανάλωσης και ισορροπίας ενέργεια στην υπολεκάνη W830

Πηγή: (https://nexogenesis.eu/downloads)

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 11:28:09 EEST - 216.73.216.250

5.2.2.1 Παραγωγή Ενέργειας

Η προσφορά ενέργειας βασίζεται στον συνδυασμό συμβατικών και ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Η Συμβατική Παραγωγή Ενέργειας περιλαμβάνει φυσικό αέριο και υδροηλεκτρική ενέργεια στην Περιφέρεια Ανατολικής Μακεδονίας και Θράκης. Αυτές οι παραδοσιακές πηγές αποτελούν τη βασική προσφορά ενέργειας για την υπολεκάνη. Το μοντέλο ενσωματώνει πολιτικά σενάρια, όπως η αύξηση της παραγωγής φυσικού αερίου, για να διερευνήσει πώς οι πολιτικές παρεμβάσεις επηρεάζουν τη διαθεσιμότητα της συμβατικής ενέργειας.

Παράλληλα, οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο στη διαφοροποίηση της ενεργειακής προσφοράς. Το μοντέλο λαμβάνει υπόψη την αιολική και ηλιακή παραγωγή ενέργειας, οι οποίες είναι επίσης συγκεντρωμένες στην Περιφέρεια Ανατολικής Μακεδονίας και Θράκης. Επιπλέον, προσομοιώνονται πολιτικές ενίσχυσης των ανανεώσιμων πηγών, όπως η αύξηση της παραγωγής αιολικής ενέργειας, ώστε να αξιολογηθεί ο αντίκτυπός τους στη συνολική παραγωγή ενέργειας. Το μοντέλο διακρίνει σενάρια με και χωρίς πολιτικές παρεμβάσεις, επιτρέποντας λεπτομερείς συγκρίσεις της παραγωγής ενέργειας υπό διαφορετικές συνθήκες. Οι συμβατικές και ανανεώσιμες πηγές συμβάλλουν από κοινού στη συνολική ενεργειακή προσφορά, η οποία αποτελεί βασική προϋπόθεση στην συνολική ενεργειακή ισορροπία. Αν και η παραγωγή ενέργειας προσομοιώνεται ως τοπική, στην πραγματικότητα τροφοδοτεί το εθνικό ενεργειακό δίκτυο. Ως εκ τούτου, η σύγκριση της τοπικής παραγωγής με την τοπική κατανάλωση βασίζεται σε υπόθεση και όχι σε αυστηρά τοπική ενεργειακή λογιστική.

5.2.2.2 Κατανάλωση Ενέργειας

Η ενεργειακή ζήτηση στην υπολεκάνη καθορίζεται από δύο βασικούς τομείς:

1. Οικιακή κατανάλωση ενέργειας
2. Γεωργική κατανάλωση ενέργειας

Η κατανάλωση ενέργειας στον οικιακό τομέα συνδέεται άμεσα με τον πληθυσμό της υπολεκάνης, ο οποίος κατανέμεται στις διάφορες υπολεκάνες.

Το μοντέλο υπολογίζει τη συνολική οικιακή κατανάλωση ενέργειας πολλαπλασιάζοντας την κατά κεφαλήν κατανάλωση με τον συνολικό πληθυσμό. Αυτή η

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 11:28:09 EEST - 216.73.216.250

προσέγγιση δείχνει πώς οι δημογραφικές μεταβολές (αύξηση ή μείωση πληθυσμού) επηρεάζουν τη ζήτηση ενέργειας.

Ο τύπος που χρησιμοποιείται στο μοντέλο είναι:

$$E_{οικιακή} = P_{ολικό} * E_{κατα_κεφαλήν} \quad (4.4)$$

Όπου:

- $E_{οικιακή}$: Συνολική οικιακή κατανάλωση ενέργειας (π.χ., kWh/μήνα)
- $P_{ολικό}$: Συνολικός πληθυσμός της υπολεκάνης (π.χ., άθροισμα πληθυσμών W930, W1080 κ.λπ.)
- $E_{κατα\ κεφαλήν}$: Κατά κεφαλήν κατανάλωση ενέργειας (π.χ., kWh/άτομο/μήνα)

Η γεωργική κατανάλωση ενέργειας καθορίζεται από την έκταση των καλλιεργειών στην υπολεκάνη. Το μοντέλο υπολογίζει την κατανάλωση ενέργειας στον γεωργικό τομέα λαμβάνοντας υπόψη τη συνολική καλλιεργούμενη έκταση, που περιλαμβάνει τα χωράφια εντός της λεκάνης του ποταμού.

Ο τύπος που χρησιμοποιείται είναι:

$$E_{καλλιέργειας} = \sum_{i=1}^{n} \left(A_i * E_{ανα\ περιοχή,} i \right) \quad (4.5)$$

Όπου:

- $E_{καλλιέργειας}$: Συνολική γεωργική κατανάλωση ενέργειας (kWh/μήνα)
- A_i: Καλλιεργούμενη έκταση για την καλλιέργεια i (m^2)
- $E_{ανα\ περιοχή,} i$: Κατανάλωση ενέργειας ανά μονάδα έκτασης για την καλλιέργεια i (kWh/m^2/μήνα)
- n: Αριθμός διαφορετικών τύπων καλλιεργειών στην περιοχή

Η συνολική κατανάλωση ενέργειας προκύπτει ως το άθροισμα της οικιακής και γεωργικής χρήσης, προσφέροντας μια ολοκληρωμένη εικόνα των ενεργειακών αναγκών στην υπολεκάνη.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 11:28:09 EEST - 216.73.216.250

Το μοντέλο, ενσωματώνοντας τις δημογραφικές τάσεις και τις γεωργικές δραστηριότητες, καταγράφει τους βασικούς παράγοντες που επηρεάζουν την ενεργειακή κατανάλωση.

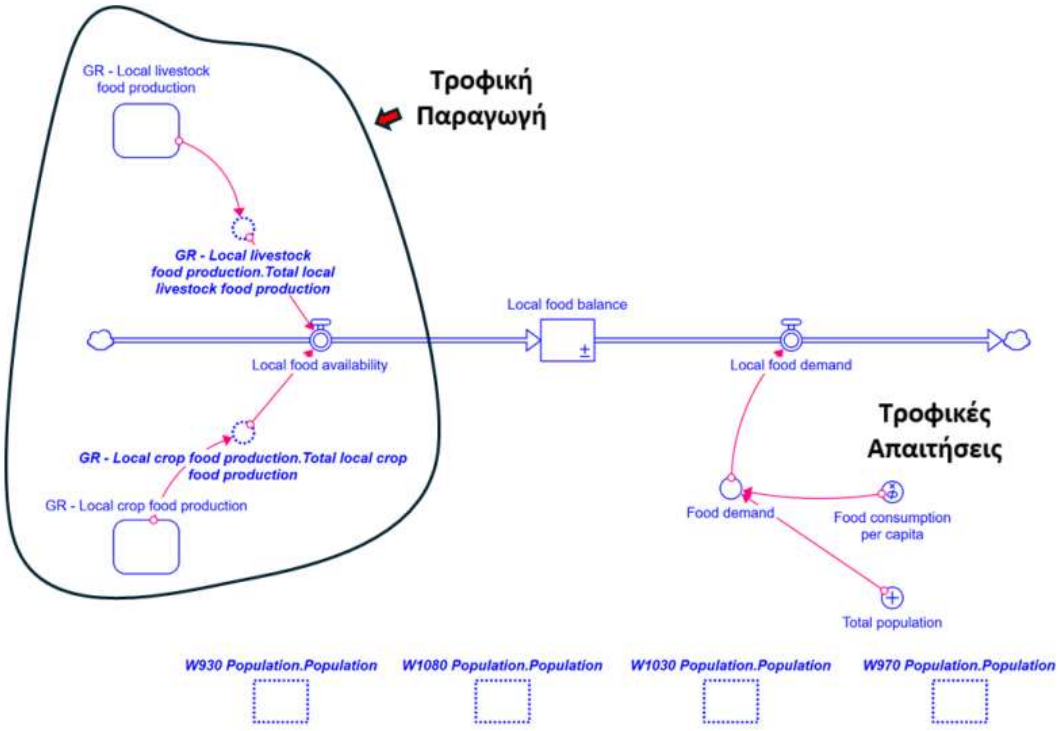
5.2.2.3 Ενεργειακό Ισοζύγιο

Το ενεργειακό ισοζύγιο εκφράζει τη διαφορά μεταξύ της προσφοράς και της κατανάλωσης ενέργειας. Είναι το σύνολο της προσφοράς ενέργειας μείον την ολική ενέργεια κατανάλωσης. Αν το αποτέλεσμα είναι θετικό, σημαίνει ότι υπάρχει ενεργειακό πλεόνασμα, το οποίο θεωρητικά μπορεί να καλύψει τις τοπικές ανάγκες. Αν το αποτέλεσμα είναι αρνητικό, σημαίνει ότι υπάρχει έλλειμμα ενέργειας, το οποίο απαιτεί είτε πρόσθετες εισαγωγές ενέργειας είτε πολιτικές προσαρμογές. Ωστόσο, πρέπει να σημειωθεί ότι η παραγωγή ενέργειας που μοντελοποιείται εδώ είναι ενσωματωμένη στο εθνικό ενεργειακό δίκτυο. Έτσι, η άμεση σύγκριση μεταξύ τοπικής παραγωγής και τοπικής κατανάλωσης δεν αντικατοπτρίζει την πραγματική κατανομή της ενέργειας, αλλά χρησιμεύει ως πλαίσιο ανάλυσης για την περιφερειακή ενεργειακή βιωσιμότητα.

5.2.3 Μοντελοποίηση της συνιστώσας των τροφίμων

Η ενότητα τροφίμων έχει σχεδιαστεί για να προσομοιώνει τη δυναμική της παραγωγής τροφίμων, της ζήτησης τροφίμων και του επισιτιστικού ισοζυγίου στην Ελλάδα και τη Βουλγαρία (Εικόνα 5.7). Το μοντέλο ενσωματώνει τη γεωργική και κτηνοτροφική παραγωγή και την κατανάλωση τροφίμων ανάλογα με τον πληθυσμό, έτσι ώστε να αξιολογηθεί αν η τοπική παραγωγή τροφίμων μπορεί να καλύψει τη ζήτηση. Το μοντέλο υπολογίζει τη συνολική παραγωγή τροφίμων (καλλιέργειες + κτηνοτροφία), τη συνολική ζήτηση τροφίμων και αξιολογεί την ισορροπία μεταξύ προσφοράς και ζήτησης, ώστε να προσδιορίσει αν υπάρχει επαρκής διατροφική αυτάρκεια ή ανάγκη για εισαγωγές τροφίμων.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 11:28:09 EEST - 216.73.216.250



Εικόνα 5.7: Απεικόνιση της δυναμικής της παραγωγής και ζήτησης τροφίμων μαζί με επισιτιστικό ισοζύγιο στην υπολεκάνη W830

Πηγή: (https://nexogenesis.eu/downloads)

Η συνολική παραγωγή τροφίμων είναι το άθροισμα της φυτικής και της κτηνοτροφικής παραγωγής:

$$FP_{ολικό} = FP_{γεωργίας} + FP_{κτηνοτροφείας} \quad (4.6)$$

Όπου:

- $FP_{ολικό}$: Συνολική παραγωγή τροφίμων (kg)

5.2.3.1 Φυτική Παραγωγή Τροφίμων

Η φυτική παραγωγή υπολογίζεται με βάση την καλλιεργούμενη έκταση και την απόδοση ανά μονάδα έκτασης, ο υπολογισμός προσθέτει την παραγωγή τροφής από όλα τα είδη καλλιέργειας λαμβάνοντας υπόψιν τις αποδόσεις αλλά και της καλλιεργημένες εκτάσεις κάθε είδους.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 11:28:09 EEST - 216.73.216.250

$$FP_{καλλιέργειας} = \sum_{i=1}^{n} (A_i * Y_i) \quad (4.7)$$

Όπου:

- $FP_{καλλιέργειας}$: Συνολική φυτική παραγωγή (kg)
- A_i: Καλλιεργούμενη έκταση της καλλιέργειας i (m²)
- Y_i: Απόδοση ανά μονάδα έκτασης για την καλλιέργεια i (kg/m²)
- n: Συνολικός αριθμός καλλιεργειών στην Ελλάδα και/ή Βουλγαρία

5.2.3.2 Κτηνοτροφική Παραγωγή Τροφίμων

Η κτηνοτροφική παραγωγή εξαρτάται από τον πληθυσμό των ζώων και την απόδοση ανά ζώο:

$$FP_{κτηνοτροφείας} = \sum_{j=1}^{m} (P_j * Y_j) \quad (4.8)$$

Όπου:

- $FP_{κτηνοτροφείας}$: Συνολική κτηνοτροφική παραγωγή (kg)
- P_j: Πληθυσμός του ζωικού είδους j (κεφαλές)
- Y_j: Παραγωγή τροφίμων ανά ζώο του είδους j (kg/κεφαλή)
- m: Συνολικός αριθμός ζωικών ειδών στην υπολεκάνη

5.2.3.3 Ζήτηση Τροφίμων

Η ζήτηση τροφίμων αντιπροσωπεύει την ποσότητα τροφίμων που απαιτείται για να καλυφθούν οι διατροφικές ανάγκες του πληθυσμού της υπολεκάνης, ο παρακάτω τύπος υπολογίζει το σύνολο της τροφής που χρειάζεται σύμφωνα με τις επισιτιστικές ανάγκες όλων των κατοίκων της περιοχής.

$$FD_{τοπικό} = P_{ολικό} * FC_{κατα_κεφαλήν} \quad (4.9)$$

Όπου:

- $FD_{τοπικό}$: Τοπική ζήτηση τροφίμων (kg)

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 11:28:09 EEST - 216.73.216.250

- $P_{ολικό}$: Συνολικός πληθυσμός της υπολεκάνης
- $FC_{κατα_κεφαλήν}$: Κατά κεφαλήν κατανάλωση τροφίμων (kg/άτομο)

5.2.3.4 Ισοζύγιο Τροφίμων

Το ισοζύγιο τροφίμων εκφράζει τη διαφορά μεταξύ παραγωγής και ζήτησης:

$$FB_{τοπικό} = FP_{ολικό} - FD_{τοπικό} \quad (4.10)$$

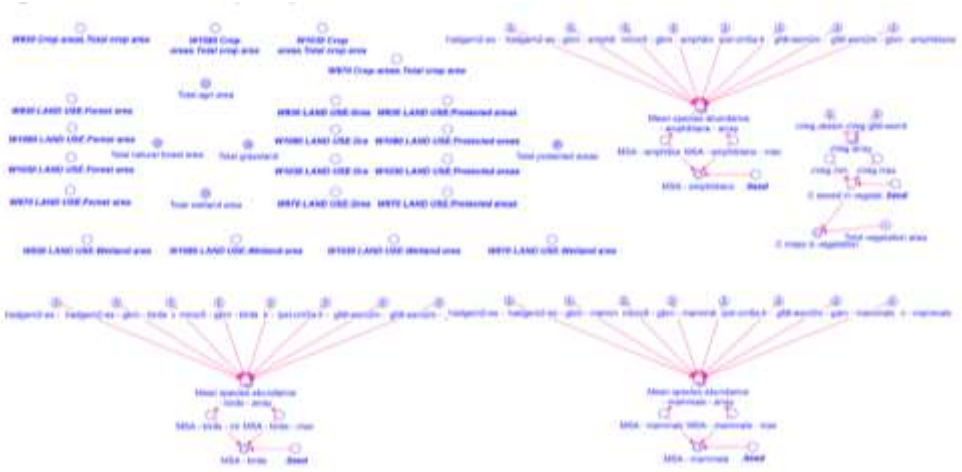
Όπου:

- $FB_{τοπικό}$: Τοπικό ισοζύγιο τροφίμων (kg)

Θετικό ισοζύγιο σημαίνει πλεόνασμα τροφίμων που μπορεί να εξαχθεί ή να αποθηκευτεί. Αρνητικό ισοζύγιο σημαίνει έλλειμμα τροφίμων, το οποίο απαιτεί εισαγωγές ή άλλες προσαρμογές για την κάλυψη των διατροφικών αναγκών. Το μοντέλο τροφίμων συνδέει την παραγωγή και τη ζήτηση τροφίμων με την ικανότητα της υπολεκάνης να καλύψει τις διατροφικές της ανάγκες τοπικά**.**

5.2.4 Μοντελοποίηση της συνιστώσας του οικοσυστήματος

Το τμήμα που αφορά το οικοσύστημα αναλύει την δυναμική σχέση μεταξύ της χρήσης γης, της βιοποικιλότητας και της αποθήκευσης άνθρακα προσφέροντας μια ξεκάθαρη οπτική στις σχέσεις αλληλεξάρτησης τους αλλά και την σημαντικότητά τους.



Εικόνα 5.8 Απεικόνιση του οικοσυστήματος
Πηγή: (https://nexogenesis.eu/downloads)

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 11:28:09 EEST - 216.73.216.250

5.2.4.1 Κατηγορίες Χρήσεων Γης

Το μοντέλο οικοσυστήματος λαμβάνει υπόψη διαφορετικές κατηγορίες γης που επηρεάζουν την οικολογική ισορροπία:

- Γεωργικές εκτάσεις – Αλληλεπίδραση παραγωγής τροφίμων & οικολογικής διατήρησης
- Δασικές εκτάσεις – Ρόλος ως δεξαμενές άνθρακα και καταφύγια βιοποικιλότητας
- Υγρότοποι – Υποστήριξη του υδρολογικού κύκλου και δέσμευση άνθρακα
- Λιβάδια – Συνεισφορά στη βιοποικιλότητα και την αποθήκευση άνθρακα
- Προστατευόμενες περιοχές – Διατήρηση της βιοποικιλότητας και των οικοσυστημικών υπηρεσιών

5.2.4.2 Δείκτες Βιοποικιλότητας

Το μοντέλο χρησιμοποιεί την Μέση Αφθονία Ειδών (MSA) ως μέτρο της βιοποικιλότητας, αξιολογώντας:

- Αμφίβια (ευαίσθητα σε αλλαγές στο περιβάλλον)
- Πουλιά (αντανάκλαση της υγείας των οικοσυστημάτων)
- Θηλαστικά (σταθερότητα χερσαίων οικοσυστημάτων)

Η αλλαγή χρήσης γης επηρεάζει την ποικιλία και τον πληθυσμό των ειδών, επιτρέποντας την εκτίμηση της επίδρασης περιβαλλοντικών πολιτικών.

5.2.4.3 Αποθήκευση Άνθρακα στη Βλάστηση

Το μοντέλο ποσοτικοποιεί τη βιομάζα άνθρακα που αποθηκεύεται στη βλάστηση:

- Δάση – Κύριες δεξαμενές άνθρακα
- Λιβάδια & Υγρότοποι – Συμβολή στη δέσμευση CO_2

Η αποθήκευση άνθρακα επηρεάζεται από:

- Αλλαγές στη χρήση γης
- Κλιματικές συνθήκες

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 11:28:09 EEST - 216.73.216.250

Το μοντέλο οικοσυστήματος αναλύει τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ χρήσης γης, βιοποικιλότητας και κλιματικών παραμέτρων, διευκολύνοντας την εκτίμηση της οικολογικής ανθεκτικότητας.

5.2.4.4 Ολοκληρωμένη Ανάλυση Οικοσυστήματος

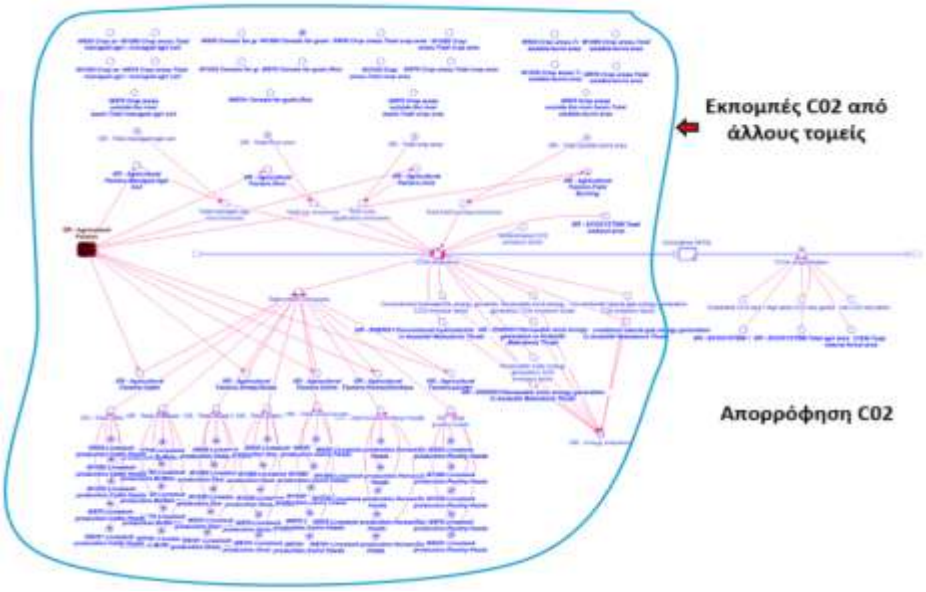
Συνδυάζοντας τις κατηγορίες χρήσης γης, τους δείκτες βιοποικιλότητας και τις μετρήσεις αποθήκευσης άνθρακα, η ενότητα του οικοσυστήματος επιτρέπει μια ολιστική αξιολόγηση της λειτουργικότητας και της ανθεκτικότητας του. Παρέχει πληροφορίες σχετικά με:

- Τον αντίκτυπο των αλλαγών στη χρήση γης στη βιοποικιλότητα και τη δέσμευση άνθρακα.
- Τις ανταλλαγές (trade-offs) μεταξύ της γεωργικής επέκτασης και της διατήρησης των οικοσυστημάτων.
- Τον ρόλο των προστατευόμενων περιοχών στη διατήρηση της βιοποικιλότητας και στη διατήρηση των οικοσυστημικών υπηρεσιών.
- Τον αντίκτυπο των Σεναρίων Αντιπροσωπευτικής Συγκέντρωσης (RCPs) και των Κοινών Κοινωνικοοικονομικών Διαδρομών (SSPs) στις μελλοντικές συνθήκες που επηρεάζουν τα οικοσυστήματα.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 11:28:09 EEST - 216.73.216.250

5.2.5 Μοντελοποίηση της συνιστώσας του κλίματος

Η ενότητα του κλίματος στο Δυναμικό Μοντέλο του Συστήματος (System Dynamics Model – SDM) ποσοτικοποιεί τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα σε ισοδύναμο CO_2 (CO_2e) και τη δέσμευση CO_2, παρέχοντας ένα καθαρό ισοζύγιο αερίων του θερμοκηπίου για την περιοχή. Οι εκπομπές προέρχονται από τον γεωργικό τομέα (εκπομπές από διαχειριζόμενα εδάφη, καλλιέργεια ρυζιού, καύση αγρών), από τις υγροτοπικές περιοχές, από την κτηνοτροφία (π.χ. βοοειδή, πρόβατα, κατσίκες) και από τον ενεργειακό τομέα (παραγωγή ενέργειας από συμβατικές και ανανεώσιμες πηγές).Αυτές οι εκπομπές αντισταθμίζονται από τη δέσμευση CO_2 που πραγματοποιείται σε λιβάδια, γεωργικές εκτάσεις και δάση, τα οποία λειτουργούν ως φυσικές δεξαμενές άνθρακα.



Εικόνα 5.9: Απεικόνιση της δυναμικής εκπομπών και απορρόφησης $C0_2$

Πηγή: (https://nexogenesis.eu/downloads)

Το καθαρό ισοζύγιο CO_2 υπολογίζεται ως εξής:

$$Καθαρό\ Ισοζύγιο\ CO_2 = Ολικές\ Εκπομπές\ CO_2 - Συνολική\ Αφομίωση\ CO_2 \quad (4.11)$$

Ένα θετικό ισοζύγιο υποδηλώνει καθαρές εκπομπές, οι οποίες συμβάλλουν στην αύξηση του CO_2 στην ατμόσφαιρα, ενώ ένα αρνητικό ισοζύγιο σημαίνει ότι η περιοχή λειτουργεί ως καθαρός απορροφητής άνθρακα, υποστηρίζοντας τη μείωση των επιπτώσεων στην κλιματική αλλαγή. Ενσωματώνοντας τις ροές εκπομπών και δέσμευσης CO_2, η ενότητα αυτή αξιολογεί τη σύνδεση μεταξύ της χρήσης γης, της παραγωγής ενέργειας και της δυναμικής του οικοσυστήματος, παρέχοντας πληροφορίες για τον κλιματικό αντίκτυπο της περιοχής.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 11:28:09 EEST - 216.73.216.250

Επιπλέον, επιτρέπει την ανάλυση διαφόρων σεναρίων πολιτικής, όπως η μετάβαση σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, η ενίσχυση της διατήρησης των δασών και των λιβαδιών, καθώς και η βελτίωση των γεωργικών πρακτικών. Η ενότητα του κλίματος αποτελεί ένα κρίσιμο εργαλείο για τον σχεδιασμό βιώσιμων στρατηγικών και την επίτευξη της κλιματικής ουδετερότητας.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 11:28:09 EEST - 216.73.216.250

6 Εφαρμογή Πολιτικών Σεναρίων

6.1 Ανάλυση Πολιτικών

Η εφαρμογή στοχευμένων πολιτικών στο πλαίσιο του WEFE Nexus αποτελεί καθοριστικό παράγοντα για τη βελτίωση της αποδοτικότητας των πόρων και τη μείωση των περιβαλλοντικών πιέσεων. Οι πολιτικές αυτές αποσκοπούν στη βελτιστοποίηση της χρήσης νερού, τη μείωση εκπομπών, την ενίσχυση της αγροτικής παραγωγικότητας και την διατήρηση του οικοσυστήματος, με ταυτόχρονη προσαρμογή στις μεταβαλλόμενες κλιματικές συνθήκες. Στην ενότητα που ακολουθεί εξετάζεται η συνεισφορά των εφαρμοζόμενων πολιτικών στα τέσσερα βασικά τμήματα του Nexus – νερό, ενέργεια, τροφή, οικοσύστημα – αναλύονται οι υποθέσεις που πρέπει να παρθούν και περιγράφονται οι μέθοδοι εφαρμογής τους. Μέσα από τη σύγκριση των σεναρίων με και χωρίς πολιτικές, αναδεικνύεται ο βαθμός αποτελεσματικότητας των μέτρων και η συνολική τους επίδραση στη βιωσιμότητα των υπό εξέταση συστημάτων.

6.1.1 Πολιτική 1η - Αλλαγή συστημάτων άρδευσης

Η πολιτική αφορά τον τομέα του νερού και στοχεύει στην αντικατάσταση των παλιών συστημάτων άρδευσης (αυλάκια, καταιονισμός) με πιο αποδοτικά (στάγδην) τα οποία επικεντρώνονται στον απαραίτητο χώρο ποτίσματος χωρίς σπατάλες, ώστε να μειωθεί η ζήτηση νερού. Οι υποθέσεις που πρέπει να γίνουν έτσι ώστε να γίνει σωστή μοντελοποίηση της πολιτικής θα αφορούν την ζήτηση του νερού για άρδευση, η οποία θα μειωθεί λόγω του περιορισμού των απωλειών που προκαλούνται από τα υφιστάμενα αρδευτικά συστήματα. Η εφαρμογή της πολιτικής θα πραγματοποιηθεί σε ολόκληρη τη λεκάνη τμηματικά στην διάρκεια 2015-2050. Στην ελληνική υπολεκάνη ο στόχος είναι το ποσοστό του 5% να φτάσει στο 35% και στην βουλγαρική το 7% στο 49% μέχρι το 2050. Η αλλαγή αυτή θα γίνεται σταδιακά μέσα στην αναφερόμενη 35ετία και υπάρχει η δυνατότητα τα ποσοστά να αυξηθούν μέχρι το έτος στόχος αν υπάρξει η πολιτική βούληση και η προθυμία των πολιτών για αλλαγή. Η υπόθεση είναι ότι η μετάβαση σε βελτιωμένα συστήματα θα μειώσει τις απώλειες νερού και θα επιτρέψει πιο ορθολογική διαχείριση. Η χρηματοδότηση μπορεί να γίνει από το Ευρωπαϊκό Ταμείο Εγγυήσεων Γεωργίας είτε το Ευρωπαϊκό Γεωργικό Ταμείο Αγροτικής Ανάπτυξης.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 11:28:09 EEST - 216.73.216.250

6.1.2 Πολιτική 2η – Αντικατάσταση αρδευτικών καναλιών

Η συγκεκριμένη πολιτική στοχεύει και αυτή στον τομέα του νερού. Πιο συγκεκριμένα στην αντικατάσταση των παλιών αρδευτικών καναλιών (ανοιχτούς αγωγούς), που μεταφέρουν νερό στους καλλιεργητές, με κλειστούς αγωγούς, για να μειωθούν οι απώλειες από διαρροές και εξάτμιση. Η εφαρμογή αφορά ολόκληρη τη λεκάνη, στοχεύοντας στην μείωση του ποσοστού των απωλειών από 10% σε 5% στην χρονική διάρκεια 2025-2050. Οι υποθέσεις αφορούν την εγγυημένη μεταφορά των πόρων χωρίς απώλειες και την διασφάλιση αποφυγής υγειονομικών προβλημάτων που εν δυνάμει μπορούν να εκδηλωθούν με την χρήση ανοιχτών αγωγών. Η χρηματοδότηση μπορεί να γίνει από το Ευρωπαϊκό Ταμείο Εγγυήσεων Γεωργίας είτε το Ευρωπαϊκό Γεωργικό Ταμείο Αγροτικής Ανάπτυξης.

6.1.3 Πολιτική 3η – Αναδασώσεις

Η πολιτική εστιάζει στην αναδάσωση και την αποκατάσταση των δασικών εκτάσεων, με στόχο τη βελτίωση των οικοσυστημάτων και την ενίσχυση της βιοποικιλότητας. Στην πράξη, η πολιτική συμβάλλει στην προστασία του εδάφους από διάβρωση, στη ρύθμιση των υδάτων και στη δέσμευση διοξειδίου του άνθρακα. Η εφαρμογή είναι σε επίπεδο ολόκληρης της λεκάνης και η μέθοδος βασίζεται στην αύξηση των δασικών εκτάσεων από 5% σε 10% με αντίστοιχη μείωση των χορτολιβαδικών εκτάσεων. Οι υποθέσεις εστιάζουν στις εκτάσεις δασών σε σχέση με τα λιβάδια και καμένες ή ανεκμετάλλευτες περιοχές. Πιθανή χρηματοδότηση από εθνικά ταμεία ή ταμεία της ΕΕ, όπως το NextGeneration EU.

6.1.4 Πολιτική 4η – Μείωση ηλεκτρικής ενέργειας από συμβατικές πηγές

Η πολιτική αφορά την απεξάρτηση της Ελλάδας και της Βουλγαρίας από συμβατικές πηγές (όπως λιγνίτης και πετρέλαιο) με την αύξηση της παραγωγής από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Στόχος είναι η μείωση εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και η προώθηση μιας πιο βιώσιμης ενεργειακής μετάβασης. Η μέθοδος αφορά και τις δύο χώρες και η υλοποίηση της προβλέπεται μέσω της σταδιακής αντικατάστασης του 20% της ηλεκτροπαραγωγής με ανανεώσιμες πηγές μέχρι το 2030 και την αντικατάσταση του 20%-60% του εναπομείναντος ποσοστού μέχρι το 2050. Οι ηλεκτρικές απαιτήσεις των χωρών θα καλύπτονται ισόποσα από αιολική ενέργεια (ανεμογεννήτριες) και ηλιακή ενέργεια (ηλιακά πάνελ). Η πολιτική μπορεί να χρηματοδοτηθεί από ευρωπαϊκά και εθνικά προγράμματα στήριξης της πράσινης ενέργειας.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 11:28:09 EEST - 216.73.216.250

Πίνακας 6.1: Συνοπτικός Πίνακας των πολιτικών

ID	Τομέας που εφαρμό-ζεται η πολιτική	Μέσο πολιτικής	Κλίμακα εφαρμογής (ολόκληρη λεκάνη απορροής ή υπολεκάνη)	Υποθέσεις που πρέπει να γίνουν για την μετατροπή της πολιτικής στο μοντέλο	Μέθοδος εφαρμογής της πολιτικής	Διάρκεια εφαρμογής
1	Νερό	Αλλαγή των συστημάτων άρδευσης (αυλάκια, ψεκαστήρες)	Ολόκληρη την λεκάνη	Υποθέσεις σχετικά με τη ζήτηση νερού για άρδευση λόγω της μείωσης των απωλειών νερού από την αλλαγή των συστημάτων άρδευσης	Αλλαγή του αυλακωτού ποτίσματος (μείωση του ποσοστού) σε στάγδην άρδευση (αύξηση του ποσοστού) από 5% σε 35% από το 2015 έως το 2050 (υπολεκάνη απορροής GR) Αλλαγή του αυλακωτού ποτίσματος (μείωση του ποσοστού) σε στάγδην άρδευση (αύξηση του ποσοστού) από 7% σε 49% από το 2015 έως το 2050 (υπολεκάνη της Βουλγαρίας)	2015-2050
2	Νερό	Αντικατάσταση των ανοιχτών αρδευτικών καναλιών που μεταφέρουν νερό από τον ποταμό στις καλλιέργειες με κλειστούς αγωγούς	Ολόκληρη την λεκάνη	Υποθέσεις σχετικά με τις τρέχουσες και μελλοντικές απώλειες νερού στη γεωργία	Από 10% (τρέχον καθεστώς απωλειών λόγω της ύπαρξης ανοιχτών καναλιών) σε 5% απώλειες λόγω της αντικατάστασης των ανοιχτών καναλιών με κλειστούς αγωγούς από το 2025 έως το 2050	2020-2050
3	Οικο-σύστημα	Αναδάσωση	Ολόκληρη την λεκάνη	Υποθέσεις σχετικά με την έκταση των δασών και των λιβαδιών	Αύξηση 5%-10% της δασικής έκτασης και αντίστοιχη μείωση των λιβαδιών από το 2020 έως το 2050	
4	Ενέργεια	Μείωση της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από συμβατικές πηγές ενέργειας και αύξηση της ενέργειας που παράγεται από ανανεώσιμες πηγές στο ελληνικό τμήμα	Ελλάδα/ Βουλγαρία	Υποθέσεις σχετικά με την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές και την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από συμβατικές πηγές ενέργειας.	Μείωση κατά 20% της συμβατικής παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και αντίστοιχη αύξηση της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από ανανεώσιμες πηγές από το 2015 έως το 2030 . Μείωση κατά 20%-60% της συμβατικής.	2020-2050

6.2 Παρουσίαση και Σχολιασμός Αποτελεσμάτων

Η αλληλεξάρτηση μεταξύ νερού, ενέργειας, τροφής και οικοσυστήματος αποτελεί έναν από τους κεντρικούς άξονες της βιώσιμης ανάπτυξης και της ανθεκτικότητας των συστημάτων υπό τις συνθήκες της κλιματικής αλλαγής. Στη συνέχεια αναλύεται η λειτουργία του Water-Energy-Food-Ecosystem (WEFE Nexus) για την Ελλάδα (GR) και τη Βουλγαρία (BG), οι οποίες, αν

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 11:28:09 EEST - 216.73.216.250

και διαφέρουν ως προς τη γεωμορφολογία, το ενεργειακό τους μείγμα και το αγροτικό τους προφίλ, αντιμετωπίζουν παρόμοιες προκλήσεις όσον αφορά τη διαχείριση των φυσικών πόρων, τη διατροφική ασφάλεια, τη μετάβαση σε βιώσιμα ενεργειακά μοντέλα και την διατήρηση της βιοποικιλότητας.

Η ανάλυση βασίζεται σε δύο συνδυασμένα σενάρια κλιματικής και κοινωνικοοικονομικής εξέλιξης, πιο αναλυτικά βλέπε 5.1.1:

- RCP2.6–SSP2: αντιπροσωπεύει μια πορεία χαμηλών εκπομπών και μέτριας κοινωνικοοικονομικής ανάπτυξης, όπου υιοθετούνται περιβαλλοντικές πολιτικές και προσαρμοστικά μέτρα.
- RCP8.5–SSP2: αντιστοιχεί σε ένα δυσμενές σενάριο υψηλών εκπομπών, έντονης κλιματικής πίεσης και αυξημένης ανισότητας στην πρόσβαση στους πόρους.

Στο πλαίσιο αυτό, τα διαγράμματα που ακολουθούν αποτυπώνουν:

- Τη σχέση μεταξύ διαθεσιμότητας και ζήτησης νερού, τόσο υπό συνθήκες χωρίς πολιτικές, όσο και με την εφαρμογή προσαρμοστικών πολιτικών (π.χ. μείωση υδατικών απωλειών, τεχνολογίες εξοικονόμησης).
- Την ισορροπία μεταξύ παραγωγής και κατανάλωσης τροφής, η οποία αντικατοπτρίζει τον ρόλο της γεωργικής παραγωγικότητας, των εισαγωγών και της διαχείρισης φυσικών πόρων.
- Το ενεργειακό ισοζύγιο, δηλαδή τη συσχέτιση μεταξύ παραγωγής και κατανάλωσης ενέργειας, με έμφαση στη διαφοροποίηση των ενεργειακών πηγών και όχι απαραίτητα στην ποσότητα παραγωγής.
- Τις εκπομπές CO_2e και την απορρόφηση τους πριν και μετά την στροφή προς τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας
- Την μέση αφθονία ειδών, συγκεκριμένα, αμφίβια, χερσαία και πτηνά ανάλογα με τις διαφορές που προκύπτουν από τα δυο κλιματικά σενάρια.

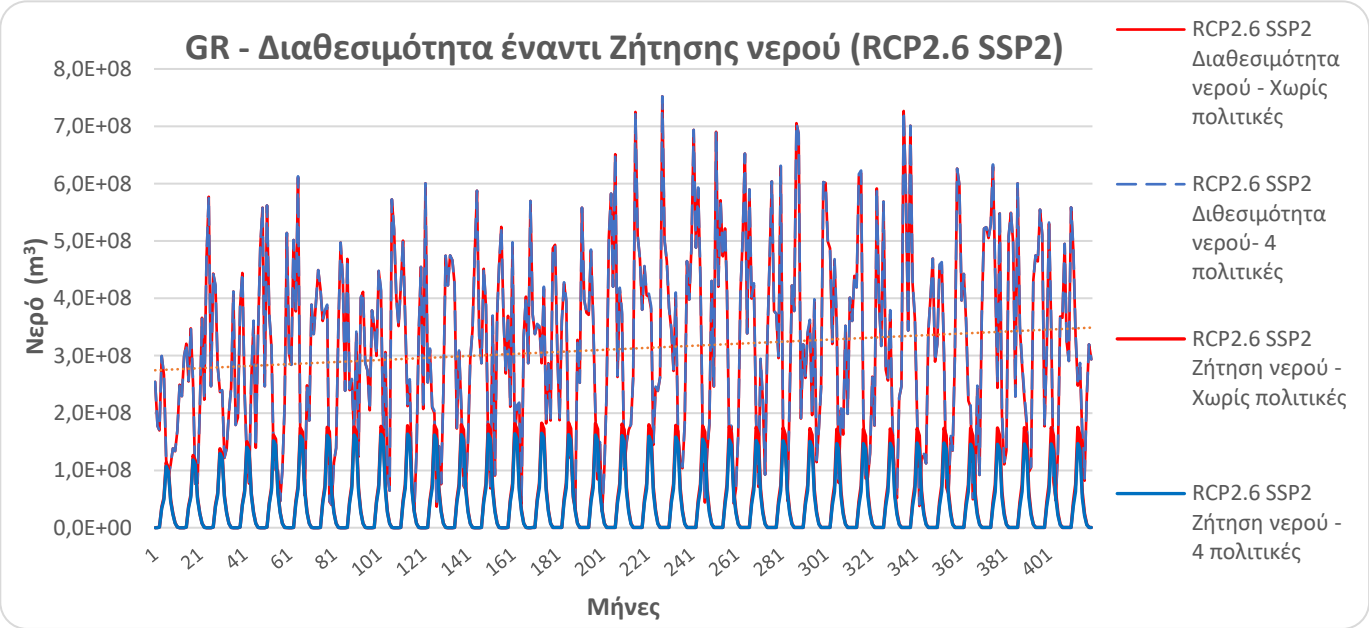
Η ανάλυση των δεδομένων επιτρέπει την εκτίμηση της αποτελεσματικότητας των πολιτικών προσαρμογής και την ποσοτική αξιολόγηση των απωλειών που μειώνονται με την εφαρμογή αυτών των πολιτικών, καθώς και τη διαμόρφωση προτάσεων για τη βιώσιμη διαχείριση σε περιφερειακό επίπεδο.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 11:28:09 EEST - 216.73.216.250

6.2.1 Νερό

6.2.1.1 Διαγράμματα

1. Ελληνική υπολεκάνη (RCP2.6/SSP2)



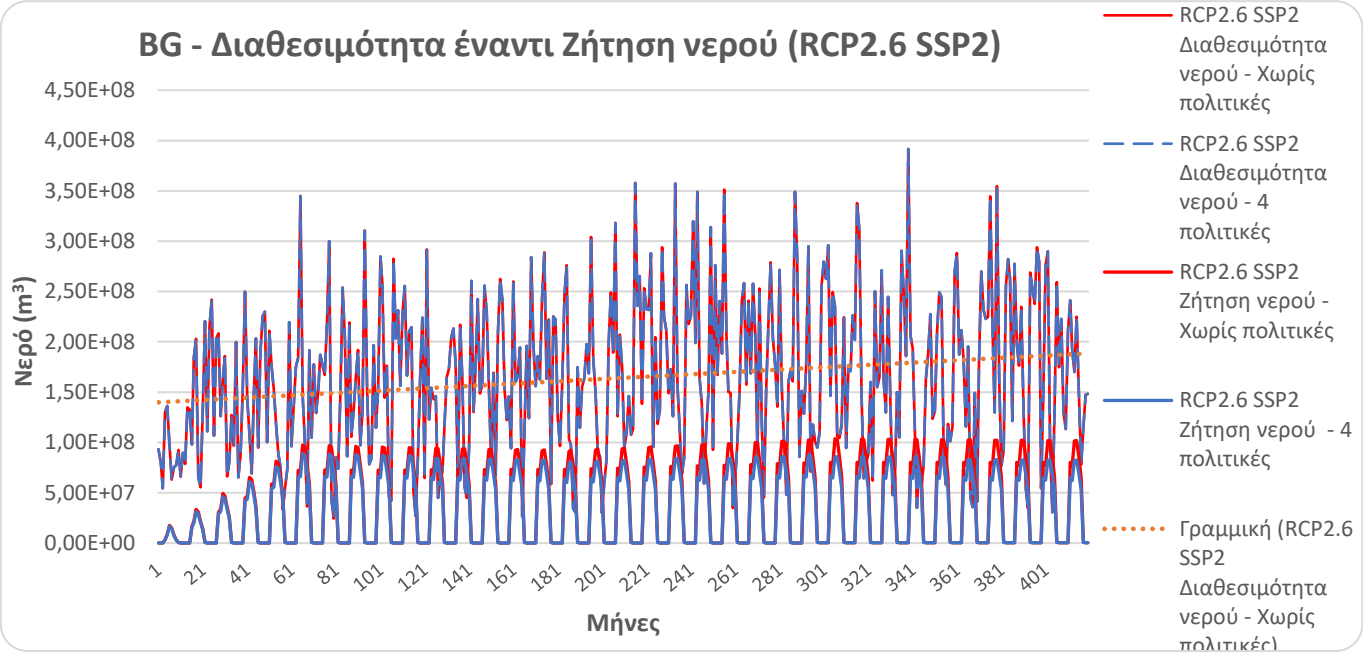
Εικόνα 6.1: Διάγραμμα διαθεσιμότητας και ζήτησης για το ευμενές σενάριο (RCP2.6/SSP2) στην ελληνική υπολεκάνη

- Οι καμπύλες δείχνουν έντονες περιοδικές ταλαντώσεις (αιχμές), που αντιστοιχούν σε εποχιακές μεταβολές διαθεσιμότητας και ζήτησης.
- Η διαθεσιμότητα (κόκκινη γραμμή) έχει αιχμές που φτάνουν μέχρι και τα 750 εκατομμύρια κυβικά τους χειμερινούς μήνες τα οποία πέφτουν κάτω από 100 τους καλοκαιρινούς σε σημεία χαμηλότερα των απαιτήσεων.
- Η ζήτηση (κόκκινη στο κάτω μέρος) είναι πιο σταθερή, αλλά αυξάνεται σε καλοκαιρινές περιόδους και σχεδόν κάθε χρόνο ξεπερνάει την διαθεσιμότητα.
- Οι γραμμές που αφορούν την εφαρμογή πολιτικών (διακεκομμένη και συνεχόμενη μπλε γραμμή), παρουσιάζουν θετικά αποτελέσματα καθώς η γραμμή της ζήτησης χαμηλώνει σε σχέση με την κόκκινη και η διαθεσιμότητα έχει ομαλότερη διακύμανση, κάτι που σημαίνει πιο αποδοτική διαχείριση νερού.
- Η γραμμική τάση (πορτοκαλί διακεκομμένη) φαίνεται ελαφρά ανοδική, δείχνοντας σταδιακή αύξηση της διαθέσιμης ποσότητας νερού με τον χρόνο.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 11:28:09 EEST - 216.73.216.250

Στο πιο "αισιόδοξο" σενάριο, η Ελλάδα εξακολουθεί να παρουσιάζει εποχιακές ελλείψεις, και αστάθεια στη διαθεσιμότητα, ωστόσο η εφαρμογή πολιτικών φαίνεται να ευνοεί την αποδοτικότερη διαχείριση των υδατικών αναγκών μέσω της μείωσης των απωλειών.

2. Βουλγαρική υπολεκάνη (RCP2.6/SSP2)



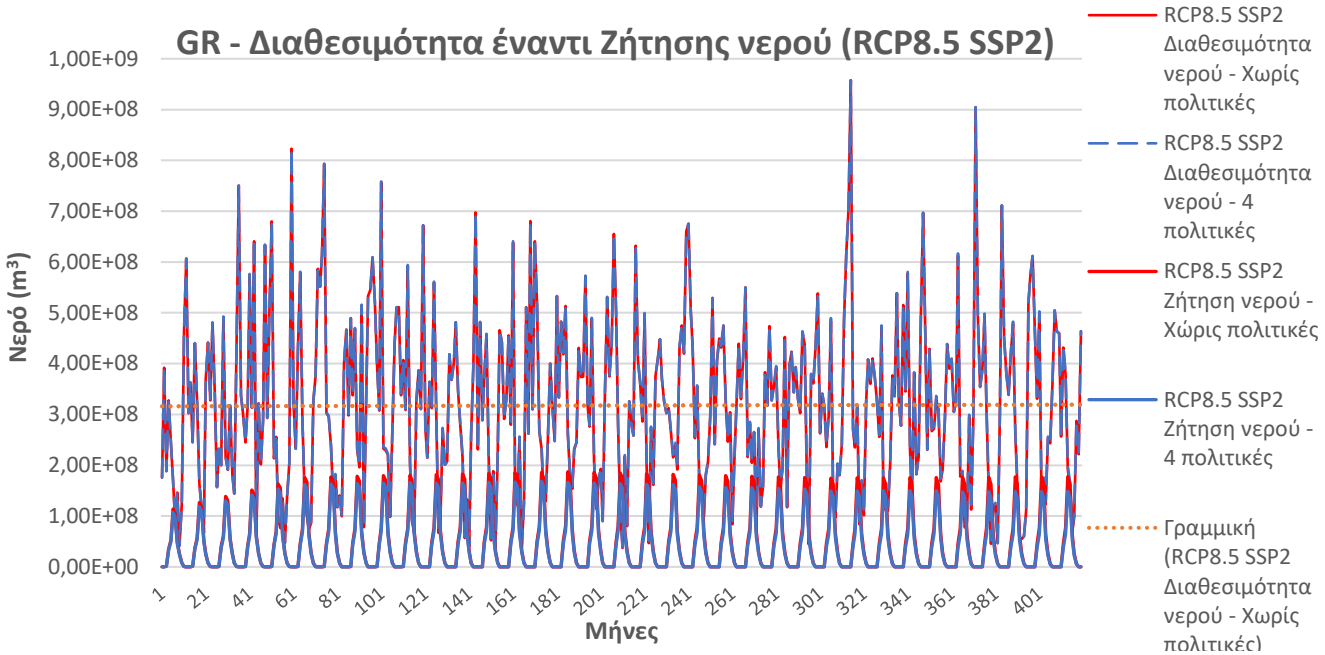
Εικόνα 6.2: Διάγραμμα διαθεσιμότητας και ζήτησης για το ευμενές σενάριο (RCP2.6/SSP2) στην βουλγαρική υπολεκάνη

- Οι αιχμές είναι πιο τακτικές και μικρότερου πλάτους με μέγιστη τιμή περίπου τα 400 εκατομμύρια κυβικά, δείχνοντας πιο σταθερό υδρολογικό καθεστώς, όμως και εδώ φαίνεται η ζήτηση να ξεπερνά την διαθεσιμότητα, η οποία αγγίζει τιμές κάτω από 100 εκατομμύρια κυβικά τους καλοκαιρινούς μήνες χωρίς την εφαρμογή πολιτικών.
- Η ζήτηση ακολουθεί παρόμοια μοτίβα, με πολύ μικρές αποκλίσεις κυρίως στις κορυφές που είναι πιο ομαλές σε σχέση με την Ελλάδα φανερώνοντας καλύτερη ανταπόκριση στις δύσκολες καλοκαιρινές περιόδους
- Οι πολιτικές βελτιώνουν ελαφρώς τη διαθεσιμότητα και μειώνουν καθοριστικά τη ζήτηση καθώς κάποια καλοκαίρια αποφεύγεται η σύγκλιση της με την διαθεσιμότητα.
- Η γραμμική τάση είναι σχεδόν οριζόντια με ελαφρία άνοδο, υποδηλώνοντας θετικό ισοζύγιο νερού σε βάθος χρόνου.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 11:28:09 EEST - 216.73.216.250

Συμπερασματικά, η Βουλγαρία έχει λιγότερη εποχική ένταση και πιο ισορροπημένη σχέση προσφοράς–ζήτησης σε σχέση με την Ελλάδα όμως και αυτή αντιμετωπίζει προβλήματα διαθεσιμότητας τους καλοκαιρινούς μήνες, κρίνοντας αναγκαία την εφαρμογή πολιτικών.

3. Ελληνική υπολεκάνη (RCP8.5/SSP2)



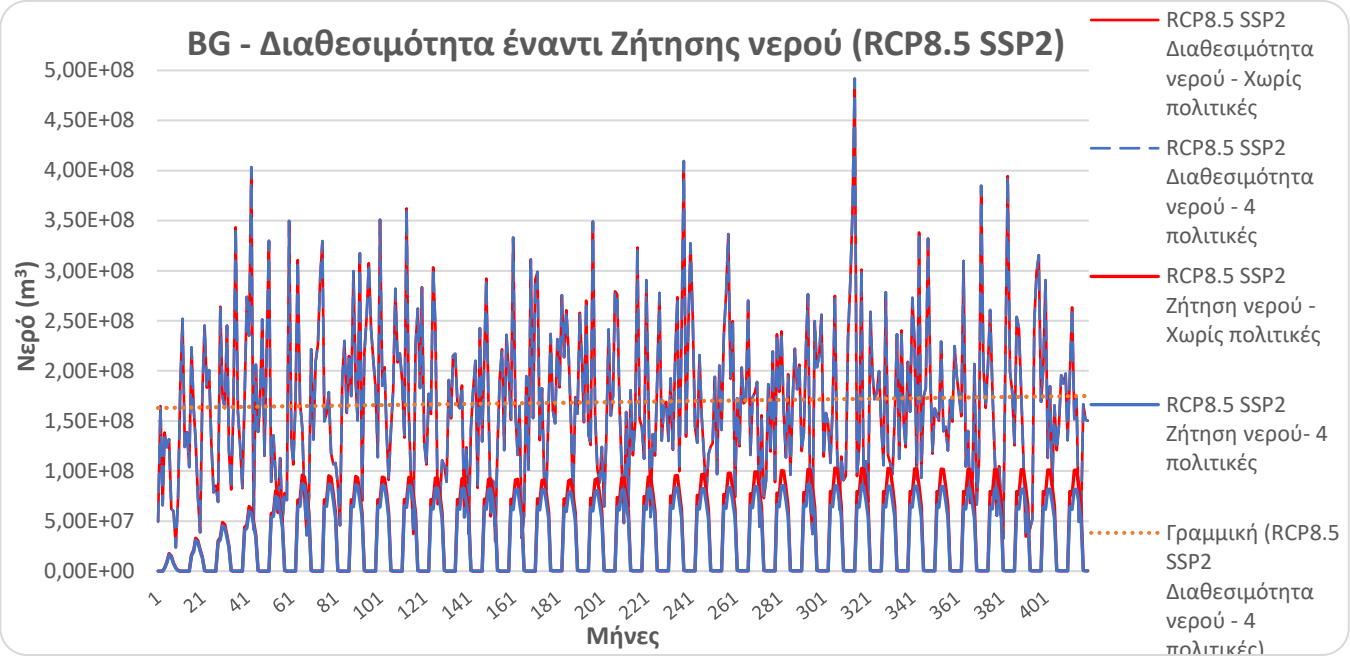
Εικόνα 6.3: Διάγραμμα διαθεσιμότητας και ζήτησης για το δυσμενές σενάριο (RCP8.5/SSP2) στην ελληνική υπολεκάνη

- Υπό το δυσμενές σενάριο RCP8.5, οι αιχμές διαθεσιμότητας παρουσιάζουν μεγαλύτερη αστάθεια, ορισμένες κορυφές φτάνουν σε ακραίες τιμές των 900 εκατομμυρίων κυβικών και ακολουθούνται από περιόδους χαμηλής διαθεσιμότητας χειρότερες από το σενάριο του προηγούμενου διαγράμματος.
- Η ζήτηση παραμένει υψηλή λόγω αυξημένων θερμοκρασιών και άρδευσης, οδηγώντας σε συχνές περιόδους έλλειψης.
- Οι πολιτικές μειώνουν μερικώς τα ελλείμματα, αλλά η συνολική εικόνα δεν είναι καλή εξαιτίας των απαιτήσεων που προκαλούνται λόγω του RCP8.5.
- Η γραμμή τάσης είναι ελαφρώς καθοδική σε σύγκριση με το RCP2.6, δείχνοντας μείωση διαθεσιμότητας λόγω ξηρότερων συνθηκών.
- Οι ακραίες τιμές που εμφανίζονται στις κορυφές διαθεσιμότητας σε ορισμένα έτη, πιθανόν οφείλονται σε έντονα υδρολογικά γεγονότα, ακολουθούμενα από ξηρές περιόδους, δηλαδή μεγαλύτερη κλιματική αστάθεια.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 11:28:09 EEST - 216.73.216.250

Η Ελλάδα υπό RCP8.5 βιώνει εντονότερη υδρολογική μεταβλητότητα, με περιόδους υπερπροσφοράς και ελλείμματος, που δυσκολεύουν τη διαχείριση. Οι πολιτικές μειώνουν την πίεση, αλλά δεν αρκούν για πλήρη εξισορρόπηση.

4. Βουλγαρική υπολεκάνη (RCP8.5/SSP2)



Εικόνα 6.4: Διάγραμμα διαθεσιμότητας και ζήτησης για το δυσμενές σενάριο (RCP8.5/SSP2) στην βουλγαρική υπολεκάνη

- Η κατάσταση είναι καλύτερη από της Ελλάδας αλλά παραμένει οριακή μεταξύ σταθερότητας και αστάθειας. Οι αιχμές υπάρχουν, αλλά φτάνουν μέχρι τα 450 εκατομμύρια κυβικά.
- Η ζήτηση παραμένει σταθερή με τις ίδιες ανάγκες τους καλοκαιρινούς μήνες, χωρίς να υπάρχουν προβλήματα τους χειμώνες.
- Οι γραμμές πολιτικών δείχνουν να βοηθάνε στη σχέση προσφοράς–ζήτησης, μειώνοντας τις απώλειες σε ένα ιδιαιτέρως απαιτητικό κλιματικό σενάριο.
- Η γραμμική τάση της διαθεσιμότητας είναι ίδια με εκείνη της Ελλάδας, υποδηλώνοντας την εύθραυστη ισορροπία της διαχείρισης των υδάτινων πόρων.
- Οι ακραίες τιμές διαθεσιμότητας παραμένουν, δείχνοντας αντίκτυπο από την κλιματική μεταβλητότητα, αλλά εμφανώς λιγότερο επικίνδυνες από εκείνες της Ελλάδας.

Η Βουλγαρία φαίνεται να επηρεάζεται λιγότερο από το σενάριο RCP8.5, πιθανώς λόγω γεωμορφολογίας (ποτάμια, αποθέματα) και της μικρότερης ζήτησης που παρουσιάζει γενικά,

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 11:28:09 EEST - 216.73.216.250

η οποία ενισχύει σημαντικά στην καλύτερη διαχείριση των διαθέσιμων πόρων και των επικείμενων κρίσεων.

6.2.1.2 Συμπεράσματα

Γενικά χαρακτηριστικά των διαγραμμάτων:

- Περιοδικότητα των καμπυλών: Οι καμπύλες δείχνουν έντονες περιοδικές ταλαντώσεις (αιχμές), που αντιστοιχούν σε εποχιακές μεταβολές διαθεσιμότητας και ζήτησης. Συγκεκριμένα παρατηρείται μειωμένη διαθεσιμότητα και υψηλή ζήτηση τους καλοκαιρινούς και φθινοπωρινούς μήνες, γεγονός που αντιστρέφεται τους χειμερινούς και ανοιξιάτικους. Σχεδόν σε όλους τους καλοκαιρινούς μήνες μάλιστα οι καμπύλες της ζήτησης ξεπερνούν αυτούς της διαθεσιμότητας ανεξαρτήτως το κλιματικό σενάριο, έχοντας σαν κύρια αιτία τις υψηλές απαιτήσεις άρδευσης.
- Διαθεσιμότητα: Οι καμπύλες στο πάνω μέρος του διαγράμματος (μπλε διακεκομμένη και κόκκινη) που αντιστοιχούν στην διαθεσιμότητα των υδάτων, παρουσιάζουν τις μεγαλύτερες τιμές τους τους χειμερινούς μήνες καθώς και αιχμές που υποδηλώνουν αυξημένες βροχοπτώσεις και ροές. Από την άλλη μεριά καταβαραθρώνονται το καλοκαίρι, σε σημεία που δεν είναι εφικτό να καλυφθούν οι υδατικές ανάγκες.
- Ζήτηση: Οι καμπύλες της ζήτησης στο κάτω μέρος του διαγράμματος (μπλε και κόκκινη) φτάνουν τις μέγιστες τιμές τους τους καλοκαιρινούς μήνες όπου οι απαιτήσεις της ύδρευσης αλλά κυρίως της άρδευσης είναι μεγάλες. Τους χειμερινούς μήνες δεν μηδενίζονται απλά η διαθεσιμότητα του νερού είναι ικανή να καλύψει όλες τις απαιτήσεις και με το παραπάνω. Είναι σημαντικό να αναφερθεί πως παρουσιάζουν σταθερότητα στις μέγιστες τιμές γεγονός πολύ βοηθητικό για την πρόβλεψη και την αντιμετώπιση της λειψυδρίας που παρουσιάζεται τους καλοκαιρινούς μήνες.
- Γραμμή τάσης: Είναι μια βοηθητική γραμμή που μας δείχνει την γενική διακύμανση της διαθεσιμότητας του νερού σε βάθος χρόνου. Δεν προσφέρεται για την σύγκρισή προσφοράς και ζήτησης, αλλά την σύγκριση των κλιματικών σεναρίων RCP. Συγκεκριμένα στα RCP2.6 παρατηρείται μια ελαφριά αύξηση προς το τέλος αφού είναι το ευμενέστερο σενάριο, ενώ αντίθετα στο RCP8.6 (δυσμενέστερο) παρατηρείται μείωση.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 11:28:09 EEST - 216.73.216.250

Εφαρμογή πολιτικών

Οι πολιτικές που εφαρμόστηκαν στο μοντέλο στοχεύουν κυρίως στην μείωση των απωλειών κατ' επέκταση και της ζήτησης, γεγονός που φαίνεται στα διαγράμματα καθώς οι μεγάλες διαφορές είναι στις καμπύλες της ζήτησης (κάτω μέρος των διαγραμμάτων) ενώ στις τιμές της διαθεσιμότητας οι αλλαγές είναι μικρές. Από τον μέσο όρο στις τιμές του μοντέλου παρατηρούνται διαφορές στην ζήτηση της τάξης των 5 εκατομμυρίων κυβικών νερού και στις δύο χώρες ανεξάρτητα από το κλιματικό σενάριο. Ένα πολύ αισιόδοξο αποτέλεσμα για μελλοντικές ενέργειες και περεταίρω έρευνα. Ενδεικτικά παρουσιάζονται και οι διαφορές στην ζήτηση στο δυσμενέστερο κλιματικό σενάριο για κάθε χώρα αντίστοιχα.

- Ελλάδα

RCP8.5 SSP2 Ζήτηση νερού - Χωρίς πολιτικές	RCP8.5 SSP2 Ζήτηση νερού - 4 πολιτικές
46886283.53	41581811.12
5304472.414 m^3	

- Βουλγαρία

RCP8.5 SSP2 Ζήτηση νερού - Χωρίς πολιτικές	RCP8.5 SSP2 Ζήτηση νερού- 4 πολιτικές
37386951.08	32354158.19
5032792.885 m^3	

Διαφορές μεταξύ Ελληνικής και Βουλγαρικής υπολεκάνης.

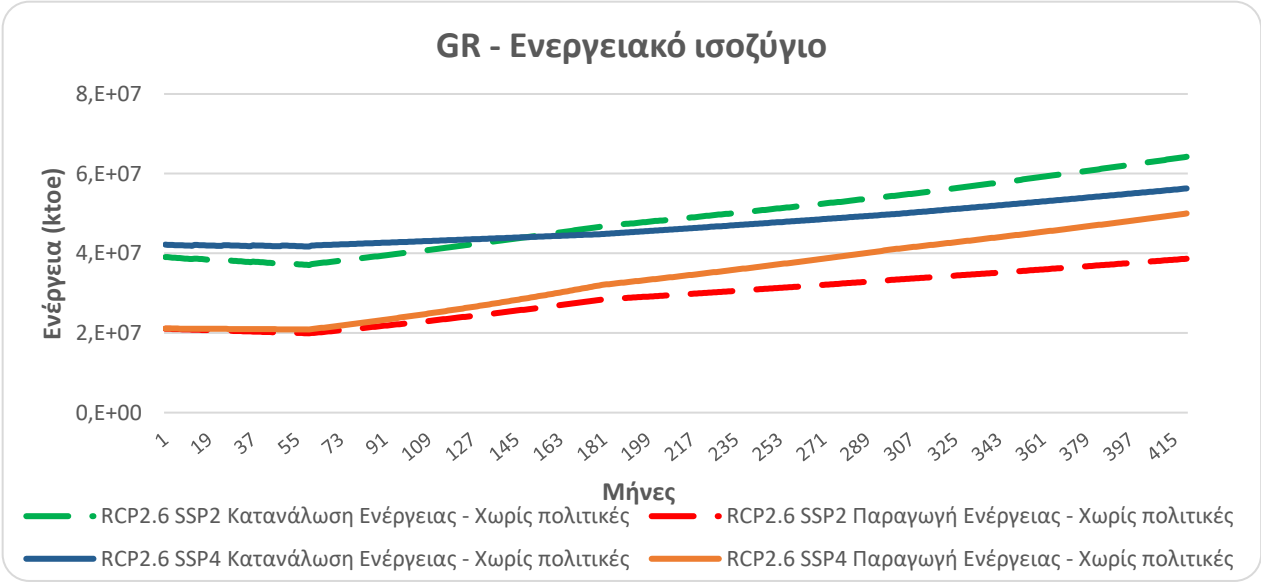
Η Βουλγαρία σε σύγκριση με την Ελλάδα βρίσκεται σε ευνοϊκότερη κατάσταση, καθώς η Ελληνική περιοχή παρουσιάζει περίπου τα διπλάσια μεγέθη στην διαθεσιμότητα και την ζήτηση, γεγονός που δυσχεραίνει την κατάσταση. Η διαθεσιμότητα της Βουλγαρικής πλευράς αν και έχει εποχιακές αυξομειώσεις είναι πιο ομοιόμορφη χωρίς πολλά ακραία φαινόμενα, ακόμα και στο RCP8.5. Η Ελλάδα από την άλλη δεν έχει ομοιομορφία στην διαθεσιμότητα της και σε συνδυασμό με τα έντονα φαινόμενα που προμηνύουν οι ακραίες τιμές (λειψυδρία και πλημμύρες) αυξάνουν την αβεβαιότητα. Η ζήτηση και στις δύο χώρες είναι σταθερή και αποτελεί πρόβλημα τους καλοκαιρινούς μήνες όπου η διαθεσιμότητα πέφτει. Θετικό και για τις δύο χώρες αποτελεί το γεγονός ότι η εφαρμογή των πολιτικών, με την μείωση των απωλειών είχε εμφανή αποτελέσματα στο υδατικό τους ισοζύγιο. Παρόλο που οι 4 πολιτικές δεν είναι ικανές να αλλάξουν το τοπίο της διαχείρισης των υδάτινων πόρων, δίνουν αισιοδοξία για το αποτέλεσμα επιπρόσθετων πολιτικών και μαζικότερων αλλαγών, οι οποίες θα προστεθούν σε αυτές και θα απομακρύνουν τον κίνδυνο σε ολόκληρη την λεκάνη του Νέστου/Mesta.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 11:28:09 EEST - 216.73.216.250

6.2.2 Ενέργεια

6.2.2.1 Διαγράμματα Ενέργειας

1. Ενεργειακό ισοζύγιο στην Ελληνική υπολεκάνη



Εικόνα 6.5: Διάγραμμα του ελληνικού ενεργειακού ισοζυγίου στην υπολεκάνη του Νέστου

Το διάγραμμα για την Ελλάδα παρουσιάζει την εξέλιξη της κατανάλωσης και παραγωγής ενέργειας συμπεριλαμβάνοντας και τα δύο κοινωνικοοικονομικά σενάρια που έχουν αναφερθεί. Δεν εφαρμόζονται πολιτικές καθώς δεν επηρεάζουν την ποσότητα της ενέργειας αλλά τους τρόπους παραγωγής της.

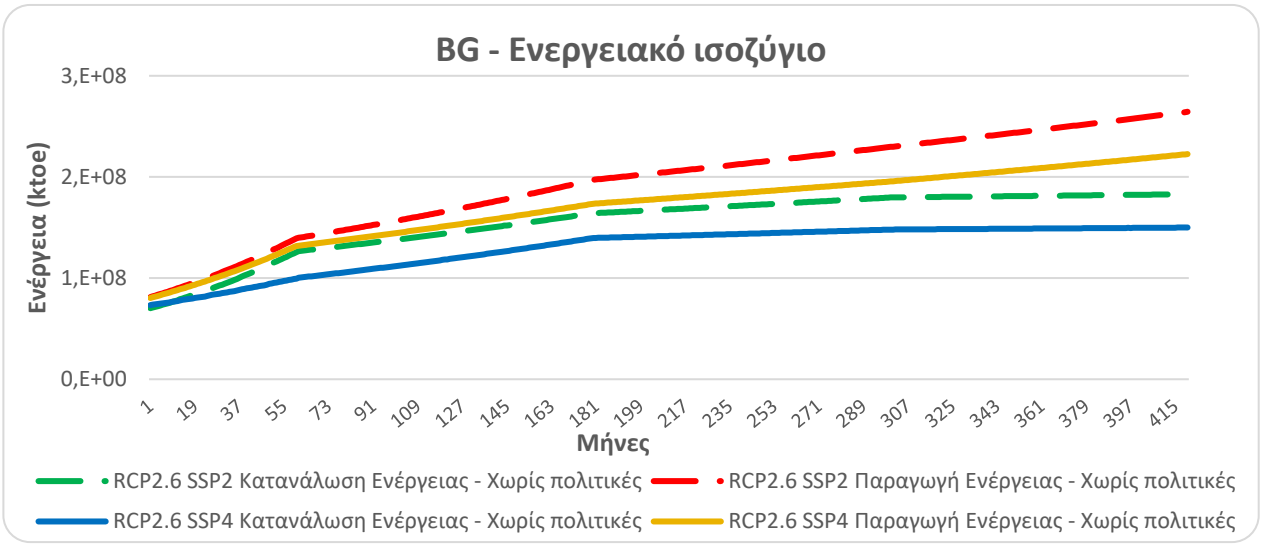
- Η κατανάλωση ενέργειας (πράσινη και μπλε γραμμή) παρουσιάζει ανοδική τάση στο πέρασμα του χρόνου, από περίπου 40 εκατ. ktoe στις αρχικές περιόδους σε 55–60 εκατ. ktoe στα τελικά στάδια.
- Η RCP2.6–SSP2 (πράσινη διακεκομμένη γραμμή) έχει ελαφρώς υψηλότερες τιμές κατανάλωσης σε σχέση με την RCP2.6–SSP4 (μπλε), γεγονός που δείχνει πως η ευνοϊκότερη κοινωνικοοικονομική κατάσταση συνεπάγεται με αυξημένες ενεργειακές ανάγκες, κυρίως από τον τομέα των μεταφορών και της βιομηχανίας.
- Το σενάριο SSP4, παρά τις ανισότητες, οδηγεί σε χαμηλότερη συνολική κατανάλωση, καθώς οι οικονομικές ευκαιρίες είναι άνισες και η πρόσβαση σε ενέργεια περιορισμένη.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 11:28:09 EEST - 216.73.216.250

- Η παραγωγή ενέργειας (κόκκινη και πορτοκαλί γραμμή) αυξάνεται σταδιακά από περίπου 20 εκατ. ktoe σε 35–40 εκατ. ktoe. Ωστόσο, οι καμπύλες δεν ακολουθούν την πορεία της κατανάλωσης σε κανένα από τα σενάρια, γεγονός που αποκαλύπτει ενεργειακό έλλειμμα.
- Το σενάριο RCP2.6–SSP4 (πορτοκαλί) ενώ φαίνεται να οδηγεί σε μεγαλύτερη αύξηση παραγωγής σε σχέση με το RCP2.6–SSP2 (κόκκινο), στην πραγματικότητα είναι μια προσπάθεια να καλυφθούν ανάγκες με παρωχημένες μεθόδους χωρίς να εξασφαλίζεται ο σωστός διαμοιρασμός της ενέργειας.
- Το γεγονός ότι δεν παρατηρείται απότομη αλλαγή στις καμπύλες υποδηλώνει πως οι πολιτικές αφορούν τεχνολογικές μεταβολές και όχι ποσοτικές μειώσεις στην παραγωγή ή κατανάλωση.

Η συνολική εικόνα της Ελλάδας δεν είναι καλή, ειδικά αν αναλογιστούμε την απόσταση των καμπυλών στο ευνοϊκότερο σενάριο (SSP2), στο οποίο εμφανίζεται ελλειμματική. Πρέπει να παρθούν μέτρα όχι μόνο αντικατάστασης των μέσων παραγωγής αλλά και εντατικοποίηση τους, καθώς η εποχή επιτάσσει την ενεργειακή ανεξαρτησία.

2. Ενεργειακό ισοζύγιο στην Βουλγαρική υπολεκάνη



Εικόνα 6.6: Διάγραμμα του βουλγαρικού ενεργειακού ισοζυγίου στην υπολεκάνη του Νέστου

Το διάγραμμα για την Βουλγαρία παρουσιάζει την εξέλιξη της κατανάλωσης και παραγωγής ενέργειας συμπεριλαμβάνοντας και τα δύο κοινωνικοοικονομικά σενάρια που έχουν αναφερθεί. Δεν εφαρμόζονται πολιτικές καθώς δεν επηρεάζουν την ποσότητα της ενέργειας αλλά τους τρόπους παραγωγής της.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 11:28:09 EEST - 216.73.216.250

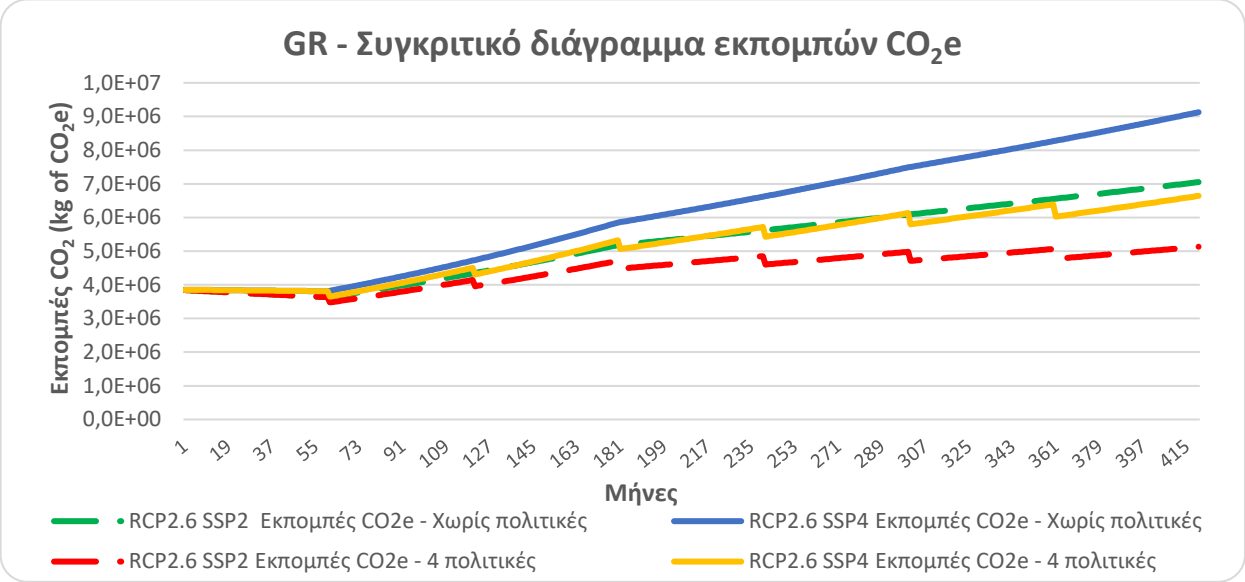
- Το γράφημα της Βουλγαρίας απεικονίζει υψηλότερες ενεργειακές τιμές, επιβεβαιώνοντας τη μεγαλύτερη βιομηχανική εξάρτηση της χώρας και τη μεγαλύτερη κατανάλωση καυσίμων σε σύγκριση με την Ελλάδα.
- Η κατανάλωση (πράσινη και μπλε γραμμή) αυξάνεται έντονα, από 70–80 εκατ. ktoe έως 250–270 εκατ. ktoe. Η αύξηση είναι σχεδόν τριπλάσια από αυτή της Ελληνικής πλευράς, αντανακλώντας τη βαρύτερη βιομηχανική παραγωγή, τις υψηλές ανάγκες του τομέα ηλεκτρισμού και θέρμανσης, καθώς και την περιορισμένη ενεργειακή απόδοση των υφιστάμενων υποδομών.
- Σε αντίθεση με την Ελληνική πλευρά η κατανάλωση φαίνεται να σταθεροποιείται προς το τέλος της προσομοίωσης, γεγονός που δείχνει την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών και την δυνατότητα δημιουργίας ενεργειακής εξαγωγικής πολιτικής.
- Η RCP2.6–SSP2 (πράσινη) γραμμή υπερβαίνει ελαφρά την RCP2.6–SSP4 (μπλε), γεγονός που υποδηλώνει ότι το σενάριο με μικρότερες κοινωνικές ανισότητες επιτρέπει ευρύτερη ενεργειακή πρόσβαση, άρα και υψηλότερη κατανάλωση.
- Η παραγωγή (κόκκινη και πορτοκαλί γραμμή) αυξάνεται ταχύτερα από την κατανάλωση στα πρώτα στάδια, φτάνοντας έως 280–300 εκατ. Ktoe και η RCP2.6–SSP4 (πορτοκαλί) γραμμή βρίσκεται συστηματικά κάτω από την κόκκινη, αποτυπώνοντας την ευεργετική συνεισφορά της ισότητας και της ανάπτυξης σε κράτη με ενεργειακή αυτάρκεια.

6.2.2.1 Διαγράμματα εκμπομπών CO_2e

Τα διάγραμμα απεικονίζουν την εξέλιξη των εκπομπών CO_2e σε βάθος περίπου 420 μηνών (περίπου 35 έτη), συγκρίνοντας τα σενάρια RCP2.6–SSP2, CP2.6–SSP4 με ή χωρίς την εφαρμογή πολιτικών.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 11:28:09 EEST - 216.73.216.250

1. Ελληνική υπολεκάνη



Εικόνα 6.7: Συγκριτικό διάγραμμα εκπομπών CO_2e στην Ελληνική υπολεκάνη

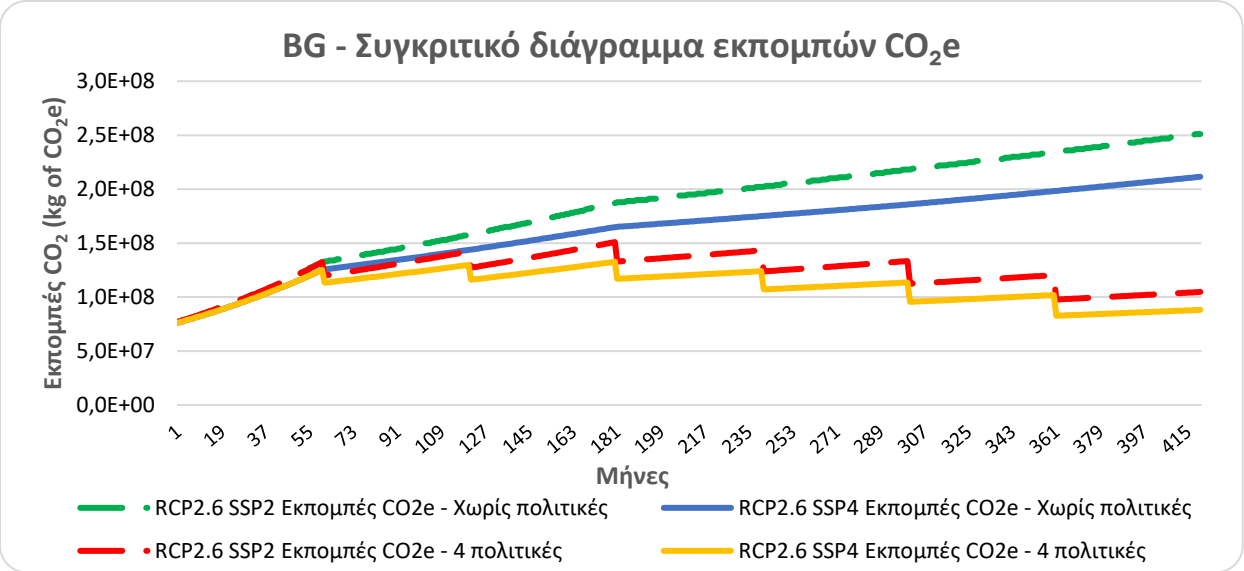
- Στα σενάρια χωρίς εφαρμογή πολιτικών, παρατηρείται μια σταθερή αύξηση των εκπομπών CO_2e σε όλο το χρονικό εύρος.
- Η RCP2.6–SSP2 (πράσινη διακεκομμένη γραμμή) ξεκινά από περίπου 3,8 εκατ. kg CO_2e και φθάνει στα 6,5–7 εκατ. kg CO_2e, ενώ η RCP2.6–SSP4 (μπλε γραμμή) φτάνει έως και τα 9 εκατ. kg CO_2e, εμφανίζοντας υψηλότερο ρυθμό αύξησης.
- Τα δύο σενάρια αναφέρονται σε χαμηλές εκπομπές, καθώς η ελληνική παραγωγή είναι ελάχιστη. Ωστόσο γίνεται αντιληπτό ότι η κοινωνικοοικονομική ανισότητα (SSP4) επιδεινώνει την περιβαλλοντική επίπτωση, πιθανόν λόγω χαμηλότερης επένδυσης σε πράσινες τεχνολογίες και ανισοκατανομής ενεργειακών υποδομών.
- Τα σκαλοπάτια που παρατηρούνται είναι εφαρμογή των μέτρων αρχικά και ενίσχυση τους στο βάθος του χρόνου, γεγονός που φαίνεται να αποδίδει αφού κάθε «κύμα αντικατάστασης» από ανανεώσιμες πηγές φαίνεται να ρίχνει την κλίση της καμπύλης, με πιο εμφανή την καμπύλη SSP2 (κόκκινη διακεκομμένη).
- Οι γραμμές με 4 πολιτικές (κόκκινη και κίτρινη) παρουσιάζουν χαμηλότερες εκπομπές σε όλο το διάστημα καθώς και καθοδική κλίση. Με αποτέλεσμα να μειώνονται οι εκπομπές κατά 2 εκατ. kg CO_2e σε κάθε σενάριο.

Συνολικά για την Ελληνική πλευρά του Νέστου η εφαρμογή των πολιτικών οδηγεί περίπου σε 25–35% μείωση των εκπομπών σε σχέση με το σενάριο χωρίς πολιτικές, ενώ ο ρυθμός αύξησης

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 11:28:09 EEST - 216.73.216.250

σταθεροποιείται απότομα μετά το μέσο του διαστήματος. Αυτό δείχνει ότι η έγκαιρη και σταδιακή εφαρμογή πολιτικών είναι πιο αποτελεσματική από καθυστερημένες παρεμβάσεις.

2. Βουλγαρική υπολεκάνη



Εικόνα 6.8: Συγκριτικό διάγραμμα εκπομπών CO_2e στην βουλγαρική υπολεκάνη

- Το διάγραμμα της Βουλγαρίας παρουσιάζει πολύ υψηλότερες απόλυτες τιμές εκπομπών, γεγονός που συνδέεται με το βαρύτερο βιομηχανικό ενεργειακό προφίλ και την εξάρτηση από άνθρακα.
- Οι γραμμές χωρίς πολιτικές (πράσινη για RCP2.6–SSP2 και μπλε για RCP2.6–SSP4) δείχνουν έντονη αύξηση των εκπομπών καθ' όλη τη διάρκεια. Από περίπου 80–100 εκατ. kg CO_2e στην αρχή, φτάνουν έως και τα 250–270 εκατ. kg CO_2e στο τέλος.
- Η απότομη αυτή άνοδος υποδηλώνει πως χωρίς παρέμβαση, η Βουλγαρική πλευρά του Νέστου παραμένει έντονα εξαρτημένη στον άνθρακα, με αργή μετάβαση σε καθαρότερες μορφές ενέργειας, ειδικά υπό το σενάριο SSP4 που χαρακτηρίζεται από κοινωνική ανισότητα και μειωμένη πρόσβαση σε τεχνολογία.
- Οι γραμμές με 4 πολιτικές (κόκκινη και κίτρινη) δείχνουν μια σημαντική επιβράδυνση του ρυθμού αύξησης των εκπομπών όπως και στην Ελληνική πλευρά, οι οποίες επηρεάζονται έντονα από την εφαρμογή μέτρων (μετάβαση σε ανανεώσιμες).
- Στο τέλος της περιόδου, οι εκπομπές σταθεροποιούνται γύρω στα 160–180 εκατ. kg CO_2e, γεγονός που συνιστά μείωση έως και 35–40% σε σχέση με το αρχικό σενάριο χωρίς πολιτικές.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 11:28:09 EEST - 216.73.216.250

Εν τέλη, στη βουλγαρική υπολεκάνει παρατηρείται μεγαλύτερη απόλυτη μείωση εκπομπών από την ελληνική, όμως ξεκινά από πολύ υψηλότερη αρχική τιμή. Αυτό δείχνει ότι οι πολιτικές έχουν ουσιαστική αποτελεσματικότητα, αλλά απαιτείται ριζική ενεργειακή αναδιάρθρωση.

6.2.2.2 Συμπεράσματα

- Η Βουλγαρία παρουσιάζει εκπομπές περίπου 30–40 φορές υψηλότερες από την Ελλάδα, λόγω μεγαλύτερης βιομηχανικής παραγωγής και ενεργειακής εξάρτησης από ορυκτά καύσιμα.
- Και στις δύο χώρες, οι πολιτικές οδηγούν σε σημαντική μείωση των εκπομπών CO_2e. Στην Ελλάδα, η μείωση είναι περίπου 25–30%, ενώ στη Βουλγαρία φτάνει έως 40% σε απόλυτες τιμές. Γεγονός που επηρεάζεται και από την διαφορά μεγέθους στην παραγωγή.
- Τα "σκαλοπάτια" στις καμπύλες με πολιτικές που δείχνουν ότι τα μέτρα δεν εφαρμόζονται μονομιάς, αλλά σταδιακά, έχουν εμφανή αποτελέσματα και στις δύο χώρες.
- Η Ελλάδα παραμένει ενεργειακά ελλειμματική, με την κατανάλωση να είναι συνεχώς μεγαλύτερη από την παραγωγή. Η Βουλγαρία, αντίθετα, εμφανίζει ενεργειακό πλεόνασμα, αλλά εις βάρος της περιβαλλοντικής βιωσιμότητας λόγω των παρωχημένων μέσων παραγωγής που χρησιμοποιεί.
- Στα διαγράμματα δεν φαίνεται επίδραση πολιτικών, γιατί οι παρεμβάσεις επικεντρώνονται στην τεχνολογική αναβάθμιση των μέσων παραγωγής και στην ενεργειακή διαφοροποίηση. Η πραγματική μείωση καταναλώσεων απαιτεί συνδυασμένες κοινωνικές και βιομηχανικές πολιτικές.
- Η Ελληνική πλευρά δείχνει να είναι πιο κοντά στην πράσινη μετάβαση κυρίως λόγο της μικρής και πιο ευέλικτης παραγωγής σε σύγκριση με την Βουλγαρική υπολεκάνη οποία χρειάζεται ενεργειακή αναδιάρθρωση σε μεγαλύτερου μεγέθους παραγωγή από την οποία είναι πιο εξαρτημένη.
- Η μείωση των εκπομπών μέσω πολιτικών δεν προκύπτει μόνο από αλλαγή των τιμών παραγωγής ενέργειας, αλλά από την αλλαγή των μέσων παραγωγής, δηλαδή την αύξηση συμμετοχής ανανεώσιμων πηγών, την ενεργειακή αποδοτικότητα και τη βελτίωση διαχείρισης υποδομών.

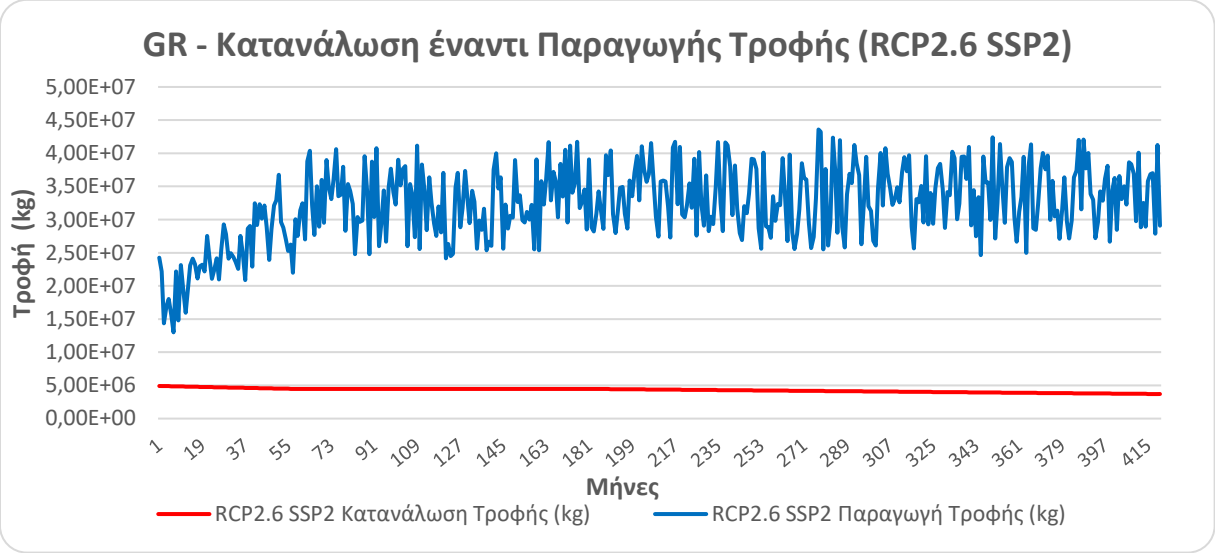
Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 11:28:09 EEST - 216.73.216.250

6.2.3 Τροφή

6.2.3.1 Διαγράμματα

Τα διαγράμματα παρουσιάζουν την εξέλιξη της παραγωγής και της κατανάλωσης τροφής για την υπολεκάνη της Ελλάδας (GR) και την υπολεκάνη της Βουλγαρίας (BG), υπό διαφορετικά κλιματικά και κοινωνικοοικονομικά σενάρια. Ο στόχος των διαγραμμάτων είναι να αποτυπώσουν τη σχέση μεταξύ της προσφοράς και της ζήτησης τροφίμων σε βάθος χρόνου, ώστε να εκτιμηθεί ο βαθμός αυτάρκειας και η σταθερότητα του αγροδιατροφικού συστήματος κάθε χώρας. Τα σενάρια που εξετάζονται είναι τα RCP2.6-SSP2 (μέτρια κοινωνικοοικονομική ανάπτυξη με χαμηλές εκπομπές) και RCP8.5-SSP4 (υψηλές εκπομπές και έντονες κοινωνικές ανισότητες).

1. Ελληνική υπολεκάνη (RCP2.6/SSP2)



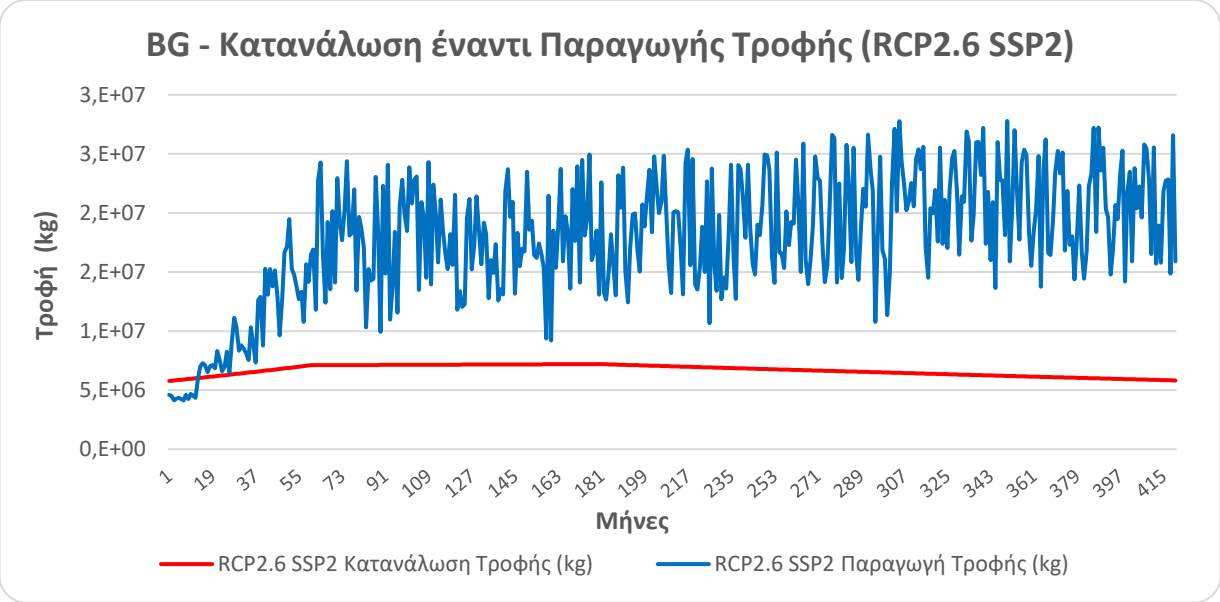
Εικόνα 6.9: Διάγραμμα παραγωγής και κατανάλωσης τροφίμων για την ελληνική υπολεκάνη στο ευμενές σενάριο (RCP2.6/SSP2)

- Η παραγωγή τροφής (μπλε γραμμή) κυμαίνεται σε υψηλά επίπεδα, φτάνοντας από περίπου 15 εκατ. kg στην αρχή έως και 45–50 εκατ. kg στη διάρκεια της προσομοίωσης.
- Η κατανάλωση τροφής (κόκκινη γραμμή) παραμένει σχεδόν σταθερή, γύρω στα 5–6 εκατ. kg με ελαφρά πτωτική τάση στο τέλος.
- Η παραγωγή υπερβαίνει κατά πολύ την κατανάλωση, δημιουργώντας σημαντικό διατροφικό πλεόνασμα. Το εύρος των διακυμάνσεων (οι έντονες ταλαντώσεις της μπλε γραμμής) οφείλεται στην εποχικότητα και στις περιοδικές μεταβολές αποδόσεων λόγω κλιματικών και αγρονομικών παραγόντων.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 11:28:09 EEST - 216.73.216.250

Η αυξητική τάση της παραγωγής δείχνει ότι η Ελληνική υπολεκάνη μπορεί να διατηρήσει υψηλά επίπεδα παραγωγής με βελτίωση τεχνολογιών, ορθολογική χρήση πόρων και σταθερό αγροτικό δυναμικό. Η μικρή μείωση στην κατανάλωση υποδηλώνει αλλαγές στη διατροφή (π.χ. μείωση σπατάλης, πιο βιώσιμες επιλογές).

2. Βουλγαρική υπολεκάνη (RCP2.6/SSP2)



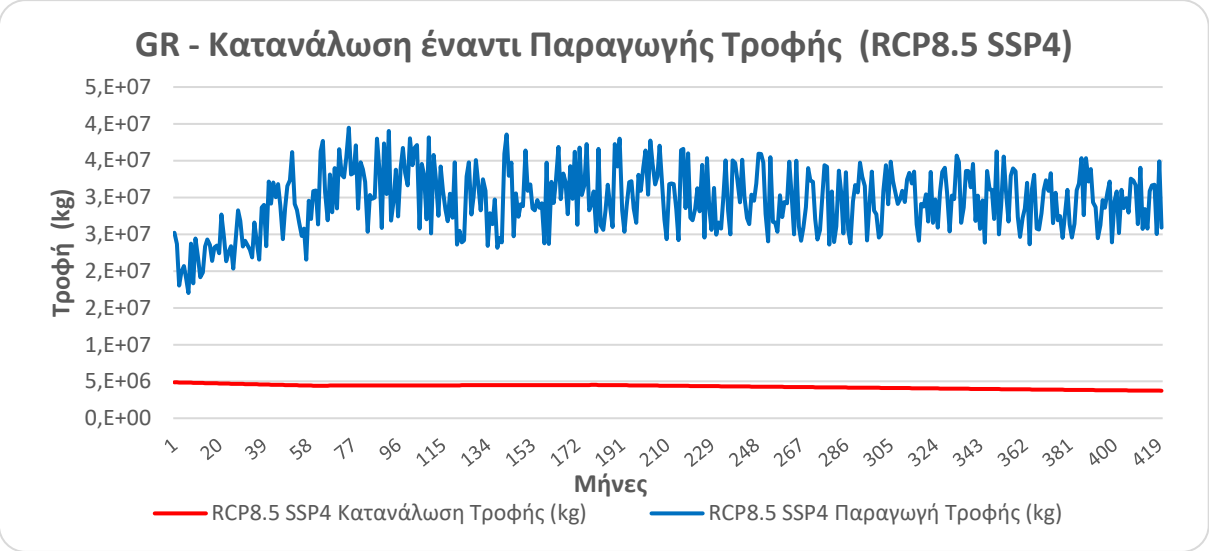
Εικόνα 6.10: Διάγραμμα παραγωγής και κατανάλωσης τροφίμων για την Βουλγαρική υπολεκάνη στο ευμενές σενάριο (RCP2.6/SSP2)

- Η παραγωγή τροφής (μπλε γραμμή) αυξάνεται από περίπου 5 εκατ. kg έως 25–30 εκατ. kg, παρουσιάζοντας συχνές διακυμάνσεις, ακόμη πιο έντονες από την ελληνική υπολεκάνη, δείγμα μεγαλύτερης κλιματικής αστάθειας.
- Η κατανάλωση (κόκκινη γραμμή) παραμένει χαμηλή και σχεδόν σταθερή, γύρω στα 4-5 εκατ. kg, με μικρή καθοδική πορεία προς το τέλος.

Η Βουλγαρία, παρότι ξεκινά από χαμηλότερη βάση παραγωγής, παρουσιάζει ταχεία αύξηση παραγωγικότητας, ιδίως στα πρώτα στάδια. Ωστόσο, οι έντονες διακυμάνσεις υποδηλώνουν μεγαλύτερη ευπάθεια σε κλιματικά γεγονότα (ξηρασίες, παγετοί). Το αγροδιατροφικό ισοζύγιο είναι επίσης θετικό, αλλά λιγότερο σταθερό σε σχέση με την ελληνική υπολεκάνη.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 11:28:09 EEST - 216.73.216.250

3. Ελληνική υπολεκάνη (RCP8.5/SSP2)



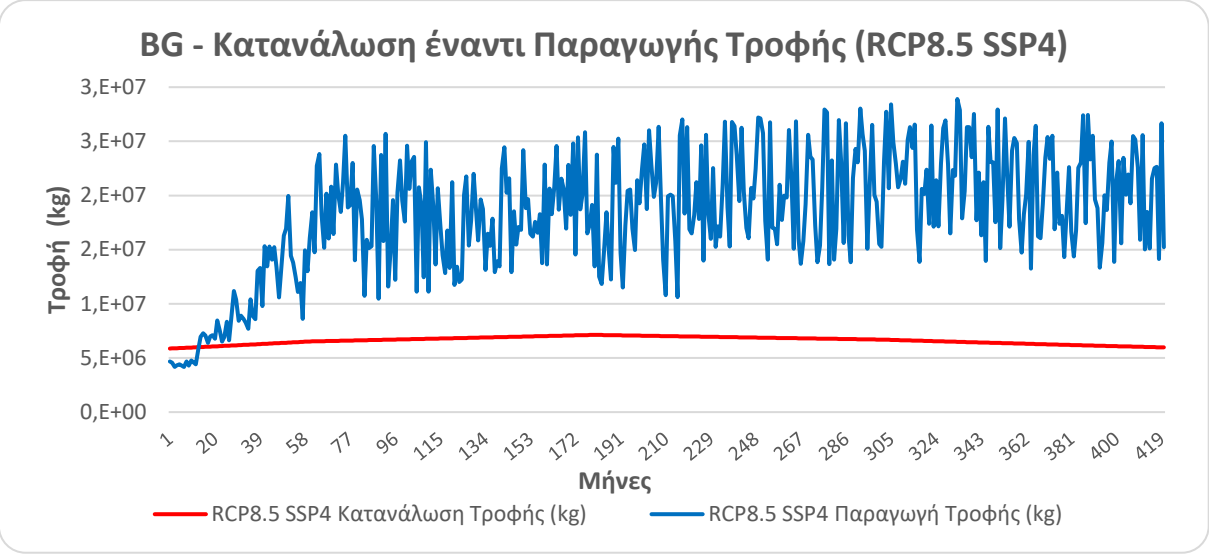
Εικόνα 6.11: Διάγραμμα παραγωγής και κατανάλωσης τροφίμων για την ελληνική υπολεκάνη στο δυσμενές σενάριο (RCP8.5/SSP2)

- Σε αυτό το σενάριο, η παραγωγή τροφής (μπλε γραμμή) εμφανίζει έντονη μεταβλητότητα και χαμηλότερα μέγιστα σε σχέση με το προηγούμενο σενάριο, κυμαινόμενη μεταξύ 15 και 40 εκατ. kg.
- Η κατανάλωση (κόκκινη γραμμή) διατηρείται σταθερή, λίγο πάνω από 5 εκατ. kg, χωρίς ιδιαίτερες μεταβολές.

Οι διακυμάνσεις στην παραγωγή αντανακλούν μεγαλύτερη κλιματική πίεση (ξηρασίες, θερμικά κύματα) και μειωμένη σταθερότητα παραγωγής. Η Ελλάδα εξακολουθεί να παράγει περισσότερη τροφή από όση καταναλώνει, αλλά το περιθώριο πλεονάσματος μειώνεται, κάτι που θα μπορούσε να επηρεάσει τις εξαγωγές και την επισιτιστική ασφάλεια.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 11:28:09 EEST - 216.73.216.250

4. Βουλγαρική υπολεκάνη (RCP8.5 SSP2)



Εικόνα 6.12: Διάγραμμα παραγωγής και κατανάλωσης τροφίμων για την βουλγαρική υπολεκάνη στο δυσμενές σενάριο (RCP8.5/SSP2)

- Η παραγωγή τροφής (μπλε γραμμή) ακολουθεί ανοδική τάση έως περίπου 25–28 εκατ. kg, με έντονη κυκλικότητα.
- Η κατανάλωση (κόκκινη γραμμή) βρίσκεται λίγο κάτω από τα 5 εκατ. kg, με ελαφρά πτώση στο τέλος, παρόμοια με τα υπόλοιπα σενάρια.
- Το σενάριο υψηλών εκπομπών και ανισοτήτων (RCP8.5 – SSP4) περιορίζει τις επενδύσεις σε τεχνολογία και μειώνει τη σταθερότητα της αγροτικής παραγωγής.

Η παραγωγή παραμένει θετικά ισοζυγισμένη έναντι της κατανάλωσης, αλλά το εύρος διακύμανσης είναι μεγάλο, υποδηλώνοντας ευπάθεια και περιοδικές απώλειες παραγωγής.

Η βουλγαρική υπολεκάνη, σε αυτό το σενάριο, αντιμετωπίζει περισσότερες προκλήσεις προσαρμογής λόγω εξάρτησης από παραδοσιακές καλλιέργειες και μικρότερης τεχνολογικής καινοτομίας.

6.2.3.2 Συμπεράσματα

- Και στις δύο χώρες, η κατανάλωση τροφής παραμένει σχεδόν σταθερή, δείγμα κορεσμού διατροφικών προτύπων. Η παραγωγή, ωστόσο, εμφανίζει σημαντικές διακυμάνσεις και προοδευτική αύξηση στις περισσότερες περιπτώσεις.
- Οι Ελληνικές και οι Βουλγαρικές περιοχές του Νέστου παραμένουν παραγωγικά αυτάρκεις σε όλα τα σενάρια, αφού η παραγωγή υπερβαίνει την κατανάλωση.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 11:28:09 EEST - 216.73.216.250

- Παρόλα αυτά, η μεταβλητότητα (ιδίως στη Βουλγαρική πλευρά και στα σενάρια υψηλών εκπομπών) δείχνει αυξημένο κίνδυνο αστάθειας προσφοράς.
- Το RCP2.6 – SSP2 (χαμηλές εκπομπές, μέτριες ανισότητες) προσφέρει πιο σταθερή και υψηλή παραγωγή, αφού είναι το πιο ευνοϊκό σενάριο.
- Το RCP8.5 – SSP4 (υψηλές εκπομπές, κοινωνικές ανισότητες) επιφέρει πιο έντονη μεταβλητότητα και μείωση αποδόσεων.
- Οι κοινωνικοοικονομικές ανισότητες (SSP4) περιορίζουν την πρόσβαση σε νέες τεχνολογίες, ενώ οι υψηλές εκπομπές (RCP8.5) επιδεινώνουν τις αποδόσεις λόγω κλιματικών κρίσεων. Συνδυαστικά, αυτά μειώνουν τη βιωσιμότητα της αγροτικής παραγωγής και αυξάνουν το ρίσκο επισιτιστικών ελλείψεων.
- Η Ελληνική πλευρά παρουσιάζει υψηλότερη συνολική παραγωγή και μικρότερη διακύμανση, άρα μεγαλύτερη σταθερότητα. Η Βουλγαρία παρουσιάζει μικρότερη παραγωγή, αλλά ταχύτερη αύξηση δείγμα δυναμισμού αλλά και ευπάθειας.

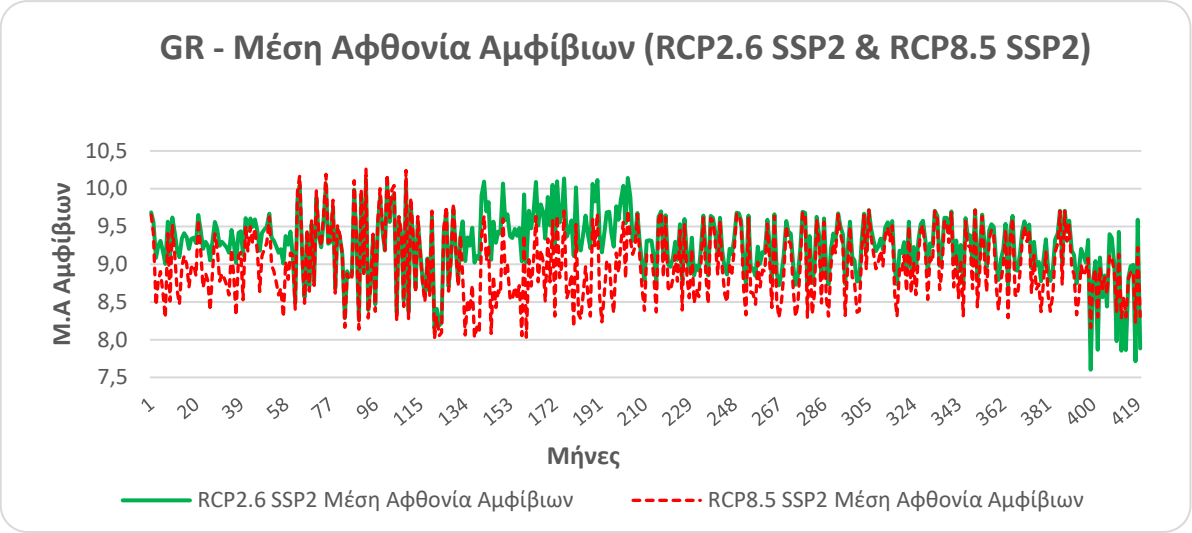
6.2.4 Οικοσύστημα

6.2.4.1 Διαγράμματα

Τα τέσσερα διαγράμματα απεικονίζουν τη μέση αφθονία αμφιβίων και χερσαίων ειδών στην ελληνική και την βουλγαρική υπολεκάνη σύμφωνα με τα σενάρια RCP2.6 SSP2 (σενάριο χαμηλών εκπομπών/βιώσιμης ανάπτυξης) και RCP8.5 SSP2 (σενάριο υψηλών εκπομπών/συνεχούς ανάπτυξης με υψηλή εξάρτηση από ορυκτά καύσιμα) Η μέση αφθονία (M.A.) αποτυπώνεται σε μηνιαία βάση για διάστημα 420 μηνών (35 έτη).

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 11:28:09 EEST - 216.73.216.250

1. Ελληνική υπολεκάνη

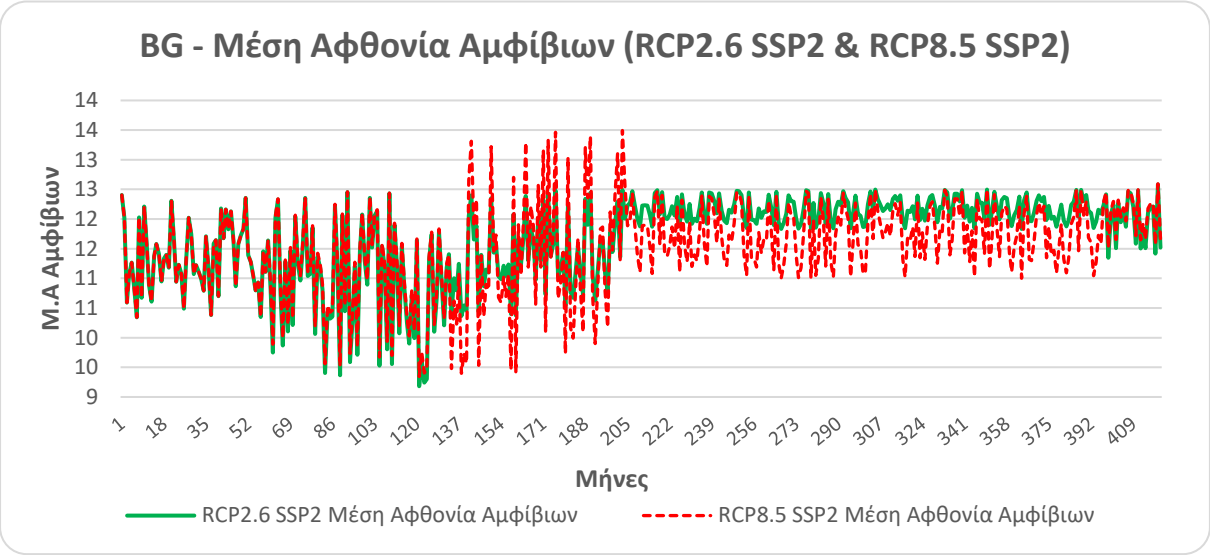


Εικόνα 6.13: Διάγραμμα μέσης αφθονίας αμφίβιων ζώων στην ελληνική υπολεκάνη

- Η μέση αφθονία κυμαίνεται περίπου μεταξύ 8,0 και 10,5.
- Το σενάριο RCP8.5 (κόκκινη διακεκομμένη γραμμή) παρουσιάζει μεγαλύτερες διακυμάνσεις σε σχέση με το RCP2.6 (πράσινη συνεχής γραμμή).
- Στους πρώτους 150-200 μήνες, παρατηρείται υψηλότερη αστάθεια και διακυμάνσεις στην αφθονία, κυρίως στο RCP8.5.
- Σταδιακά η αφθονία φαίνεται να σταθεροποιείται ενώ μειώνεται απότομα προς το τέλος της προσομοίωσης και στα δύο σενάρια.
- Το χειρότερο σενάριο δείχνει πιο ασταθή και ευάλωτη αφθονία αμφιβίων στην ελληνική λεκάνη, παρόλο που στο τέλος το ευνοϊκότερο σενάριο παρουσιάζει μικρότερες τιμές.
- Η κλιματική αλλαγή φαίνεται να επηρεάζει τη σταθερότητα της αφθονίας τους.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 11:28:09 EEST - 216.73.216.250

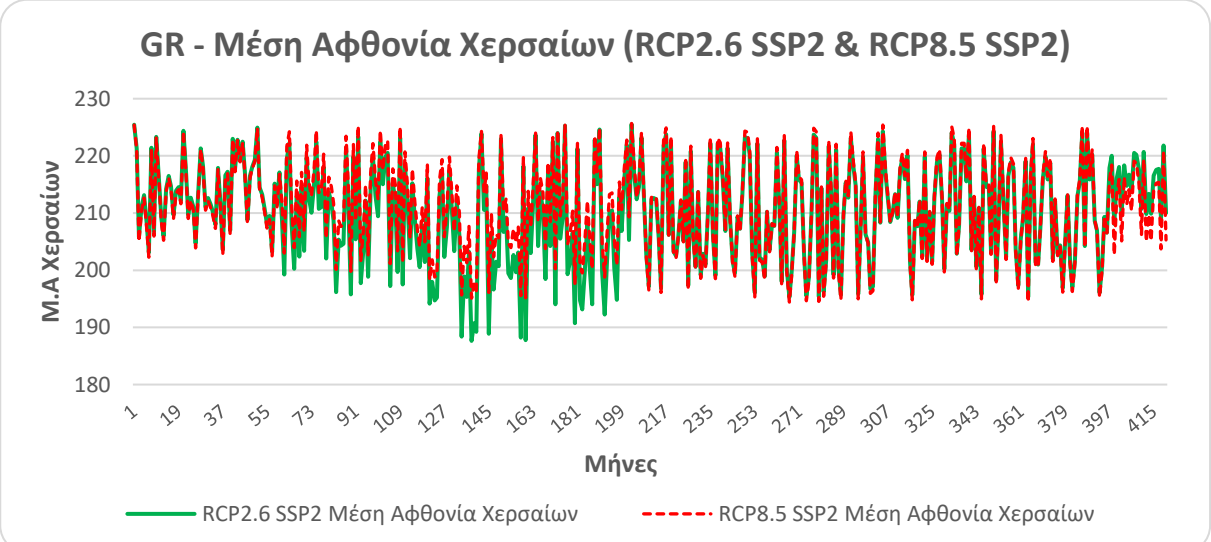
2. Βουλγαρική υπολεκάνη



Εικόνα 6.14: Διάγραμμα μέσης αφθονίας αμφίβιων ζώων στην βουλγαρική υπολεκάνη

- Η αφθονία κυμαίνεται μεταξύ 9 και 14, γενικά υψηλότερη σε σχέση με της Ελλάδας.
- Όπως και πριν, το RCP8.5 παρουσιάζει περισσότερη αστάθεια και μεγαλύτερες αιχμές.
- Η διαφορά μεταξύ των δύο σεναρίων είναι εμφανής προς το τέλος όπου το ευνοϊκότερο σενάριο έχει σταθεροποιηθεί υψηλότερα χωρίς πολλές καμπές και πτώσεις.
- Οι αμφίβιοι οργανισμοί στην βουλγαρική υπολεκάνη φαίνεται να διατηρούν σχετικά υψηλότερη αφθονία, αλλά επηρεάζονται εξίσου από το σενάριο υψηλών εκπομπών.

3. Ελληνική υπολεκάνη

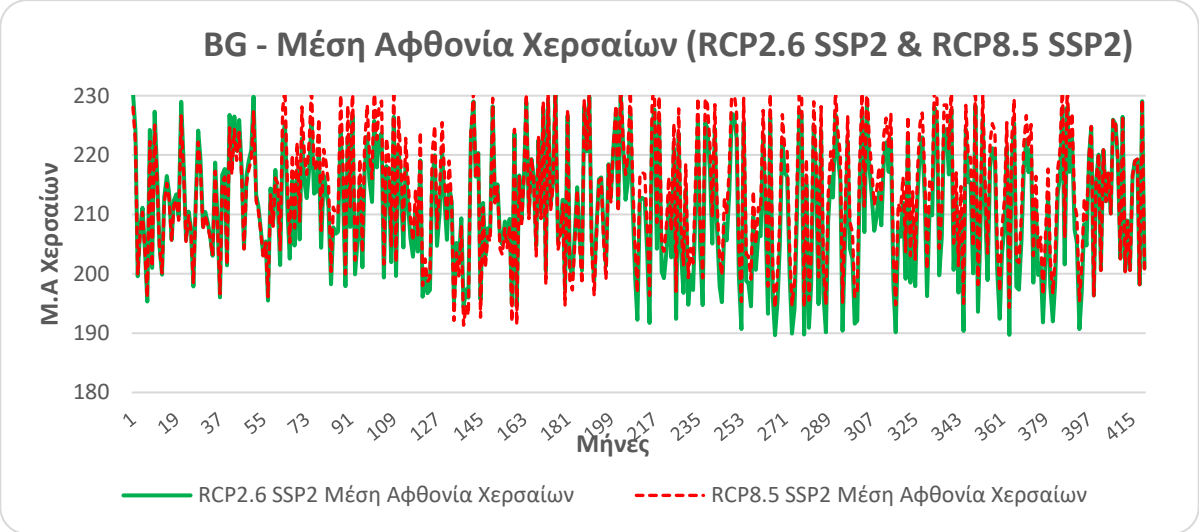


Εικόνα 6.15: Διάγραμμα μέσης αφθονίας χερσαίων ζώων στην ελληνική υπολεκάνη

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 11:28:09 EEST - 216.73.216.250

- Η αφθονία κυμαίνεται κυρίως μεταξύ 185 και 225.
- Σημαντική διαφορά μεταξύ των δύο σεναρίων, ειδικά από τον 120ό μήνα και μετά.
- Στο RCP8.5 παρατηρείται μεγαλύτερη διακύμανση και συχνές αυξομειώσεις, ενώ το RCP2.6 είναι πιο σταθερό αλλά με τάσεις μείωσης σε ορισμένες περιόδους.
- Οι χερσαίοι οργανισμοί στην ελληνική υπολεκάνη είναι πιο ευάλωτοι στο σενάριο RCP8.5.

4. Βουλγαρική υπολεκάνη



Εικόνα 6.16: Διάγραμμα μέσης αφθονίας χερσαίων ζώων στην βουλγαρική υπολεκάνη

- Οι τιμές κυμαίνονται και εδώ μεταξύ 195 και 230.
- Το RCP8.5 παρουσιάζει έντονες διακυμάνσεις, με αρκετές αιχμές, αλλά γενικά διατηρείται παρόμοιας μέσης τάσης με το RCP2.6.
- Το RCP2.6 είναι πιο "ήρεμο" και με λιγότερες αιχμές.
- Παρόμοια εικόνα με την ελληνική πλευρά, αλλά ίσως πιο ανθεκτικό το οικοσύστημα της Βουλγαρίας.

6.2.4.2 Συμπεράσματα

- Το σενάριο RCP8.5 (υψηλές εκπομπές) προκαλεί μεγαλύτερες διακυμάνσεις και αστάθεια στη μέση αφθονία τόσο των αμφιβίων όσο και των χερσαίων οργανισμών.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 11:28:09 EEST - 216.73.216.250

Φαίνεται να επηρεάζει περισσότερο τις ελληνικές περιοχές από τις βουλγαρικές , πιθανώς λόγω διαφορετικών κλιματικών και οικολογικών συνθηκών.

- Το σενάριο RCP2.6 (αισιόδοξο) παρουσιάζει πιο σταθερή πορεία σε όλα τα διαγράμματα. Μπορεί να θεωρηθεί ως σενάριο που διατηρεί τη βιοποικιλότητα σε πιο βιώσιμα επίπεδα.
- Η βουλγαρική υπολεκάνη εμφανίζει υψηλότερες τιμές αφθονίας και μεγαλύτερη αντοχή των οικοσυστημάτων σε σχέση με της Ελλάδας, αλλά η τάση αστάθειας υπάρχει και στις δύο χώρες.
- Η αντοχή των οικοσυστημάτων είναι μεγαλύτερη στη Βουλγαρία.
- Οι χερσαίοι οργανισμοί δείχνουν μεγαλύτερες μεταβολές, πιθανώς επειδή είναι πιο εκτεθειμένοι σε αλλαγές θερμοκρασίας και υγρασίας.
- Οι αμφίβιοι, αν και γενικά πιο ευαίσθητοι, δείχνουν πιο συμπαγείς διακυμάνσεις

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 11:28:09 EEST - 216.73.216.250

7 Συμπεράσματα και Προτάσεις

7.1 Γενικά συμπεράσματα

Στη παρούσα διπλωματική αναπτύχθηκε το θέμα της διασυνοριακής συνεργασίας σε επίπεδο λεκάνης απορροής για διακρατικά ύδατα. Έχοντας σαν βάση μια ολιστική ματιά πάνω στην διακρατική συμφωνία μεταξύ Ελλάδας και Βουλγαρίας για τον ποταμό Νέστο/Mesta, καταφέραμε, να αποδομίσουμε το πρόβλημα της ελλιπούς συνεργασίας, να αναδείξουμε τα τωρινά και μελλοντικά προβλήματα σε επίπεδο λεκάνης αλλά και μια νέα πορεία συνεργασίας υπό το πρίσμα της διεθνούς νομοθεσίας. Μέσα από την «οπτική» του WEFE Nexus καταδείχτηκε η σημασία της ολοκληρωμένης διαχείρισης των υδάτων γύρω από τον άξονα (Νερό-Ενέργεια-Τροφή-Οικοσύστημα), για να παρθούν μέτρα που δεν αποβλέπουν στην μονομερή και πρόσκαιρη αντιμετώπιση των προβλημάτων αλλά μέτρα που αντικατοπτρίζουν το όραμα της βιώσιμης ανάπτυξης.

Αφετηρία αποτέλεσε η μελέτη κάποιον case studies μέσω των οποίων έγινε κατανοητό πόσο σημαντική είναι η εμπιστοσύνη και ο διαμοιρασμός της πληροφορίας για ένα ήρεμο κλίμα με στόχο την άνθιση μιας συνεργασίας. Αποδείχτηκε από την πράξη πως όταν τα κράτη είναι πρόθυμα για συνεργασία, χωρίς να αποσκοπούν στο μονομερές κέρδος αλλά στο κοινό συμφέρον τα αποτελέσματα μπορούν να είναι ευεργετικά για όλους. Φάνηκε η χρησιμότητα της διπλωματίας και της δυναμικής πολιτικής ηγεσίας, που πέρα από προκαταλήψεις και εθνικές διαμάχες θα καταφέρει να δημιουργήσει δίαυλους επικοινωνίας και θα ευαισθητοποιήσει τους πολίτες πάνω σε περιβαλλοντικά ζητήματα.

Πέρα από το θεωρητικό πλαίσιο, πραγματοποιήθηκε μια εκτενής ανάλυση με την χρήση μοντέλου προσομοίωσης δυναμικής συστημάτων (SDM). Μέσω του μοντέλου πάρθηκαν όλες οι μεταβλητές που απαρτίζουν την διαχείριση των υδάτινων πόρων. Το μοντέλο βασίστηκε στο WEFE Nexus το οποίο προωθεί την καινοτομία και τονίζει την αλληλεξάρτηση των βασικών πυλώνων μιας σωστής και ανθεκτικής μετάβασης στη περιβαλλοντική εξυγίανση. Βασίζοντας την ανάλυση στους τομείς του Νερού, της Ενέργειας, του Οικοσυστήματος και της Τροφής, εφαρμόσαμε 4 πολιτικές που στοχεύουν στην μείωση των απωλειών νερού, την ενεργειακή πράσινη μετάβαση και την απορρόφηση CO_2e. Στη συνέχεια καθορίσαμε δύο σενάρια εκπομπών RCP2.6(ευνοϊκό) και RCP8.5(δυσμενές) και δύο σενάρια κοινωνικό-οικονομικής μετάβασης SSP2(μέσης κατάστασης) και SSP4(κατάσταση κοινωνικών ανισοτήτων) με έτος στόχο το 2050. Για την σωστή εποπτεία των αποτελεσμάτων του μοντέλου τρέξαμε την

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 11:28:09 EEST - 216.73.216.250

προσομοίωση χωρίς την εφαρμογή πολιτικών βασισμένοι στα έως τώρα δεδομένα. Έπειτα οι πολιτικές εφαρμόστηκαν σε όλη την λεκάνη απορροής του ποταμού, τμηματικά, χωρίζοντας την σε ελληνική και βουλγαρική υπολεκάνη. Έτσι είμαστε σε θέση όχι μόνο να συγκρίνουμε την υφιστάμενη κατάσταση αλλά και να σκιαγραφήσουμε την δυναμική ολόκληρης της λεκάνης. Τα γενικότερα συμπεράσματα από την προσομοίωση είναι τα εξής:

Νερό: Ο τομέας του νερού ανέδειξε τη μεγαλύτερη ευαισθησία στις κλιματικές επιδράσεις και ταυτόχρονα τη μεγαλύτερη ανταπόκριση στις εφαρμοζόμενες πολιτικές. Αμφότερες και οι δύο χώρες αντιμετωπίζουν προβλήματα τους καλοκαιρινούς μήνες λόγω έλλειψης διαθεσιμότητας καθώς η ζήτηση είναι και στις δύο σταθερή. Η ελληνική υπολεκάνη παρουσιάζει μεγαλύτερη αστάθεια και στα δύο κλιματικά σενάρια, αντίθετα με την βουλγαρική που έχει μεγαλύτερη ομοιομορφία. Η εφαρμογή μέτρων διαχείρισης (όπως η μείωση απωλειών, η ανακύκλωση νερού και η βελτίωση υποδομών) οδήγησε σε ουσιαστική μείωση των ελλειμμάτων και βελτίωση της διαθεσιμότητας της τάξεως των 5 εκατ. κυβικών ακόμα και στο δυσμενέστερο σενάριο, επιβεβαιώνοντας την ανάγκη για μακροπρόθεσμες και συντονισμένες πολιτικές διαχείρισης σε επίπεδο λεκάνης απορροής.

Ενέργεια: Στον ενεργειακό τομέα, οι πολιτικές δεν στόχευαν σε αλλαγή των ποσοτήτων παραγωγής, αλλά κυρίως σε μετασχηματισμό του τρόπου παραγωγής. Στόχος τους ήταν η σταδιακή ενσωμάτωση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, μειώνοντας την εξάρτηση από τις σχετικές εκπομπές. Φάνηκε πως οι βουλγαρικές περιοχές αν και έχουν ένα αποδοτικό ενεργειακό ισοζύγιο θα δυσκολευτούν στην πράσινη μετάβαση, καθώς χρειάζονται μεγάλη παραγωγή εντόνως εξαρτημένη από τα ορυκτά καύσιμα. Από την άλλη μεριά η Ελλάδα παρουσιάζει ένα πολύ ελλειμματικό ισοζύγιο και η αλλαγή σε ανανεώσιμες πηγές αποτελεί ενέργεια ζωτικής σημασίας. Αμφότερες και οι δύο υπολεκάνες εμφανίζουν αποδοτική μείωση των εκπομπών τους αν και σε διαφορετικά μεγέθη λόγω διαφοράς δυναμικότητας στην παραγωγή.

Τροφή: Η παραγωγή και η κατανάλωση τροφής λειτουργούν αποδοτικά και στις δύο χώρες αν και παρουσίασαν σημαντικές διακυμάνσεις, κυρίως λόγω των κλιματικών επιρροών στην αγροτική παραγωγή και των κοινωνικοοικονομικών διαφορών. Τα σενάρια χαμηλών εκπομπών (RCP2.6) διατήρησαν υψηλότερα επίπεδα παραγωγής, υποδηλώνοντας ότι η σταθερότητα της αγροτικής παραγωγής εξαρτάται άμεσα από τη διαθεσιμότητα νερού και την ενεργειακή επάρκεια. Η εφαρμογή πολιτικών ενίσχυσης της αποδοτικότητας και βιώσιμης γεωργίας μειώνει τα ελλείμματα και ενισχύει τη διατροφική αυτάρκεια, ενώ στα δυσμενή

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 11:28:09 EEST - 216.73.216.250

σενάρια RCP8.5–SSP4, η ανισότητα στην πρόσβαση σε τεχνολογίες και πόρους επιδεινώνει τη διαφορά παραγωγής–κατανάλωσης.

Οικοσύστημα: Οι χώρες έχουν ικανοποιητική εξέλιξη των αριθμών των ειδών. Η Βουλγαρία λόγο κλίματος έχει υψηλότερες τιμές αφθονίας και μεγαλύτερη αντοχή των οικοσυστημάτων σε σχέση με αυτή στην ελληνική πλευρά, αλλά η τάση αστάθειας υπάρχει και στις δύο χώρες Το σενάριο RCP8.5 (υψηλές εκπομπές) προκαλεί μεγαλύτερες διακυμάνσεις και αστάθεια σε σχέση με το RCP2.6, ενώ φαίνεται πως οι οργανισμοί που είναι πιο εκτεθειμένοι στις κλιματικές αλλαγές (χερσαία και πτηνά) παρουσιάζουν μεγαλύτερες μεταβολές.

7.2 Προτάσεις

Η σύνδεση των τομέων καταδεικνύει ότι καμία πολιτική ή παρέμβαση δεν μπορεί να εφαρμοστεί μεμονωμένα χωρίς να επηρεάσει τους υπόλοιπους. Η διαχείριση του νερού επηρεάζει άμεσα την παραγωγή τροφής και την ενεργειακή παραγωγή, ενώ η ενεργειακή κατανάλωση και η χρήση γης επηρεάζουν την ποιότητα και τη διαθεσιμότητα των οικοσυστημικών πόρων. Η υιοθέτηση μιας ολιστικής προσέγγισης, με έμφαση στη συντονισμένη χάραξη πολιτικών, μπορεί να μεγιστοποιήσει τη συνολική αποδοτικότητα των πόρων, να μειώσει τις απώλειες και να ενισχύσει την ανθεκτικότητα του συστήματος απέναντι στην κλιματική μεταβλητότητα.

Σε κρατικό επίπεδο η Ελλάδα και η Βουλγαρία, ως χώρες που μοιράζονται σημαντικές διασυνοριακές λεκάνες, βρίσκονται στην πρώτη γραμμή της ανάγκης για συντονισμένη διαχείριση των φυσικών πόρων. Η κλιματική αλλαγή και οι διαφορές στις πολιτικές προσεγγίσεις καθιστούν αναγκαία τη δημιουργία μηχανισμών συνεργασίας, κοινών συστημάτων παρακολούθησης, ανταλλαγής δεδομένων και διαλόγου πολιτικής σε περιφερειακό επίπεδο. Θα πρέπει να προβούν άμεσα σε στήριξη και χρηματοδότηση πολιτικών εκσυγχρονισμού και ενημέρωσης των πολιτών. Να επιβραβεύουν τις πρωτοβουλίες των κατοίκων και να ακούν ευλαβικά τους προβληματισμούς τους, καλλιεργώντας τον συμμετοχικό σχεδιασμό, γιατί εκείνοι αποτελούν την αφετηρία αλλά και την προορισμό των αλλαγών.

Σε επίπεδο έρευνας, θα ήταν καλό να εξεταστούν περαιτέρω πολιτικές να αναπτυχθούν νέα μοντέλα και να διαμορφωθούν νέες εμπλουτισμένες προσεγγίσεις. Να βρεθούν νέοι τρόποι αξιολόγησης των οικοσυστημάτων μέσα από ποσοτική και ποιοτική αποτίμηση των αλλαγών. Να γίνουν μελέτες κόστους- οφέλους της εφαρμογής πολιτικών και οποιονδήποτε επιλογών προκύψουν, για να αποτελέσουν το πρώτο βήμα προς την υλοποίηση τους. Πολύ σημαντική

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 11:28:09 EEST - 216.73.216.250

είναι και η συνεισφορά των κοινωνικών μελετών, οι οποίες ξεκαθαρίζουν τα κίνητρα και τις δυναμικές της κοινωνίας που μπορεί να παίξει πολύ σημαντικό ρόλο στην διεθνή συνεργασία, είτε μέσω της παρότρυνσης είτε της αποδοκιμασίας της. Τέλος, να αναπτυχθούν νέες και καλύτερες τεχνολογίες παρακολούθησης, εποπτείας και επεξεργασίας των υδάτων που θα μπορούν να δίνουν τα κατάλληλα εφόδιά στους ίδιους τους επιστήμονες για να διατελέσουν τον καθοριστικό ρόλο που τους προσφέρει η θέση τους, ώστε να φανούν αντάξιοι στις απαιτήσεις των καιρών

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 11:28:09 EEST - 216.73.216.250

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Abbas, N., & Subramanian, V. (1984). Erosion and sediment transport in the Ganges river basin (India). Journal of Hydrology, 69(1-4), 173-182.

Ahmad, Q. K. (2001). Ganges-Brahmaputra-Meghna region: A framework for sustainable development.

Argiropoulos, D., Ganoulis, J., & Papachristou, E. (1996). Water quality assessment of the Greek part of Nestos (Mesta) River. In Transboundary Water Resources Management: Institutional and Engineering Approaches (pp. 427-438). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.

Banda, V. D., Dzwairo, R. B., Singh, S. K., & Kanyerere, T. (2022). Hydrological modelling and climate adaptation under changing climate: a review with a focus in Sub-Saharan Africa. Water, 14(24), 4031.

Baranyai, G. (2019). European water law and hydropolitics: an inquiry into the resilience of transboundary water governance in the European Union. Faculty of Law and Political Sciences, Pázmány Péter Catholic University, Budapest. https://doi.org/10.15774/PPKE.JAK.2019.003

Bernauer, T., Böhmelt, T., Buhaug, H., Gleditsch, N. P., Tribaldos, T., Weibust, E. B., & Wischnath, G. (2012). Water-Related Intrastate Conflict and Cooperation (WARICC): A New Event Dataset. International Interactions, 38, 529–545. https://doi.org/10.1080/03050629.2012.697428

Bisht, M. (2010). India–Bhutan relations: From developmental cooperation to strategic partnership.

Biswas, A. K. (2011). Cooperation or conflict in transboundary water management: case study of South Asia. Hydrological Sciences Journal, 56(4), 662–670. https://doi.org/10.1080/02626667.2011.572886

Bleischwitz, R., Hoff, H., Spataru, C., van der Voet, E., & VanDeveer, S. D. (2018). Routledge Handbook of the Resource Nexus. Routledge. https://doi.org/10.4324/9780429279713

Bogaert, S., Boone, C., and van Witteloostuijn, A.: Social Value Orientation and Climate Strength as Moderators of the Impact of Work Group Cooperative Climate on Affective Commitment, J. Manage. Stud., 49, 918–944, https://doi.org/10.1111/j.1467-6486.2011.01029.x, 2012.

Conlisk, J. (1996). Why bounded rationality? Journal of Economic Literature, 34, 669–700.

Cover, C. L. (2018). Copernicus land monitoring service. European Environment Agency (EEA).

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 11:28:09 EEST - 216.73.216.250

De Andrade Guerra, J. B. S. O., Berchin, I. I., Garcia, J., da Silva Neiva, S., Jonck, A. V., Faraco, R. A., & Ribeiro, J. M. P. (2021). A literature-based study on the water–energy–food nexus for sustainable development. Stochastic Environmental Research and Risk Assessment, 35(1), 95–116.

De Stefano, L., Duncan, J., Dinar, S., Stahl, K., Strzepek, K. M., & Wolf, A. T. (2012). Climate change and the institutional resilience of international river basins. Journal of Peace Research, 49, 193–209.

Diamantis, I. (1996). Influence of the development activities and environmental impacts due to irrational exploitation of transboundary rivers—the case of transboundary rivers in Greece (Nestos and Evros). In: Proceedings of the International Conference of the Technical Chamber of Greece, Water Resources Management (pp. 127–133).

Ding, N., Erfani, R., Mokhtar, H., & Erfani, T. (2016). Agent Based Modelling for Water Resource Allocation in the Transboundary Nile River. Water, 8, 139. https://doi.org/10.3390/w8040139

European Commission. (2000). Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council establishing a framework for the Community action in the field of water policy. http://ec.europa.eu/environment/water/waterframework/info/intro_en.htm

Ghosh, S., Al Basir, F., Chowdhury, G., Bhattacharya, S., & Ray, S. (2021). Is the primary helper always a key group for the dynamics of cooperative birds? A mathematical study on cooperative breeding birds. Ecological Modelling, 459, 109728.

Harou, J. J., Pulido-Velazquez, M., Rosenberg, D. E., Medellin-Azuara, J., Lund, J. R., & Howitt, R. E. (2009). Hydro-economic models: Concepts, Design, Applications, and Future Prospects. Journal of Hydrology, 375, 627–643.

Hoff, H. (2011). Understanding the Nexus. Stockholm Environment Institute. https://mediamanager.sei.org/documents/Publications/SEI-Paper-HoffUnderstandingTheNexus-2011.pdf

Hossain, I. (1998). Bangladesh-India relations: the Ganges water-sharing treaty and beyond. Asian Affairs: An American Review, 25(3), 131–150.

Howat, A. J. (2021). The role of value perceptions in intergroup conflict and cooperation. Political Groups and Identities, 9, 657–680. https://doi.org/10.1080/21565503.2019.1629320

ICPDR. (2025). The flow of Danube cooperation: A history of shared responsibility. International Commission for the Protection of the Danube River. https://www.icpdr.org/publications/flow-danube-cooperation-history-shared-responsibility

Kallioras, A., Pliakas, F., & Diamantis, I. (2006). The legislative framework and policy for the water resources management of transboundary rivers in Europe: the case of Nestos/Mesta River, between Greece and Bulgaria. Environmental Science & Policy, 9(3), 291–301.

Kallioras, A., Pliakas, F., & Diamantis, I. (2004). The harmonization of national law with the Directive 2000/60 EC. Environment and Law, 4, 480–488.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 11:28:09 EEST - 216.73.216.250

Karasani, M., Dionissis, L., Susanne, S., & Ifigenia, K. (2022). Identifying Water Governance Priorities and Gaps in Transboundary Basins through SWOT: The Case Study of Mesta/Nestos River Basin. Environmental Sciences Proceedings, 21(1), 74. https://doi.org/10.3390/environsciproc2022021074

Khan, H. F., Yang, Y. C. E., Xie, H., & Ringler, C. (2017). A coupled modeling framework for sustainable watershed management in transboundary river basins. Hydrology and Earth System Sciences, 21, 6275–6288.

Kurian, M., Portney, K. E., Rappold, G., Hannibal, B., & Gebrechorkos, S. H. (2018). Governance of Water-Energy-Food Nexus: A Social Network Analysis Approach to Understanding Agency Behaviour. In S. Hülsmann & R. Ardakanian (Eds.), Managing Water, Soil and Waste Resources to Achieve Sustainable Development Goals (pp. 125–147). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-75163-4

Laspidou, C., & Ziliaskopoulos, K. (2022). Using system dynamics modelling to visualize the effects of resource management and policy interventions on biodiversity at a regional scale. Ecological Indicators, 145, 109630.

Lazaro, L. L. B., Giatti, L. L., Bermann, C., Giarolla, A., & Ometto, J. (2021). Policy and governance dynamics in the water-energy-food-land nexus of biofuels: Proposing a qualitative analysis model. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 149, 111384.

Linerooth, J. (1990). The Danube River Basin: Negotiating Settlements to Transboundary Environmental Issues. Natural Resources Journal, 30(3), 629–660. https://www.jstor.org/stable/24883595

Luo, M., Wang, S., Saavedra, S., Ebert, D., & Altermatt, F. (2022). Multispecies coexistence in fragmented landscapes. Proceedings of the National Academy of Sciences, 119(37), e2201503119.

McDowell, N. G., Allen, C. D., Anderson-Teixeira, K., Aukema, B. H., Bond-Lamberty, B., Chini, L., ... & Xu, C. (2020). Pervasive shifts in forest dynamics in a changing world. Science, 368(6494), eaaz9463.

Mirumachi, N., & Allan, J. A. (2007). Revisiting transboundary water governance: Power, conflict cooperation and the political economy. CAIWA International Conference on Adaptive and Integrated Water Management, Basel, Switzerland.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 11:28:09 EEST - 216.73.216.250

Mylopoulos, Y., Eleftheriadou, E., & Kampragou, E. (2004, June). The transboundary catchment of River Nestos and the bilateral agreement between Greece and Bulgaria. In Conference on Integrated Water Management of Transboundary Catchments, Venice, Italy (pp. 24–26).

Ostrom, W. (2009). A general framework for analyzing sustainability of social-ecological systems. Science, 325, 419–422.

Pahl-Wostl, C., Bhaduri, A., & Bruns, A. (2018). Editorial special issue: The Nexus of water, energy and food – An environmental governance perspective. Environmental Science and Policy, 90, 161–163.

Pahl-Wostl, C., Gorris, P., Jager, N., Koch, L., Lebel, L., Stein, C., Venghaus, S., & Withanachchi, S. (2021). Scale-related governance challenges in the water–energy–food nexus: toward a diagnostic approach. Sustainability Science, 16(2), 615–629.

Pacific Institute. (2009). Water Conflict Chronology. https://www.worldwater.org/conflict/map/

Rahaman, M. M. (2009). Principles of transboundary water resources management and Ganges treaties: an analysis. International Journal of Water Resources Development, 25(1), 159–173.

Ranjan, A. (2015). Water conflicts in South Asia: India's transboundary river water conflicts with Pakistan, Bangladesh and Nepal. BIISS Journal, 36(1), 37–55.

Scheingross, J. S., Limaye, A. B., McCoy, S. W., & Whittaker, A. C. (2020). The shaping of erosional landscapes by internal dynamics. Nature Reviews Earth & Environment, 1(12), 661–676.

Schill, C., Anderies, J. M., Lindahl, T., Folke, C., Polasky, S., Cárdenas, J. C., ... & Schlüter, M. (2019). A more dynamic understanding of human behaviour for the Anthropocene. Nature Sustainability, 2, 1075–1082.

Schwartz, S. H. (1992). Universals in the content and structure of values: Theoretical advances and empirical tests in 20 countries. In M. Zanna (Ed.), Advances in Experimental Social Psychology (Vol. 25, pp. 1–65). Academic Press.

Sihui Xin, Zhouyuan Li, Junsong Nong, Jiaxin Wu, Xinwei Zou, Ruijin Wu, Shikui Dong, Rongling Wu, & Shaopeng Wang. (n.d.). Environmental system dynamics: Current development and applications. Ecological Modelling.

Skoulikaris, C. (2008). Mathematical modeling applied to integrated water resources management: the case of Mesta-Nestos basin. 10.13140/RG.2.1.2739.6082

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 11:28:09 EEST - 216.73.216.250

Stalzer, W. (2001). The Danube River Basin: international co-operation in water management. IWMI Proceedings, 416.

Sterman, J. (2002). System Dynamics: Systems thinking and modeling for a complex world.

Sterman, J. D. (2006). Learning from evidence in a complex world. American Journal of Public Health, 96(3), 505–514.

Strategic Foresight Group. (2015). Water Cooperation Quotient. https://www.riob.org/en/documents/water-cooperation-quotient

Sutcliffe, J., Shaw, J., & Brown, E. (2011). Historical water resources in South Asia: the hydrological background. Hydrological Sciences Journal, 56(5), 775–788.

Sušnik, J., Chew, C., Domingo, X., Mereu, S., Trabucco, A., Evans, B., ... & Brouwer, F. (2018). Multi-stakeholder development of a serious game to explore the water-energy-food-land-climate nexus: The SIM4NEXUS approach. *Water, 10*(2). https://doi.org/10.3390/w10020139

Ulrich, W. (1988). Systems thinking, systems practice, and practical philosophy: A program of research. *Systems Practice, 1*(2), 137–163.

United Nations. (2016). *UN Water. Transboundary Waters.* https://www.un.org/waterforlifedecade/transboundary_waters

Verghese, B. G. (1990). Waters of Hope: Himalaya-Ganga Development and Cooperation for a Billion People.

Verghese, B. G. (2007). Waters of Hope: Facing New Challenges in Himalaya-Ganga Cooperation. India Research Press.

Wei, Y., Wei, J., Li, G., Wu, S., Yu, D., Ghoreishi, M., Lu, Y., Souza, F. A. A., Sivapalan, M., & Tian, F. (2022). A socio-hydrological framework for understanding conflict and cooperation with respect to transboundary rivers. *Hydrology and Earth System Sciences, 26*, 2131–2146.

Werner, J., Pietsch, T., Hilker, F. M., & Arndt, H. (2022). Intrinsic nonlinear dynamics drive single-species systems. *Proceedings of the National Academy of Sciences, 119*(44), e2209601119.

Wolf, A. T., Yoffe, S. B., & Giordano, M. (2003). International waters: identifying basins at risk. *Water Policy, 5*, 29–60.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 11:28:09 EEST - 216.73.216.250

Xiong, D., Huang, H., Wang, Z., Li, Z., & Tian, C. (2021). Assessment of dwarf mistletoe (Arceuthobium sichuanense) infection in spruce trees by using hyperspectral data. *Forest Pathology, 51*(2), e12669.

Yu, D. J., Chang, H., Davis, T. T., Hillis, V., Marston, L. T., Oh, W. S., Sivapalan, M., & Waring, T. M. (2020). Socio-hydrology: an interplay of design and self-organization in a multilevel world. *Ecology and Society, 25*, 22. https://doi.org/10.5751/ES-11887-250422

Zeitoun, M., Mirumachi, N., & Warner, J. (2011). Transboundary water interaction II: The influence of 'soft' power. International Environmental Agreements, 11, 159–178.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
04/09/2026 11:28:09 EEST - 216.73.216.250