ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Ε.Μ.Π

Δ.Π.Μ.Σ. ΠΟΛΕΟΔΟΜΙΑ ΚΑΙ ΧΩΡΟΤΑΞΙΑ

ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ – ΧΩΡΙΚΗ ΔΙΑΚΥΒΕΡΝΗΣΗ

Αλληλεπιδράσεις Φυσικών Πόρων – Η Έννοια της Διασύνδεσης (Nexus) – Φυσικό Σύστημα

Δρ. Χρυσαΐδα – Αλίκη Παπαδοπούλου

Επίκουρη Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

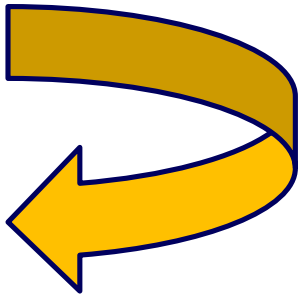
Αθήνα

26/10/2026

Φυσικοί Πόροι

Αγαθά που βρίσκονται στη φύση και δύνανται να αξιοποιηθούν για την κάλυψη αναγκών

Συνδέονται άμεσα



- Οικονομική ανάπτυξη
- Κοινωνική συνοχή
- Πολιτισμική ανάπτυξη

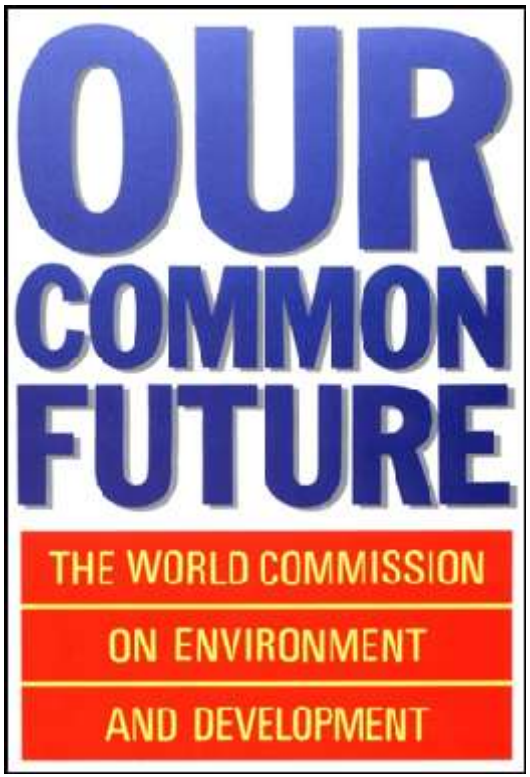
Φυσικοί Πόροι – Κατηγοριοποίηση

- **Προέλευση:**
  - Βιοτικοί: Παράγονται από ζωντανούς οργανισμούς – βιολογική προέλευση, π.χ. δάση, πανίδα
  - Αβιοτικοί: Δεν παράγονται από ζωντανούς οργανισμούς, π.χ. έδαφος, νερό, ηλιακή ενέργεια

- **Ανανεωσιμότητα:**
  - Ανανεώσιμοι: Ανανεώνονται με φυσικές ή τεχνητές διεργασίες, π.χ. ηλιακή ενέργεια, άνεμος, νερό, δάση
  - Μη ανανεώσιμοι: Υπάρχουν σε περιορισμένες ποσότητες, π.χ. μεταλλικά ορυκτά, πετρέλαιο
  - Δυνητικά ανανεώσιμοι: Οι ρυθμοί κατανάλωσής τους (αλόγιστη χρήση) δύνανται να τους καταστήσουν μη ανανεώσιμους, π.χ. δάση, ποτάμια, υπόγεια ύδατα, γεωργικές εκτάσεις

Διαχείριση Φυσικών Πόρων – Στόχος

Αειφορική διαχείριση φυσικών πόρων υπό το πρίσμα των τριών **πυλώνων** της βιώσιμης ανάπτυξης: Κοινωνία, Οικονομία, Περιβάλλον



Βιώσιμη ανάπτυξη

↓

"Η ανάπτυξη που ικανοποιεί τις ανάγκες του παρόντος χωρίς να διακυβεύει την ικανότητα των μελλοντικών γενεών να ικανοποιήσουν τις δικές τους ανάγκες"

(Έκθεση Brundtland, 1987)

Βασικές Προκλήσεις

- **Κλιματική αλλαγή**: μετριασμός, ανθεκτικότητα, κλιματική ουδετερότητα
- **Διαχείριση υδατικών πόρων**: χρήση αρδευτικού νερού, ποιότητα υδατικών πόρων, ξηρασία
- **Πιέσεις** στα **οικοσυστήματα** και στη **βιοποικιλότητα**: ανταγωνιστικές χρήσεις, απώλεια βιοποικιλότητας
- **Πιέσεις** στο **έδαφος**: Εντατική γεωργία, λιπάσματα και φυτοφάρμακα
- Περαιτέρω αξιοποίηση **Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας** και απεξάρτηση από τα **ορυκτά καύσιμα**
- Αλλαγές **χρήσεων γης** και **αποτύπωμα άνθρακα**, π.χ. καταστροφή δασών και χορτολιβαδικών εκτάσεων
- Διαχείριση πόρων σε **διακρατικό επίπεδο**

Κλιματική Αλλαγή – Διαχείριση Φυσικών Πόρων

United Nations

NASA

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION

Κλιματική Αλλαγή

Μακροχόνιες μεταβολές στη **θερμοκρασία** και στις **μέσες καιρικές συνθήκες** – Φυσικές (π.χ. εκρήξεις ηφαιστείων) και ανθρωπογενείς (π.χ. χρήση ορυκτών καυσίμων)

Κλιματική Αλλαγή – Επιπτώσεις



Κλιματική Αλλαγή – Διαχείριση Φυσικών Πόρων

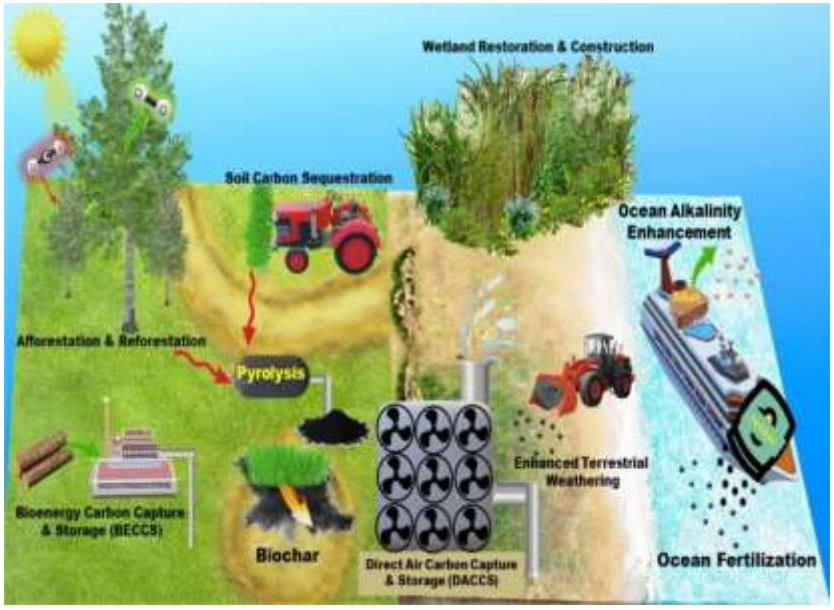
Μετριασμός (mitigation):
«Φρένο» στην κλιματική αλλαγή – Ανάσχεση

Μείωση εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου – Περιορισμός υπερθέρμανσης

Εναλλακτικές πηγές ενέργειας και εναλλακτικοί τρόποι διαχείρισης CO_2



Δέσμευση CO_2 από τον τομέα διαχείρισης χρήσεων γης και δασών (LULUCF)



Πηγή εικόνων: Fawzy, S., Osman, A.I., Doran, J. *et al.* Strategies for mitigation of climate change: a review. *Environ Chem Lett* 18, 2069–2094 (2020). https://doi.org/10.1007/s10311-020-01059-w

Κλιματική Αλλαγή – Διαχείριση Φυσικών Πόρων

Προσαρμογή (adaptation) και Ανθεκτικότητα (resilience):
Έμφαση στην προσαρμογή και όχι στην ανάσχεση

Προσαρμογή στις νέες συνθήκες – Μείωση ρίσκου – Αξιοποίηση «ευκαιριών»

- **Επέκταση** καλλιεργητικής περιόδου – Καλλιέργειες **ανθεκτικές** στην **ξηρασία**
- **Αποτελεσματικότερη** διαχείριση **υδατικών πόρων** (π.χ. αποθήκευση νερού, ορθολογική χρήση αρδευτικού νερού)
- Σχέδια και μέτρα για την αντιμετώπιση του **καύσωνα** – Φαινόμενο **αστικής θερμικής νησίδας** (π.χ. αστικό πράσινο, γαλάζιες υποδομές)
- Ενίσχυση **ανθεκτικότητας** των **κτιρίων** (π.χ. βιοκλιματικά κτίρια)
- **Αντιπλημμυρικά** έργα
- Θαλάσσια **τείχη**

Διαχείριση Προκλήσεων – Επιμέρους Ζητήματα

26/10

- Κατανόηση των **αλληλεπιδράσεων** που αναπτύσσονται μεταξύ φυσικών πόρων
- **Μοντελοποίηση** και αναπαράσταση του **φυσικού συστήματος**
- Ανάλυση και επεξεργασία μεγάλου όγκου **χωρο-χρονικών περιβαλλοντικών δεδομένων**

02/11

- **Πολιτικές** διαχείρισης φυσικών – Επίπεδο συνοχής πολιτικών και ολοκληρωμένη διαχείριση πόρων
- Αλλαγές **χρήσεων γης** και βιώσιμη ανάπτυξη οικοσυστημάτων
- Αξιοποίηση **Συστημάτων Στήριξης Αποφάσεων** για την αξιολόγηση περιβαλλοντικών λύσεων

Αλληλεπιδράσεις – Συστημικές Προσεγγίσεις



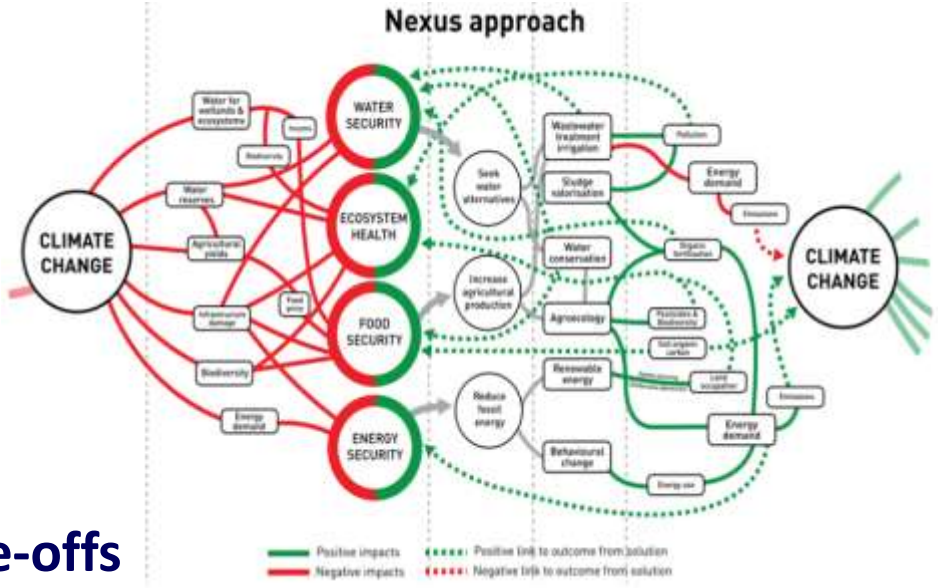


Πηγή: https://warredoc-unistrapg.org/en/nexus-ness/

- Integrated Water Resources Management (IWRM), Integrated Resource Management (IRM), **Nexus**
- **Δομική ανάλυση συστημάτων** – Εμβάθυνση σε σχέσεις **αλληλεπίδρασης**
- Φυσικοί πόροι: **Ενιαίο σύστημα** όπου ο κάθε φυσικός πόρος δεν μπορεί να μελετηθεί / αξιοποιηθεί ανεξάρτητα από τους υπόλοιπους
- **Σύστημα**: Ένα σύνολο στοιχείων μεταξύ των οποίων αναπτύσσονται σχέσεις αλληλεπίδρασης

Αλληλεπιδράσεις – Συστημικές Προσεγγίσεις





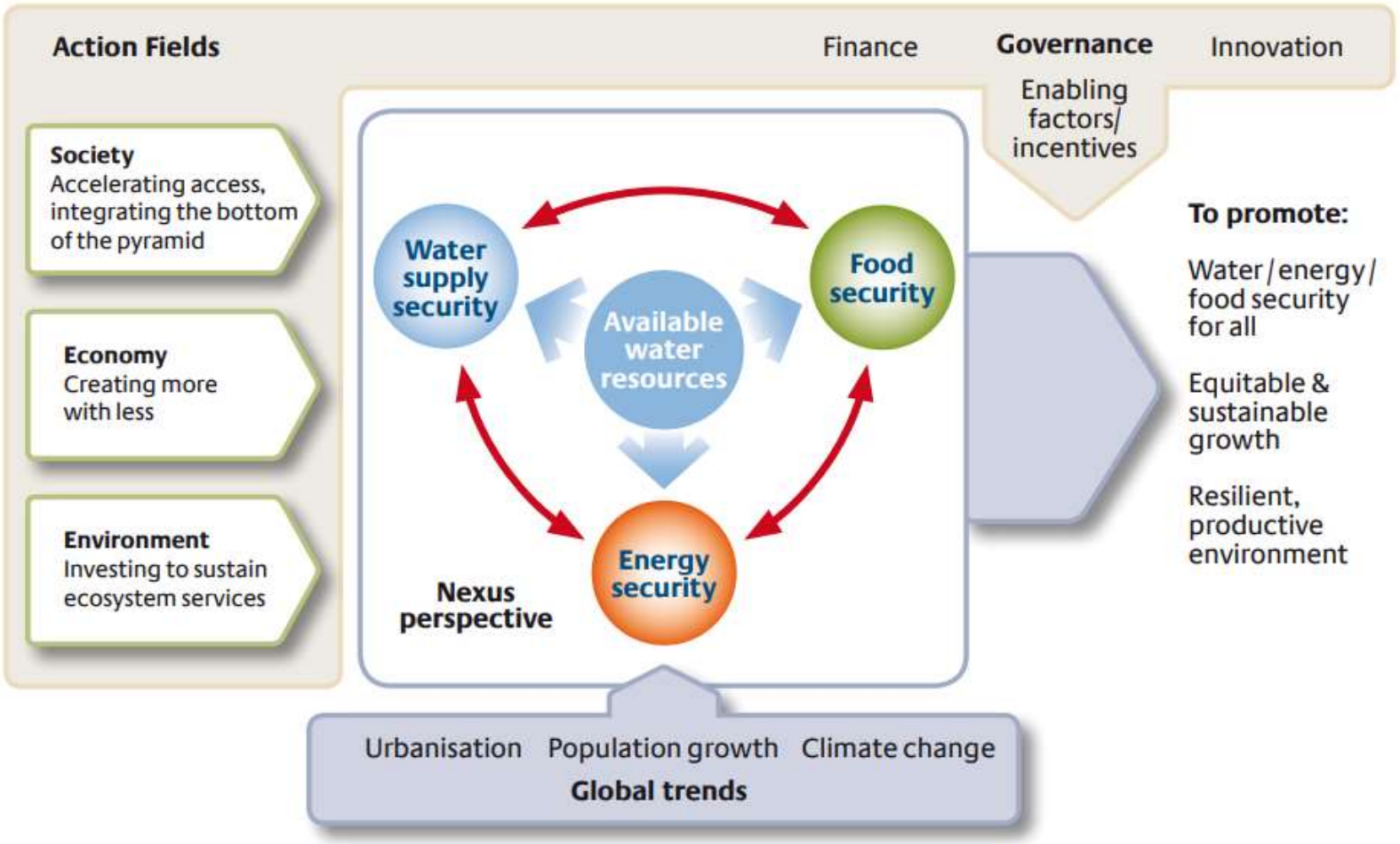
Πηγή: Drobinski, et al., 2025
https://doi.org/10.1038/s44168-025-00308-4

- Αυξημένη **πολυπλοκότητα**
- **Συνέργειες – Συγκρούσεις – Trade-offs**
- **Διεπιστημονικές** προσεγγίσεις
- Σχεδιασμός βελτιωμένων, αποτελεσματικότερων και αποδοτικότερων **πολιτικών** διαχείρισης φυσικών πόρων – Data-driven πολιτικές
- **Ολοκληρωμένες** λύσεις διαχείρισης vs. **Τομεακές** προσεγγίσεις
- **Εφαρμογή** πολιτικών και λύσεων – **Monitoring** και επανασχεδιασμός

Η Έννοια της Διασύνδεσης – Nexus

Introducing the WEF nexus

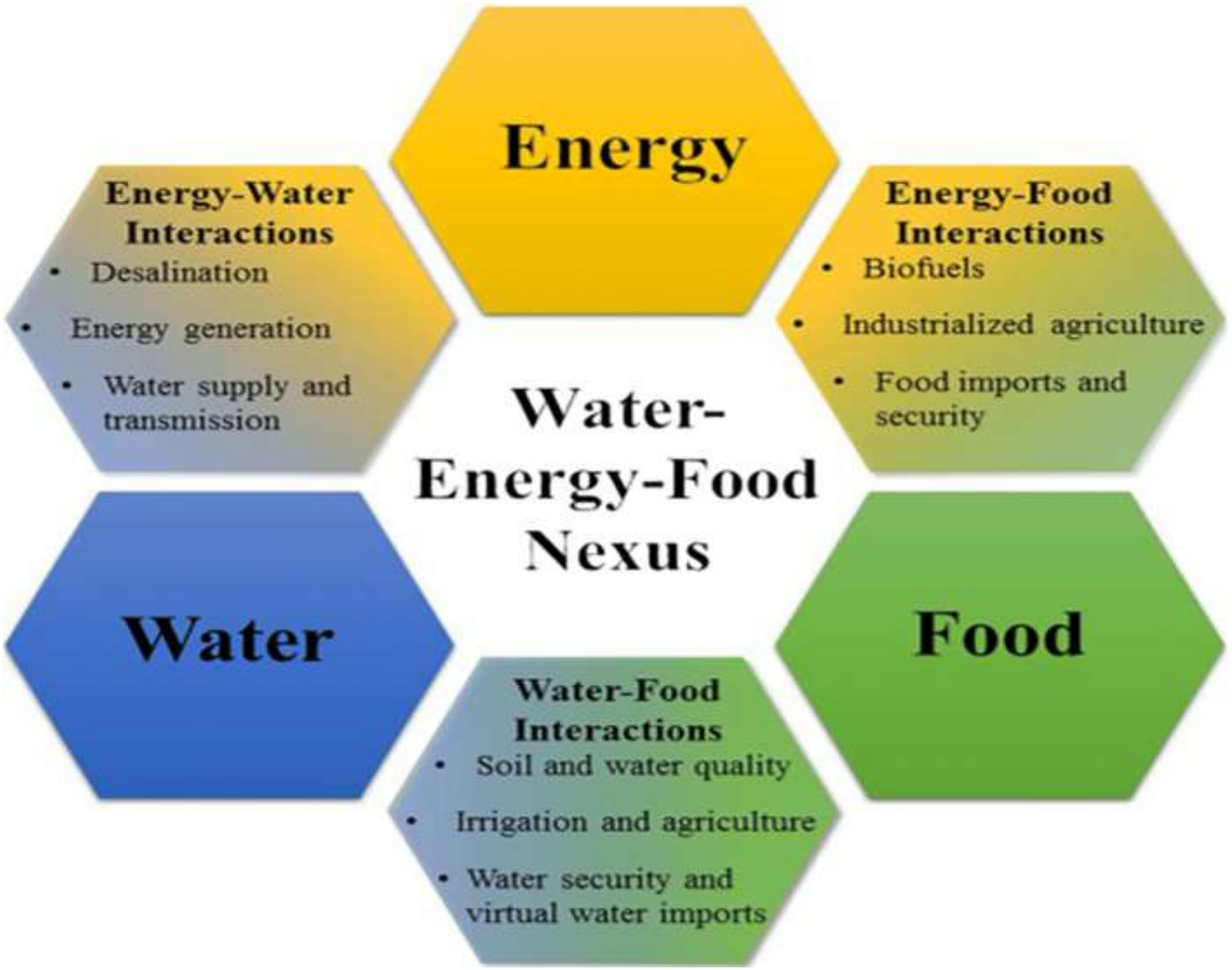
Interconnected sectors – Moving beyond silos (Hoff, 2011)



Πηγή: Hoff, H. 2011. Understanding the Nexus: Background Paper for the Bonn 2011 Conference on the Water, Energy and Food Security Nexus. Stockholm, Sweden: Stockholm Environment Institute (SEI)

Η Έννοια της Διασύνδεσης – Nexus

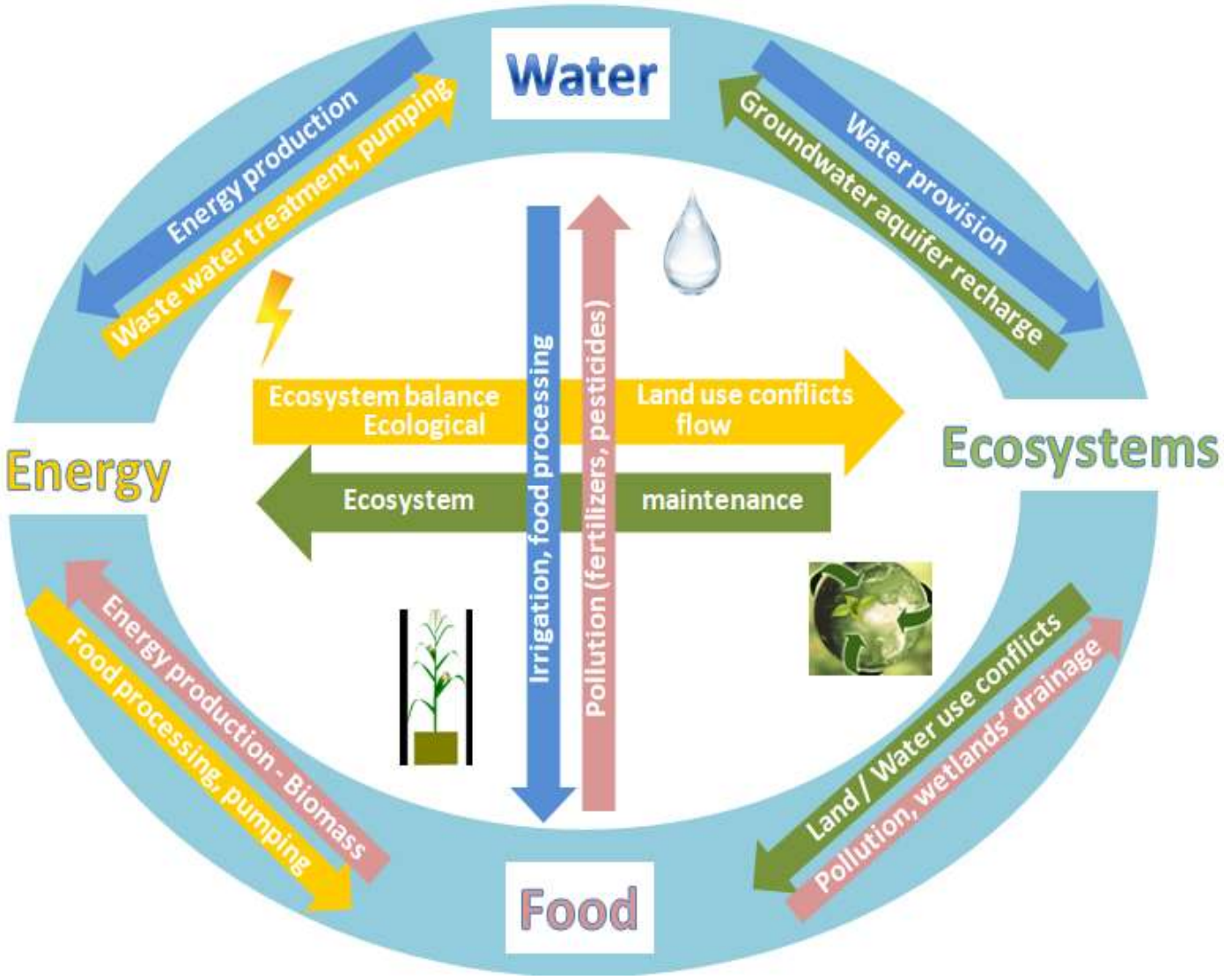
Nexus: Νερό-Ενέργεια-Τροφή



Πηγή: Burrow et al., 2019, https://doi.org/10.1007/s40518-019-00126-3

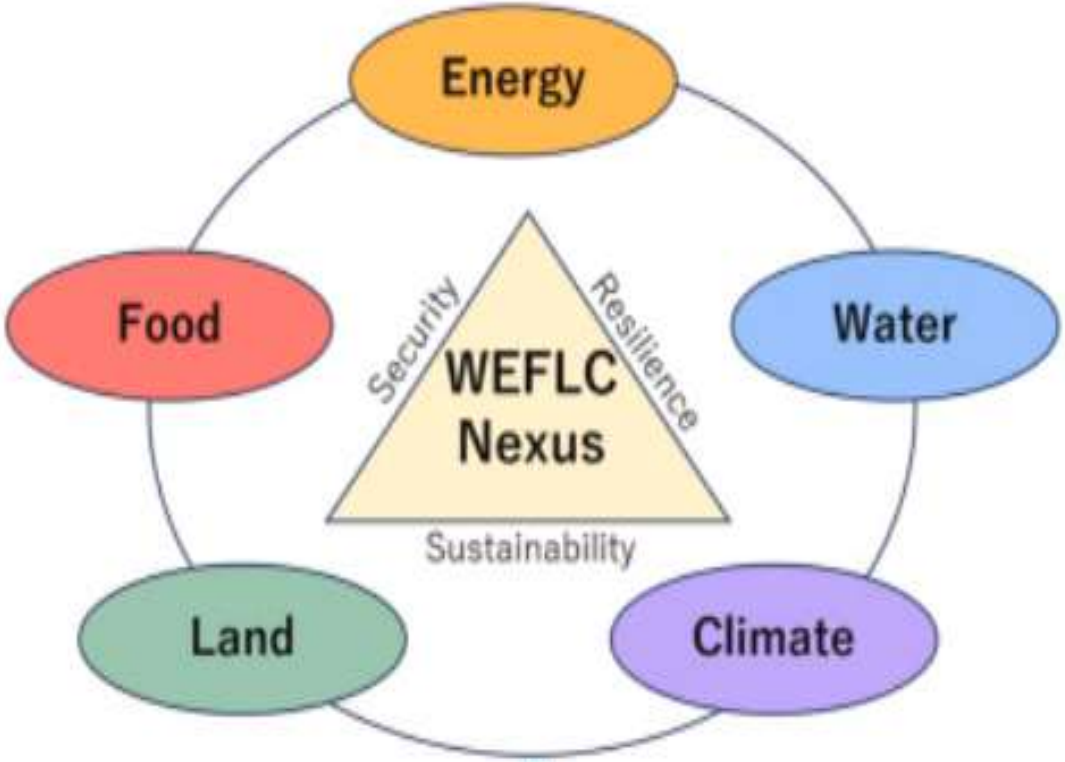
Η Έννοια της Διασύνδεσης – Nexus

Nexus: Νερό-Ενέργεια-Τροφή-Οικοσυστήματα



Πηγή: Papadopoulou and Mellios, 2023, EGU General Assembly and NEXUSNET webpage

Η Έννοια της Διασύνδεσης – Nexus

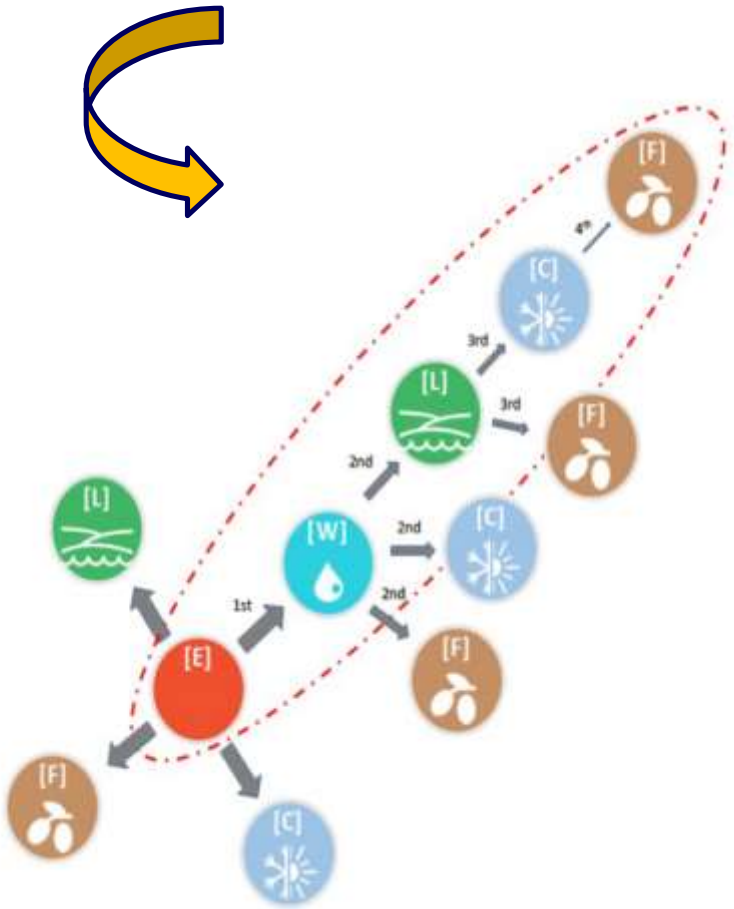


Πηγή: Gonocruz-Abe, et al., 2026. https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2026.109361

Αλληλεπιδράσεις Πόρων

- **Άμεση αλληλεπίδραση**: Ένα στοιχείο επηρεάζει απευθείας τη διαχείριση (π.χ. διαθεσιμότητα, κατάσταση) ενός άλλου

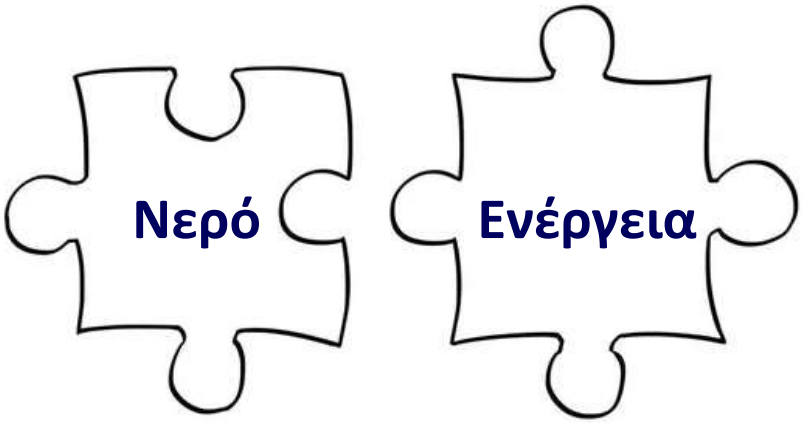
- **Έμμεση αλληλεπίδραση:** Ένα στοιχείο επηρεάζει τη διαχείριση (π.χ. διαθεσιμότητα, κατάσταση) ενός άλλου στοιχείου μέσω ενός τρίτου



Laspidou et al., 2019

Αλληλεπιδράσεις Πόρων

- **Συνέργειες:** Η ορθή και αποτελεσματική διαχείριση ενός πόρου συνεισφέρει στη βιώσιμη διαχείριση ενός άλλου πόρου (benefit).



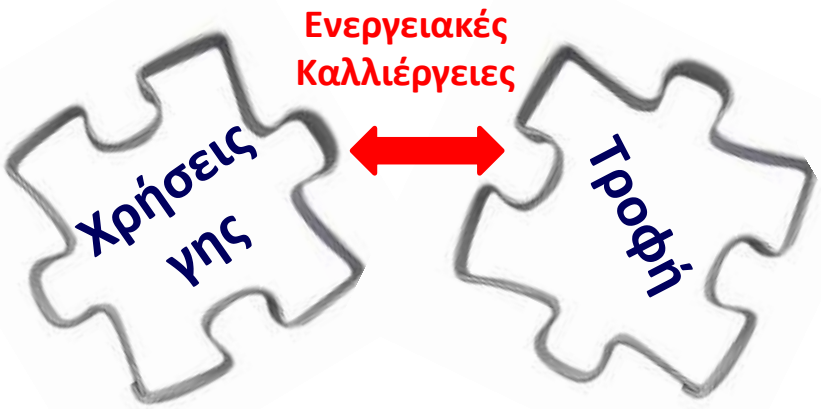


Πηγή εικόνας:
https://www.jains.com/Company/news/blog/Jains_Solar_Powered_Micro_Irrigation_System_Promising_Option_for_Agrarians.htm

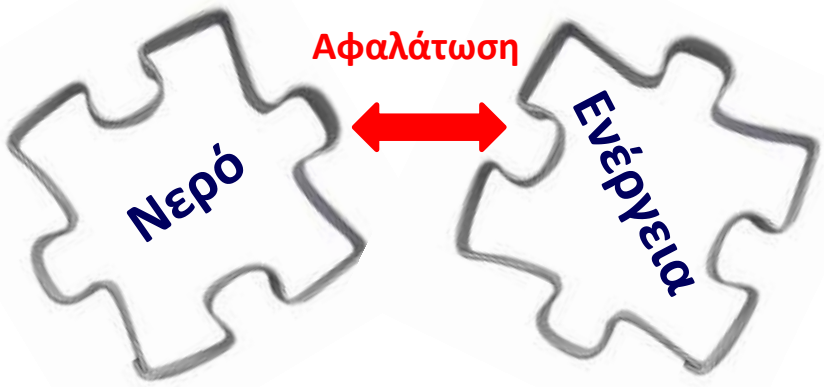
Αλληλεπιδράσεις Πόρων

- **Συγκρούσεις:** Οι μη αποτελεσματικές πρακτικές διαχείρισης ενός πόρου προκαλούν επίπτωση στη βιώσιμη διαχείριση ενός άλλου πόρου – Ανταγωνιστικές χρήσεις.
- **Trade-offs (ανταλλαγές / αντισταθμίσεις)**: Η χρήση ενός πόρου προκαλεί επίπτωση στη χρήση / διαθεσιμότητα ενός άλλου πόρου – Σχέση οφέλους – πίεσης.

Παραγωγή ενέργειας **VS** Αγροτικός τομέας



Παραγωγή νερού **VS** Κατανάλωση ενέργειας



Διερεύνηση Αλληλεπιδράσεων: Φυσικό Σύστημα

Nexus Inventory

- **Τροφή → Νερό:** Τομέας γεωργίας και αρδευτικές ανάγκες
- **Ενέργεια → Νερό:** Παραγωγή υδροϋλεκτρικής ενέργειας
- **Νερό → Έδαφος:** Η ένταση των βροχοπτώσεων και η συχνότητα των πλημμυρών προκαλούν διάβρωση
- **Νερό → Χρήσεις γης:** Η διαθεσιμότητα υδατικών πόρων επηρεάζει τις χρήσεις γης που θα αναπτυχθούν σε μία περιοχή

Διερεύνηση Αλληλεπιδράσεων: Φυσικό Σύστημα

Nexus Inventory

- **Ενέργεια → Κλίμα:** Ο τομέας παραγωγής ενέργειας επηρεάζει το κλίμα μέσω των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου
- **Ενέργεια → Νερό:** Η άντληση νερού απαιτεί ενέργεια
- **Οικοσυστήματα → Τροφή:** Τα οικοσυστήματα παρέχουν τροφή στον άνθρωπο
- **Νερό → Οικοσυστήματα:** Η διατήρηση των οικοσυστημάτων απαιτεί επάρκεια υδατικών πόρων

Διερεύνηση Αλληλεπιδράσεων: Φυσικό Σύστημα

Νερό-Ενέργεια-Τροφή-Χρήσεις γης/Έδαφος-Οικοσυστήματα-Κλίμα (WEFLEC nexus)

	A	B	C	D
1	**Water** to other components			
2				
3	1	Water	Food	Irrigation water in agriculture for food production
4	2	Water	Food	Water is needed to grow (rain + irrigation) and process food
5	3	Water	Food	Alternative water sources (e.g. treated or reclaimed wastewater) can be used for fertigation
6	4	Water	Food	Treated domestic wastewater (rich in nutrients) is used for fertigation (irrigation + fertilization) of an agroforestry system (lettuce, tomato, watermelons, apples) (HYDRO1+HYDRO2)
7	5	Water	Food	Reclaimed wastewater in agricultural irrigation: A case study in Italy
8	6	Water	Food	Rainwater Use for Vertical Greenery Systems
9	7	Water	Food	Synergies of the environmental burdens associated with the climate, water and energy perspectives, along with milk production
10	8	Water	Food	Impacts of irrigation on water, energy and land footprints under various climate change scenarios on food production
11	9	Water	Food	Treated wastewater for crop irrigation
12	10	Water	Food	Impact of irrigation schemes and technologies in sugarcane production in Awash Basin of Ethiopia
13	11	Water	Energy	Water is used by hydroelectric power plants for electricity production
14	12	Water	Energy	Wastewater treatment with plants can act as integrated system for water reuse and energy production
15	13	Water	Energy	Water is needed for cooling in thermoelectric plants
16	14	Water	Energy	Water is needed for fracking practices
17	15	Water	Energy	Green hydrogen production needs water
18	16	Water	Energy	PV-equipment needs to be cleaned regularly for maintaining efficiency
19	17	Water	Energy	Water is needed for fractional distillation in raffineries
20	18	Water	Ecosystems	Water is needed for safeguarding ecosystems' health and ecological flow
21	19	Water	Ecosystems	Surface water and groundwater quality affect flora and fauna conservation
22	20	Water	Ecosystems	Drought negatively affects ecosystem state
23	21	Water	Ecosystems	Groundwater level affects wetland state and consequently breeding areas for migratory birds
24	22	Water	Land & Soil	Water availability affects land uses
25	23	Water	Land & Soil	Floods frequency and intensity affect soil erosion
26	24	Water	Land & Soil	Water availability affects urban development
27	25	Water	Climate	Water cycle affects climatic conditions (e.g., through evapotranspiration)

Νερό →

Πηγή: NEXUSNET – COST ACTION 20138 – WG1: Monitoring and Modelling the Nexus

Διερεύνηση Αλληλεπιδράσεων: Φυσικό Σύστημα

Νερό-**Ενέργεια**-Τροφή-Χρήσεις γης/Εδαφος-Οικοσυστήματα-Κλίμα (WEFLEC nexus)

	A	B	C	D
1	**Energy** to other components			
2				
3	1	Energy	Climate	Energy consumption affects climate, especially through the production of GHG
4	2	Energy	Food	Energy is a necessary prerequisite for food production
5	3	Energy	Land & Soil	Competitive land uses between the energy sector and other sectors like agriculture and livestock
6	4	Energy	Ecosystems	Energy production affects ecosystems' conservation (e.g., land use conflicts, habitat loss, ecosystem services)
7	5	Energy	Water	Energy is needed for water conveyance
8	6	Energy	Water	Energy is needed to heat water for different uses, e.g. cooking and hygiene
9	7	Energy	Water	Raffineries produce waste water
10	8	Energy	Water	Energy is needed for pumping
11	9	Energy	Water	Energy is used by Waste Water Treatment technologies

Ενέργεια →

Πηγή: NEXUSNET – COST ACTION 20138 – WG1: Monitoring and Modelling the Nexus

Διερεύνηση Αλληλεπιδράσεων: Φυσικό Σύστημα

Νερό-Ενέργεια-**Τροφή**-Χρήσεις γης/Εδαφος-Οικοσυστήματα-Κλίμα (WEFLEC nexus)

	A	B	C	D
1	**Food** to other components			
2				
3	1	Food	Ecosystems	A novel modelling toolkit for unpacking the Water-Energy-Food-Environment (WEFE) nexus of agricultural development
4	2	Food	Ecosystems	Environmental impact assessment of chicken meat production using life cycle assessment
5	3	Food	Ecosystems	Environmental Impact of Meat Industry – Current Status and Future Perspectives
6	4	Food	Ecosystems	Environmental impacts of food waste in Europe
7	5	Food	Ecosystem	Environmental impacts of food waste: Learnings and challenges from a case study in UK
8	6	Food	Ecosystems	Reducing food's environmental impacts through producers and consumers
9	7	Food	Ecosystems	Uncontrollable expansion of agricultural land and pastures threaten ecosystems' health
10	8	Food	Ecosystems	Intensification of agricultural production threatens biodiversity
11	9	Food	Water	Food production affects water quality (e.g., increase of nitrogen and phosphorus concentration)
12	10	Food	Energy	Competitive land uses, especially when it comes to P/Vs
13	11	Food	Energy	Agricultural products can be used as biofuels, they too need water
14	12	Food	Energy	Bioenergy Production from Miscanthus crop
15	13	Food	Energy	Intensive agriculture affects energy demand
16	14	Food	Climate	Organic diets reduce greenhouse gas emissions from the food system: Qatar case study
17	15	Food	Land & Soil	Food (agricultural sector) production affects soil quality (e.g., extensive use of fertilizers and pesticides)
18	16	Food	Land & Soil	If the agricultural productivity increases, the irrigated areas increase

Τροφή →

Πηγή: NEXUSNET – COST ACTION 20138 – WG1: Monitoring and Modelling the Nexus

Διερεύνηση Αλληλεπιδράσεων: Φυσικό Σύστημα

Νερό-Ενέργεια-Τροφή-**Χρήσεις γης/Έδαφος**-Οικοσυστήματα-Κλίμα (WEFLEC nexus)

	A	B	C	D
1	**Land & Soil** to other components			
2				
3	1	Land & Soil	Energy	Woody energy crops => LUC and Energy
4	2	Land & Soil	Water	Land uses affect availability of water resources
5	3	Land & Soil	Water	Land uses affect water quality
6	4	Land & Soil	Ecosystems	Natural processes such as erosion, mudflows, landslides affect ecosystems
7	5	Land & Soil	Food	Land availability affects food production (in quantitative terms)
8	6	Land & Soil	Food	Soil quality affects food quality
9	7	Land & Soil	Food	How societal driver affect LUC and thus indirectly food production and the water cycle
10	8	Land & Soil	Food	LUC and Food
11	9	Land & Soil	Food	Use of chemicals and fertilizers affects agricultural productivity

Χρήσεις γης/Έδαφος →

Πηγή: NEXUSNET – COST ACTION 20138 – WG1: Monitoring and Modelling the Nexus

Διερεύνηση Αλληλεπιδράσεων: Φυσικό Σύστημα

Νερό-Ενέργεια-Τροφή-Χρήσεις γης/Έδαφος-**Οικοσυστήματα**-Κλίμα (WEFLEC nexus)

	A	B	C	D
1	**Ecosystems** to other components			
2				
3	1	Ecosystems	Food	Services provided by ecosystems to the agricultural sector
4	2	Ecosystems	Food	Terrestrial ecosystems are genetic databases for development of new breeds of crops
5	3	Ecosystems	Food	Terrestrial ecosystems are habitat to important pollinators needed in food production
6	4	Ecosystems	Food	Terrestrial ecosystems help maintain soil health which sequestrate carbon, helping regulate climate, which is needed for food production
7	5	Ecosystems	Food	Aquatic ecosystems allow wild fisheries
8	6	Ecosystems	Water	Aquatic Ecosystems regulate water quality in rivers, lakes and reservoirs (to a certain extent until they themselves are destroyed)
9	7	Ecosystems	Water	Terrestrial ecosystems have a water purification function
10	8	Ecosystems	Water	Terrestrial ecosystems evapotranspire water that is recycled in form of rain downwinds, feeding agriculture
11	9	Ecosystems	Land & Soil	Ecosystem functionalities affect soil quality

Οικοσυστήματα →

Πηγή: NEXUSNET – COST ACTION 20138 – WG1: Monitoring and Modelling the Nexus

Διερεύνηση Αλληλεπιδράσεων: Φυσικό Σύστημα

Νερό-Ενέργεια-Τροφή-Χρήσεις γης/Έδαφος-Οικοσυστήματα-**Κλίμα** (WEFLEC nexus)

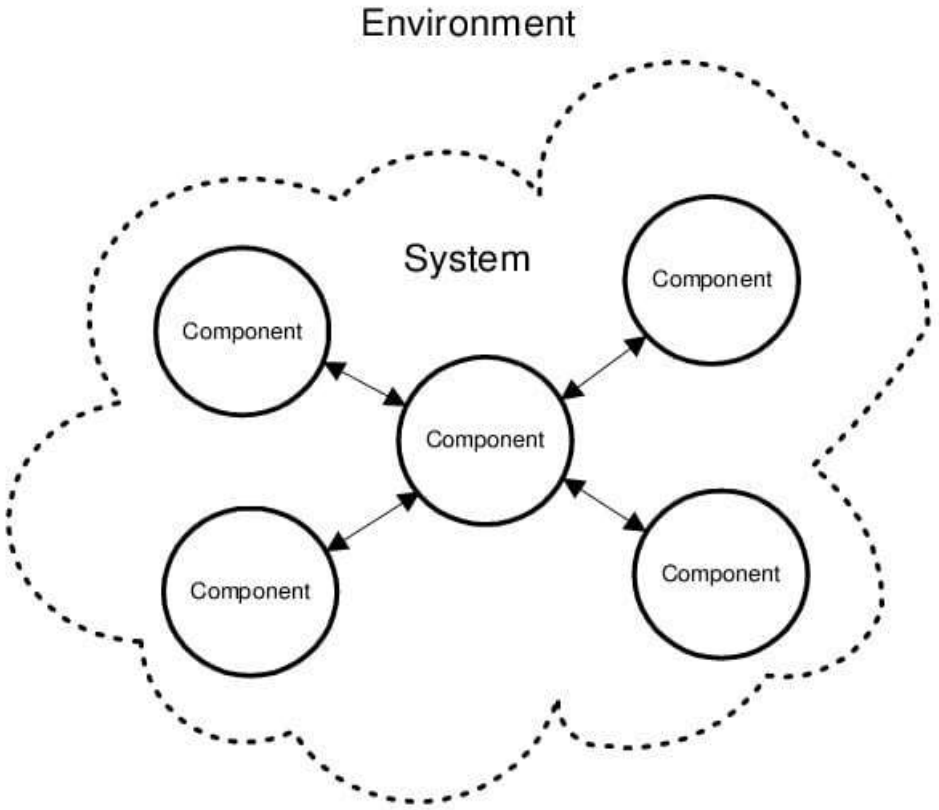
	A	B	C	D
1	**Climate** to other components			
2				
3	1	Climate	Food	Climate change stimulates LUC affecting ecosystems while potentially enhancing food production in the boreal and Arctic regions
4	2	Climate	Food	Climate change affects agricultural production and threatens food production
5	3	Climate	Land & Soil	Climate affects land uses (e.g., increase of drylands, land degradation)
6	4	Climate	Ecosystems	Climate change affects ecosystems (e.g., ecosystems' degradation, biodiversity loss)
7	5	Climate	Water	Rainfall decline and temperature rise threaten freshwater supply in Jordan
8	6	Climate	Water	residential water demand changes due to water price, aging of the population and the climate change
9	7	Climate	Water	Climatic conditions affect precipitation rates and thus water availability
10	8	Climate	Water	Climatic conditions affect rainfall frequency and intensity influencing surface water and groundwater quality

Κλίμα →

Πηγή: NEXUSNET – COST ACTION 20138 – WG1: Monitoring and Modelling the Nexus

Αναπαράσταση Αλληλεπιδράσεων: Εννοιολογικά Μοντέλα

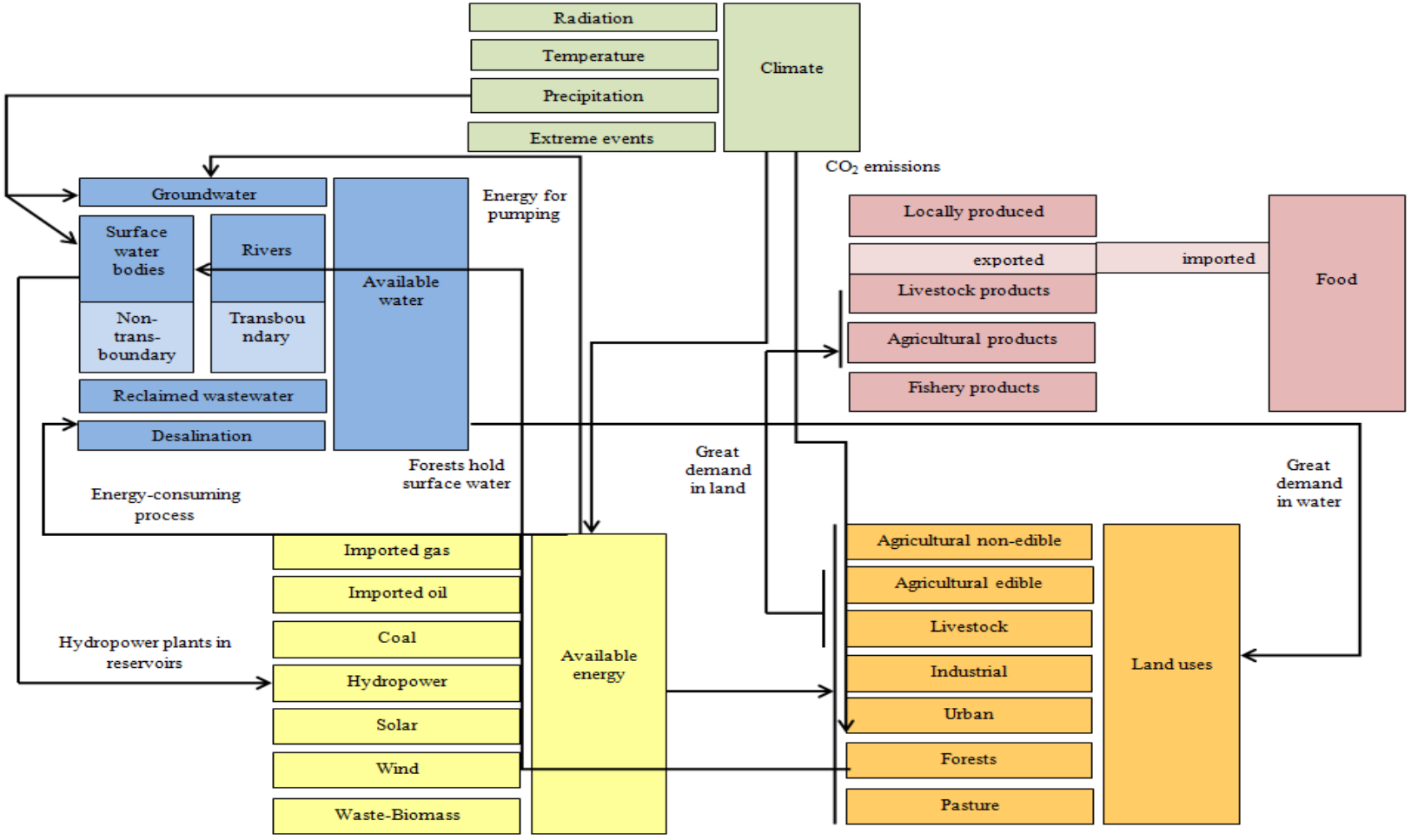
- **Ποιοτική αναπαράσταση** του φυσικού συστήματος
- **Κόμβοι** (στοιχεία / τομείς) και **διασυνδέσεις** (σχέσεις αλληλεπίδρασης)
- **Απλουστευμένη** αναπαράσταση του φυσικού κόσμου
- Στάδιο που **προηγείται** της **ποσοτικής** αναπαράστασης



Πηγή εικόνας: Gideon, Dagli and Miller, 2005

Αναπαράσταση Αλληλεπιδράσεων: Εννοιολογικά Μοντέλα

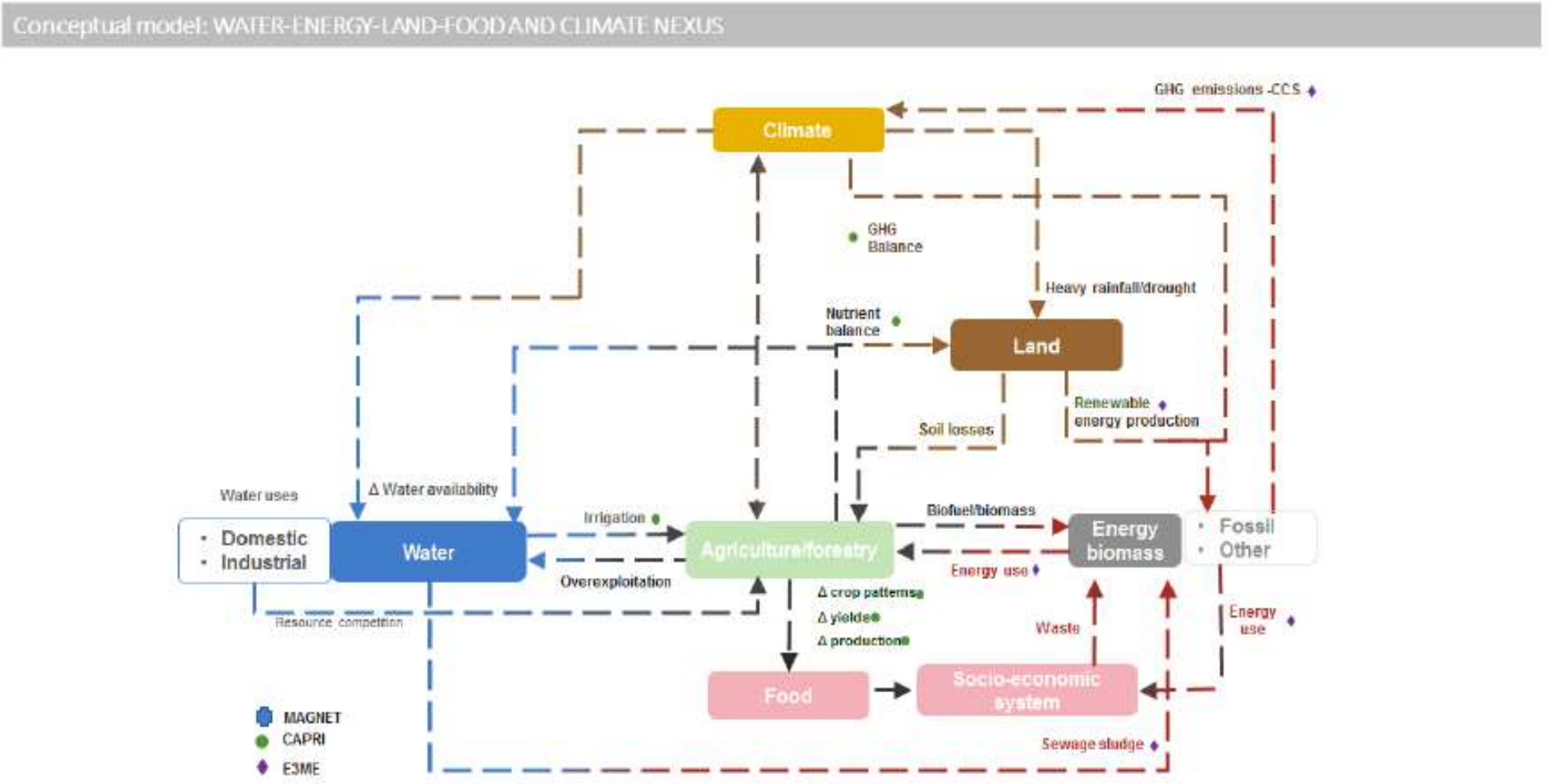
Χωρική κλίμακα: Εθνικό επίπεδο – Ελλάδα



SIM4NEXUS (H2020) Project, Laspidou et al., 2019

Αναπαράσταση Αλληλεπιδράσεων: Εννοιολογικά Μοντέλα

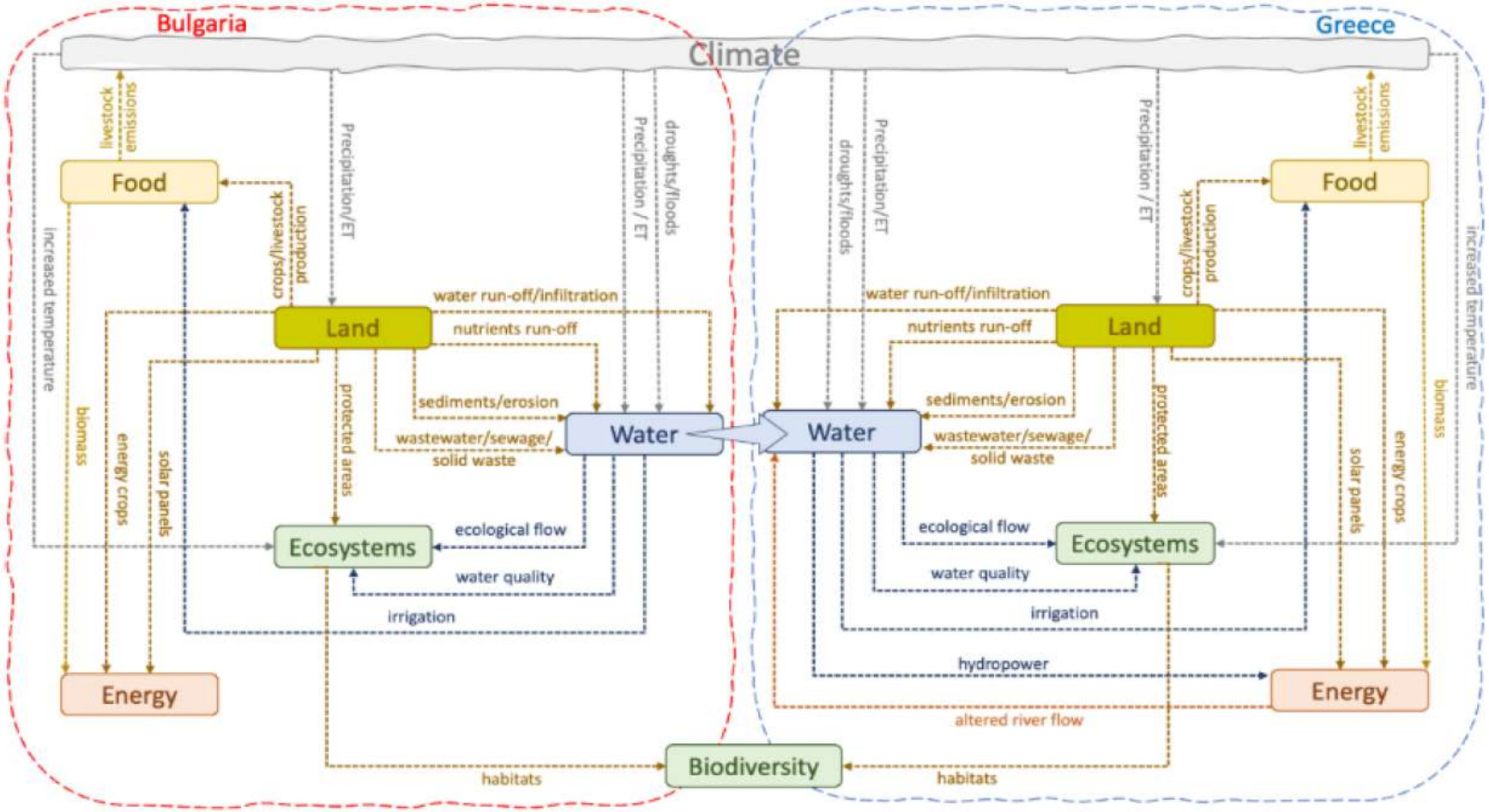
Χωρική κλίμακα: Εθνικό επίπεδο – Ολλανδία



SIM4NEXUS (H2020) Project, Vamvakeridou-Lyroudia et al. 2019

Αναπαράσταση Αλληλεπιδράσεων: Εννοιολογικά Μοντέλα

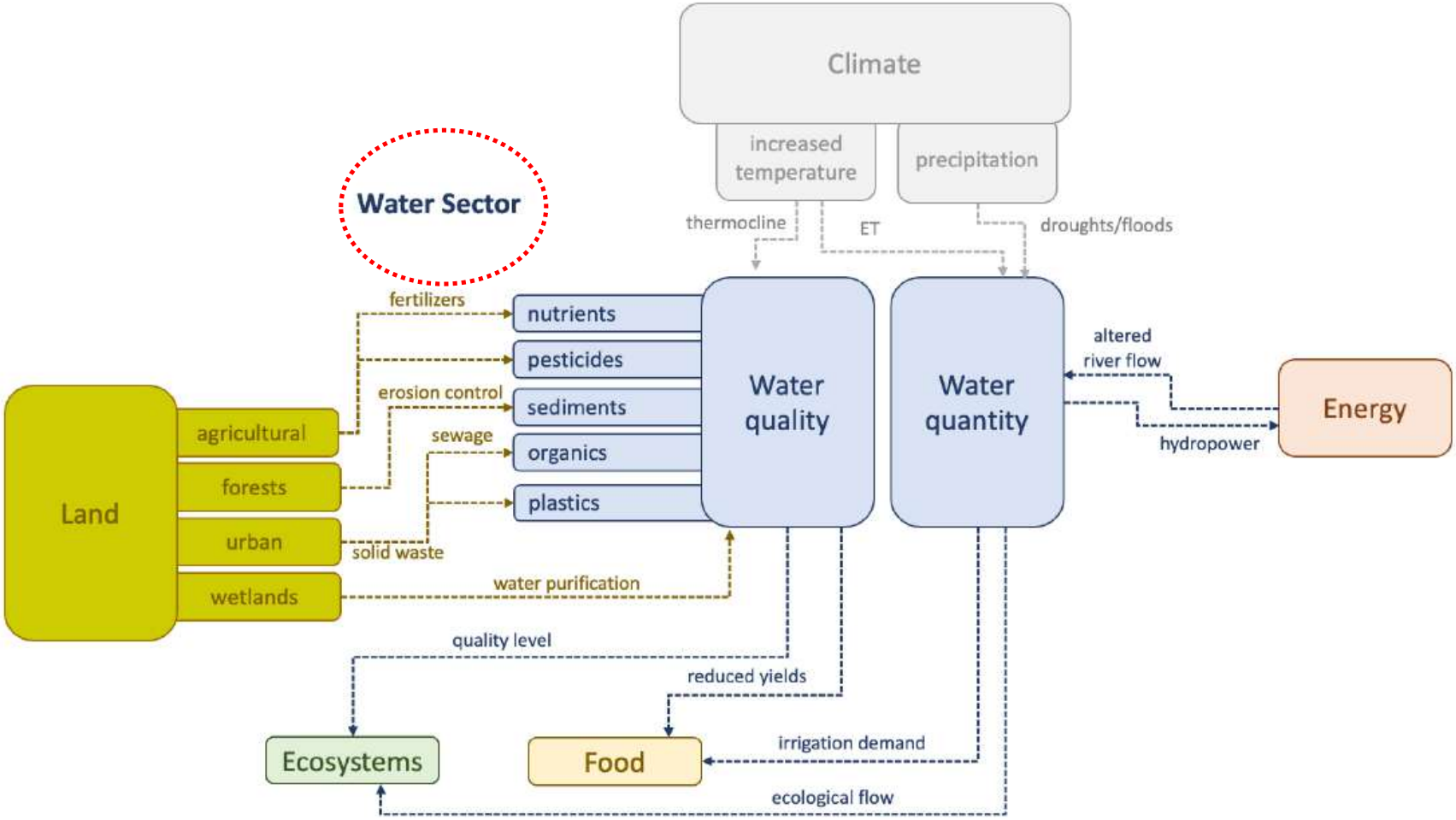
Χωρική κλίμακα: Λεκάνης απορροής ποταμού – Νέστος



NEXOGENESIS (H2020) Project, Laspidou et al., 2022

Αναπαράσταση Αλληλεπιδράσεων: Εννοιολογικά Μοντέλα

Χωρική κλίμακα: Λεκάνης απορροής ποταμού – Νέστος

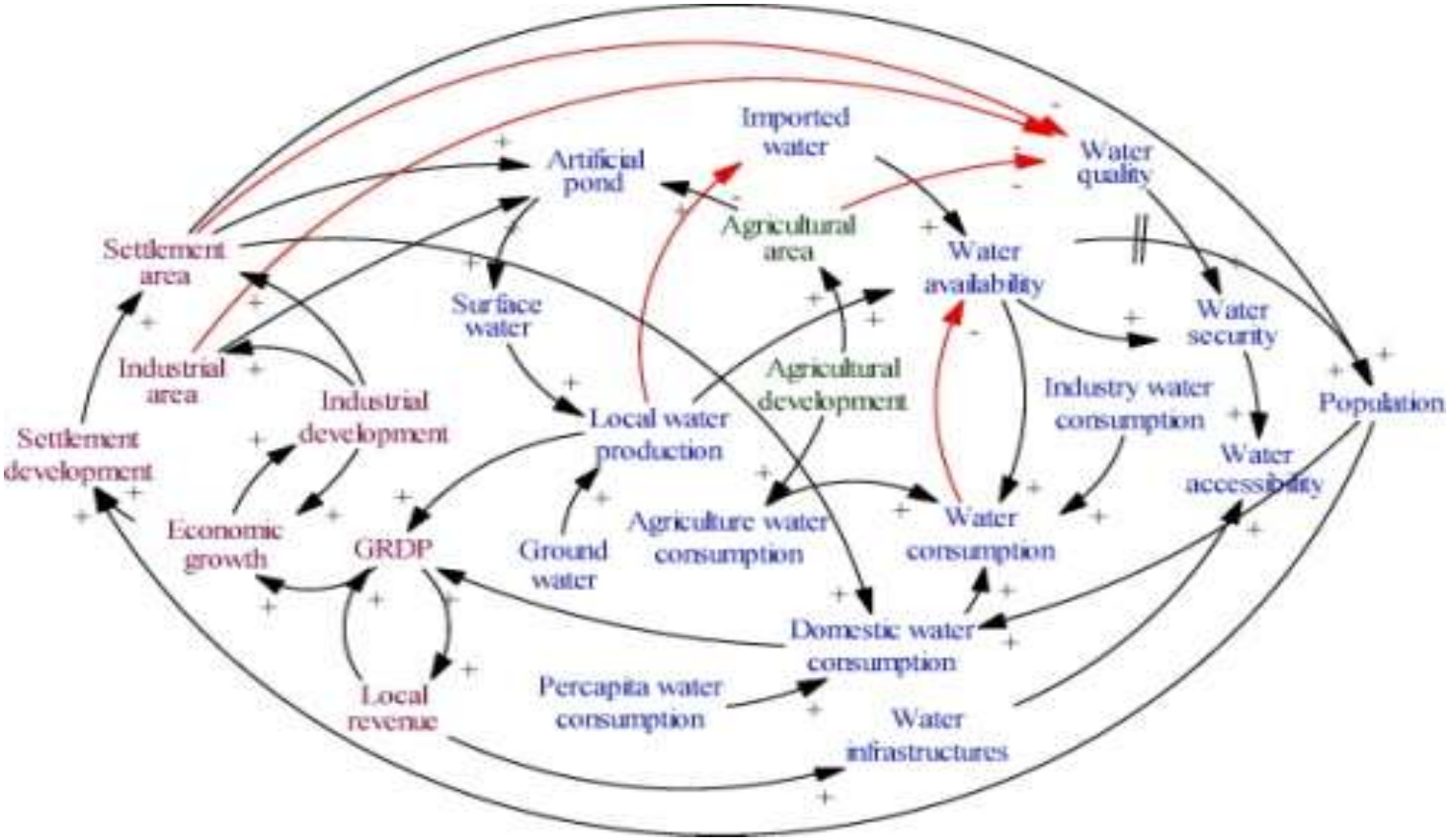


NEXOGENESIS (H2020) Project, Laspidou et al., 2022

Αναπαράσταση Αλληλεπιδράσεων: Προσομοίωση και Ποσοτικοποίηση

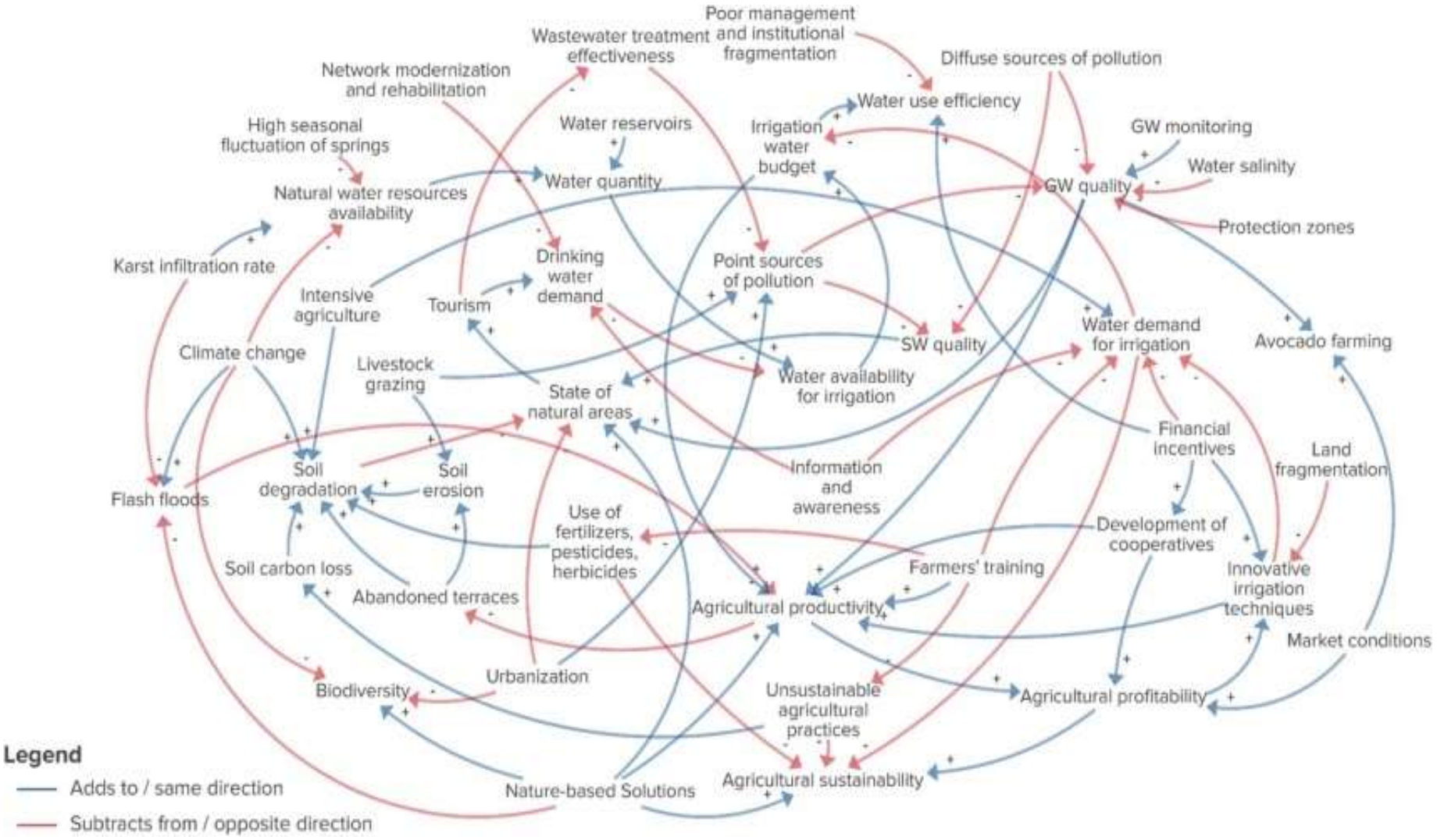
- **Προσομοίωση** φυσικού συστήματος σε υπολογιστικό περιβάλλον – Θεωρία συστημάτων
- **Ανάλυση πολυπλοκότητας** σχέσεων αλληλεπίδρασης
- Ανάλυση σχέσεων **αιτίας** (ενέργειας) – **αιτιατού** (αποτελέσματος)
- Διαγράμματα Αιτιακών Βρόχων (Causal Loop Diagrams)
- **Ποσοτική αναπαράσταση** του φυσικού συστήματος – Μοντέλα
  - System Dynamics Modelling (SDM) – Ανάλυση επιπτώσεων
  - Υδρολογικά και υδραυλικά μοντέλα (HEC-HMS, HEC-RAS)
  - Μοντέλα ανάλυσης ενεργειακού ισοζυγίου (POLES)
  - Μοντέλα ανάλυσης εκπομπών (LEAP)
  - Μοντέλα προσομοίωσης αγροτικής παραγωγής (APSIM)

Αναπαράσταση Αλληλεπιδράσεων: Causal Loop Diagrams



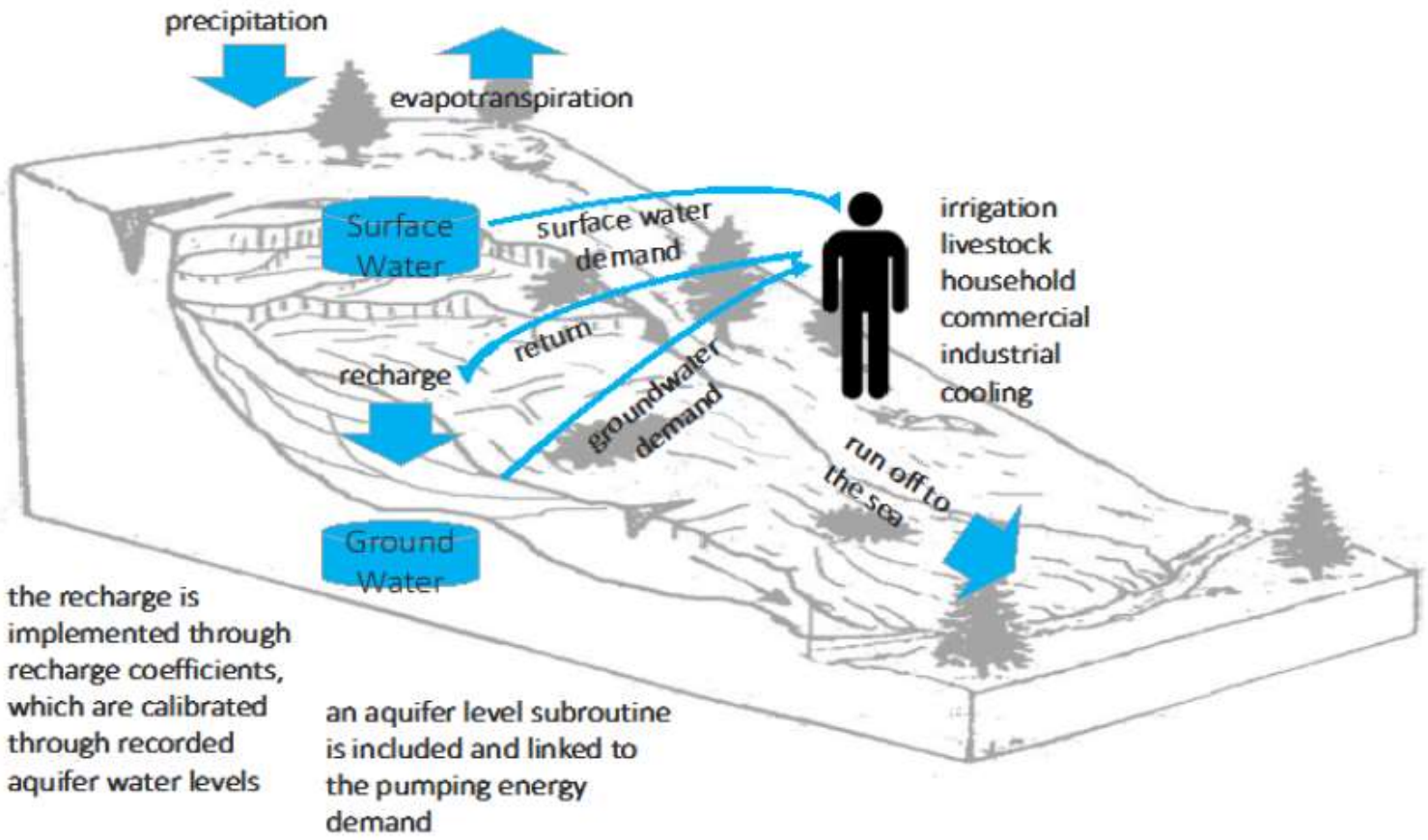
Πηγή: Purwanto et al., 2019

Αναπαράσταση Αλληλεπιδράσεων: Causal Loop Diagrams



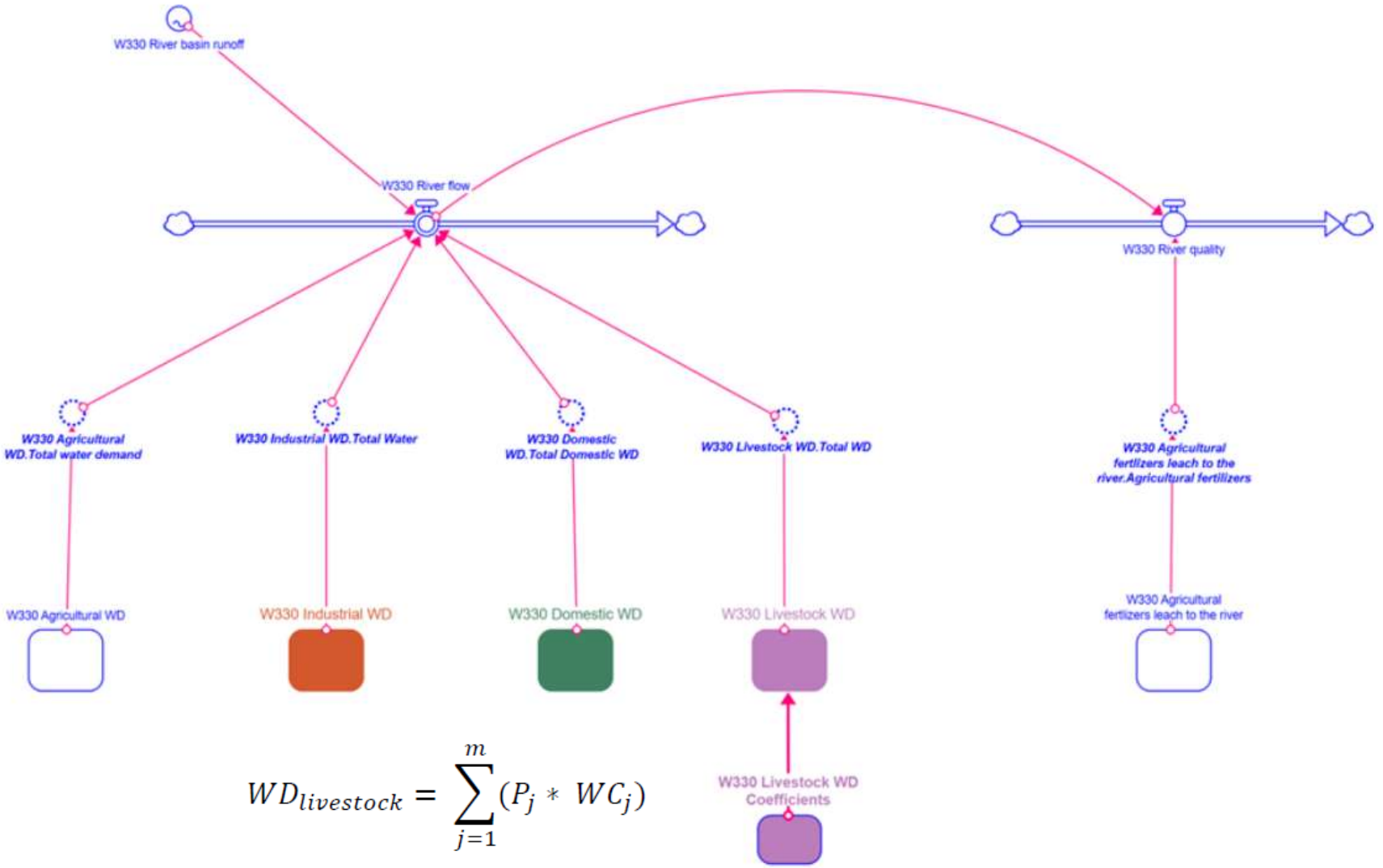
Πηγή: Giordano et al., 2025

Αναπαράσταση Αλληλεπιδράσεων: System Dynamics Modelling



Πηγή: Laspidou et al., 2019

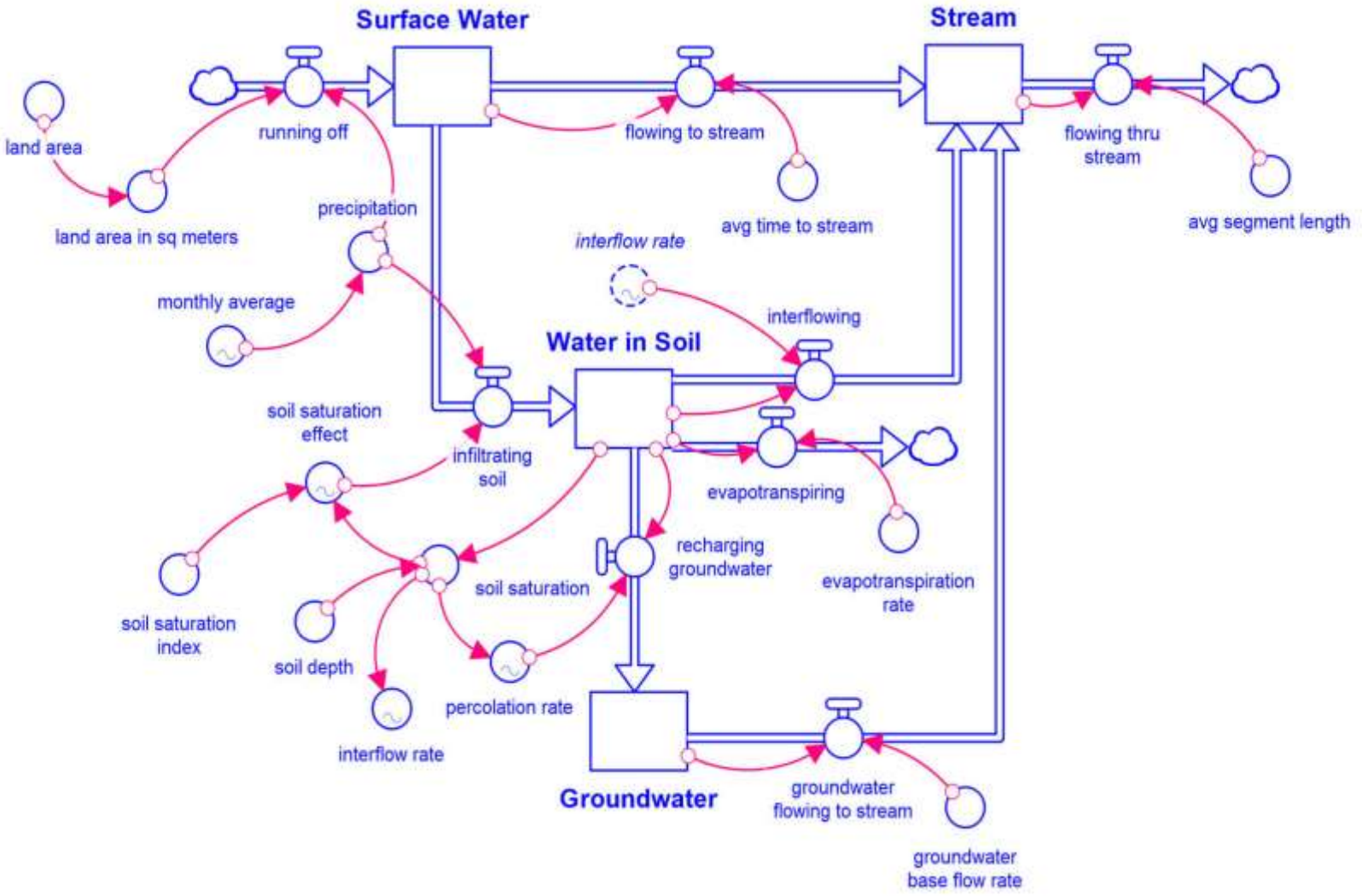
Αναπαράσταση Αλληλεπιδράσεων: System Dynamics Modelling



$$WD_{livestock} = \sum_{j=1}^{m} (P_j * WC_j)$$

Πηγή: Laspidou et al., 2023

Αναπαράσταση Αλληλεπιδράσεων: System Dynamics Modelling



Πηγή: isee systems, https://www.iseesystems.com/resources/systems-in-focus/water/

Σύγχρονες Τεχνολογίες Διαχείρισης Φυσικών Συστημάτων

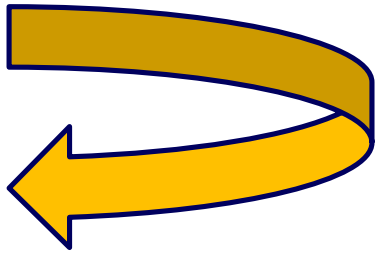
- **Συστήματα Στήριξης Αποφάσεων**: Ανάλυση περιβαλλοντικών-οικονομικών-κοινωνικών συστημάτων, ανάλυση επιπτώσεων πολιτικών διαχείρισης φυσικών πόρων, ανάλυση stakeholders, δόμηση σεναρίων, πολυκριτηριακή αξιολόγηση
- **Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών** – Μέθοδοι χωρικής ανάλυσης, χάρτες απόφασης / story maps, χωρική διάσταση απόφασης
- **Μοντέλα πρόβλεψης** και **μοντέλα ανάλυσης** αλληλεπιδράσεων στο φυσικό σύστημα – Δείκτες παρακολούθησης (monitoring)
- Χωρικές **βάσεις δεδομένων** – Αποθήκευση και διαχείριση γεωγραφικής πληροφορίας

Σύγχρονες Τεχνολογίες Διαχείρισης Φυσικών Συστημάτων

- Συστήματα **έξυπνης γεωργίας**: αποδοτική χρήση αρδευτικού νερού, έλεγχος ρύπανσης, εκτίμηση εδαφικής υγρασίας, κ.λπ.
- **On-line** συστήματα **συμμετοχικού σχεδιασμού** (PPGIS, living labs, map-based surveys)
- Μοντέλα **πολυκριτηριακής** αξιολόγησης
- Εργαλεία **ψηφιακής τηλεπισκόπησης**
- Συστήματα **έγκαιρης προειδοποίησης** (πλημμύρες, τσουνάμι, πυρκαγιές)
- **Τεχνητή νοημοσύνη**: μοντελοποίηση ποιοτικής πληροφορίας, διαχείριση πληροφορίας και παραγωγή νέας γνώσης
- Μοντέλα ανάλυσης **κύκλου ζωής**

Σύγχρονες Τεχνολογίες Διαχείρισης Φυσικών Συστημάτων

Προκλήσεις



- **Διαθεσιμότητα** δεδομένων
- **Ποιότητα** διαθέσιμων δεδομένων
- Διαχείριση **μεγάλου όγκου** χωρο-χρονικών δεδομένων
- **Ψηφιακός «αναλφαβητισμός»** (digital illiteracy) – Έλλειψη δεξιοτήτων
- Ζητήματα **διαλειτουργικότητας** μεταξύ διαφορετικών συστημάτων

Βιβλιογραφικές Αναφορές

- Burrow, A., Newman, A. & Bazilian, M. Reservoir Design and Operation for the Food-Energy-Water Nexus. Curr Sustainable Renewable Energy Rep 6, 71–89 (2019). https://doi.org/10.1007/s40518-019-00126-3
- Drobinski, P., Rivera Ferre, M.G., Monem, M.A. et al. Nexus approach to enhance water-energy-food security and ecosystems resilience under climate change in the Mediterranean. npj Clim. Action 4, 115 (2025). https://doi.org/10.1038/s44168-025-00308-4
- Fawzy, S., Osman, A.I., Doran, J. et al. Strategies for mitigation of climate change: a review. Environ Chem Lett 18, 2069–2094 (2020). https://doi.org/10.1007/s10311-020-01059-w
- Gideon et al., "Taxonomy of Systems-of-Systems," Conference on Systems Engineering Research, Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), Jan 2005.
- Giordano, R., Osann, A., Henao, E., Llanos López, M., González Piqueras, J., Nikolaidis, N. P., Lilli, M., Rosa Coletta, V., Pagano, A., 2025 Causal Loop Diagrams for bridging the gap between Water-Energy-Food-Ecosystem Nexus thinking and Nexus doing: Evidence from two case studies, Journal of Hydrology, 650, 132571, ISSN 0022-1694, https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2024.132571
- Gonocruz-Abe, R. A., Kudoh, Y., Gheewala, S. H., Baticados, G., Hadiyanto, H., Mohd Hanafiah, M., Demafelis, R., Truc, N. T. T., Bhattacharjya, S., Quejada, M., Anbumozhi, V., 2026. Integrated Water-Energy-Food-Land-Climate (WEFLC) nexus assessment of biomass utilization impacts in selected East Asia Summit (EAS) countries, Biomass and Bioenergy, 213,109361,ISSN 0961-9534, https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2026.109361
- Hoff, H. (2011). Understanding the Nexus. Background Paper for the Bonn2011 Conference: The Water, Energy and Food Security Nexus. Stockholm Environment Institute, Stockholm.
- isee systems, https://www.iseesystems.com/resources/systems-in-focus/water

Βιβλιογραφικές Αναφορές

- Jain Irrigation Systems Ltd.:

  https://www.jains.com/Company/news/blog/Jains_Solar_Powered_Micro_Irrigation_System_Promising_Option_for_Agrarians.htm

- Laspidou, C.S.; Mellios, N.; Kofinas, D. Towards ranking the Water-Energy-Food-Land Use-Climate nexus interlinkages for building a nexus conceptual model with a heuristic algorithm. Water 2019, 11, 30

- Laspidou, C. S., Mellios, N. K., Kofinas, D. T., Ioannou, A., Spyropoulou, A. E., Papadopoulou, M. P. and Papadopoulou, C.-A., 2019. A System Dynamics Model for the Water-Energy-Food-Land Use-Climate Nexus: The Greek Case Study. E proceedings of the 38th IAHR World Congress, September 1-6, Panama City, Panama. doi:10.3850/38WC092019-0495

- Laspidou, C., Sušnik, J., Masia, S., Amoroco-Daza, H., Spyropoulou, A., Kofinas, D., Mellios, N., Ziliaskopoulos, K., Papadopoulou, M. P., Papadopoulou, C.-A., Indriksone, D., Bremere, I., Nanu, F., Terzi, S., Cocuccioni, S., Sambo, B., Carnelli, F., Simpson, G., Kristensen, D. and Haupt, B., 2022. D3.1: Conceptual Models Completed for All the Case Studies. Outcome of Task 3.1 Complexity Science Tools—Conceptual modelling. NEXOGENESIS-Facilitating the next generation of effective and intelligent water-related policies utilizing artificial intelligence and reinforcement learning to assess the water-energy-food-ecosystem (WEFE) nexus (HORIZON2020) Project, Grant Agreement No 101003881.

- Laspidou, C., Spyropoulou, A., Mellios, N., Kofinas, D., Ioannou, A., Ziliaskopoulos, K., Susnik, J., Masia, S., Amorocho Daza, H., Papadopoulou, M., Tsihrintzis, V., Indriksone, D., Bremere, I., Nanu, F., Groza, I., Terzi, S., Sambo, B., Haupt, B., Kristensen, D., Simpson, G., Trabucco, A., Roson, R., Nega, F., 2023. D3.4: Complexity Science Models implemented for all the Case Studies: Prototypes and Explanatory Report/Manual for each CS Methodology. NEXOGENESIS-Facilitating the next generation of effective and intelligent water-related policies utilizing artificial intelligence and reinforcement learning to assess the water-energy-food-ecosystem (WEFE) nexus (HORIZON2020) Project, Grant Agreement No 101003881

Βιβλιογραφικές Αναφορές

- Papadopoulou, C.-A. and Mellios, N.: Integrating Water-Energy-Food-Ecosystems (WEFE) Nexus Indicators and SDGs , EGU General Assembly 2023, Vienna, Austria, 24–28 Apr 2023, EGU23-6277, https://doi.org/10.5194/egusphere-egu23-6277, 2023
- Papadopoulou, C.-A., Borchard, N., Calheiros, C., Rosa Coletta, V., Fader, M., Mellios, N., Pereira, S., Stepisnik Perdih, T., Vrachioli, M., 2024. Report on the Nexus Interlinkages Database – Nexus components: water, food, energy, ecosystems, land & soil, climate – NEXUSNET / CA 20138, WG1: Monitoring and Modelling the Nexus
- Purwanto, A., Sušnik, J., Suryadi, F. X., de Fraiture, C., 2019. Using group model building to develop a causal loop mapping of the water-energy-food security nexus in Karawang Regency, Indonesia, Journal of Cleaner Production, 240,118170, ISSN 0959-6526, https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118170
- Vamvakeridou-Lyroudia S. L. (lead author), Susnik, J., Masia, S., Indriksone, D., Bremere, I., Polman, N., Levin-Koopman, J., Linderhof, V., Blicharska, M., Teutschbein, C., Mereu, S., Trabucco, A., Castro, B., Martinez, P., Blanco, M., Avgerinopoulos, G., Laspidou, C., Mellios, N., Ioannou, A., Kofinas, D., Papadopoulou, C.-A., Papadopoulou, M., Conradt, T., Bodirsky, B., Pokorný, J., Hesslerová, P., Kravčík, M., Griffey, M., Ward, B., Evans, B., Hole, N., Khoury, M., Petersen, C., Fournier, M., Janse, J. and Doelman, J., 2019. D3.4: Final Report on the Complexity Science and Integration Methodologies. SIM4NEXUS – Sustainable Integrated Management for the Nexus of Water-Land-Food-Energy-Climate for a Resource Efficient Europe (HORIZON2020) Project, Grant Agreement No 689150.
- Warredoc – PRIMA NEXUS-NESS Project, Università per stranieri di Perugia: https://warredoc-unistrapg.org/en/nexus-ness/

Ευχαριστώ

Χρυσαΐδα-Αλίκη Παπαδοπούλου
xpap@survey.ntua.gr