

Μοντέλο ποιοτικής προσομοίωσης λεκανών

Σ. Μπακή & Α. Ευστρατιάδης





Δομή παρουσίασης

- Θεμελιώδεις αρχές
- Συνιστώσες του SWAT
- Διακριτοποίηση Λεκάνης Απορροής
- Στάδια προσομοίωσης με το SWAT
- Δεδομένα εισόδου, χωρικά και υδρομετεωρολογικά
- Δημιουργία και επεξεργασία αρχείων εισόδου
- Οπτικοποίηση αποτελεσμάτων
- Βαθμονόμηση και ανάλυση ευαισθησίας
- Εφαρμογές SWAT
- SWAT και Οδηγία Πλαίσιο για τα Νερά



SWAT: Θεμελιώδεις αρχές

- Εργαλείο οικο-υδρολογικής ανάλυσης
- Ολοκληρωμένο προσδιοριστικό μοντέλο φυσικής βάσης
- Προσομοίωση μεγάλων και σύνθετων λεκανών
- Διακριτοποίηση λεκάνης απορροής σε:
 - α. Υπολεκάνες - β. Μονάδες Υδρολογικής Απόκρισης (MYA / HRU)
- Λειτουργία στο περιβάλλον Συστημάτων Γεωγραφικής Πληροφορίας (GIS) (MapWindow, ArcGIS και ArcView)
- Προσομοίωση του υδρολογικού κύκλου, κύκλου φερτών, θρεπτικών, αγροχημικών για διαφορετικούς τύπους χρήσης γης, εδαφών και πρακτικών διαχείρισης σε ημερήσιο βήμα
- Ρυπαντικά φορτία από σημειακές πηγές (π.χ. βιομηχανίες, αστικά λύματα) και μη σημειακές (π.χ. γεωργικές δραστηριότητες)
- Προσομοίωση εξειδικευμένων διεργασιών (π.χ. μεταφορά βακτηριδίων)
- Μακροχρόνιες προβλέψεις, όχι για την προσομοίωση λεπτομερών, μεμονωμένων πλημμυρικών γεγονότων ημερήσιας διακριτότητας



SWAT: Πλεονεκτήματα προσέγγισης

- Μελέτη μακροχρόνιων επιπτώσεων κ' επιδράσεων της διαχείρισης (π.χ. σταδιακή συσσώρευση ρύπων, επιπτώσεις ανθρωπογενών δράσεων, πλήρωση ταμιευτήρων με φερτά μετά από 50-100 χρόνια)
- Χρονικός προγραμματισμός αγροτικών εφαρμογών κατά τη διάρκεια ενός έτους (π.χ. καλλιέργειες εκ περιτροπής, ημερομηνίες φύτευσης και συγκομιδής, άρδευση, λιπάσματα, ποσότητες και χρονική ρύθμιση παρασιτοκτόνων)
- Ποσοτικοποίηση σχετικής επίδρασης εναλλακτικών δεδομένων εισόδου (π.χ. αλλαγές στις χρήσεις γης, πρακτικές αγροτικής διαχείρισης, κτλ.) στην ποιότητα νερού, στερεομεταφορά, κτλ.
- Εύκολη γραφική παρουσίαση αποτελεσμάτων
- Διαθεσιμότητα ελάχιστων απαιτούμενων δεδομένων για λειτουργία του μοντέλου (δημόσιες υπηρεσίες, ΕΤΥΜΠ)
- Προσομοίωση μεγάλων/σύνθετων λεκανών απορροής – διαφορετικών στρατηγικών διαχείρισης με εύλογη ενασχόληση



SWAT: Ανάπτυξη και Εξέλιξη

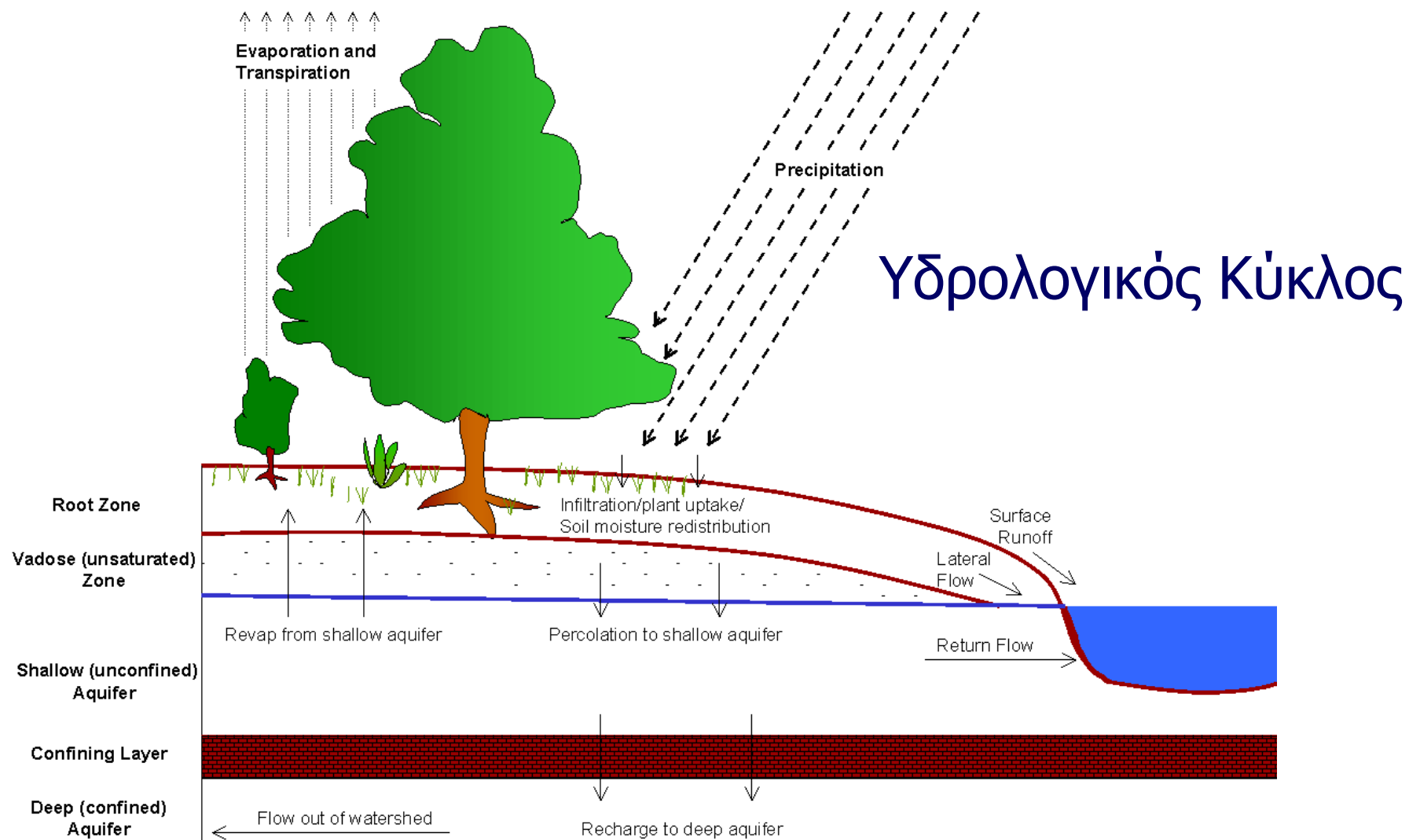
Ανάπτυξη από την Υπηρεσία Αγροτικής Έρευνας (Agricultural Research Service, ARS) του Υπουργείου Γεωργίας των ΗΠΑ (United States Department of Agriculture, USDA) – Dr. Jeff Arnold.

<http://swatmodel.tamu.edu/>

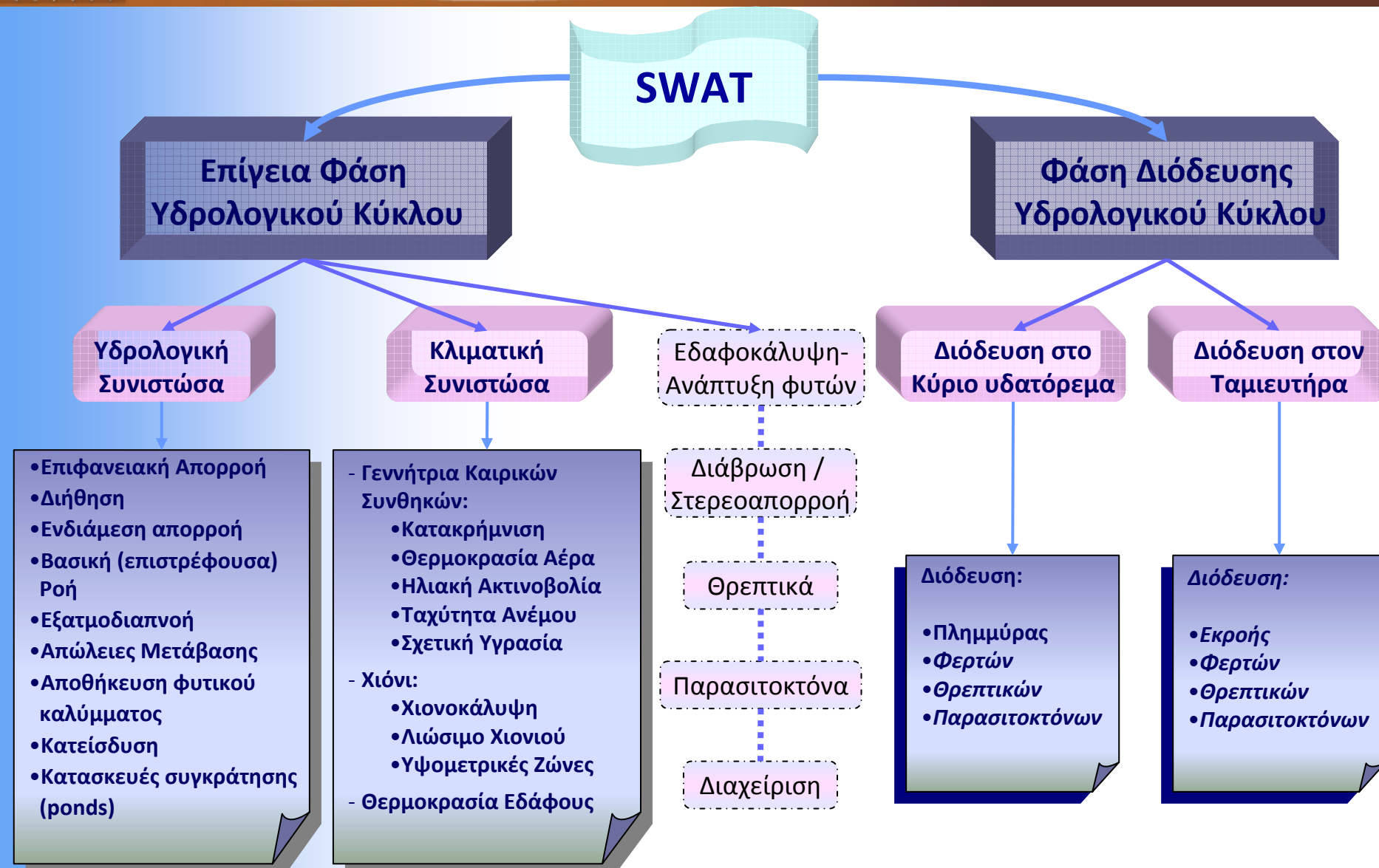
Εξέλιξη κ' ενσωμάτωση των μοντέλων/εργαλείων:

- SWRRB (Simulator for Water Resources in Rural Basins)
- ROTO (Routing Outputs to Outlet)
- CREAMS (Chemicals, Runoff, and Erosion from Agricultural Management Systems)
- EPIC (Erosion-Productivity Impact Calculator)
- GLEAMS (Groundwater Loading Effects on Agricultural Management Systems)
- QUAL2E (Enhanced Stream Water Quality Model) και SWMM (Storm Water Management Model)

ΣΥΝΙΣΤΩΣΕΣ ΤΟΥ SWAT



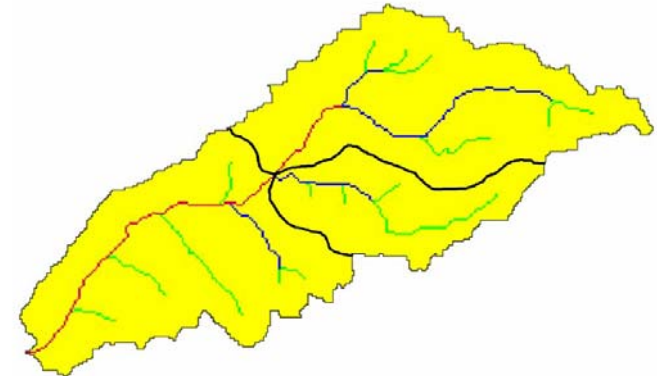
Συνιστώσες του SWAT





Διακριτοποίηση Λεκάνης Απορροής

- Διακριτοποίηση σε Υπολεκάνες
 - Χωρικά ορισμένες κ' συσχετισμένες
 - Κάθε υπολεκάνη περιέχει κατ' ελάχιστον 1 ΜΥΑ, 1 κύριο και 1 δευτερεύον υδατόρευμα
- Διαίρεση υπολεκάνης σε Μονάδες Υδρολογικής Απόκρισης (ΜΥΑ) (Hydrologic Response Units - HRU)
 - Αδιαμέριστα τμήματα της λεκάνης με μοναδικούς συνδυασμούς χρήσης γης, εδάφους και πρακτικών διαχείρισης γης
 - Δεν έχουν χωρική υπόσταση
 - Αυξημένη ακρίβεια στην προσομοίωση





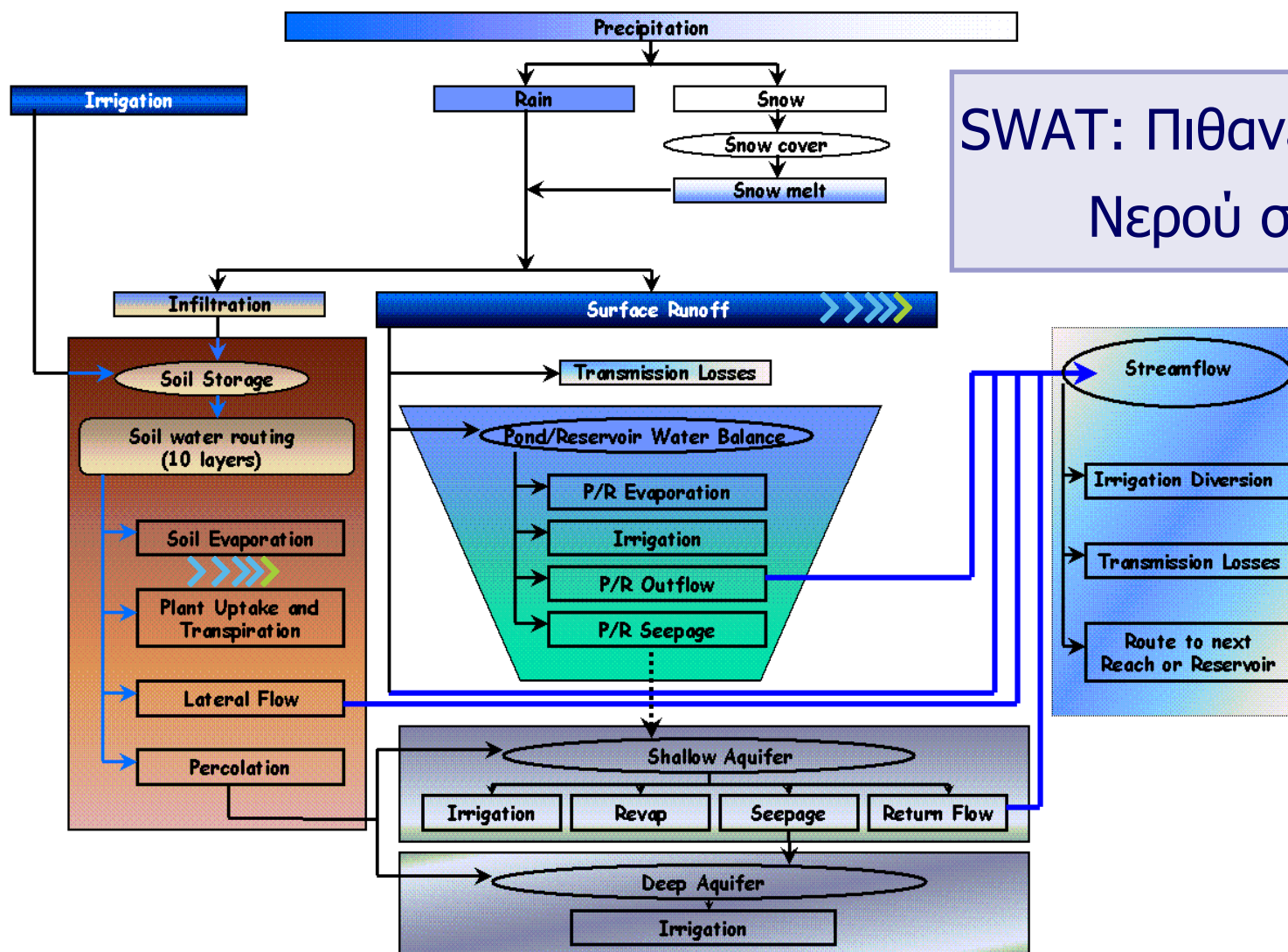
ΣΥΝΙΣΤΩΣΕΣ ΤΟΥ SWAT

Εξίσωση Υδατικού Ισοζυγίου:

$$SW_t = SW + \sum_{i=1}^t (R_i - Q_i - ET_i - P_i - QR_i)$$

- SW_t η τελική εδαφική υγρασία (mm)
- SW η εδαφική υγρασία διαθέσιμη για απόληψη από τα φυτά -- ορίζεται ως η αρχική εδαφική υγρασία μείον το μόνιμο σημείο μαρασμού (mm)
- t ο χρόνος σε ημέρες (days)
- R_i η ημερήσια ποσότητα της κατακρήμνισης (mm)
- Q_i η ημερήσια ποσότητα της επιφανειακής απορροής (mm)
- ET_i η ημερήσια ποσότητα της εξατμισοδιαπνοής (mm)
- P_i η ημερήσια ποσότητα της διήθησης (mm)
- QR_i η ημερήσια ποσότητα της επιστρέφουσας απορροής (mm)

ΣΥΝΙΣΤΩΣΕΣ ΤΟΥ SWAT



SWAT: Πιθανές Διαδρομές
Νερού στη ΜΥΑ



Συνιστώσες του SWAT

Κλιματική Συνιστώσα:

- Απαραίτητες κλιματικές μεταβλητές:
 - Ημερήσια κατακρήμνιση
 - Ημερήσια μέγιστη και ελάχιστη θερμοκρασία του αέρα
 - Ηλιακή ακτινοβολία
 - Ταχύτητα του ανέμου
 - Σχετική υγρασία
- Δυνατότητα εισαγωγής μετρημένων δεδομένων
- Γεννήτρια Καιρικών Συνθηκών:
Δυνατότητα παραγωγής χρονοσειρών κλιματικών μεταβλητών από μέσες μηνιαίες υπερετήσιες τιμές
- Συνιστώσες χιονιού:
Χιονοκάλυψη, Τήξη χιονιού, Υψομετρικές Ζώνες
- Υπολογισμός θερμοκρασίας εδάφους



ΣΥΝΙΣΤΩΣΕΣ ΤΟΥ SWAT

Στερεοαπορροή - Τροποποιημένη Παγκόσμια Εξίσωση Εδαφικής Απώλειας (MUSLE):

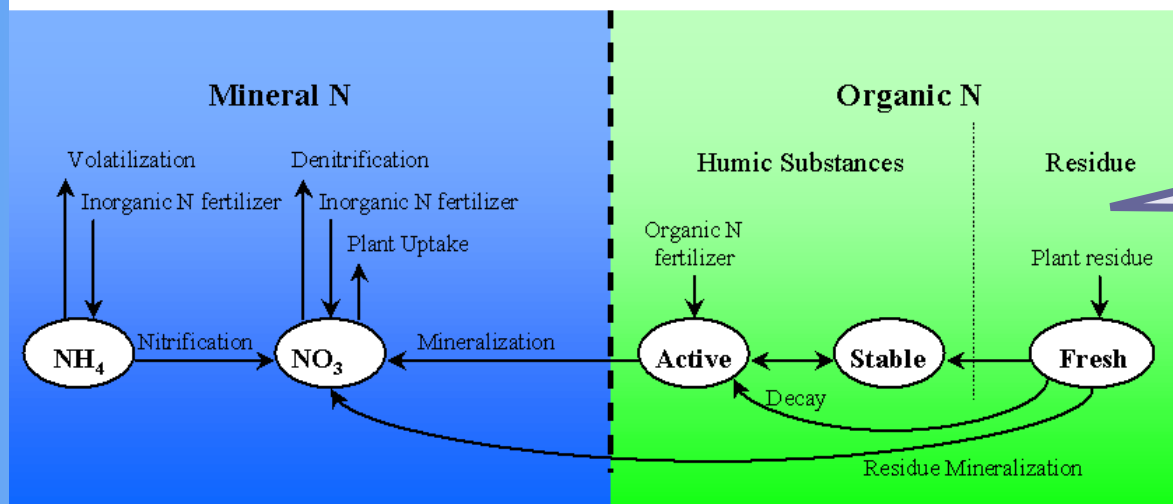
$$sed = 11.8 \cdot (Q_{surf} \cdot q_{peak} \cdot area_{hru})^{0.56} \cdot K_{USLE} \cdot C_{USLE} \cdot P_{USLE} \cdot LS_{USLE} \cdot CFRG$$

- sed στερεοαπορροή σε μια συγκεκριμένη μέρα (metric tons)
- Q_{surf} επιφανειακή απορροή (mm H₂O/ha)
- q_{peak} παροχή αιχμής (m³/s)
- $area_{hru}$ έκταση Μονάδας Υδρολογικής Απόκρισης (HRU) (ha)
- K_{USLE} παράγοντας διαβρώσεως εδάφους κατά USLE (mm)
- C_{USLE} παράγοντας κάλυψης και διαχείρισης γης κατά USLE
- P_{USLE} παράγοντας διαχείρισης εδαφών κατά της διάβρωσης κατά USLE
- LS_{USLE} παράγοντας τοπογραφίας κατά USLE
- CFRG παράγοντας περιεκτικότητας του εδάφους σε χοντρά θραύσματα

ΣΥΝΙΣΤΩΣΕΣ ΤΟΥ SWAT

Κύκλος θρεπτικών

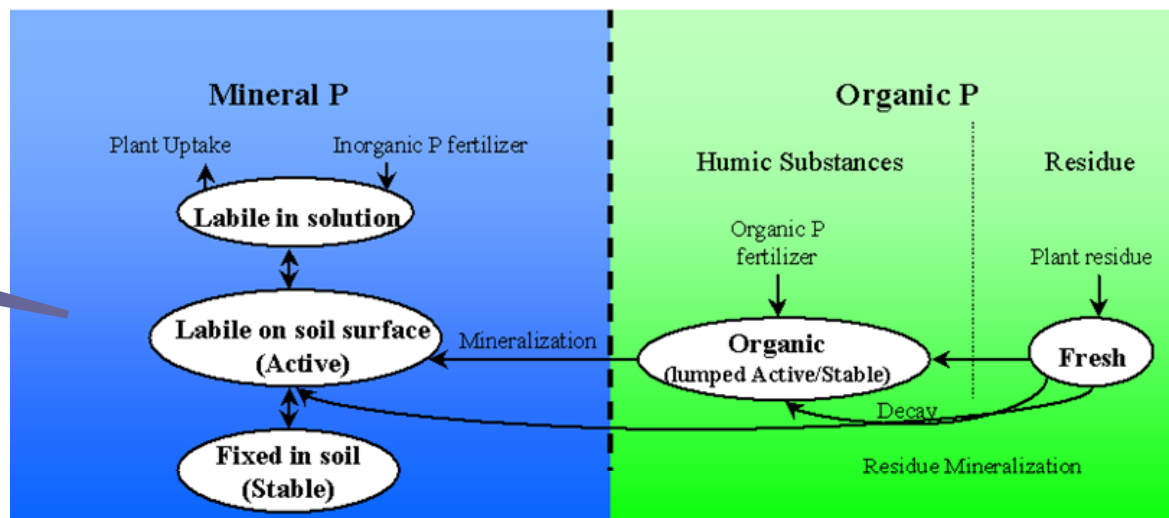
NITROGEN



Κύκλος Αζώτου

PHOSPHORUS

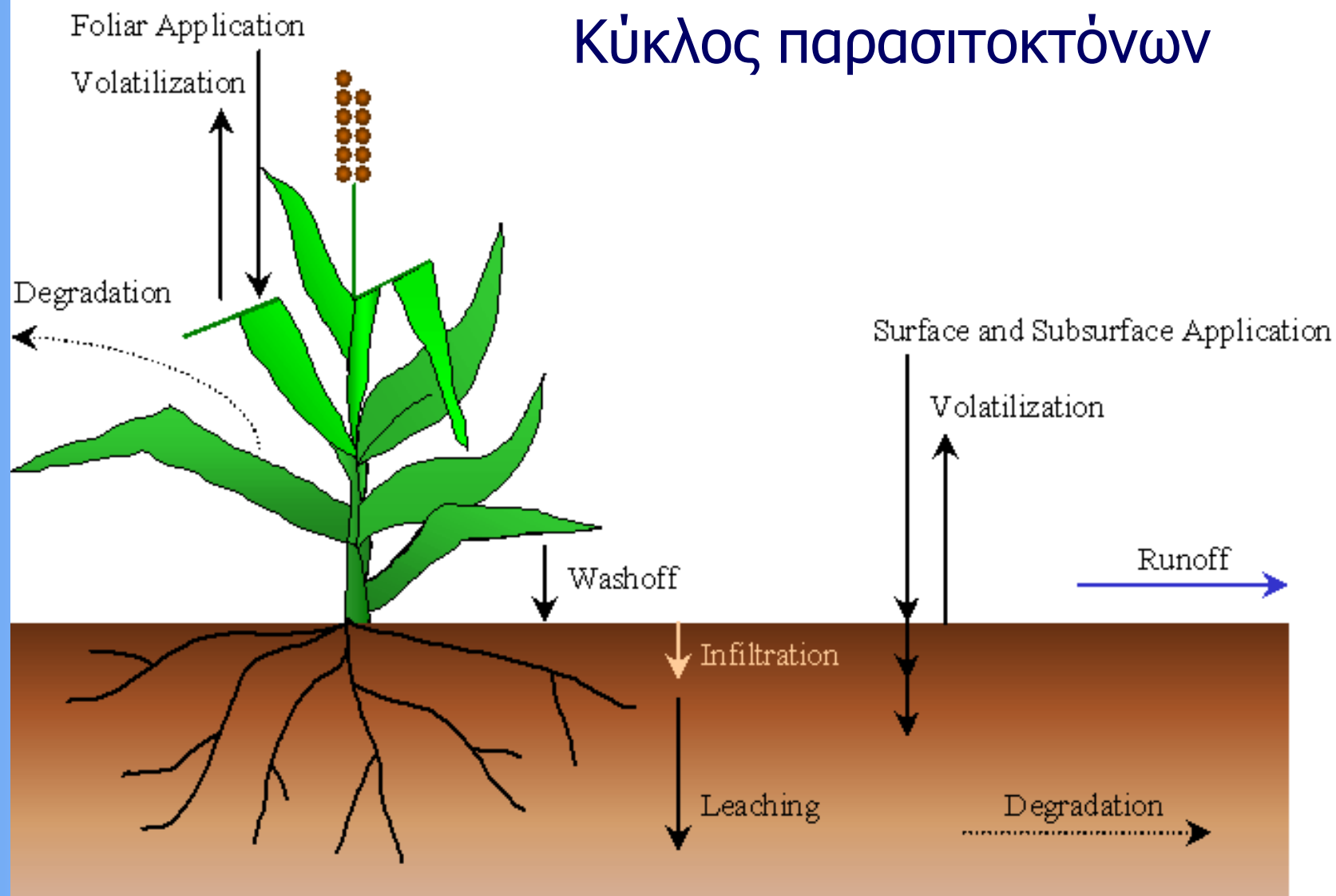
Κύκλος Φωσφόρου





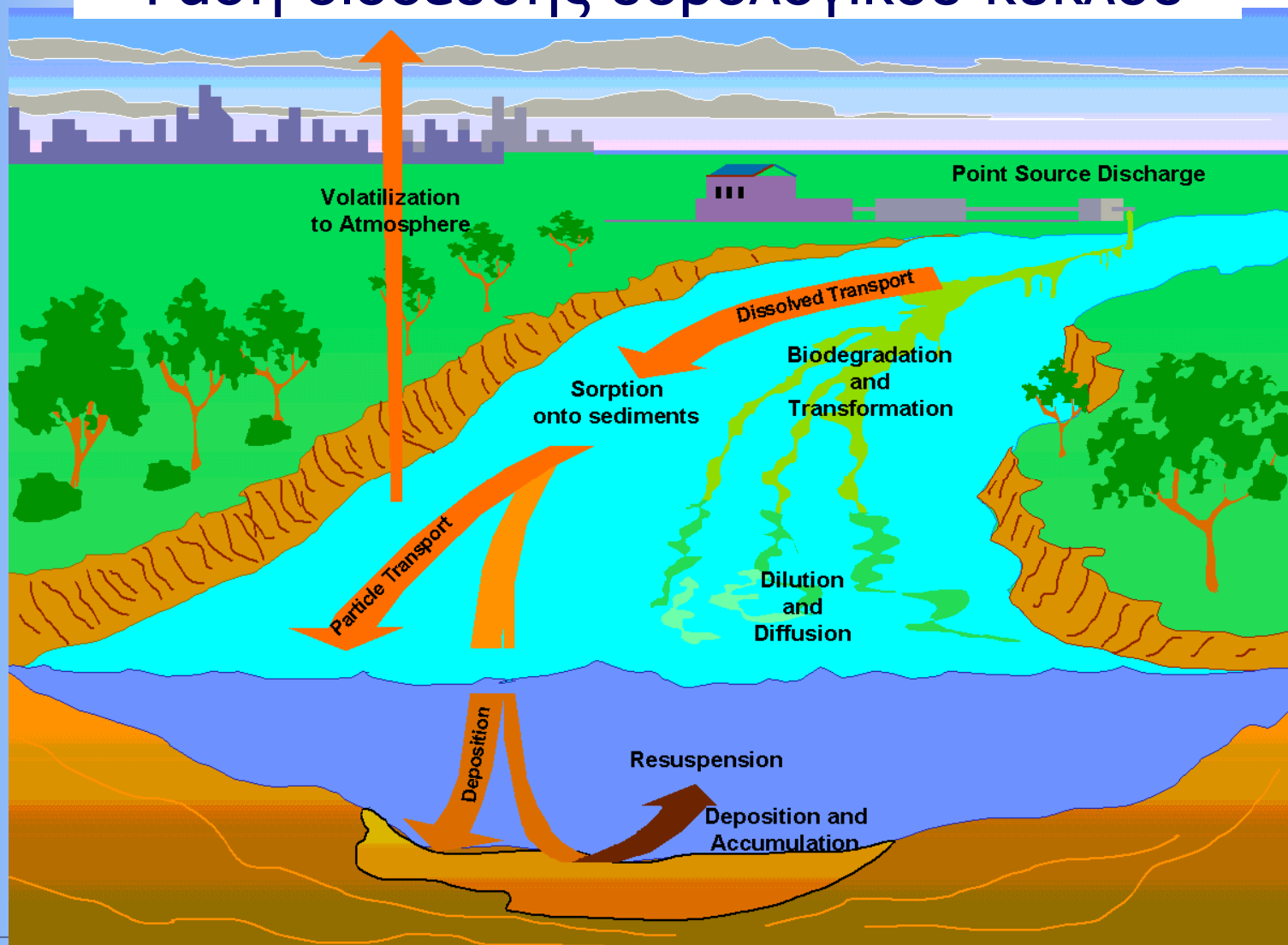
ΣΥΝΙΣΤΩΣΕΣ ΤΟΥ SWAT

Κύκλος παρασιτοκτόνων



ΣΥΝΙΣΤΩΣΕΣ ΤΟΥ SWAT

Φάση διόδευσης υδρολογικού κύκλου





Στάδια προσομοίωσης με το SWAT

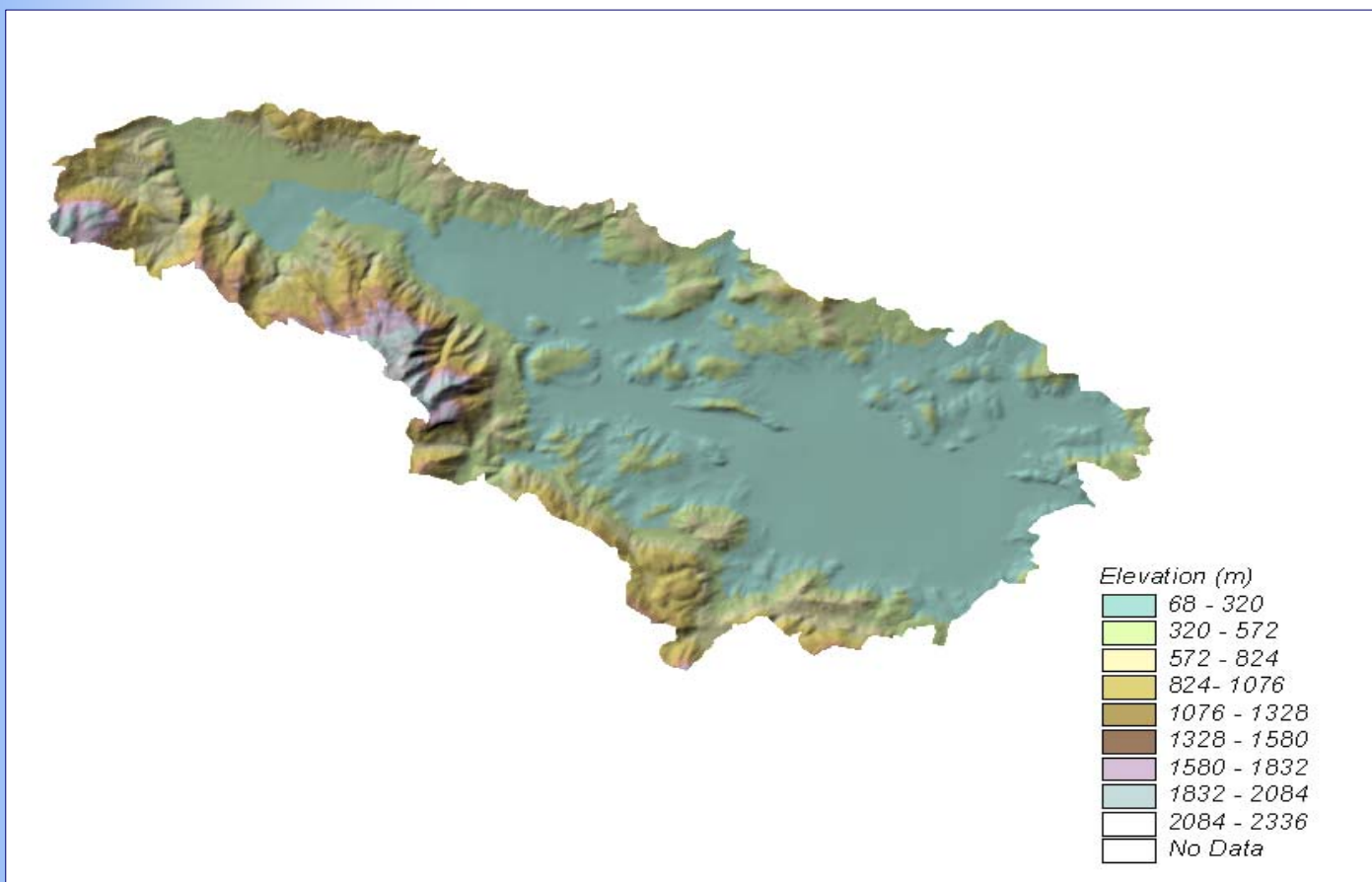
Στάδια προσομοίωσης με το SWAT:

- Επεξεργασία δεδομένων εισόδου (ψηφιακών χαρτών, υδρομετεωρολογικών χρονοσειρών, κτλ.)
- Εισαγωγή Ψηφιακού Μοντέλου Υψομέτρων (DEM) και Σχηματοποίηση λεκάνης απορροής (watershed delineation)
- Εισαγωγή χάρτη χρήσεων γης και εδαφολογικού χάρτη και διαίρεση λεκάνης απορροής σε Μονάδες Υδρολογικής Απόκρισης (ΜΥΑ)
- Εισαγωγή υδρομετεωρολογικών δεδομένων
- Δημιουργία αρχείων εισόδου SWAT
- Επεξεργασία δεδομένων εισόδου (πηγές, χρήσεις νερού, σημειακές πηγές ρύπανσης, πρακτικές διαχείρισης γης, κτλ.)
- Συμπλήρωση παραμέτρων αρχείων προγράμματος (parameterization)
- Εκτέλεση μοντέλου (model run)
- Βαθμονόμηση μοντέλου (calibration)
- Επαλήθευση μοντέλου (validation)
- Αξιολόγηση αποτελεσμάτων (evaluation)



Δεδομένα Εισόδου - Χωρικά

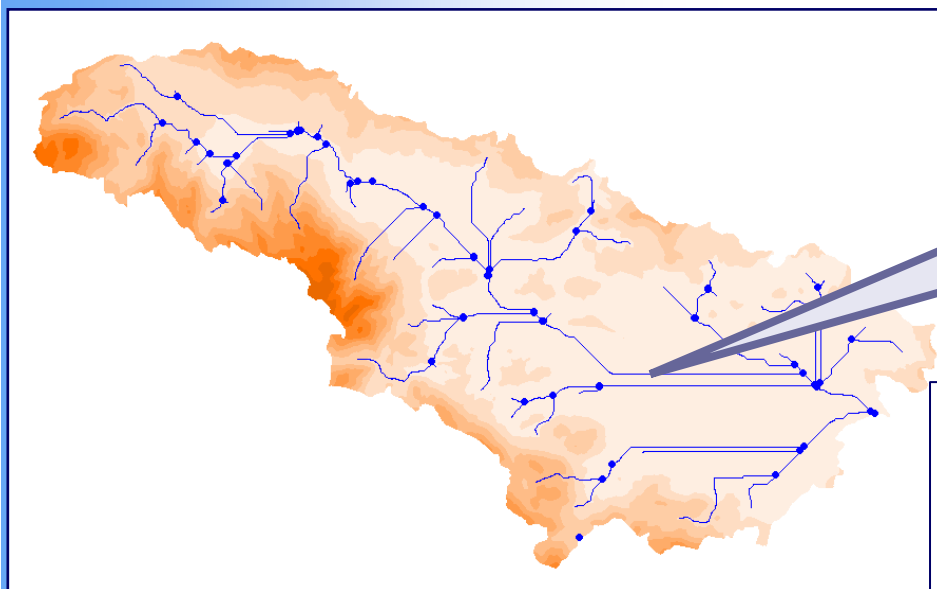
Α1. Ψηφιακό Μοντέλο Υψομέτρων (DEM – Digital Elevation Model)



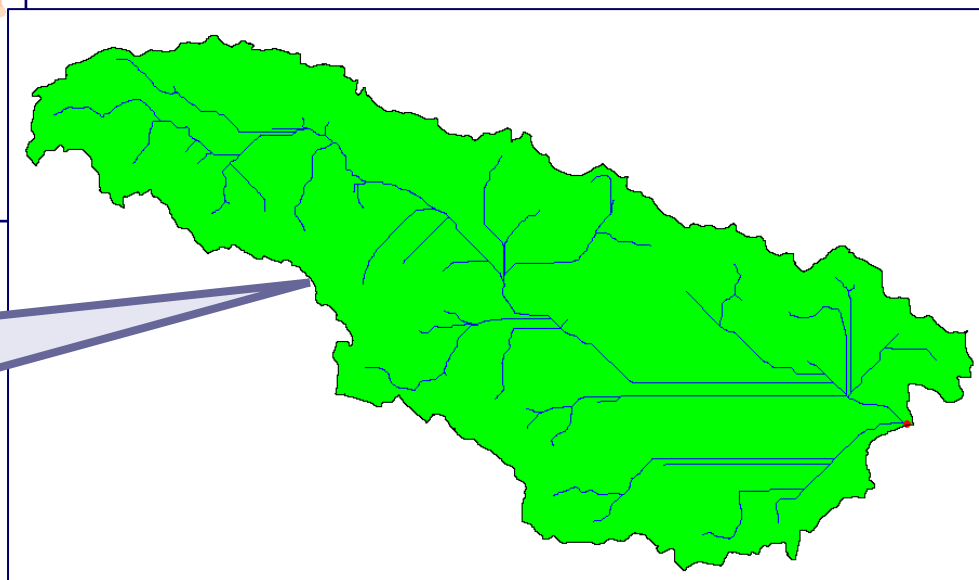


Δεδομένα Εισόδου - Χωρικά

A2. Σχηματοποίηση λεκάνης απορροής -- Καθορισμός υδρογραφικού δικτύου και δημιουργία υπολεκανών



Καθορισμός ή χάραξη
υδρογραφικού δικτύου
λεκάνης απορροής

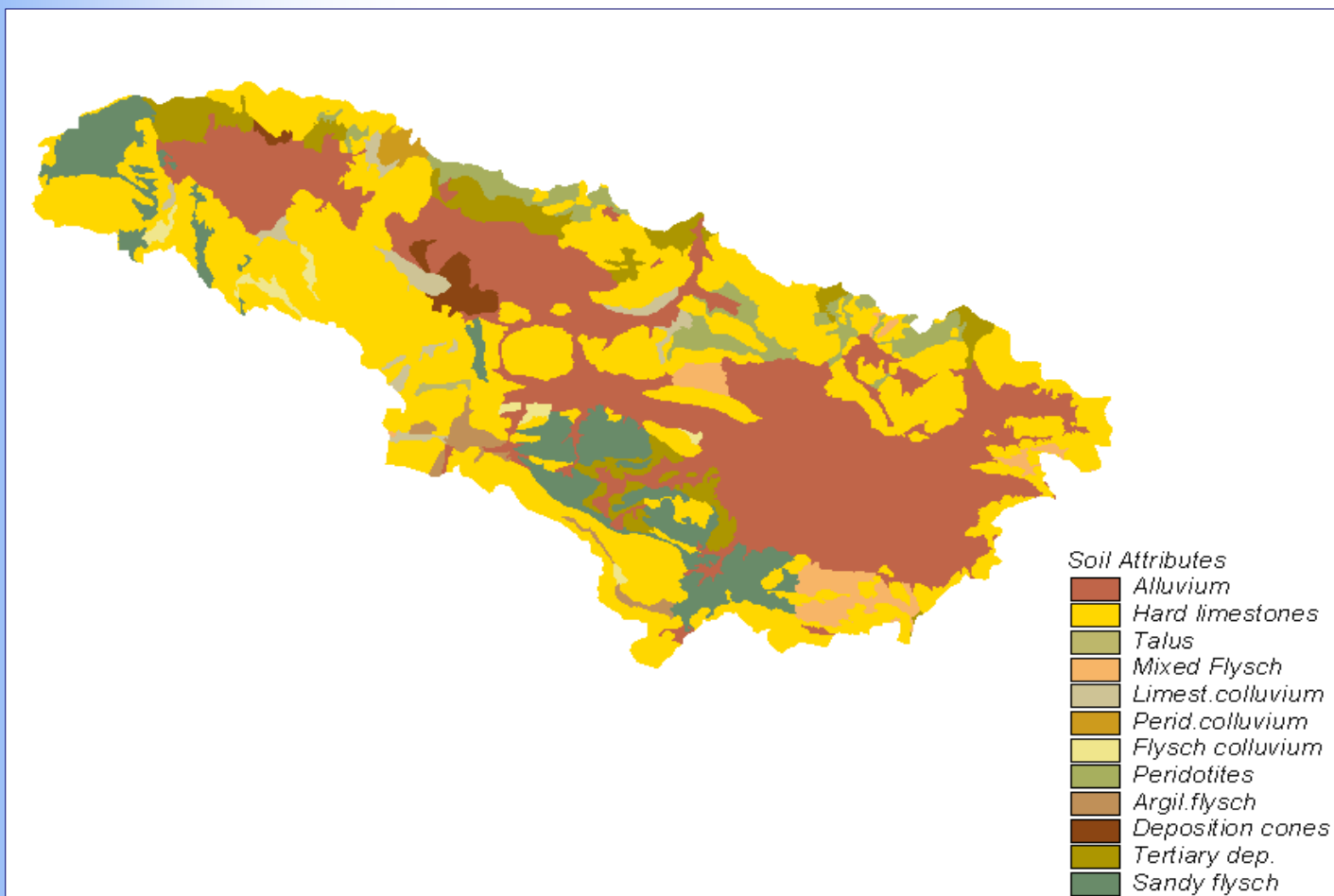


Καθορισμός σημείων εξόδου
υπολεκανών κ' εισροών -
δημιουργία υπολεκανών



Δεδομένα Εισόδου - Χωρικά

Β1. Εδαφολογικά στοιχεία - Χάρτης



Δεδομένα Εισόδου - Χωρικά

B2. Εδαφολογικά στοιχεία – Φυσικές ιδιότητες εδαφών

Microsoft Access

global_soils : Table

SOIL_ID	SNAM
0	Sample-0
1	Af14-3c-1
2	Af17-1-2a-2
3	AG2-2ab-3
4	Ao39-2b-4
5	Ao41-2bc-5
6	Ao63-3b-6
7	Bc8-2b-7
8	Bc9-2b-8
9	Bd30-2-3c-9
10	Bd31-2c-11
11	Be45-2a-16
12	Be47-2a-17
13	Be48-3c-18
14	Be49-3c-20
15	Be50-2-3c-21
16	Be51-2a-22
17	Be8-3c-24
18	Be9-3c-26
19	Bh11-1b-27
20	Bh12-3c-31
21	Bh13-2-3c-32
22	Bh4-2c-34
23	Bk24-2bc-35
24	D-SS-36
25	Fo2-2ab-37
26	Fo21-2ab-38
27	Fo28-3ab-39
28	Fo32-1a-41
29	Fo48-2ab-42
30	Fo6-2a-44
31	Fp7-2ab-45
32	Fp8-2ab-47
33	Fp9-3a-48
34	Fp9-3a-48
35	Fp9-3a-48
36	Fp9-3a-48
37	Fp9-3a-48
38	Fp9-3a-48
39	Fp9-3a-48
40	Fp9-3a-48

usersoil : Table

OBJECTID	MUID	SEQN	SNAM	NLAYERS	HYDROG	SOL_ZMX	ANION_EXCL	SOL_CRK	TEXTURE
7	6		Ao63-3b-6	2	C	820	0.5	0.5	CLAY
8	7		Bc8-2b-7	2	C	820	0.5	0.5	CLAY
9	8		Bc9-2b-8	2	C	1000	0.5	0.5	CLAY_LOAM
10	9		Bd30-2-3c-9	2	C	560	0.5	0.5	CLAY_LOAM
11	11		Bd31-2c-11	2	B	370	0.5	0.5	LOAM
12	16		Be45-2a-16	2	C	980	0.5	0.5	LOAM
13	17		Be47-2a-17	2	C	1000	0.5	0.5	CLAY_LOAM
14	18		Be48-3c-18	2	C	440	0.5	0.5	CLAY
15	20		Be49-3c-20	2	C	760	0.5	0.5	CLAY
16	21		Be50-2-3c-21	2	C	820	0.5	0.5	CLAY_LOAM
17	22		Be51-2a-22	2	D	1000	0.5	0.5	CLAY_LOAM
18	24		Be8-3c-24	2	C	850			
19	26		Be9-3c-26	2	C	930			
20	27		Bh11-1b-27	2	B	1000			
21	31		Bh12-3c-31	2	C	580			
22	32		Bh13-2-3c-32	2	C	820			
23	34		Bh4-2c-34	2	C	230			
24	35		Bk24-2bc-35	2	D	660			
25	36		D-SS-36	2	D	1000			
26	37		Fo2-2ab-37	2	C	1000			
27	38		Fo21-2ab-38	2	C	810			
28	39		Fo28-3ab-39	2	C	1000			
29	41		Fo32-1a-41	2	C	1000			
30	42		Fo48-2ab-42	2	C	1000			
31	44		Fo6-2a-44	2	C	1000			
32	45		Fp7-2ab-45	2	D	1000			
33	47		Fp8-2ab-47	2	D	910			
34	48		Fp9-3a-48	2	C	720			
35	50		Fp9-3a-48	2	C	570			
36	51		Fp9-3a-48	2	C	670			
37	52		Gd6-2a-52	2	D	1000			
38	53		Gd5-2a-53	2	D	1000			
39	55		Ge22-a-55	2	C	1000			
40	56		Ge23-2-3a-56	2	C	1000			

Record: 1 of 4932

000470007.sol

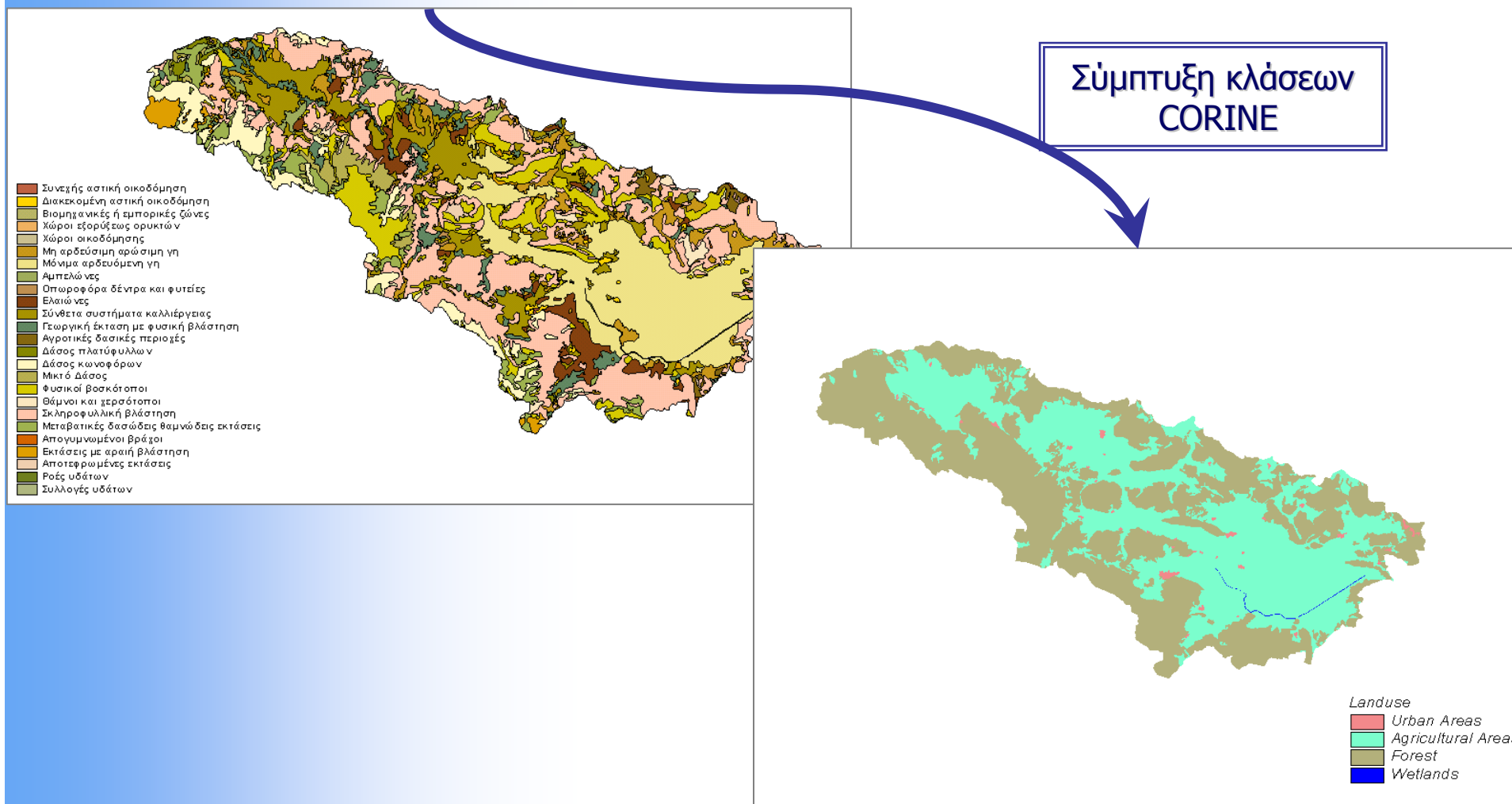
Arχειο εισόδου .sol για κάθε τύπο εδάφους

```
1 .sol file Subbasin: 47 HRU: 7 Luse: GRAS Soil: K130-2bc-483
2 Soil Name: K130-2bc-4832
3 Soil Hydrologic Group: C
4 Maximum rooting depth(m): 460.00
5 Porosity fraction from which anions are excluded: 0.500
6 Crack volume potential of soil: 0.500
7 Texture 1 : LOAM
8 Depth [mm]: 300.00 1000.00
9 Bulk Density Moist [g/cc]: 1.20 1.30
10 Ave. AW Incl. Rock Frag : 0.07 0.07
11 Ksat. (est.) [mm/hr]: 13.31 7.58
12 Organic Carbon [weight %]: 1.60 0.70
13 Clay [weight %]: 24.00 27.00
14 Silt [weight %]: 39.00 32.00
15 Sand [weight %]: 37.00 41.00
16 Rock Fragments [vol. %]: 0.00 0.00
17 Soil Albedo (Moist) : 0.02 0.13
18 Erosion K : 0.27 0.27
19 Salinity (EC, Form 5) : 0.00 0.00
20
```



Δεδομένα Εισόδου - Χωρικά

Γ1. Χρήσεις γης – Χάρτης (π.χ. CORINE)



Δεδομένα Εισόδου - Χωρικά

Γ2. Χρήσεις γης - Αντιστοίχιση με κατηγορίες SWAT

Microsoft Access

global_landuses : ...

LANDUSE_ID	SWAT_CODE
19	BSVG
2	CRDY
5	CRGR
3	CRIR
6	CRWO
11	FODB
12	FODN
13	FOEB
14	FOEN
15	FOMI
7	GRAS
24	ICES
9	MIGS
4	MIXC
10	SAVA
8	SHRB
23	TUBG
20	TUHB
22	TUMI
21	TUWO
1	URMD
16	WATB
17	WEHB
18	WEWO

crop : Table

OBJECTID	ICNUM	CPNM	IDC	CROPNAME						
1	1	AGRL	4	Agricultural Land-Generic	33.5					
2	2	AGRR	4	Agricultural Land-Row Cro	39					
3	3	AGRC	5	Agricultural Land-Close-gr	30					
4	4	ORCD	7	Orchard	15					
5	5	HAY	6	Hay	35					
6	6	FRST	7	Forest-Mixed	15	0.76	5	0.05	0.05	
7	7	FRSD	7	Forest-Deciduous	15	0.76	5	0.05	0.05	
8	8	FRSE	7	Forest-Evergreen	15	0.76	5	0.15	0.7	
9	9	WETL	6	Wetlands-Mixed	47	0.9	6	0.1	0.2	
10	10	WETF	7	Wetlands-Forested	15	0.76	5	0.05	0.05	
11	11	WETN	6	Wetlands-Non-Forested	47	0.9	6	0.1	0.2	
12	12	PAST	6	Pasture	35	0.9	4	0.05	0.05	
13	13	SPAS	6	Summer Pasture	35	0.9	4	0.05	0.05	
14	14	WPAS	6	Winter Pasture	30	0.9	4	0.15	0.01	
15	15	RNGE	6	Range-Grasses	34	0.9	2.5	0.05	0.1	
16	16	RNGB	6	Range-Brush	34	0.9	2.5	0.05	0.1	
17	17	SWRN	6	Southwestern US (Arid) R	34	0.9	2.5	0.05	0.1	
18	18	WATR	6	Water	0	0				
19	19	CORN	4	Corn	39	0				
20	20	CSIL	4	Corn Silage	39	0				
21	21	SCRN	4	Sweet Corn	39	0				
22	22	EGAM								

urban : Table

OBJECTID	IUNUM	URBNAME	URBFLNM	FIMP	FCIMP	CURBDEN	URBCOEF	DIRTMX	THALF	TNCONM
1	1	URHD	Residential-High	0.6	0.44	0.24	0.18	225	0.75	
2	2	URMD	Residential-Med	0.38	0.3	0.24	0.18	225	0.75	
3	3	URML	Residential-Med	0.2	0.17	0.24	0.18	225	0.75	
4	4	URLD	Residential-Low	0.12	0.1	0.24	0.18	225	0.75	
5	5	UCOM	Commercial	0.67	0.62	0.28	0.18	200	1.6	
6	6	UIDU	Industrial	0.84	0.79	0.14	0.18	400	2.35	
7	7	UTRN	Transportation	0.98	0.95	0.12	0.18	340	3.9	
8	8	UINS	Institutional	0.51	0.47	0.12	0.18	340	3.9	
9	9	URBN	Residential	0.38	0.3	0.24	0.18	225	0.75	
*	(AutoNumber)									

Crop.dat -- Βάση Δεδομένων για Φυτοκάλυψη (Plant growth database)

urban.dat -- Βάση Δεδομένων για Αστικές Χρήσεις Γης (Urban database)

Δεδομένα Εισόδου - Χωρικά

Δ. Καθορισμός Μονάδων Υδρολογικής Απόκρισης (ΜΥΑ)

1. Εισαγωγή Χάρτη Χρήσεων Γης

2. Εισαγωγή Εδαφολογικού Χάρτη

5. Καθορισμός Ομάδων Κλίσεων

6. Καθορισμός μεθόδου Δημιουργίας ΜΥΑ

3. Επιλογή Πίνακα Χρήσεων Γης

4. Επιλογή Πίνακα Εδαφικών Τύπων

7. Καθορισμός κατώτατων ορίων για το σχηματισμό ΜΥΑ

The screenshot shows the 'Create HRUs' dialog box in the WaterBase software. The dialog box has a title bar with standard window controls. Inside, there's a 'Maps and Tables' section with 'Landuse Map' and 'Soil Map' fields containing file paths. Below these are 'Landuse Table' and 'Soil Table' dropdown menus. A 'Slope bands' field contains '[0,10.9999]'. There's a 'Single/Multiple HRU' dropdown set to 'Multiple HRUs' and an 'HRU Threshold by Area/Percentage' dropdown set to 'By Percentage'. On the right, there are three sliders for 'Landuse (%)', 'Soil (%)', and 'Slope (%)' with numerical input fields. At the bottom, there are 'Optional' buttons for 'Split Landuses' and 'Exempt Landuses', and a 'Create HRUs' button.



Δεδομένα Εισόδου - Υδρομετεωρολογικά

A. Τυπικά υδρομετεωρολογικά δεδομένα - μετρήσεις:

- Ημερήσια κατακρήμνιση (.pcp)
- Ημερήσια ελάχιστη και μέγιστη θερμοκρασία αέρα (.tmp)
- Μέση μηνιαία υπερετήσια ηλιακή ακτινοβολία (.wgn)
- Μέση μηνιαία υπερετήσια σχετική υγρασία (.wgn)
- Μέση μηνιαία υπερετήσια ταχύτητα ανέμου (.wgn)

B. Γεννήτρια Καιρικών Συνθηκών SWAT:

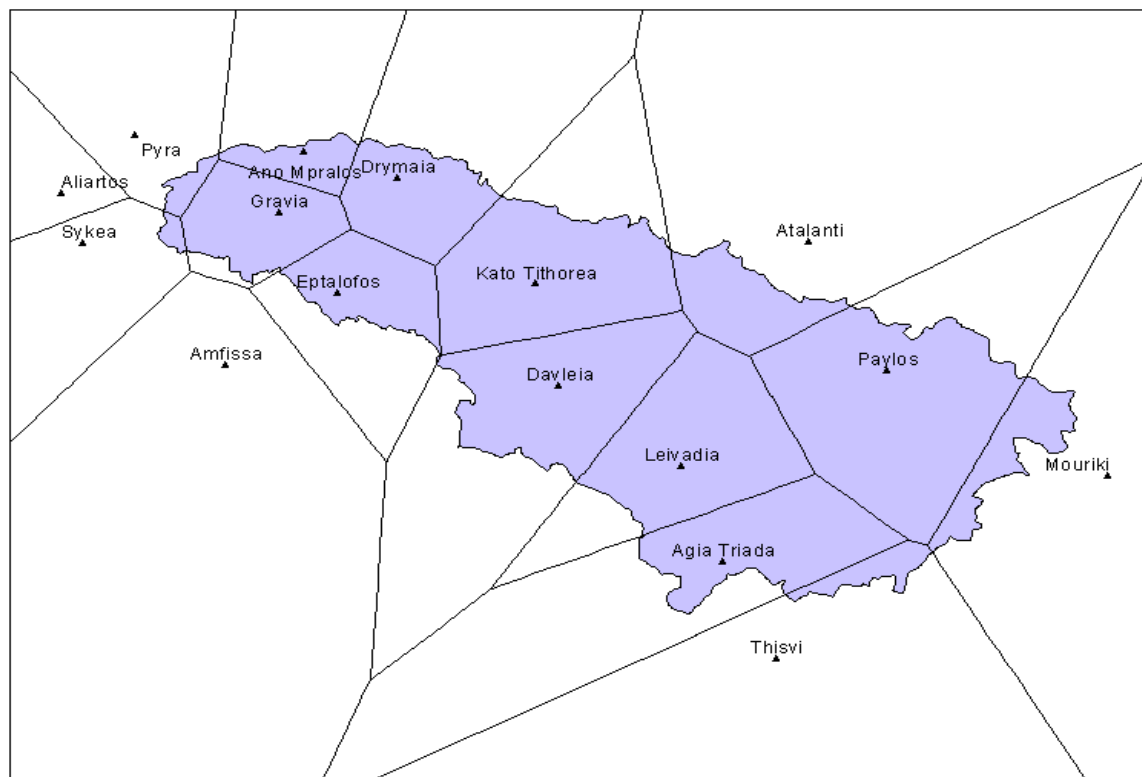
- Δυνατότητα προσομοίωσης όλων των ημερήσιων υδρομετεωρολογικών δεδομένων από στατιστικά δεδομένα (minimum 20 χρόνια μετρήσεων) - Παραγωγή χρονοσειρών
- Έλλειψη δεδομένων
- Προσομοιωμένες κλιματικές συνθήκες



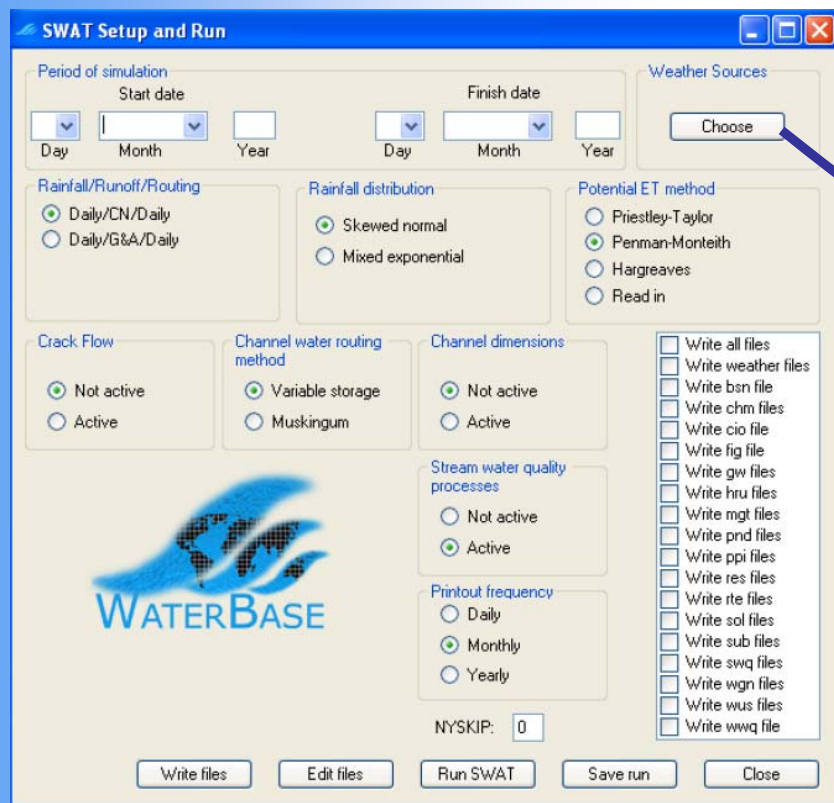
Δεδομένα Εισόδου - Υδρομετεωρολογικά

Κατακρημνίσεις

- SWAT – Επιλογή χαρακτηριστικού σταθμού για κάθε υπολεκάνη
- Επιφανειακή ολοκλήρωση σημειακών κατακρημνίσεων
Πολύγωνα Thiessen



Δεδομένα Εισόδου - Υδρομετεωρολογικά



SWAT Setup and Run

Period of simulation

Start date: Day Month Year

Finish date: Day Month Year

Weather Sources: Choose

Rainfall/Runoff/Routing

☒ Daily/CN/Daily

☐ Daily/G&A/Daily

Rainfall distribution

☒ Skewed normal

☐ Mixed exponential

Potential ET method

☐ Priestley-Taylor

☒ Penman-Monteith

☐ Hargreaves

☐ Read in

Crack Flow

☒ Not active

☐ Active

Channel water routing method

☒ Variable storage

☐ Muskingum

Channel dimensions

☒ Not active

☐ Active

Stream water quality processes

☐ Not active

☒ Active

Printout frequency

☐ Daily

☒ Monthly

☐ Yearly

Write all files

Write weather files

Write bin file

Write chm files

Write cio file

Write fig file

Write gw files

Write hru files

Write mgt files

Write pnd files

Write ppi files

Write res files

Write rte files

Write sol files

Write sub files

Write swq files

Write wgn files

Write wus files

Write wwq file

Write files

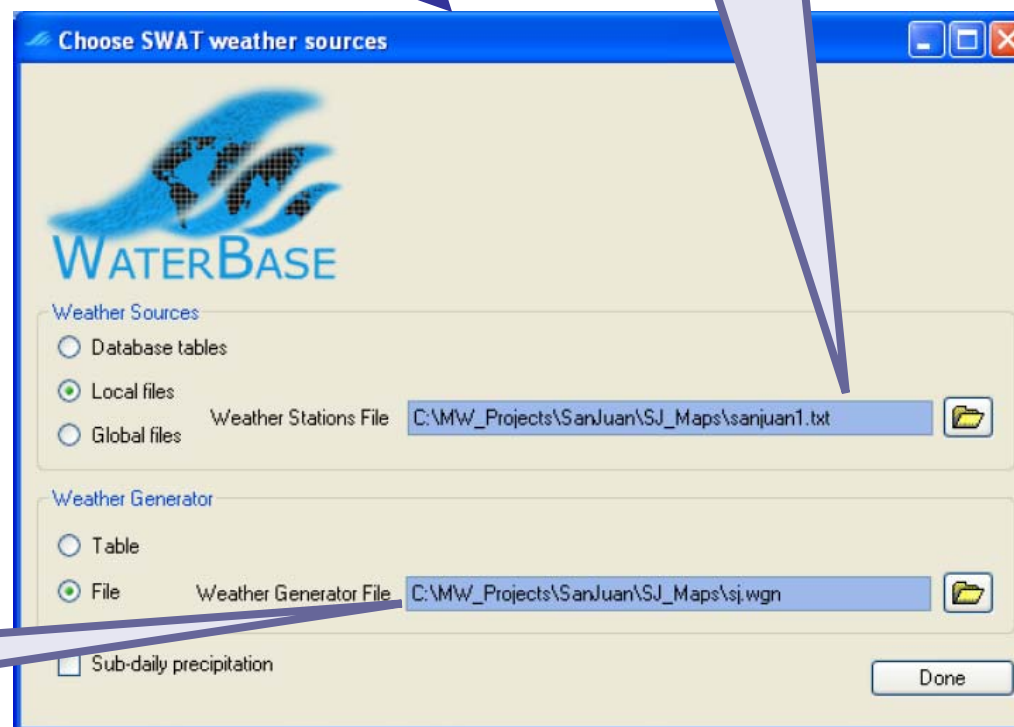
Edit files

Run SWAT

Save run

Close

Αρχείο θέσης
μετεωρολογικών
σταθμών



Choose SWAT weather sources

Weather Sources

☐ Database tables

☒ Local files

☐ Global files

Weather Stations File: C:\MW_Projects\SanJuan\SJ_Maps\sanjuan1.txt

Weather Generator

☐ Table

☒ File

Weather Generator File: C:\MW_Projects\SanJuan\SJ_Maps\sj.wgn

☐ Sub-daily precipitation

Done

Αρχείο Γεννήτριας
Καιρικών Συνθηκών
(.wgn)



Δημιουργία Αρχείων Εισόδου

Αρχεία Εισόδου σε επίπεδο:

- Λεκάνης Απορροής (Watershed):

Για προσομοίωση διεργασιών σε ολόκληρη τη λεκάνη απορροής. Ίδια τιμή για όλες τις ΜΥΑ της λεκάνης απορροής. Π.χ. μέθοδος εκτίμησης εξατμοδιαπνοής

- Υπολεκάνης (Subbasin):

Δεδομένα εισόδου με ίδια τιμή σε όλες τις ΜΥΑ της ίδιας υπολεκάνης. Π.χ. υδατορεύματα, κατακρημνίσεις, μέγιστες και ελάχιστες θερμοκρασίες

- Μονάδας Υδρολογικής Απόκρισης (HRU):

Δεδομένα εισόδου με διαφορετική τιμή σε κάθε ΜΥΑ της λεκάνης απορροής. Π.χ. πρακτικές διαχείρισης της γης



Δημιουργία Αρχείων Εισόδου

Ονομασία Αρχείου Εισόδου	Περιγραφή
A. Επίπεδο Λεκάνης Απορροής (Watershed Level)	
.bsn	Περιέχει τα γενικά χαρακτηριστικά της λεκάνης απορροής που καθορίζουν τις φυσικές διεργασίες σε επίπεδο λεκάνης
.wwq	Αρχείο με παραμέτρους για την ποιοτική προσομοίωση μέσα στα υδατορεύματα σε επίπεδο λεκάνης με βάση το QUAL2E
.fig	Περιέχει πληροφορίες που χρησιμοποιούνται από το SWAT για την προσομοίωση των διεργασιών μέσα σε κάθε ΜΥΑ/υπολεκάνη και της διόδευσης μέσα από το υδρογραφικό δίκτυο της λεκάνης
file.cio	Κύριο αρχείο λεκάνης απορροής για διαχείριση επιμέρους αρχείων στο επίπεδο λεκάνης και των αρχείων εξόδου
weather meas. data	Αρχεία που περιέχουν μετρημένα υδρομετεωρολογικά δεδομένα: .pcp, .tmp, .slr, .wnd, .hmd, .pet
Databases	Βάσεις Δεδομένων του SWAT: user soils, land cover/plant growth (crop.dat), fertilizer (fert.dat), pesticides (pest.dat), tillage (till.dat), urban (urban.dat), user weather stations
B. Επίπεδο Υπολεκάνης (Subbasin Level)	
.wgn	Περιέχει στατιστικά και κλιματικά δεδομένα απαραίτητα για την προσομοίωση ημερήσιων υδρομετεωρολογικών δεδομένων για τις υπολεκάνες
.sub	Περιέχει πληροφορίες για τα χαρακτηριστικά των υπολεκάνων: γενικά χαρακτηριστικά, ιδιότητες παραποτάμων, στοιχεία για την τοπογραφία και την επιρροή τους στο κλίμα, παραμέτρους που αφορούν στην επιφανειακή και υπόγεια ροή του νερού, παραμέτρους που αφορούν στη διάβρωση και μεταβλητές σχετικές με την κλιματική αλλαγή, στοιχεία για τις ΜΥΑ μέσα στην υπολεκάνη.
.rte	Συνοψίζει τα φυσικά χαρακτηριστικά του κύριου υδατορεύματος, τα οποία επηρεάζουν τη ροή του νερού, των φερτών και τη μεταφορά των θρεπτικών και παρασιτοκτόνων
.wus	Περιέχει πληροφορίες για την υδατική κατανάλωση με απομάκρυνση νερού για άρδευση περιοχών εκτός της λεκάνης ή για αστική / βιομηχανική χρήση. Το νερό αυτό χάνεται από το σύστημα της λεκάνης απορροής
.pnd	Περιέχει στοιχεία για κατασκευές/λεκάνες συγκράτησης νερού (ponds)
.swq	Αρχείο με παραμέτρους για την ποιοτική προσομοίωση μέσα στα υδατορεύματα σε επίπεδο υπολεκάνης/τμήματος ποταμού (reach) με βάση το QUAL2E



Δημιουργία Αρχείων Εισόδου

Ονομασία Αρχείου Εισόδου	Περιγραφή
Γ. Επίπεδο Μονάδας Υδρολογικής Απόκρισης (HRU Level)	
.sol	Περιέχει πληροφορίες που καθορίζουν τα φυσικά χαρακτηριστικά όλων των εδαφικών στρώσεων του εδαφικού τύπου
.hru	Περιέχει διάφορες πληροφορίες για τα χαρακτηριστικά των ΜΥΑ: τοπογραφικά χαρακτηριστικά, ροή νερού, διάβρωση, εδαφοκάλυψη, κοιλότητες υδατικής αποθήκευσης
.gw	Περιγράφει τις ιδιότητες που διέπουν την κίνηση του νερού στον ελεύθερο και περιορισμένο υπόγειο υδροφορέα
.mgt	Περιέχει στοιχεία για τις πρακτικές διαχείρισης στη ΜΥΑ, όπως δεδομένα για την φύτευση, θερισμό, άρδευση, χρονικό προγραμματισμό εφαρμογής λιπασμάτων και παρασιτοκτόνων και προσδιορίζει την εδαφοκάλυψη που προσομοιώνεται στην ΜΥΑ
.chm	Περιέχει πληροφορίες που καθορίζουν τα χημικά χαρακτηριστικά (αρχικές τιμές) όλων των εδαφικών στρώσεων του εδαφικού τύπου
Δ. Μεμονωμένα στοιχεία προσομοίωσης	
Reservoirs: .res & .lwq	Τα 2 αρχεία περιέχουν παραμέτρους για την προσομοίωση της κίνησης του νερού, των φερτών, των θρεπτικών και των παρασιτοκτόνων δια μέσω ταμιευτήρα
Point sources/Inlets: rechour.dat recday.dat recmon.dat recyear.dat reccnst.dat	Τα αρχεία αυτά περιέχουν πληροφορία σχετικά με τη φόρτιση στο υδρογραφικό δίκτυο από σημειακές πηγές ή άλλες εισροές

Επεξεργασία Αρχείων Εισόδου

Καθορισμός διάρκειας
προσομοίωσης

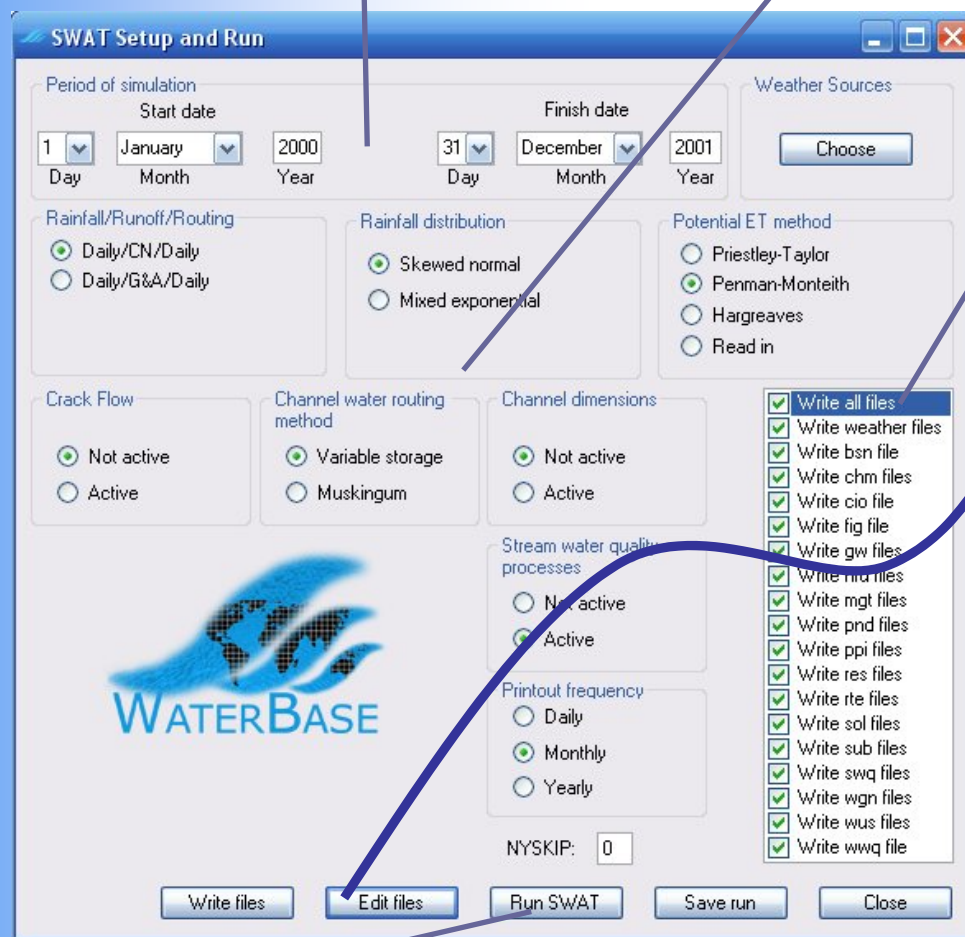
Γενικές επιλογές
προσομοίωσης

Δημιουργία αρχείων
εισόδου SWAT

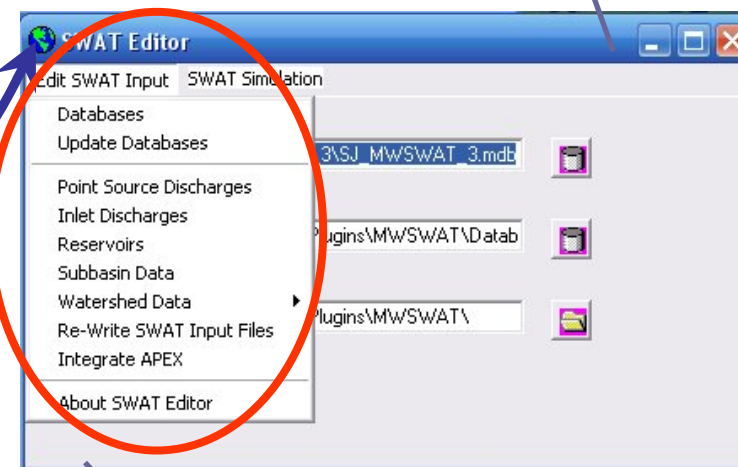
SWAT Editor

Επεξεργασία αρχείων
εισόδου SWAT

Εκτέλεση SWAT



The 'SWAT Setup and Run' dialog box is shown with various configuration options. The 'Period of simulation' section includes 'Start date' (1 January 2000) and 'Finish date' (31 December 2001). The 'Weather Sources' section has a 'Choose' button. The 'Rainfall/Runoff/Routing' section has radio buttons for 'Daily/CN/Daily' (selected) and 'Daily/G&A/Daily'. The 'Rainfall distribution' section has radio buttons for 'Skewed normal' (selected) and 'Mixed exponential'. The 'Potential ET method' section has radio buttons for 'Priestley-Taylor', 'Penman-Monteith' (selected), 'Hargreaves', and 'Read in'. The 'Crack Flow' section has radio buttons for 'Not active' (selected) and 'Active'. The 'Channel water routing method' section has radio buttons for 'Variable storage' (selected) and 'Muskingum'. The 'Channel dimensions' section has radio buttons for 'Not active' (selected) and 'Active'. The 'Stream water quality processes' section has radio buttons for 'Not active' and 'Active' (selected). The 'Printout frequency' section has radio buttons for 'Daily', 'Monthly' (selected), and 'Yearly'. The 'NYSKIP' field is set to 0. A list of files to be written is shown with checkboxes: 'Write all files', 'Write weather files', 'Write bsn file', 'Write chm files', 'Write cio file', 'Write fig file', 'Write gw files', 'Write hru files', 'Write mgt files', 'Write pnd files', 'Write ppi files', 'Write res files', 'Write rte files', 'Write sol files', 'Write sub files', 'Write swq files', 'Write wgn files', 'Write wus files', and 'Write wwq file'. At the bottom are buttons for 'Write files', 'Edit files', 'Run SWAT', 'Save run', and 'Close'.



The 'SWAT Editor' dialog box is shown with a list of files to be written. The 'Edit SWAT Input' tab is selected. The list includes: 'Databases', 'Update Databases', 'Point Source Discharges', 'Inlet Discharges', 'Reservoirs', 'Subbasin Data', 'Watershed Data', 'Re-Write SWAT Input Files', and 'Integrate APEX'. The 'About SWAT Editor' button is at the bottom. The 'SWAT Simulation' tab is also visible.

Δεδομένα Εισόδου – Σημειακές πηγές

Καρτέλα επεξεργασίας
δεδομένων σημειακών
πηγών

Σταθερές ημερήσιες
φορτίσεις

Δυνατότητα εισαγωγής:
α. Μέσων ημερήσιων τιμών
για κάθε μήνα ή έτος,
β. Ημερήσιων χρονοσειρών

Edit Point Source Inputs

Select Point Source Data Type
Constant

Constant Daily Loadings

Flow (m3)	Sediment (metric)	Organic N (kg)	Organic P (kg)
17032.5	0.128	0	1.852
Nitrate (NO3) (kg)	Ammonia (NH3) (kg)	Nitrite (NO2) (kg)	Mineral P (kg)
0	3.528	0	0.463
CBOD (kg)	Dissolved Oxygen (kg)	Chlorophyll a (kg)	Soluble Pesticide (kg)
0	0	0	0
Sorbed Pesticide (kg)	Persistent bacteria (#)	Less Persistent Bacteria (#)	Conservative Metal 1 (kg)
0	0	0	0.002
Conservative Metal 2 (kg)	Conservative Metal 3 (kg)		
0.008	1.358		

Observed Loadings Input Files

Average Monthly Daily Loading File:

Edit Values Cancel Edits Save Edits Exit

SWAT Editor:
Αρχεία εισόδου υπολεκανών
Επιλογή αρχείου εισόδου .mgt

Αρχείο εισόδου .mgt - Γενικές παράμετροι:

- Αρχικές συνθήκες
- Σταθερές Πρακτικές Διαχείρισης

Edit Subbasin Inputs

Select Input Table To Edit

SWAT Input Table

Management (.Mgt)

OK Cancel

Select Subbasin/HRU

Subbasin Land Use

1 GRAS

Soils Slope

KI30-2bc-4832 0-10

Edit Management Parameters: Subbasin 1, Land Use GRAS, Soil K130-2bc-4832, Slope 0-10

General Parameters | Operations

Initial Plant Growth

Initial Land Cover: Agricultural Land-Generic LAI_INIT: 0 BIO_INIT: 0 PHU_PLT: 0

General Management

BIOMIX: 0.2 CN2: 79 USLE_P: 1 BIO_MIN: 0 FILTERW: 0

Urban Management

Urban Land Cover: No Urban Use Urban Simulation Method:

Irrigation Management

Irrigation Source: No Irrigation Subbasin: FLOWMIN (m³/s): 0 DIVMAX (+mm/-10⁴ m3): 0 FLOWFR: 0

Tile Drain Management

DDRAIN (mm): 0 TDRAIN (hr): 0 GDRAIN (hr): 0

Special Management Options

☐ Model as Bare Soil

Edit Values

Cancel Edits

Save Edits

Exit

Extend Parameter Edits

☐ Extend ALL MGT General Parameters

☐ Extend Management Operations

☒ Extend Edits to Current HRU

☐ Extend Edits to All HRUS

☐ Extend Edits to Selected HRUS

Selected HRUs

Subbasins: Land Use: Soils:

Slope:

Δεδομένα Εισόδου – Πρακτικές Διαχείρισης Γης

Αρχείο εισόδου .mgt – Δράσεις:
Χρονικό προγραμματισμός συγκεκριμένων
δράσεων/πρακτικών διαχείρισης γης

Προσθήκη πρακτικών
διαχείρισης γης –
15 διαθέσιμες πρακτικές, όπως:

- φύτευση
- άρδευση
- εφαρμογή λιπασμάτων και παρασιτοκτόνων
- άροση
- θερισμός
- τερματισμός καλλιέργειας
- βόσκηση

General Parameters Operations

Add Year
Delete Year
Add Operation
Delete Operation
Edit Operation

Current Management Operations

Year	Operation	Crop	Heat Units
1	Plant/begin. growing se	7	0.15
1	Harvest and kill operati	7	1.2

Load Schedule
Save Schedule

Plant/Begin Growing Season Parameters

☐ Schedule by Date
☒ Schedule By Heat Units

Year of Rotation : 1

PLANT_ID: Eragrostis Teff
CURYR_MAT: 0
Heat Unit Scheduling: 0.15
Heat Units to Maturity: 1800
LAI_INIT: 0
BIO_INIT: 0
HI_TARG: 0
BIO_TARG: 0
CNOP: 0

Cancel OK

Extend Parameter Edits

☐ Extend ALL MGT General Parameters
☐ Extend Management Operations
☐ Extend Edits to Current HRU
☐ Extend Edits to All HRUS
☒ Extend Edits to Selected HRUS

Selected HRUs

Subbasins	Land Use	Soils
All	All	All
1	GRAS	KI30-2bc-4832
2	SHRB	Vp38-3a-5345
3		
4		
5		
6		
7		

Edit Values
Cancel Edits
Save Edits
Exit

Add Operation

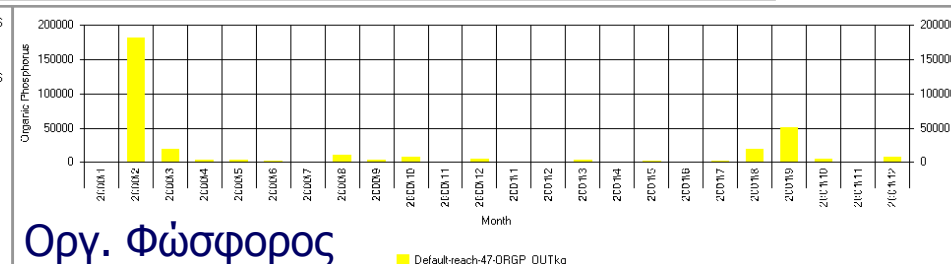
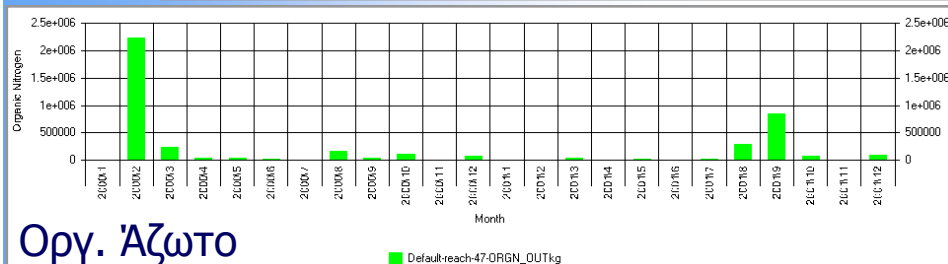
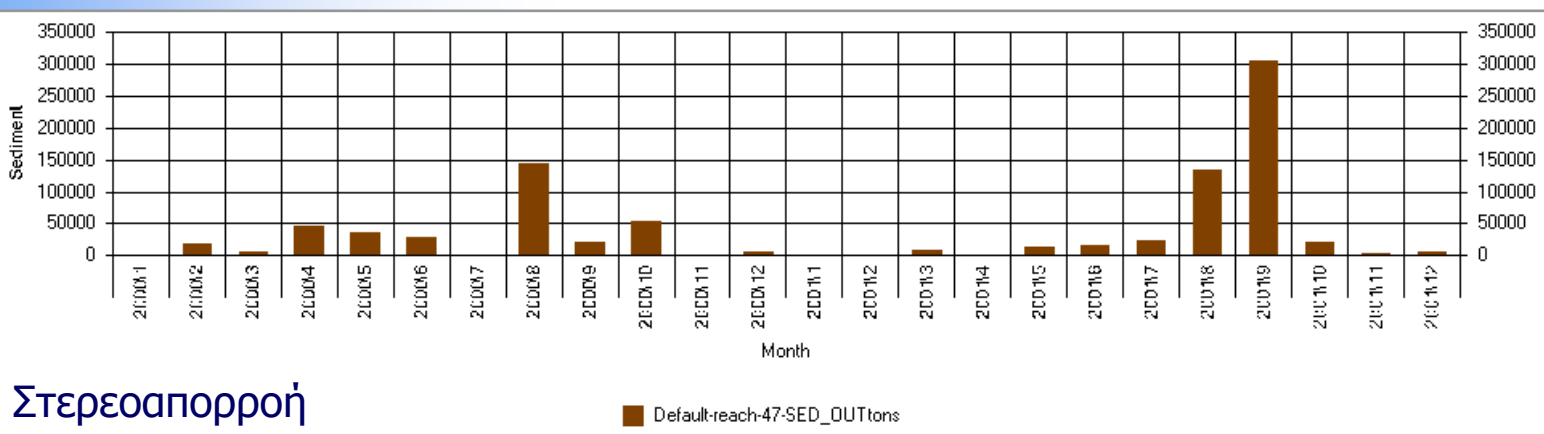
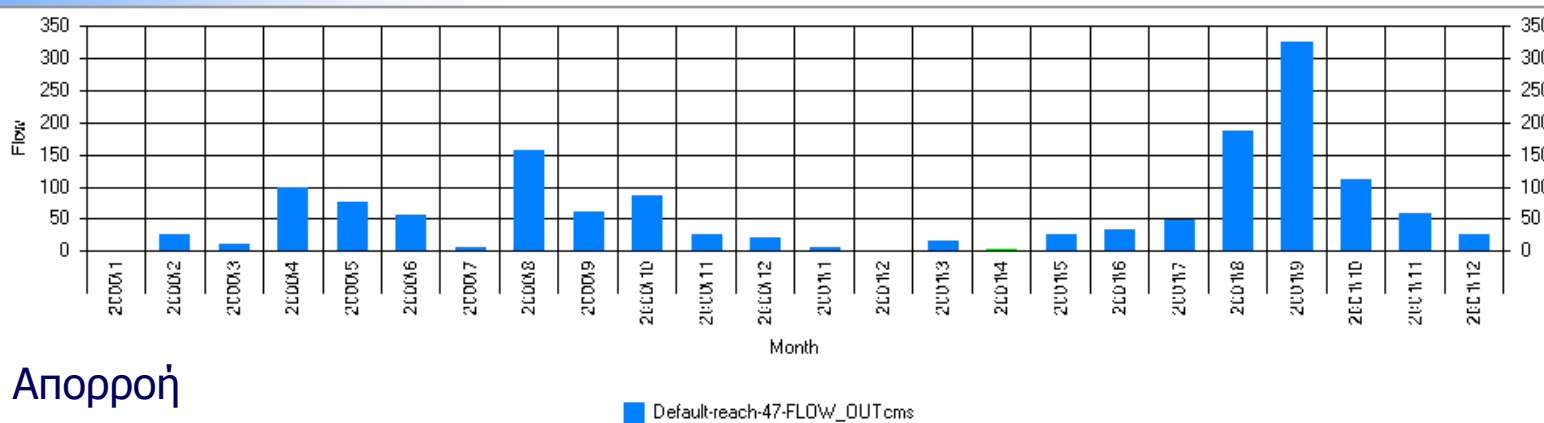
Select Management Operation

1. Plant/begin growing season
2. Irrigation
3. Fertilizer application
4. Pesticide application
5. Harvest and kill
6. Tillage
7. Harvest only
8. Kill/ end of growing season
9. Grazing
10. Auto-irrigation

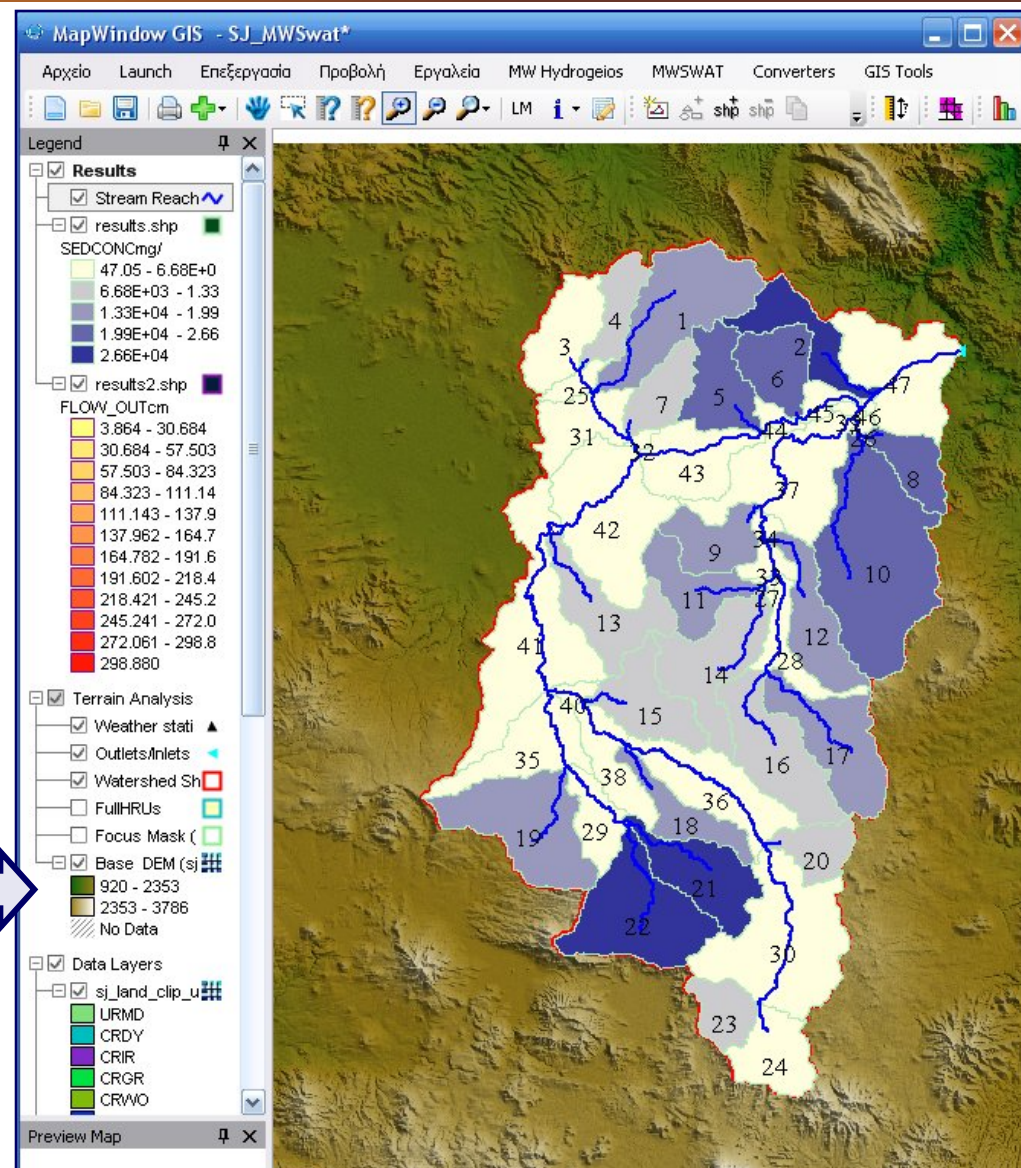
OK Cancel



Οπτικοποίηση αποτελεσμάτων - Γραφήματα

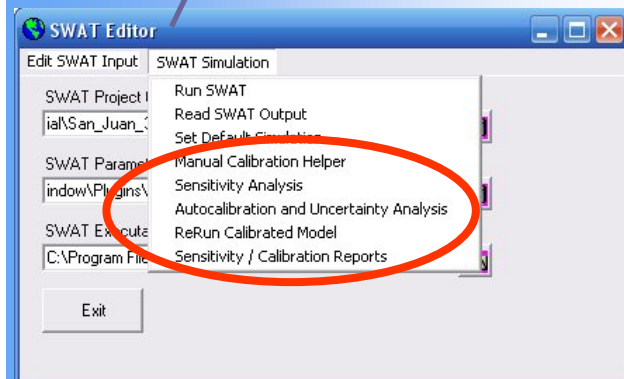


Οπτικοποίηση αποτελεσμάτων - Χάρτες



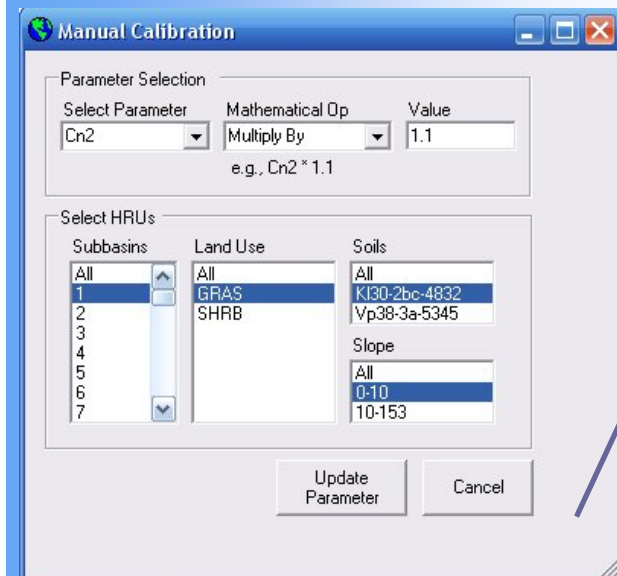
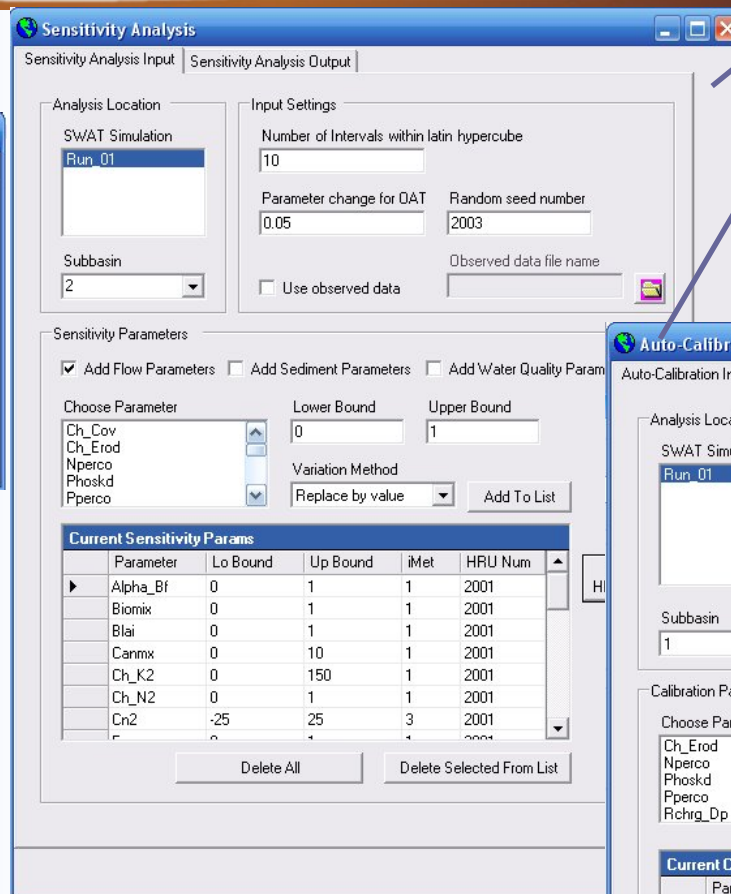
SWAT: Βαθμονόμηση – Ανάλυση ευαισθησίας

SWAT Editor

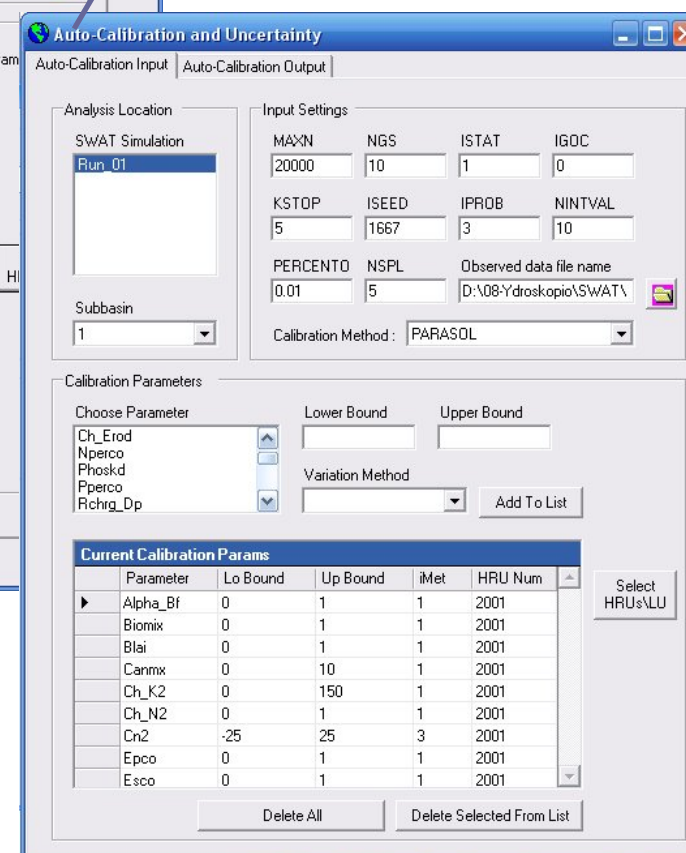


Ανάλυση Ευαισθησίας

Αυτοματοποιημένη Βαθμονόμηση



Εργαλείο εμπειρικής/χειρονακτικής βαθμονόμησης

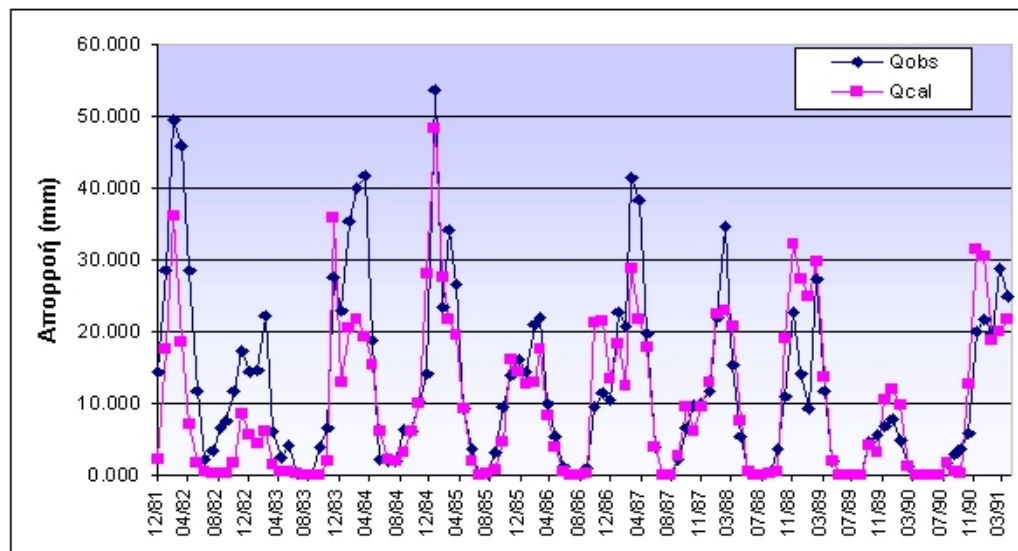




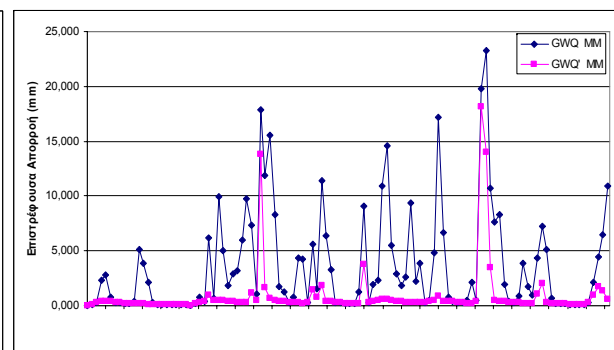
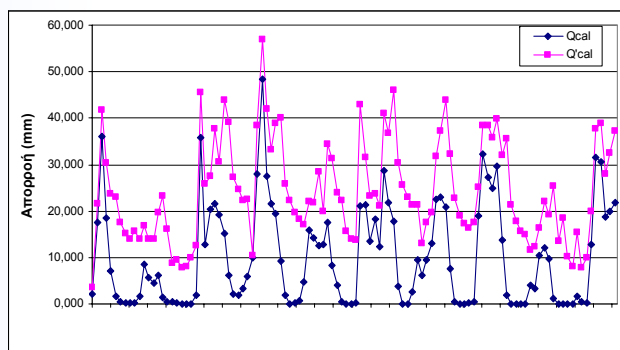
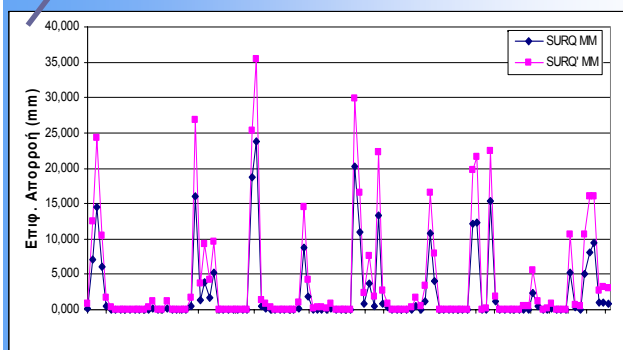
Εφαρμογή: Υδρολογική προσομοίωση στη λεκάνη Βοιωτικού Κηφισού

Βαθμονόμηση υδρολογικού τμήματος SWAT

- Περίοδος βαθμονόμησης: 1981 - 1991
- Τελική τιμή αποτελεσματικότητας / δείκτη Nash-Sutcliffe: 0.766
- Παράμετροι βαθμονόμησης: 12

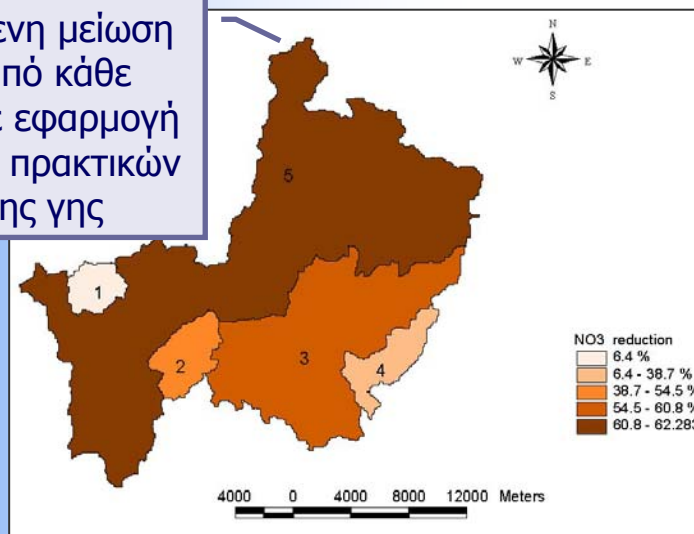


Ανάλυση ευαισθησίας παραμέτρων βαθμονόμησης μοντέλου

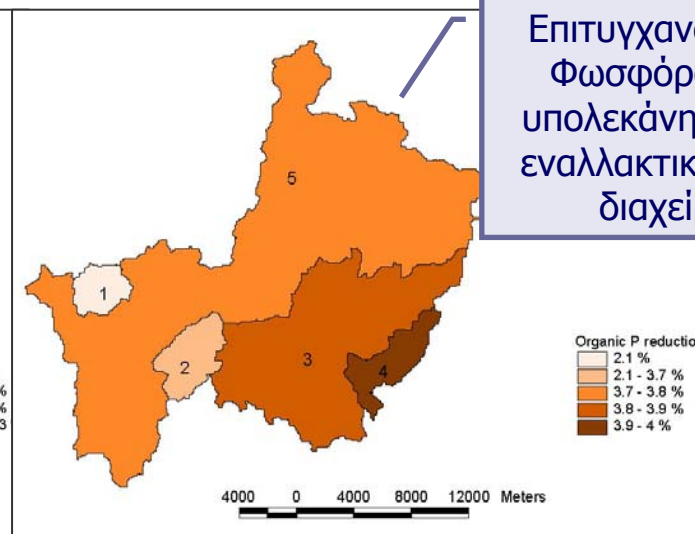


Εφαρμογή: Ποιοτική προσομοίωση – σενάρια πρακτικών διαχείρισης Γης

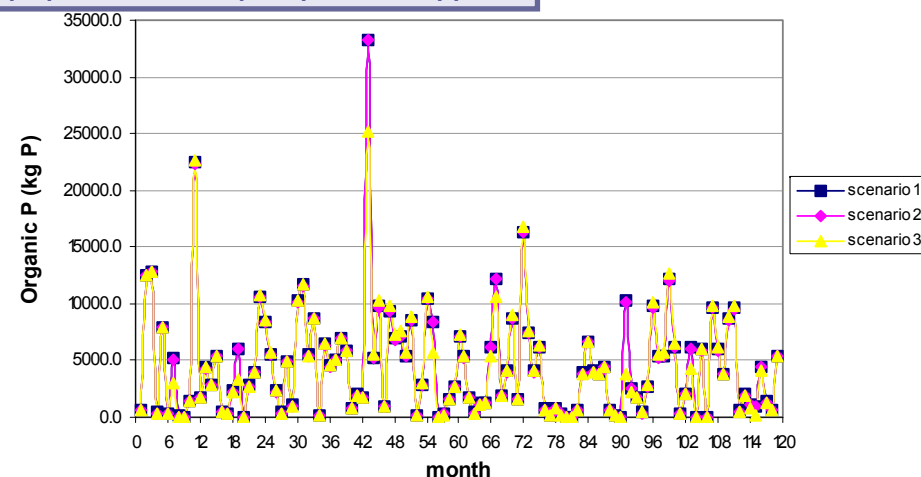
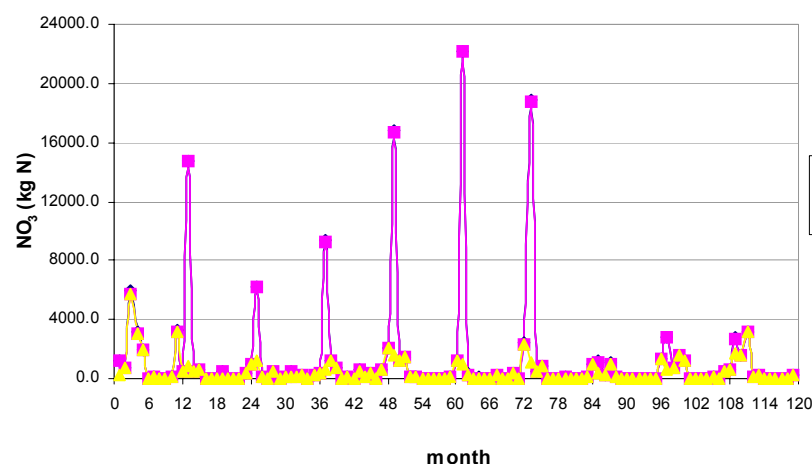
Επιτυγχανόμενη μείωση
Νιτρικών από κάθε
υπολεκάνη με εφαρμογή
εναλλακτικών πρακτικών
διαχείρισης γης



Επιτυγχανόμενη μείωση
Φωσφόρου από κάθε
υπολεκάνη με εφαρμογή
εναλλακτικών πρακτικών
διαχείρισης γης



Προσομοιωμένα Νιτρικά και Φώσφορος στην έξοδο της
λεκάνης κάτω από διαφορετικά σενάρια ρύπανσης





SWAT και Οδηγία Πλαίσιο για τα Νερά

- Οδηγία Πλαίσιο - Καθορισμός αυστηρών απαιτήσεων για έλεγχο ρύπανσης
- Ολοκληρωμένη υδατική προστασία σε επίπεδο λεκάνης απορροής
- Εκτίμηση σχετικής συνεισφοράς σημειακών και διάχυτων πηγών ρύπανσης σε επίπεδο λεκάνης απορροής
- Ανάδειξη και υιοθέτηση αποτελεσματικών μέτρων και στρατηγικών για πρόληψη και έλεγχο ρύπανσης
- Συνεισφορά διάχυτων πηγών ρύπανσης ιδιαίτερα σημαντική σε αγροτικές λεκάνες
- Ανάγκη για εφαρμογή κατάλληλων πρακτικών διαχείρισης γης ανάλογα με τα χαρακτηριστικά της κάθε λεκάνης
- Ανάγκη για κατάλληλα υπολογιστικά εργαλεία για την εκτίμηση, ποσοτικοποίηση και έλεγχο της διάχυτης ρύπανσης



SWAT και Οδηγία Πλαίσιο για τα Νερά

Το εργαλείο οικο-υδρολογικής προσομοίωσης SWAT:

- Ελεύθερο λογισμικό (public domain)
- Ολοκληρωμένο μοντέλο φυσικής βάσης
- Λειτουργία στο περιβάλλον Συστημάτων Γεωγραφικής Πληροφορίας (GIS)
- Διακριτοποίηση σε υπολεκάνες και ΜΥΑ
- Δυνατότητα προσομοίωσης μεγάλων και σύνθετων λεκανών απορροής, με διαφορετικές χρήσεις γης, εδαφικούς τύπους και πρακτικές διαχείρισης γης
- Ιδιαίτερα κατάλληλο για εφαρμογή σε αγροτικές λεκάνες
- Περιγραφή χωρικής μεταβλητότητας και ετερογένειας λεκάνης απορροής, γενικά χαρακτηριστικά και πηγές ρύπανσης λεκάνης
- Εφικτή η αποδοτική ποσοτικοποίηση μακροπρόθεσμων επιπτώσεων στο νερό, τα φερτά, θρεπτικά και παρασιτοκτόνα μέσω εφαρμογής εναλλακτικών σεναρίων διαχείρισης
- Δυνατό εργαλείο για την εναρμόνιση με την Οδηγία Πλαίσιο για τα Νερά
- Απαραίτητη όμως η ύπαρξη δικτύου παρατηρήσεων και επαρκών / συνεπών μετρήσεων παραμέτρων ποιότητας νερού



Λογισμικό SWAT για MapWindow

Απαραίτητο λογισμικό (πρόσφατες εκδόσεις) για το MapWindow SWAT (MWSWAT):

- SWAT Editor, version 2.1.5
<http://swatmodel.tamu.edu>
- MapWindow, version 4.7.5 S.R.
<http://www.mapwindow.org/>
- MWSWAT, version 1.6
<http://www.waterbase.org>