

Εύρεση των κύριων επεξηγηματικών παραγόντων διαμόρφωσης της παροχής και ζήτησης πολλαπλών οικοσυστημικών υπηρεσιών

Roxanne Suzette Lorilla¹, Κωνσταντίνος Ποϊραζίδης² & Βασίλης Δέτσης³

¹ Υπ. Διδάκτορας, Τμήμα Γεωγραφίας, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο

² Επ. Καθηγητής, Τμήμα Περιβάλλοντος, Ιόνιο Πανεπιστήμιο

³ Επ. Καθηγητής, Τμήμα Οικιακής Οικονομίας & Οικολογίας, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο



ΟΙΚΟΣΥΣΤΗΜΙΚΕΣ ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ

Ως οικοσυστημικές υπηρεσίες ορίζονται τα οφέλη που λαμβάνει ο άνθρωπος από το φυσικό περιβάλλον, τα οποία είναι ζωτικής σημασίας στη διατήρηση και βελτίωση της ποιότητας ζωής.



Πηγή εικόνας: <https://clu-in.org/ecotools/ecosystem.cfm>

Προμηθευτικές υπηρεσίες

όλα τα αγαθά και προϊόντα που προέρχονται από τα οικοσυστήματα και εξαρτώνται από την ύπαρξη βιολογικών πόρων

π.χ. διατροφή, υλικά αγαθά, ενέργεια



Ρυθμιστικές και υπηρεσίες Διατήρησης

όλοι οι τρόποι με τους οποίους τα οικοσυστήματα ελέγχουν ή τροποποιούν τις βιοτικές ή αβιοτικές παραμέτρους που καθορίζουν το περιβάλλον

π.χ. ρύθμισης του κλίματος, επικοινωνία, αποτροπή διάβρωσης



Πολιτισμικές υπηρεσίες

όλες οι μη υλικές εκροές των οικοσυστημάτων που έχουν συμβολική, πολιτιστική ή πνευματική σημασία

π.χ. πνευματική υγεία, συμβολική αξία, αναψυχή



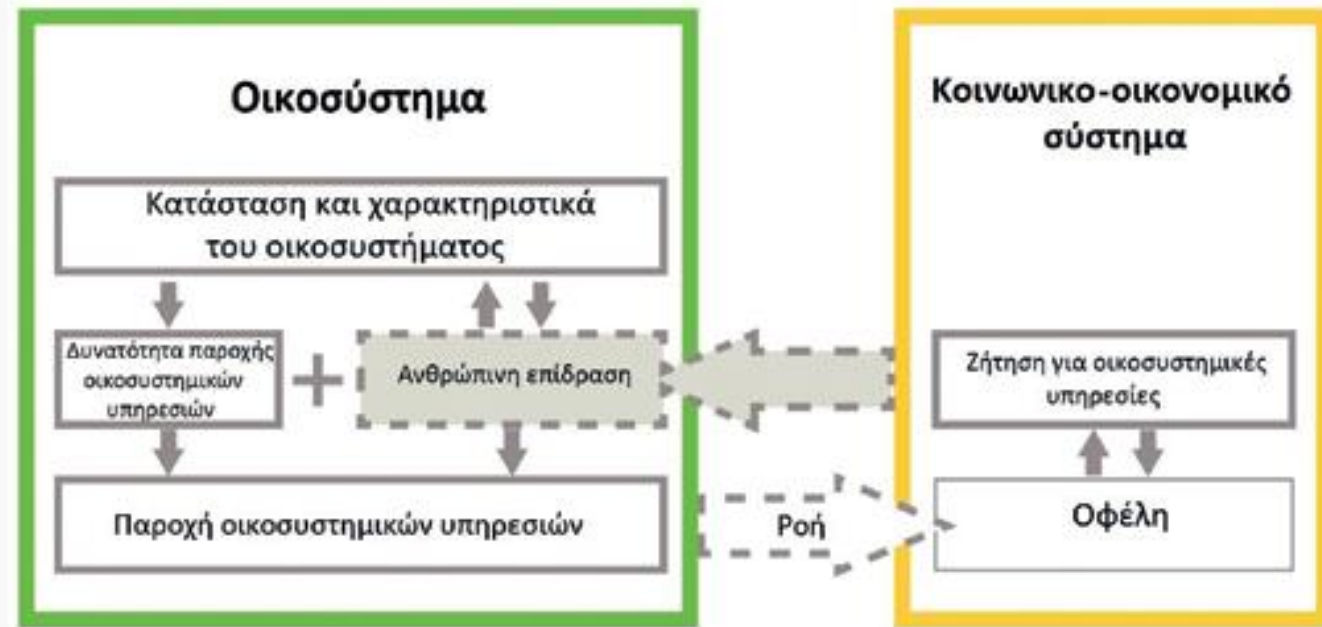
Πηγή εικόνας: <http://www.alpeselearning.eu/b-1-what-are-ecosystem-services/>

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

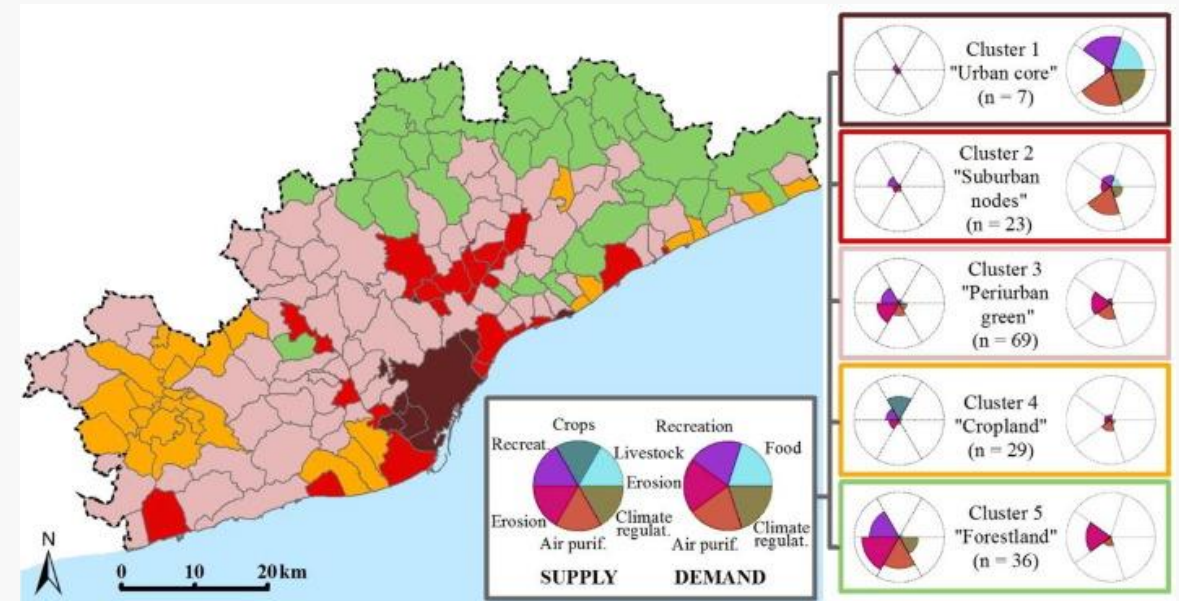
Η ικανότητα ενός οικοσυστήματος να παρέχει υπηρεσίες (**supply**) είναι αποτέλεσμα σύνθετων διεργασιών μεταξύ βιοφυσικών χαρακτηριστικών του περιβάλλοντος και της ανθρώπινης παρουσίας.

Ωστόσο, η αυξημένη ζήτηση (**demand**) από την κοινωνία για οικοσυστημικές υπηρεσίες μπορεί να οδηγήσει ανταγωνιστικές σχέσεις με την παροχή πολλαπλών υπηρεσιών.

Έτσι, η αλληλεπίδραση κοινωνικών και οικολογικών χαρακτηριστικών δημιουργεί ομάδες, συστάδες ή δέσμες (**bundles**) πολλαπλών οικοσυστημικών υπηρεσιών μέσα στις οποίες παρατηρούνται είτε συνέργειες (**synergies**) είτε ανταλλαγές (**trade-offs**) μεταξύ των υπηρεσιών.



Σχηματικός προσδιορισμός των διαφόρων παραμέτρων και πτυχών των οικοσυστημικών υπηρεσιών (Απόδοση στα ελληνικά και πηγή εικόνας: Δημόπουλος και άλλοι (2017)).



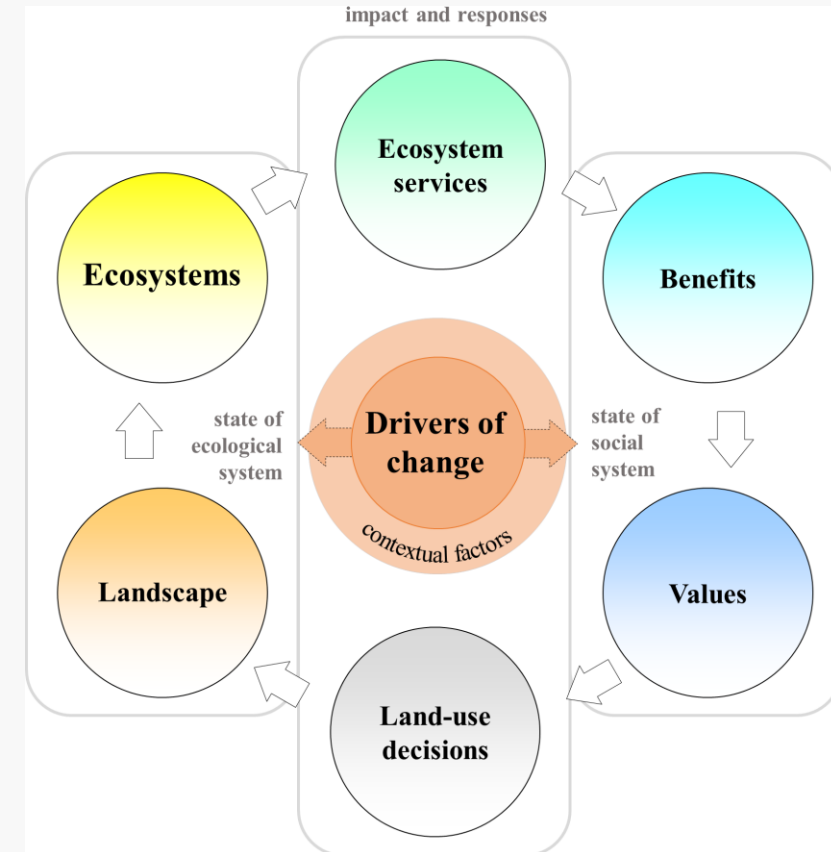
Παράδειγμα χωρικής διαμόρφωσης των δεσμών παροχής και ζήτησης οικοσυστημικών υπηρεσιών στη Βαρκελώνη, και ένταση παρουσίας υπηρεσιών σε κάθε δέσμη (Πηγή: Baró et al., 2017).

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Μεγάλη πρόκληση αποτελεί η αποτροπή της υποβάθμισης των οικοσυστημάτων με ταυτόχρονη ικανοποίηση των ανθρώπινων αναγκών.

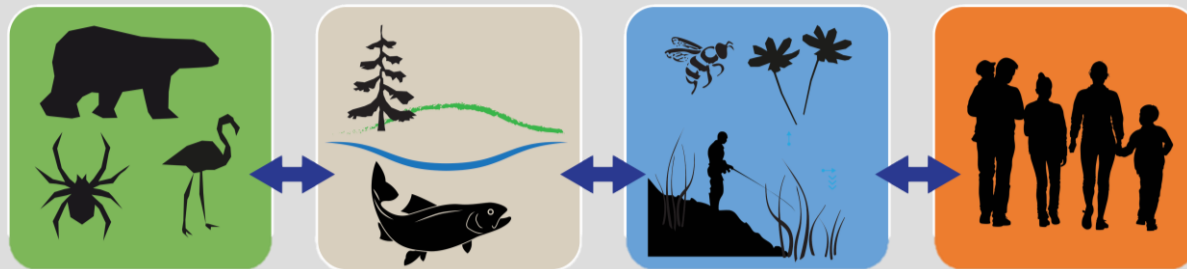
Για να επιτευχθεί, υπάρχει ανάγκη αύξησης της ευαισθητοποίησης σχετικά με την βιώσιμη χρήση των οικοσυστημικών υπηρεσιών. Αυτό περιλαμβάνει την κατανόηση της ισορροπίας μεταξύ της παροχής και της ζήτησης οικοσυστημικών υπηρεσιών.

Για την αποτελεσματική διαχείριση του φυσικού περιβάλλοντος και την αποφυγή αρνητικών επιπτώσεων στην ανθρώπινη ευημερία, είναι απαραίτητη η αναγνώριση των κύριων παραγόντων που προκαλούν ή παρεμποδίζουν τη συνύπαρξη πολλαπλών οικοσυστημικών υπηρεσιών.

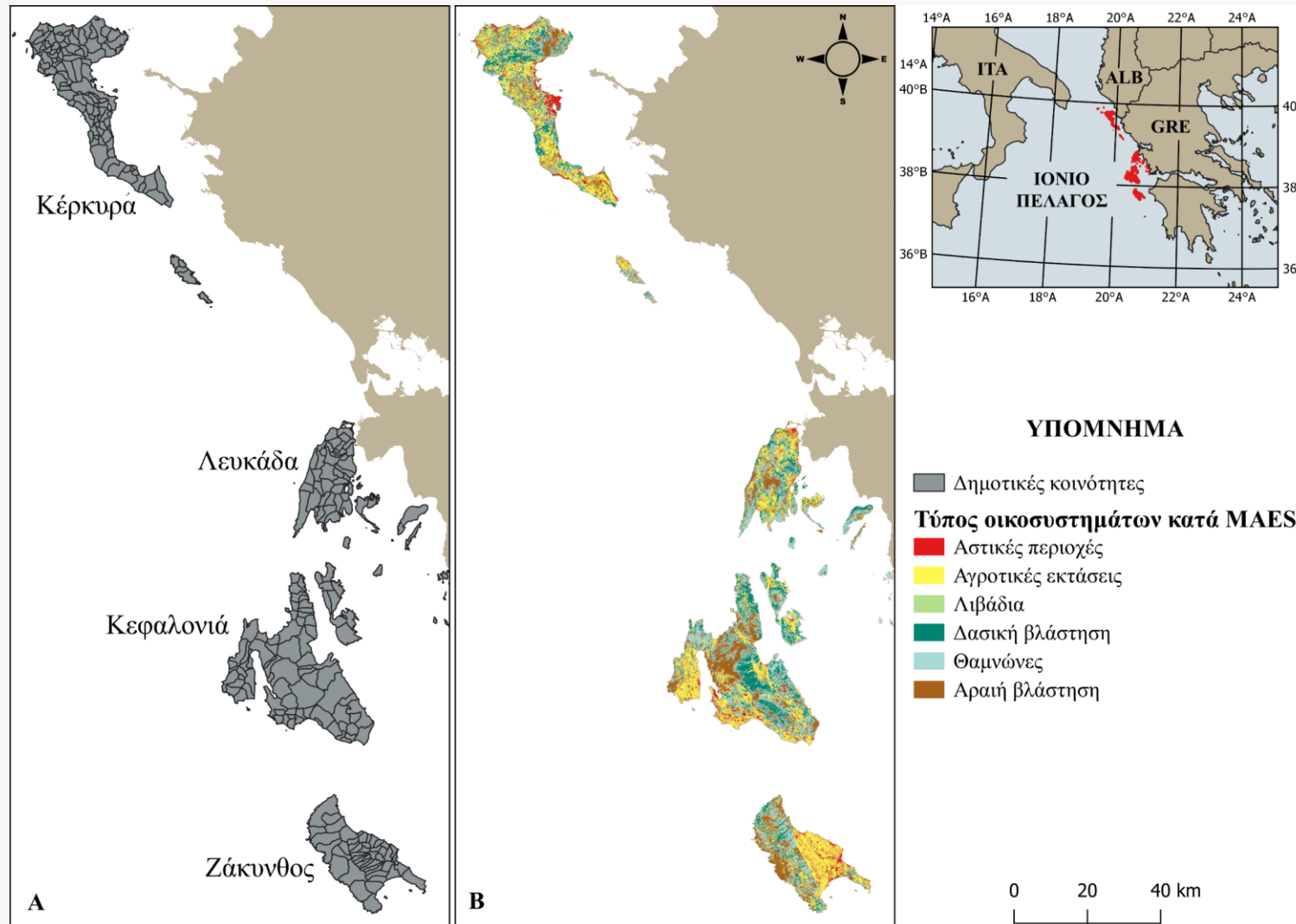


ΣΤΟΧΟΣ ΤΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Η εύρεση των κοινωνικών και οικολογικών παραγόντων που συνεισφέρουν στη διαμόρφωση των οικοσυστημικών υπηρεσιών ως εργαλείο για την αποτελεσματική διαχείριση των φυσικών πόρων και τη διατήρηση της ανθρώπινης ευημερίας.



ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ: ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ ΙΟΝΙΩΝ ΝΗΣΩΝ



5 περιφερειακές ενότητες

278 δημοτικές κοινότητες

Πληθυσμός: 207,855 κάτοικοι

Εύκρατο Μεσογειακό κλίμα

Γεωργία και τουρισμός

Υψηλή παρουσία φυσικής βλάστησης και αγροτικών εκτάσεων (κυρίως ελαιώνες)

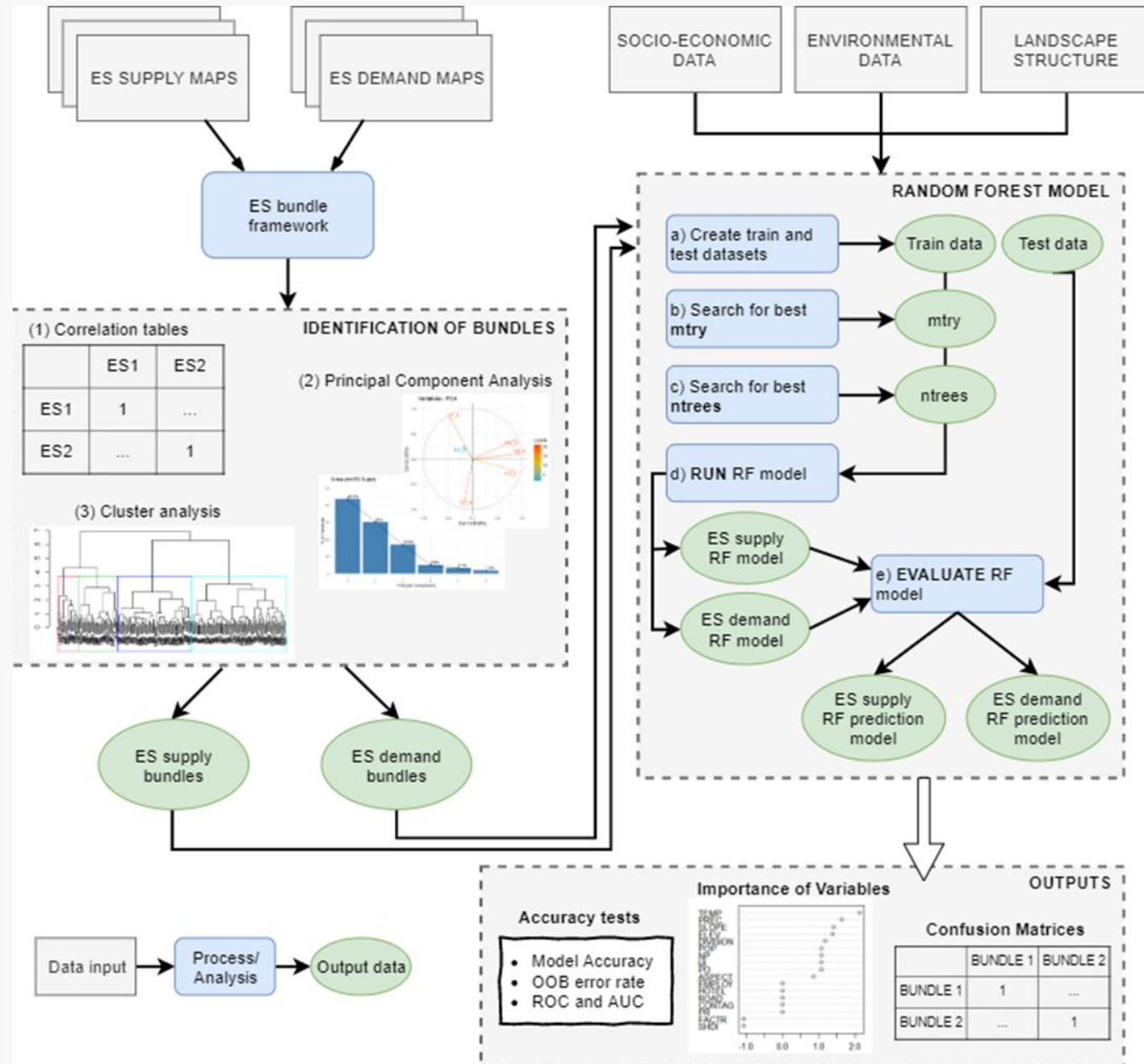
Υψηλή πολιτισμική αξία

Υψηλή βιοποικιλότητα

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Για την αναγνώριση των κοινωνικών και περιβαλλοντικών παραγόντων που επηρεάζουν την κατανομή των δεσμών οικοσυστημικών υπηρεσιών έγινε:

- I. Χαρτογράφηση της παροχής και της ζήτησης οικοσυστημικών υπηρεσιών
- II. Δημιουργία δεσμών παροχής και ζήτησης οικοσυστημικών υπηρεσιών
- III. Εύρεση του βαθμού σημαντικότητας των κοινωνικό-οικολογικών παραγόντων στην κατανομή και διαμόρφωση πολλαπλών οικοσυστημικών υπηρεσιών



ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Χαρτογράφηση

Οικοσυστημικές υπηρεσίες	Προσεγγιστικοί δείκτες Παροχής	Προσεγγιστικοί δείκτες Ζήτησης
Παροχή τροφής (FP)	Ποσοστό καλλιεργήσιμων εκτάσεων	Τιμή αγοράς αγροτικών προϊόντων
Παροχή κτηνοτροφίας (LP)	Ποσοστό εκτάσεων κατάλληλα για βόσκηση (λιβάδια και φρυγανότοποι)	Αριθμός κτηνοτροφικών ζώων
Βιομάζα βάσει φυτών (PR)	Ενισχυμένος δείκτης βλάστησης EVI	Ποσοστό νοικοκυριών που χρησιμοποιούν βιομάζα ως κύρια πηγή θέρμανσης
Ρύθμιση του κλίματος (CR)	Επίγεια και υπόγεια δέσμευση του άνθρακα	Εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου
Διατήρηση σημαντικών πληθυσμών και ενδιαιτημάτων (NS)	Ποικιλότητα καλύψεων γης	Προστατευόμενες περιοχές
Αναψυχή (RC)	Δυνατότητα παροχής αναψυχής	Οικονομική αξία αναψυχής των οικοσυστημάτων

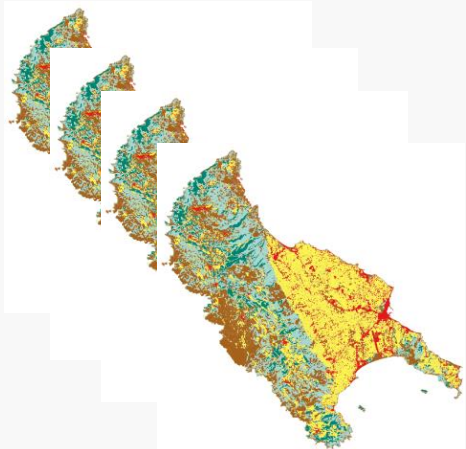
ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Επιλογή κοινωνικό-οικολογικών παραγόντων

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ	ΠΑΡΑΓΟΝΤΑΣ	ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ	ΠΑΡΑΓΟΝΤΑΣ
Δημογραφία	Πληθυσμός	Κλίμα	Θερμοκρασία
	Εργαζόμενοι		Βροχόπτωση
Τεχνητές και αστικές επιφάνειες	Ξενοδοχεία	Δομή και διάρθρωση τοπίου	Number of Patches (NP)
	Εργοστάσια/Βιοτεχνίες		Patch Density (PD)
	Οδικό δίκτυο		Contagion Index (CONTAG)
Τοπογραφία	Υψόμετρο		Interspersion and juxtaposition index (IJI)
	Κλίση		Landscape division index (DIVISION)
	Έκθεση		Patch richness (PR)
			Shannon diversity index (SHDI)

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

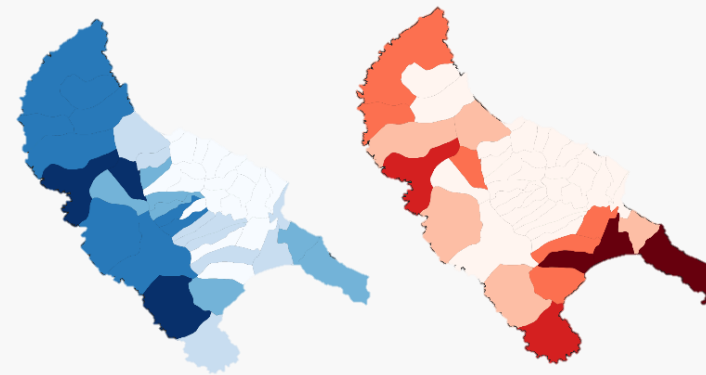
Δημιουργία δεσμών/συστάδων



Οικοσυστημικές υπηρεσίες κανονικοποιημένες σε κλίμακα 0-1



Δημοτικές κοινότητες



Χάρτες παροχής και ζήτησης οικοσυστημικών υπηρεσιών

Έλεγχος
συσχέτισης

Spearman correlation
tests

Ανάλυση κυρίων
συνιστωσών

Principal Component
Analysis

Ανάλυση κατά
συστάδες

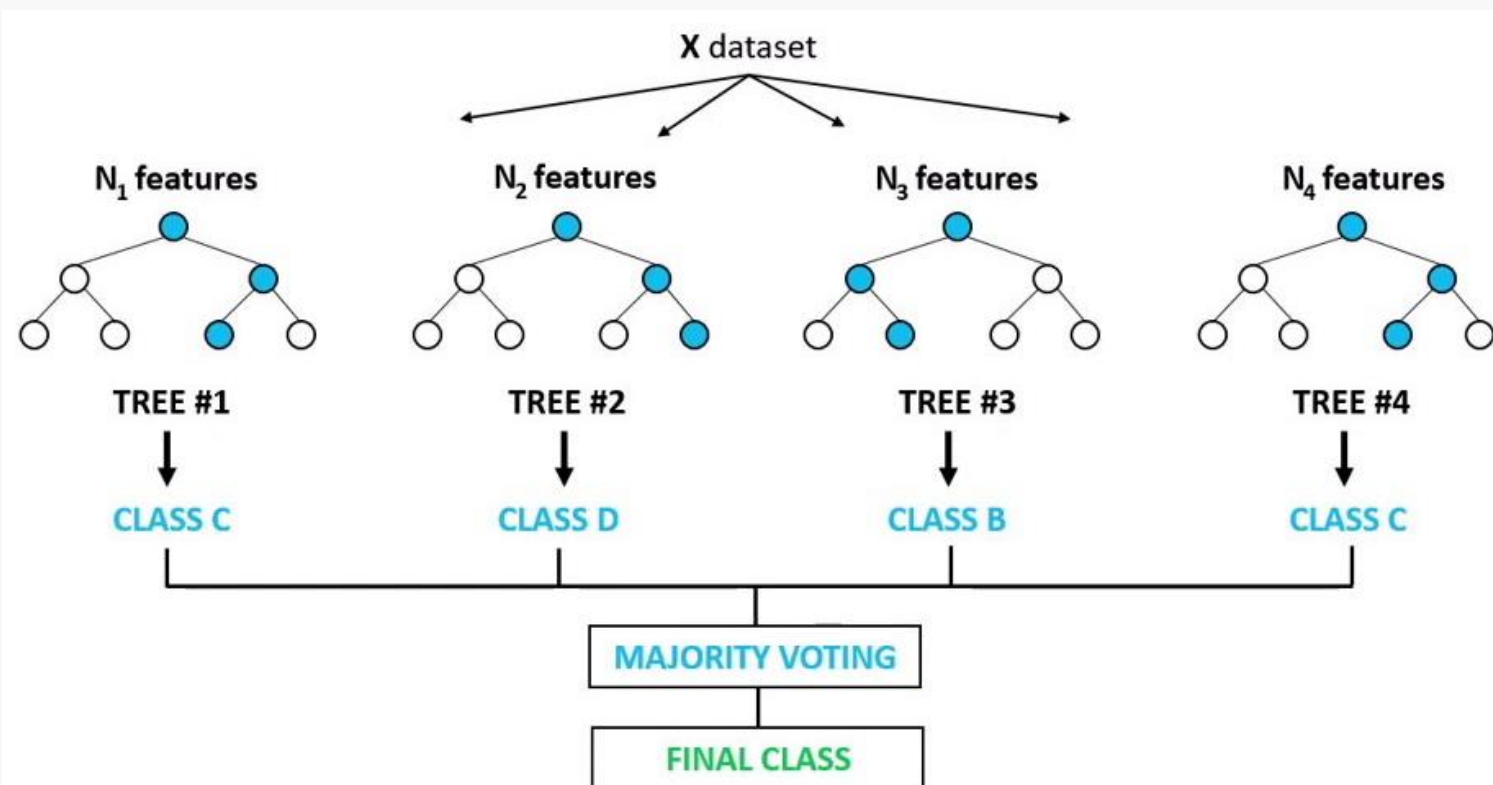
Ward's hierarchical
clustering method &
Euclidean distance

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Εύρεση επεξηγηματικών παραγόντων

Random Forest - «Τυχαία Δάση»: Αλγόριθμος Μηχανικής Επιβλεπόμενης Μάθησης

- Μεγάλη ακρίβεια
- Κατάλληλος για οικολογικά δεδομένα
- Αποφυγή υπερπροσαρμογής/υπερεκπαίδευσης (overfitting)
- Μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε κατηγορικά δεδομένα



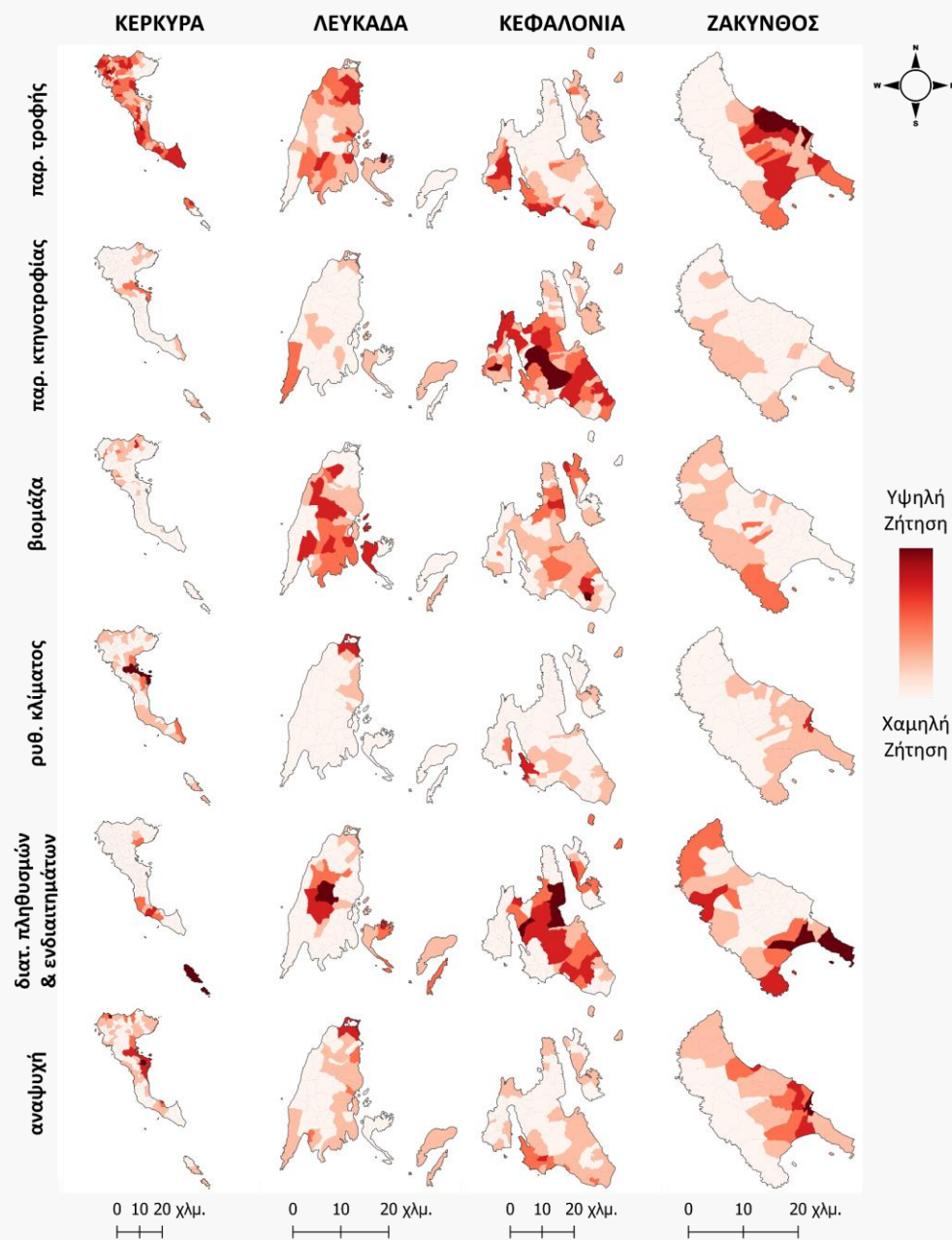
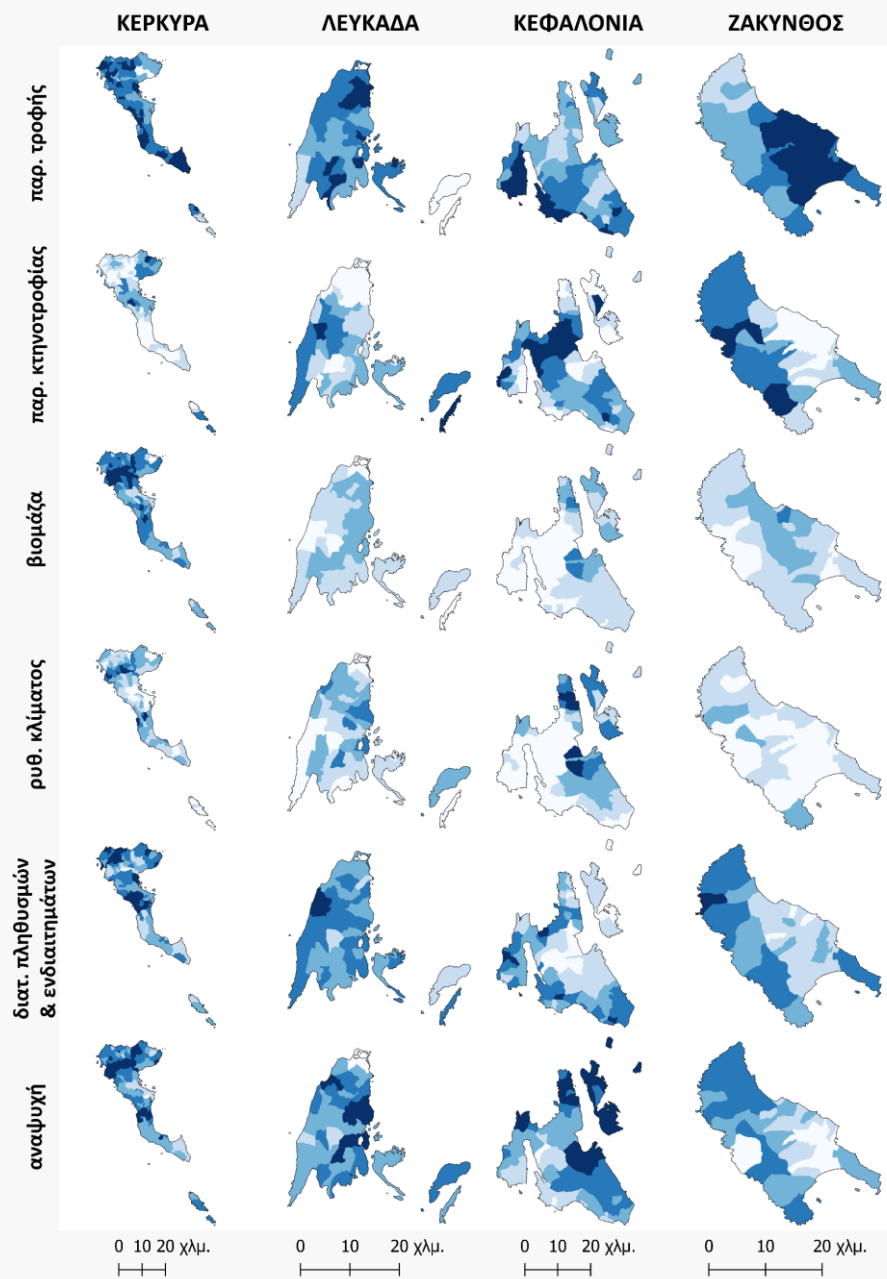
ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Random Forest

1. Προετοιμασία δεδομένων για τη δημιουργία train και test dataset
2. Εύρεση του κατάλληλου αριθμού παραγόντων που θα περιλαμβάνει κάθε δέντρο
3. Εύρεση του κατάλληλου αριθμού δέντρων
4. Εφαρμογή μοντέλου στο train dataset
5. Έλεγχος ακρίβειας
6. Πρόβλεψη για το test dataset
7. Έλεγχος ακρίβειας πρόβλεψης

mtry	ΠΑΡΟΧΗ		ΖΗΤΗΣΗ		ntrees	ΠΑΡΟΧΗ		ΖΗΤΗΣΗ	
	Accuracy	Kappa	Accuracy	Kappa		Accuracy	Kappa	Accuracy	Kappa
1	0,627	0,508	0,528	0,286	50	0,789	0,729	0,737	0,615
2	0,614	0,495	0,567	0,354	100	0,789	0,723	0,706	0,564
3	0,636	0,523	0,551	0,335	150	0,778	0,719	0,706	0,564
4	0,615	0,497	0,540	0,320	200	0,824	0,773	0,706	0,564
5	0,639	0,531	0,548	0,335	250	0,824	0,773	0,706	0,564
6	0,627	0,517	0,545	0,331	300	0,824	0,773	0,706	0,564
7	0,634	0,526	0,535	0,320	350	0,824	0,773	0,737	0,620
8	0,633	0,524	0,539	0,325	400	0,824	0,773	0,737	0,620
9	0,647	0,544	0,546	0,340	450	0,824	0,773	0,737	0,620
10	0,638	0,532	0,527	0,309	500	0,824	0,773	0,737	0,620
11	0,633	0,526	0,548	0,340	550	0,824	0,773	0,737	0,620
12	0,645	0,542	0,537	0,324	600	0,833	0,788	0,737	0,620
13	0,631	0,522	0,528	0,311	800	0,824	0,773	0,737	0,620
14	0,636	0,530	0,539	0,331	1000	0,824	0,773	0,765	0,628
15	0,643	0,540	0,528	0,312	2000	0,824	0,773	0,765	0,628
16	0,633	0,526	0,531	0,319					
17	0,628	0,520	0,524	0,308					

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ



ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

		SUPPLY						DEMAND						
		FP	LP	PR	CR	NS	RC	FP	LP	PR	CR	NS	RC	
SUPPLY	FP	1												
	LP	-0,64*	1											
	PR	+0,11	-0,41*	1										
	CR	-0,22*	-0,28*	+0,66*	1									
	NS	-0,03	+0,31*	0	-0,08	1								
	RC	-0,40*	-0,06	+0,58*	+0,87*	+0,03	1							
DEMAND	FP	+0,93*	-0,64*	+0,23*	-0,05	+0,02	-0,23*	1						
	LP	-0,23*	+0,36*	-0,53*	-0,25*	-0,1	-0,22*	-0,29*	1					
	PR	-0,17*	+0,15*	-0,19*	+0,17*	-0,03	+0,16*	-0,14*	+0,24*	1				
	CR	+0,31*	-0,24*	+0,14*	-0,2*	-0,03	-0,3*	+0,28*	+0,06	-0,23*	1			
	NS	-0,31*	+0,35*	-0,38*	-0,14*	-0,24*	-0,09	-0,31*	+0,35*	+0,15*	-0,05	1		
	RC	+0,08	-0,16*	0	-0,18*	+0,04	-0,16*	-0,04	-0,1	-0,21*	+0,44*	-0,2*	1	

Παροχή-Παροχή
 θετικές ισχυρές
 συσχετίσεις

Παροχή-Ζήτηση
 αρνητικές
 συσχετίσεις

* statistically significant correlations ($p < 0.05$)

- FP: Παροχή τροφής
- LP: Παροχή κτηνοτροφίας
- PR: Βιομάζα βάσει φυτών
- CR: Ρύθμιση του κλίματος
- NS: Διατήρηση σημαντικών πληθυσμών και ενδιαιτημάτων
- RC: Αναψυχή

Ζήτηση-Ζήτηση
 Χαμηλό βαθμό συσχέτισης

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

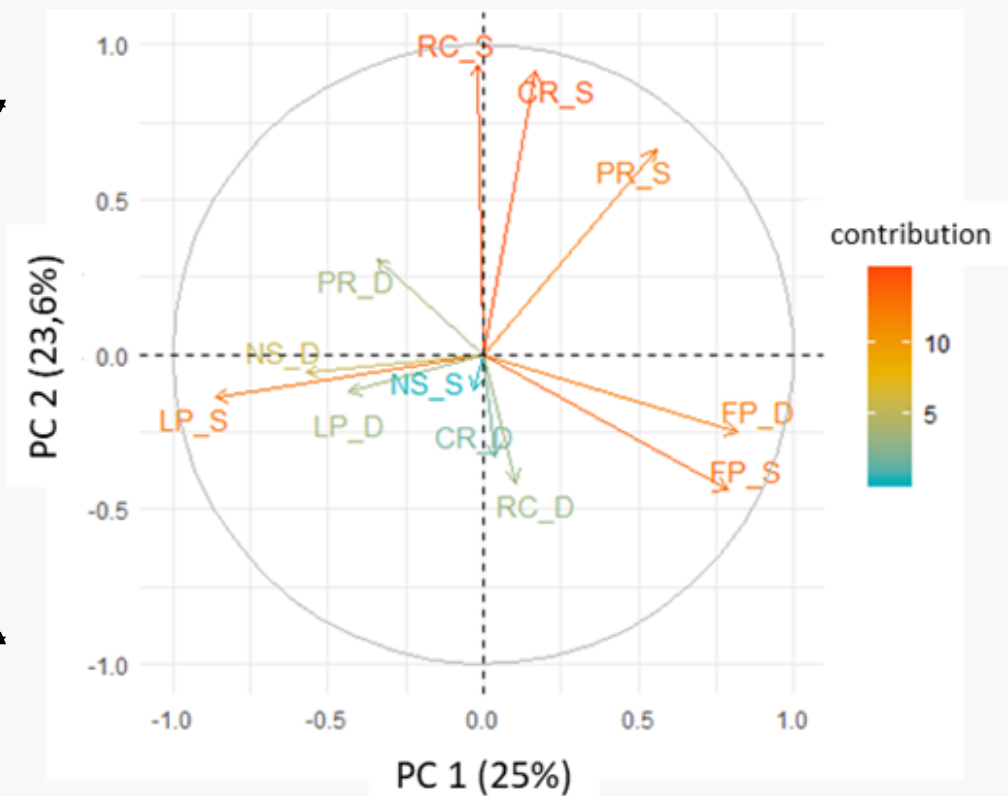
		PC Axis 1	PC Axis 2	PC Axis 3	PC Axis 4	PC Axis 5
ΠΑΡΟΧΗ	FP	<u>20,461</u>	6,829	9,557	0,006	0,044
	LP	<u>24,783</u>	0,683	0,073	5,523	0,549
	PR	10,243	<u>15,393</u>	3,443	0,039	0,405
	CR	0,932	<u>29,712</u>	0,175	4,498	0,043
	NS	0,038	0,466	7,346	<u>51,867</u>	0,298
	RC	0,010	<u>30,808</u>	0,650	0,315	0,667
ΖΗΤΗΣΗ	FP	<u>22,218</u>	2,229	9,616	0,219	0,000
	LP	6,201	0,513	2,907	9,987	4,254
	PR	3,886	3,310	7,092	0,008	4,300
	CR	0,053	3,834	<u>18,809</u>	15,995	1,122
	NS	<u>10,788</u>	0,122	9,800	5,928	5,485
	RC	0,386	6,101	<u>30,532</u>	5,615	5,845
Συνεισφορά	25.0%	23.6%	12.7%	10.7%	7.3%	
Ιδιοτιμές	3.01	2.83	1.53	1.28	0.88	

Δασική βλάστηση

Αστικές περιοχές

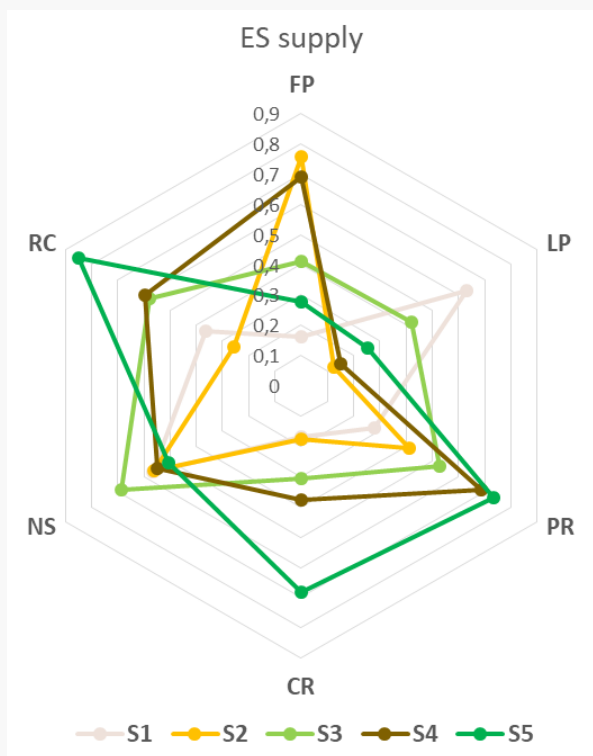
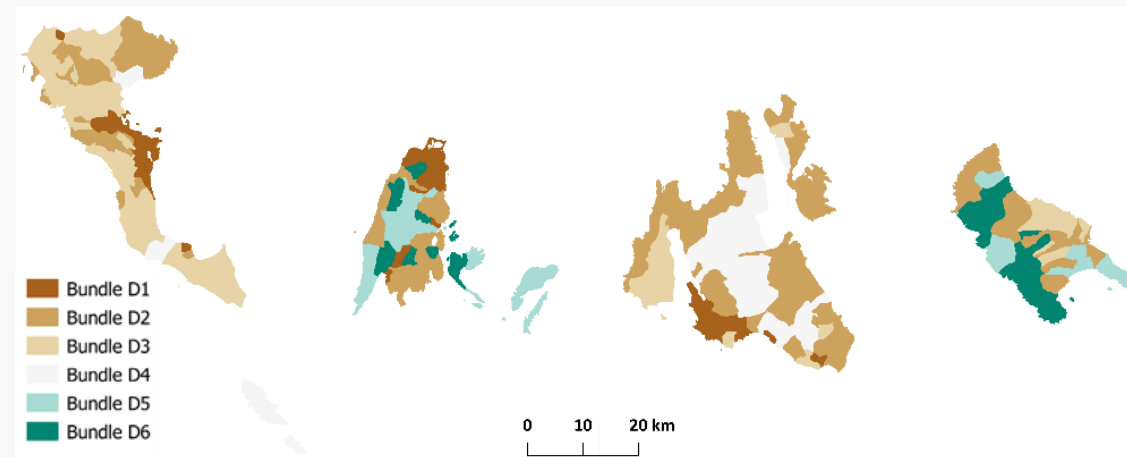
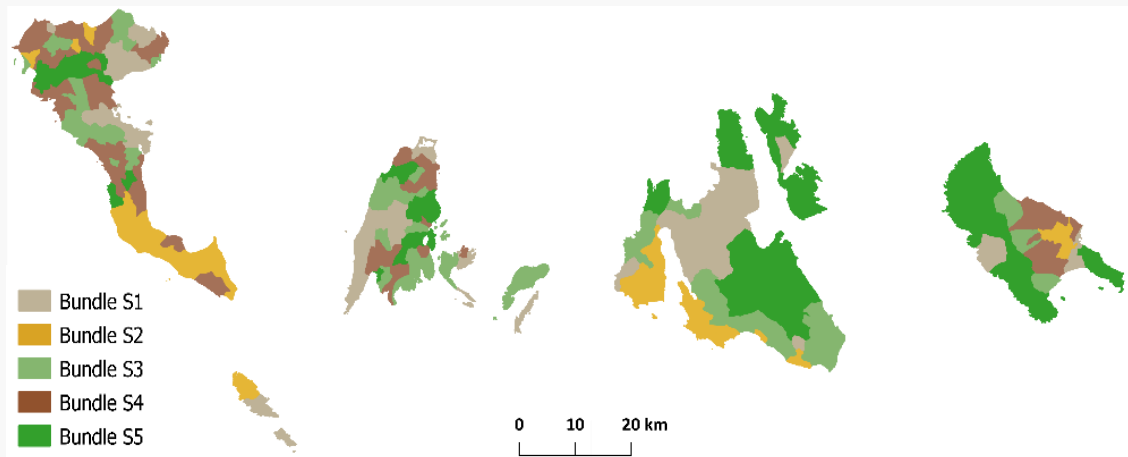
Φυσική βλάστηση

Αγροτικές εκτάσεις



FP: Παροχή τροφής, LP: Παροχή κτηνοτροφίας, PR: Βιομάζα βάσει φυτών, CR: Ρύθμιση του κλίματος, NS: Διατήρηση σημαντικών πληθυσμών και ενδιατημάτων, RC: Αναψυχή

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ



Παροχή

5 δέσμες

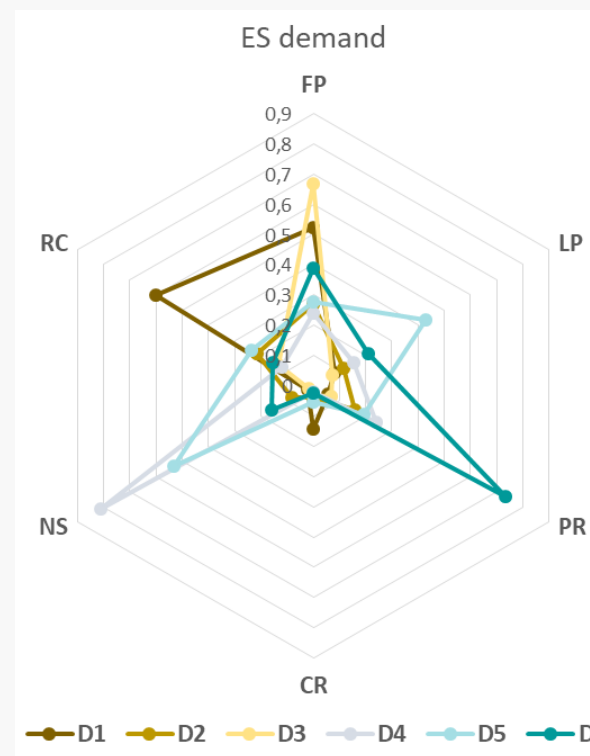
S1: χωρίς βλάστηση

S2: μικρότερη δέσμη

S3: μικτό οικοσύστημα

S4: 27% αριθμού Δ.Κ

S5: 31% έκτασης



Ζήτηση

6 δέσμες

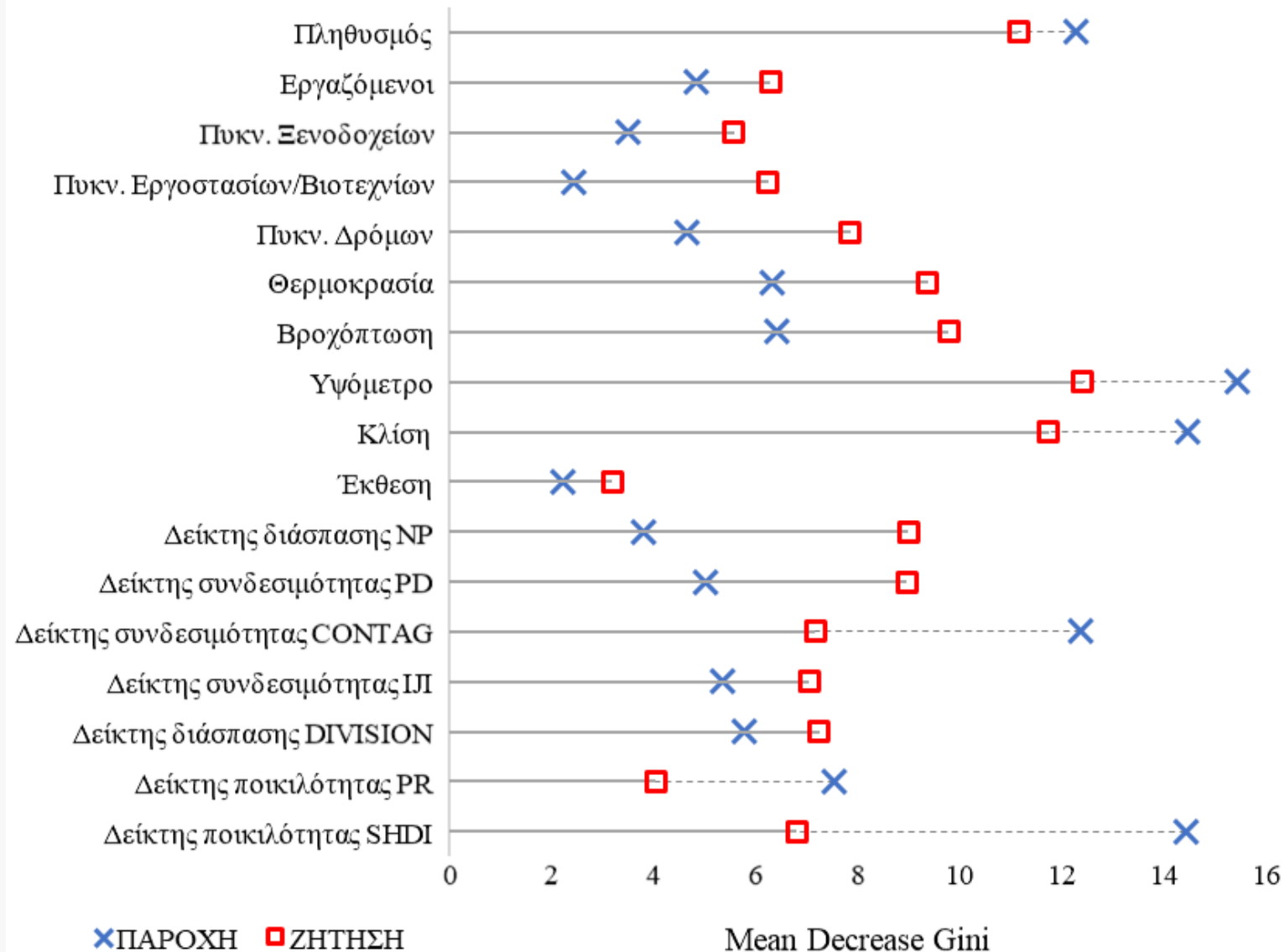
D1: αστική δέσμη

D2 & D3: μεγαλύτερες δέσμες (έκταση & Δ.Κ)

D4: εμφανίζεται στην Κεφαλονιά

D5 & D6: μικρότερες δέσμες (έκταση & Δ.Κ)

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ



Έλεγχος ακρίβειας

Παροχή

OOB error rate= **35,87%**

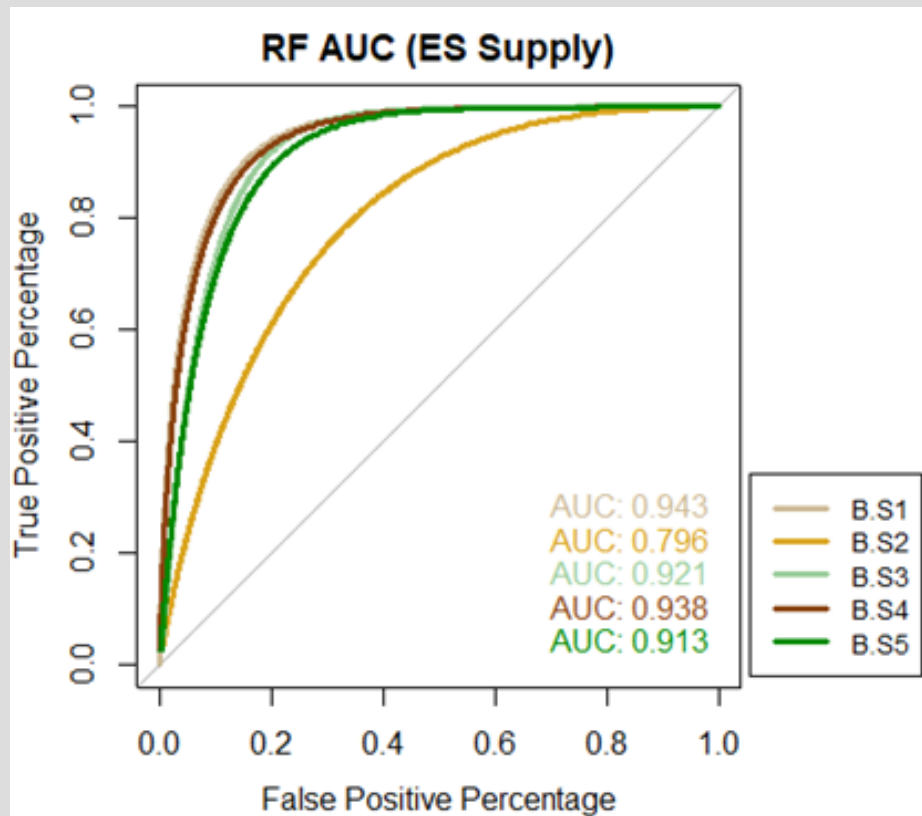
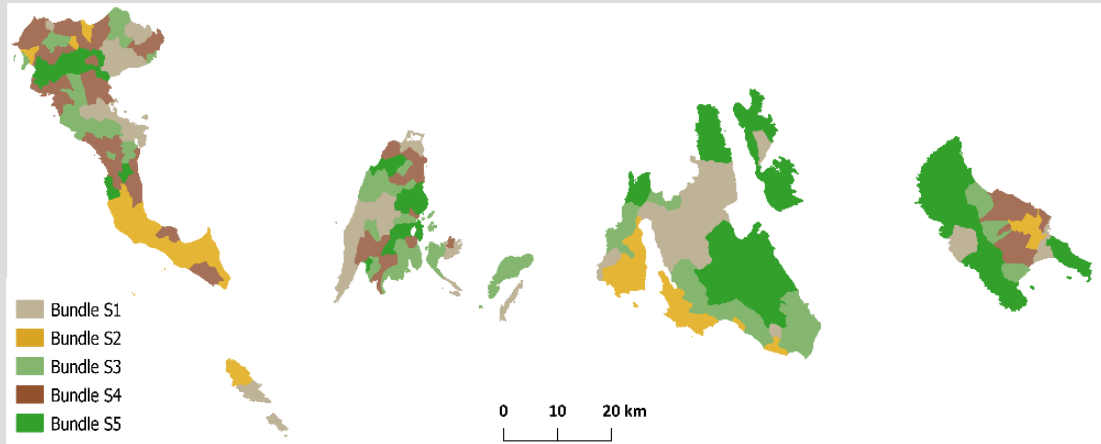
Multi-class AUC= **0,9089**

Ζήτηση

OOB error rate= **44,02%**

Multi-class AUC= **0,7962**

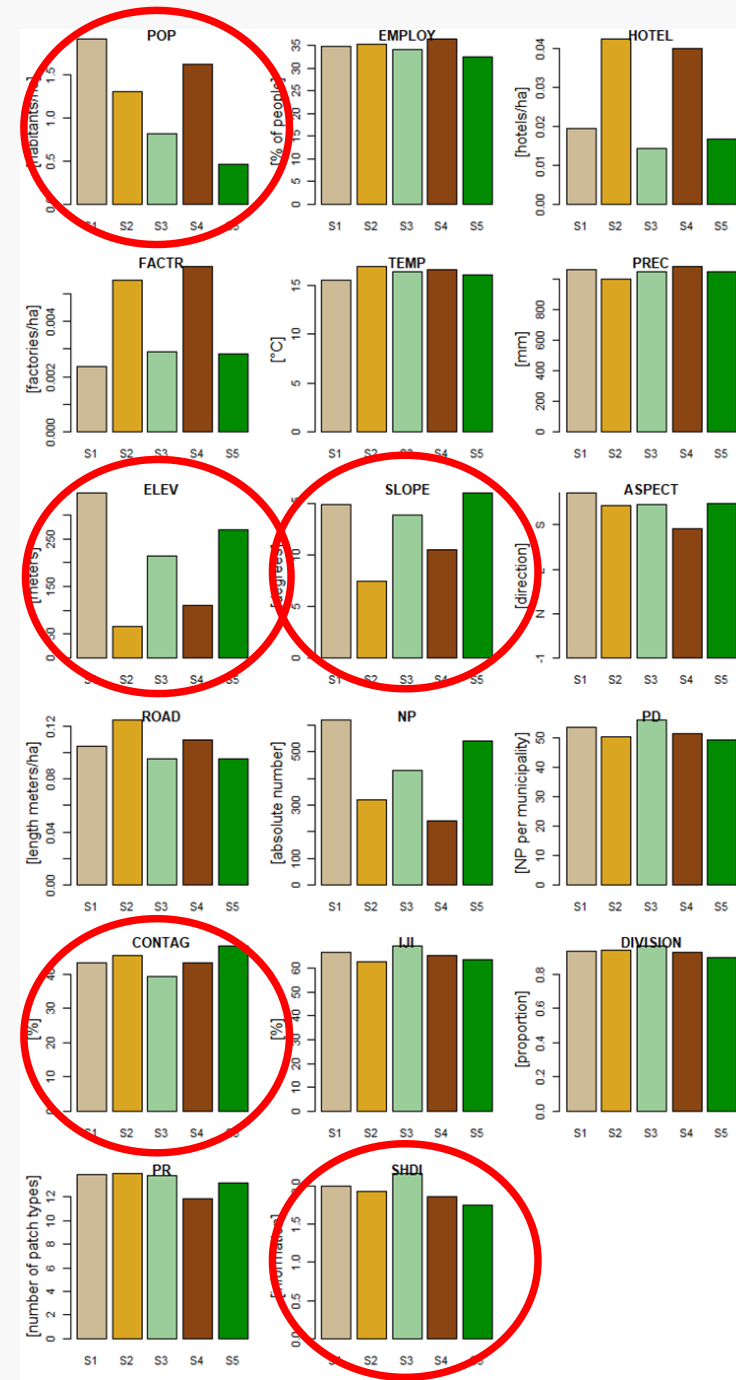
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ



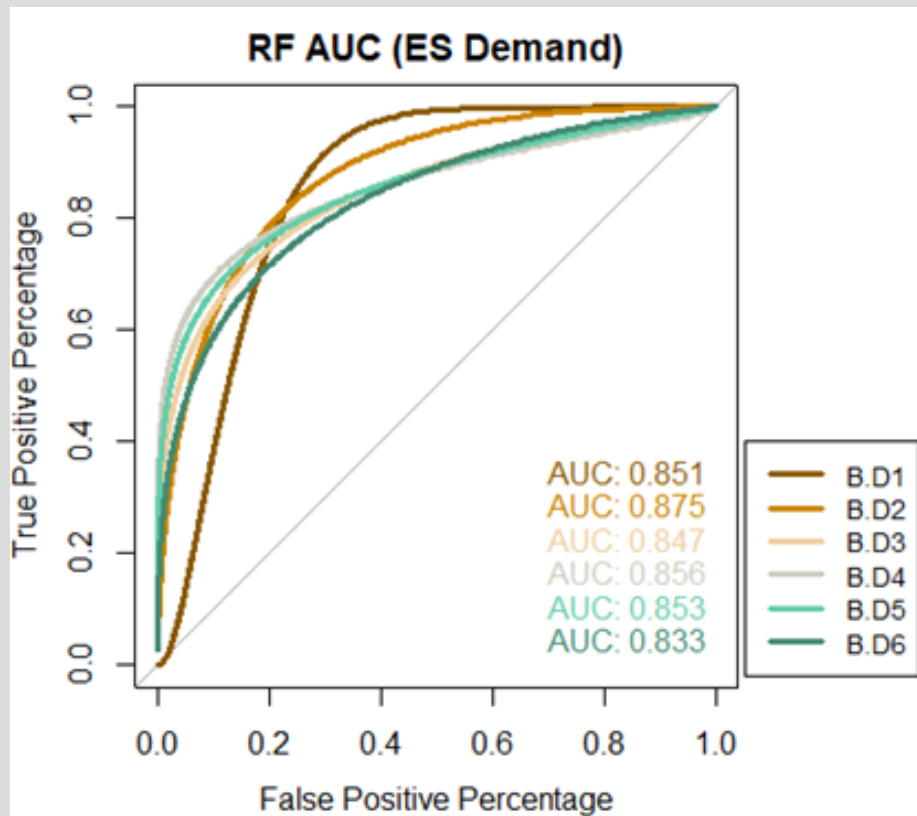
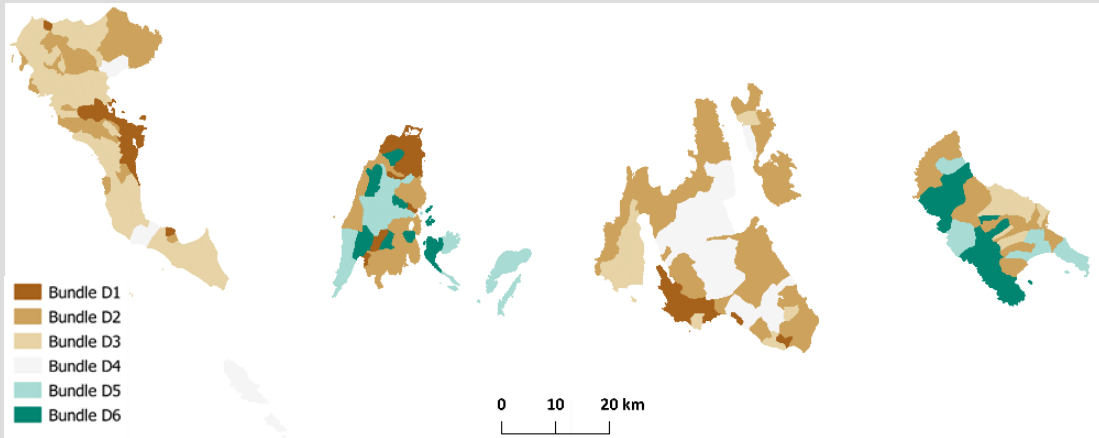
Δέσμη S3
 μικτά οικοσυστήματα
 χαμηλή πυκνότητα πληθυσμού
 έντονη τοπογραφία
 υψηλή ποικιλότητα

Δέσμη S4
 ελαιώνες
 υψηλή πυκνότητα πληθυσμού
 χαμηλό υψόμετρο
 υψηλή συνδεσιμότητα τοπίου

Δέσμη S5
 μικτά οικοσυστήματα με δάση
 χαμηλή πυκνότητα πληθυσμού
 έντονη τοπογραφία
 υψηλή συνδεσιμότητα τοπίου



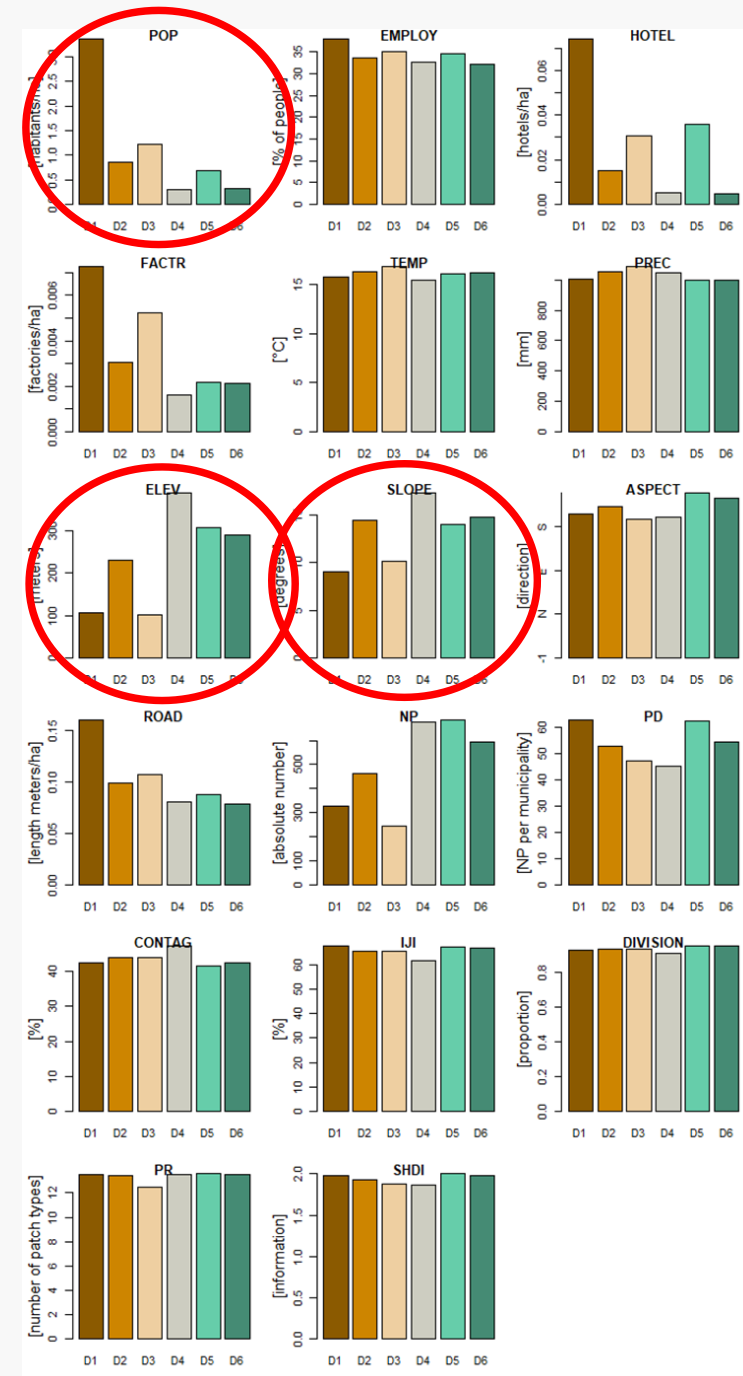
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ



Δέσμη D1
αστικές περιοχές
υψηλή πυκνότητα πληθυσμού
ήπιο ανάγλυφο

Δέσμη D2
μικτά οικοσυστήματα
έντονο ανάγλυφο

Δέσμη D3
αγροδικά συστήματα
χαμηλή πυκνότητα πληθυσμού



ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

		Predicted supply bundles (%)					Predicted demand bundles (%)					
		S1	S2	S3	S4	S5	D1	D2	D3	D4	D5	D6
Original bundles	S/D 1	35,3	0,0	0,0	0,0	5,0	60,0	3,1	3,7	0,0	0,0	0,0
	S/D 2	0,0	71,4	5,0	0,0	5,0	0,0	75,0	14,8	50,0	88,9	85,7
	S/D 3	35,3	14,3	85,0	10,0	10,0	40,0	18,8	81,5	33,3	0,0	14,3
	S/D 4	17,6	14,3	10,0	80,0	10,0	0,0	0,0	0,0	16,7	0,0	0,0
	S/D 5	11,8	0,0	0,0	10,0	70,0	0,0	3,1	0,0	0,0	0,0	0,0
	D 6	-	-	-	-	-	0,0	0,0	0,0	0,0	11,1	0,0

Ακρίβεια πρόβλεψης

Παροχή

Accuracy= **69,23%**

Ζήτηση

Accuracy= **58,24%**

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Σχετικά με τη χαρτογράφηση και διαμόρφωση των δεσμών οικοσυστημικών υπηρεσιών:

- Υπάρχει πιθανή συνέργεια μεταξύ παροχής βιομάζας, ρύθμισης του κλίματος και αναψυχής.
- Η παροχή και ζήτηση για τροφή (από καλλιέργειες) εμφάνισε ανταγωνιστική σχέση με την παροχή κτηνοτροφίας.
- Οι φυσικές περιοχές (κυρίως δασικά οικοσυστήματα) παρουσίασαν υψηλή παροχή υπηρεσιών, ενώ η ζήτηση για υπηρεσίες καθορίστηκε από τη παρουσία του πληθυσμού.
- Η ζήτηση μεταξύ διαφορετικών υπηρεσιών δεν εμφάνισε ισχυρές σχέσεις.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Σχετικά με τη αναγνώριση σημαντικών κοινωνικό-οικολογικών παραγόντων:

- Η ποικιλότητα και συνδεσιμότητα τοπίου συνεισφέρουν σημαντικά στη πρόβλεψη οικοσυστημικών υπηρεσιών που εμφανίζονται κυρίως σε φυσικές και αγροτικές περιοχές.
- Η πυκνότητα πληθυσμού είχε σημαντικό ρόλο στη διαμόρφωση της ζήτησης για οικοσυστημικές υπηρεσίες.
- Οι τοπογραφικοί δείκτες βοήθησαν στην αναγνώριση περιοχών όπου είναι πιθανή η εμφάνιση παροχής και ζήτησης.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Για την κατανόηση και εφαρμογή μελλοντικών πολιτικών διαχείρισης είναι σημαντικό να λαμβάνονται υπόψη τα κοινωνικό-οικολογικά χαρακτηριστικά που μπορούν να επηρεάσουν την παροχή ή/και τη ζήτηση οικοσυστημικών υπηρεσιών.

Μελλοντικές μελέτες οικοσυστημικών υπηρεσιών είναι απαραίτητο να εστιάζουν στη διατήρηση της ισορροπίας μεταξύ της ικανότητας των οικοσυστημάτων να παρέχουν υπηρεσίες και της ζήτησης, από την κοινωνία, να επωφελούνται από τις υπηρεσίες.

Με αυτόν τον τρόπο, παρέχονται πληροφορίες στους διαχειριστές (*land managers*) και λήπτες αποφάσεων (*decision-makers*) σχετικά με τον βιώσιμο σχεδιασμό και διαχείριση του τοπίου με γνώμονα τη διασφάλιση και προστασία της οικολογικής ακεραιότητας και της ανθρώπινης ευημερίας.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΩ ΠΟΛΥ!

Roxanne S. Lorilla | rslorilla@hua.gr



Η παρούσα εργασία χρηματοδοτήθηκε από την Γενική Γραμματεία Έρευνας και Καινοτομίας (ΓΓΕΤ) και από το Ελληνικό Ίδρυμα Έρευνας και Τεχνολογίας (ΕΛΙΔΕΚ), στο πλαίσιο της 1ης Προκήρυξης για Υ.Δ. (αρ. υποτροφίας: 70).

