



Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
ΔΠΜΣ «Επιστήμη και τεχνολογία
υδατικών πόρων»

Απλοποίηση της εκτίμησης της εξατμοδιαπνοής στην Ελλάδα

Μεταπτυχιακή εργασία: Αριστοτέλης Τέγος

Επιβλέπων: Δημήτρης Κουτσογιάννης, Αναπληρωτής
Καθηγητής

Περιεχόμενα

- Επισκόπηση μοντέλων για την εκτίμηση της δυνητικής εξατμοδιαπνοής
- Διατύπωση νέου παραμετρικού μοντέλου για την εκτίμηση της δυνητικής εξατμοδιαπνοής.
- Παρουσίαση των αποτελεσμάτων από την εφαρμογή του νέου μοντέλου σε 37 μετεωρολογικούς σταθμούς της Ελλάδας
- Σύγκριση των αποτελεσμάτων με μοντέλα που έχουν προταθεί στη διεθνή βιβλιογραφία.
- Γεωγραφική παρεμβολή και εξαγωγή των παραμέτρων του νέου παραμετρικού μοντέλου σε όλο τον Ελλαδικό χώρο.
- Συμπεράσματα

Οι μέθοδοι συνδυασμού

- Ο Penman (1948) συνδύασε την εξίσωση του ενεργειακού ισοζυγίου και την εξίσωση μεταφοράς και κατέληξε στην παρακάτω εξίσωση για την εκτίμηση της εξάτμισης από υδάτινη επιφάνεια. Ο Monteith επέκτεινε την εξίσωση για την εκτίμηση της εξατμοδιαπνοής. Οι αναγκαίες υδρομετεωρολογικές μεταβλητές για την χρήση των μεθόδων είναι η θερμοκρασία, η ηλιοφάνεια, η σχετική υγρασία και η ταχύτητα ανέμου

$$E' = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \frac{R_n}{\lambda} + \frac{\gamma}{\Delta + \gamma} F(u) D$$

Απλοποιήσεις των μεθόδων συνδυασμού

- Η υπολογιστική πολυπλοκότητα των μεθόδων συνδυασμού οδήγησε πολλούς ερευνητές στη διατύπωση εξισώσεων με λιγότερες απαιτούμενα πρωτογενή δεδομένα
- Η εργασία των Priestley- Taylor (1972) χρησιμοποιεί τον ενεργειακό όρο της εξίσωσης και Penman, τον οποίο επαυξάνει κατά 30% παραλείποντας τον όρο της μεταφοράς και για την εφαρμογή δεν απαιτείται η γνώση της ταχύτητας ανέμου

$$E = a_e \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \frac{Rn}{\lambda}$$

- Η σχέση του Linacre (1977) μόνο τη μέση θερμοκρασία

$$E = \frac{700(T + 0.006z)/(100 - \phi) + 15(T - T_d)}{80 - T} (mm / d)$$

Μέθοδοι θερμοκρασίας- εξωγήινης ακτινοβολίας

- Μία βασική κατηγορία των απλοποιήσεων των μεθόδων συνδυασμού είναι οι μέθοδοι που περιλαμβάνουν ως αναγκαίες εισερχόμενες μεταβλητές την μέση θερμοκρασία και την εξωγήινη ακτινοβολία

$$PE = \frac{Re}{\lambda \rho} \frac{T_{\alpha}}{40}$$

Σχέση
Jensen- Haise
(1963)

$$PE = \frac{Re}{\lambda \rho} \frac{T_{\alpha} + 5}{68}$$

Σχέση
Mcguinness-
Bordne (1972)

$$PE = \frac{Re}{\lambda \rho} \frac{T_{\alpha} + 5}{100}$$

Σχέση Oudin et
al (2003)

Εμπειρικά μοντέλα

- Οι μέθοδοι βασίζονται σε εμπειρικές εκφράσεις, απαιτούν θερμοκρασιακά δεδομένα εισόδου και έχουν τύχη ευρείας εφαρμογής κυρίως για την εκτίμηση των υδατικών αναγκών.

$$E_p = 16 \left(\frac{10 T_a}{I} \right)^a \frac{\mu N}{360}$$

Μέθοδος
Thornthwaite

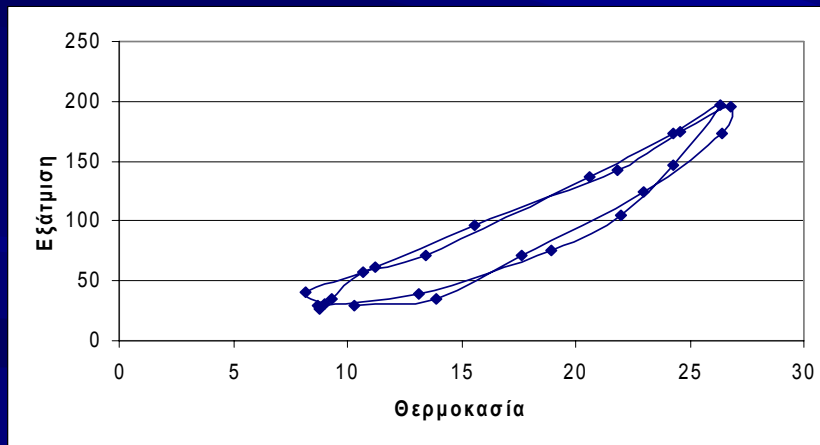
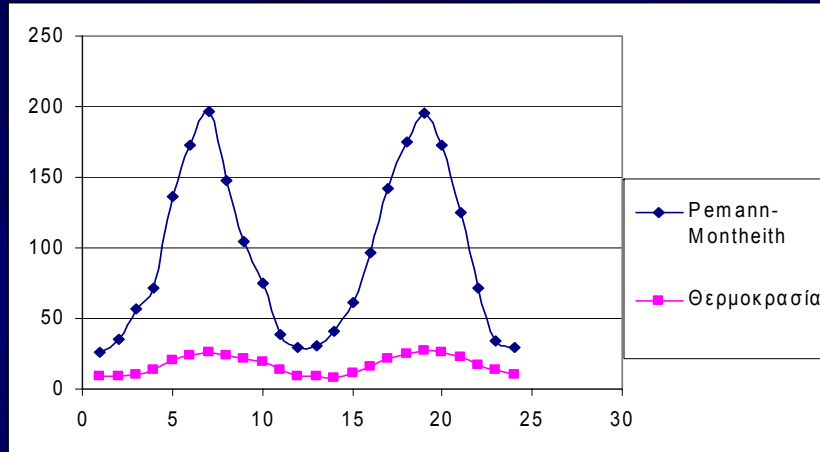
$$E_{rc} = \frac{0.0023 S_0}{\lambda} (T_a + 17.8)(T_{\max} - T_{\min})^{0.5}$$

Μέθοδος
Hargreaves

$$E_p = 0.254 K_c p (32 + 1.8 T_a)$$

Μέθοδος
Blaney- Criddle

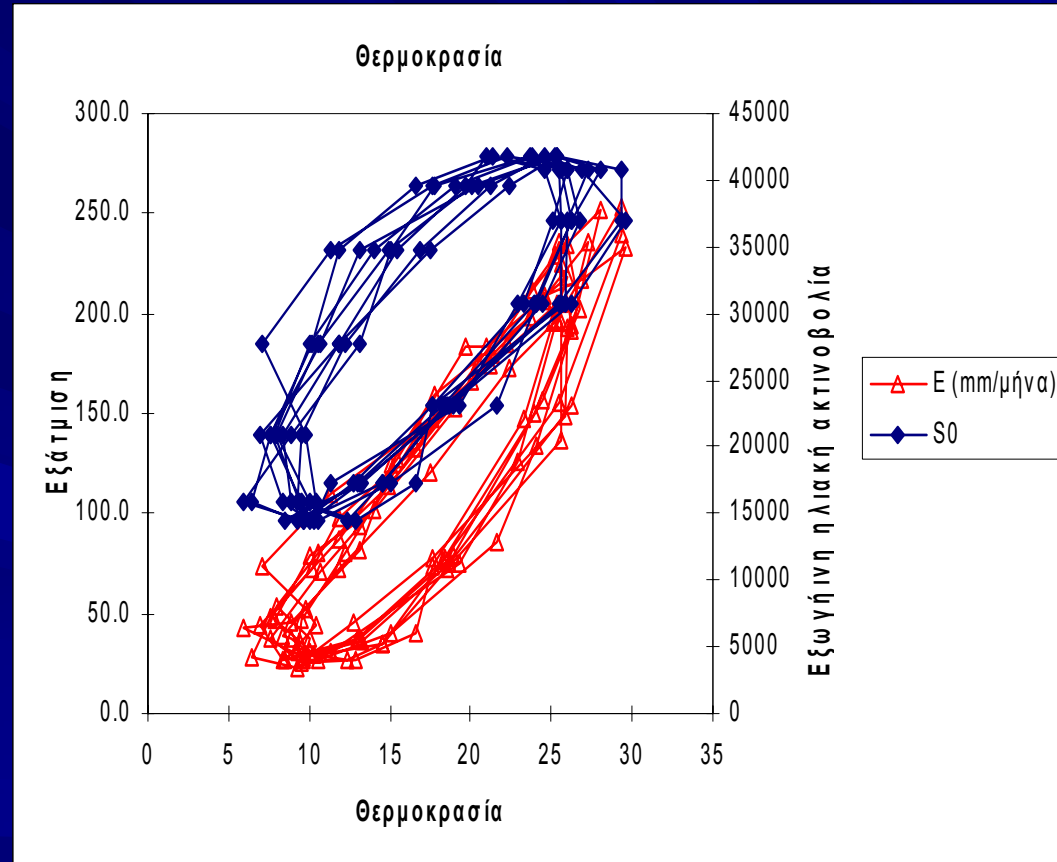
Η σχέση εξάτμισης-θερμοκρασίας



- Δεν διατυπώνεται αμφιμονοσήμαντη σχέση μεταξύ εξάτμισης και θερμοκρασίας.
- Αυτό οφείλεται στην ηλιακή ακτινοβολία και στην θερμική αδράνεια της γης. Η μεταβολή της θερμοκρασίας δεν ακολουθεί την ηλιακή ακτινοβολία αλλά υστερεί χρονικά.

Η σχέση εξωγήινης ακτινοβολίας- θερμοκρασίας

- Η συσχέτιση ενός δείγματος δυνητικής εξατμοδιαπνοής δεν μπορεί να γίνει μόνο με την γνώση της μέσης θερμοκρασίας αλλά απαιτείται και η εξωγήινη ακτινοβολία ως ανεξάρτητης παραμέτρου με την δυνητικής εξατμοδιαπνοή και της θερμοκρασίας



Η διατύπωση του παραμετρικού μοντέλου

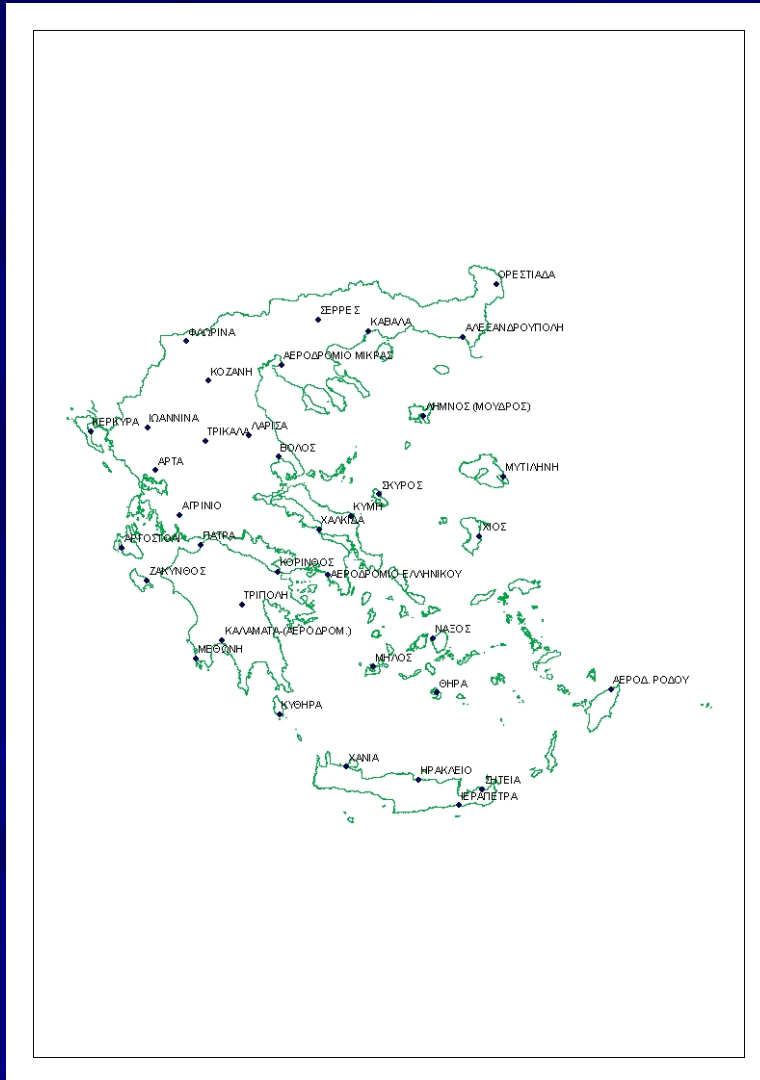
- Το παραμετρικό μοντέλο βασίζεται στην προσαρμογή σε ένα «μετρημένο» δείγμα δυνητικής εξατμοδιαπνοής.
- Με την μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων προσαρμόζεται στο δείγμα της δυνητικής εξατμοδιαπνοής που υπολογίστηκε κατά Penman-Monteith και εκτιμήθηκαν αυτόματα (λογισμικό ΥΔΡΟΓΝΩΜΩΝ) οι άγνωστες παράμετροι του μοντέλου.
- Η αρχική παραμετρική εξίσωση απλοποιήθηκε (μείωση παραμέτρων) μέσω βελτιστοποίησης, ορίζοντας την μεγιστοποίηση ενός μέτρου επίδοσης (συντελεστή προσδιορισμού) με διάφορες οριακές συνθήκες.

$$E = \frac{Rn + \gamma F(u)D}{1 + \frac{\gamma}{\Delta}}$$



$$E = \frac{a S_0 - b}{1 - c T a}$$

Εφαρμογή μοντέλου στον Ελλαδικό χώρο

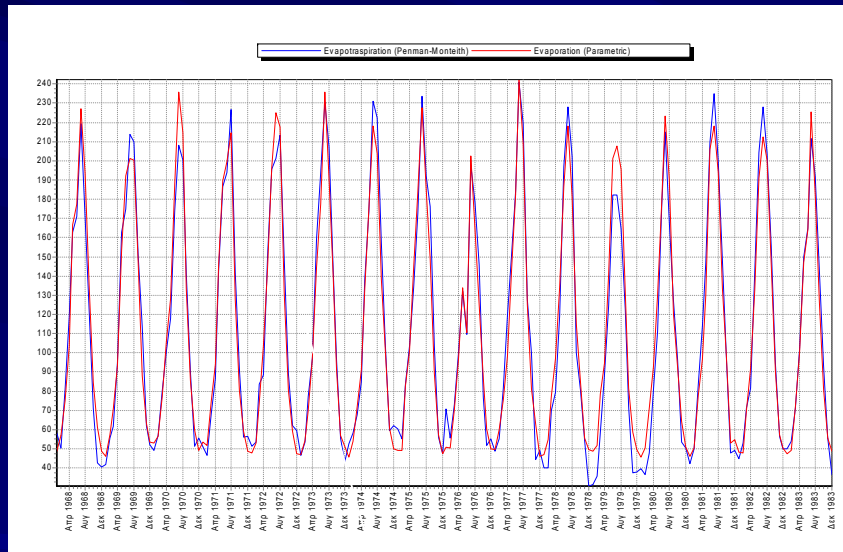


- Συλλογή μηνιαίων δεδομένων μέσης θερμοκρασίας, σχετικής υγρασίας, σχετικής ηλιοφάνειας, ταχύτητας ανέμου για 37 σταθμούς της χώρας.
- Περίοδος βαθμονόμησης 1/1968-12/1983 και υπολογισμός των παραμέτρων.
- Περίοδος επαλήθευσης 1/1984-12/1989 (έλεγχος προγνωστικής ικανότητας)

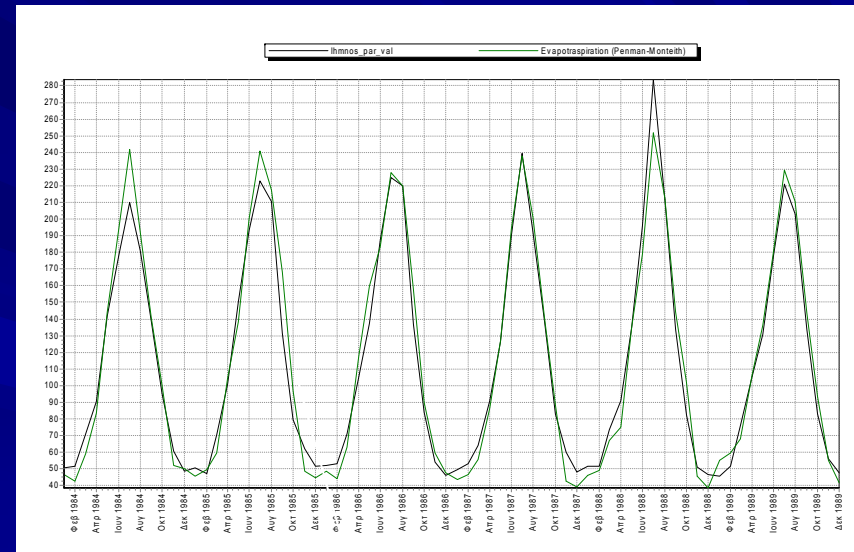
Επεξεργασίες

- Για την περίοδο της βαθμονόμησης:
- Υπολογίστηκε η μηνιαία δυνητική εξατμοδιαπνοή κατά Penman- Monteith, εισάγοντας τις χρονοσειρές της θερμοκρασίας, της ηλιοφάνειας, της σχετικής υγρασίας, της ταχύτητας ανέμου καθώς και το γεωγραφικό πλάτος και το υψόμετρο του σταθμού στο περιβάλλον του ΥΔΡΟΓΝΩΜΩΝ.
- Προσαρμόστηκε αυτόματα η παραμετρική εξίσωση και έγινε η εξαγωγή των παραμέτρων a,b,c.
- Τα αποτελέσματα μεταφέρθηκαν σε λογιστικό φύλλο και υπολογίστηκε ο συντελεστής αποτελεσματικότητας.
- Για την περίοδο της επαλήθευσης
- Υπολογίστηκε η μηνιαία δυνητική εξατμοδιαπνοή κατά Penman- Monteith όπως και στην περίοδο της βαθμονόμησης.
- Υπολογίστηκε η μηνιαία δυνητική εξατμοδιαπνοή με τη χρήση της παραμετρικής εξίσωσης με τις παραμέτρους που προέκυψαν απ'την βαθμονόμηση και χρησιμοποιώντας για δεδομένα εισόδου την εξωγήινη ακτινοβολία (υπολογίστηκε μέσω αναλυτικών σχέσεων) κάθε σταθμού και την μέση μηνιαία θερμοκρασία.
- Υπολογίστηκε εκ νέου ο συντελεστής αποτελεσματικότητας για την περίοδο της επαλήθευσης.
- Διαδικασία Βελτιστοποίησης

Σταθμός Λήμνου



CE=96,4%



CE=97,1%

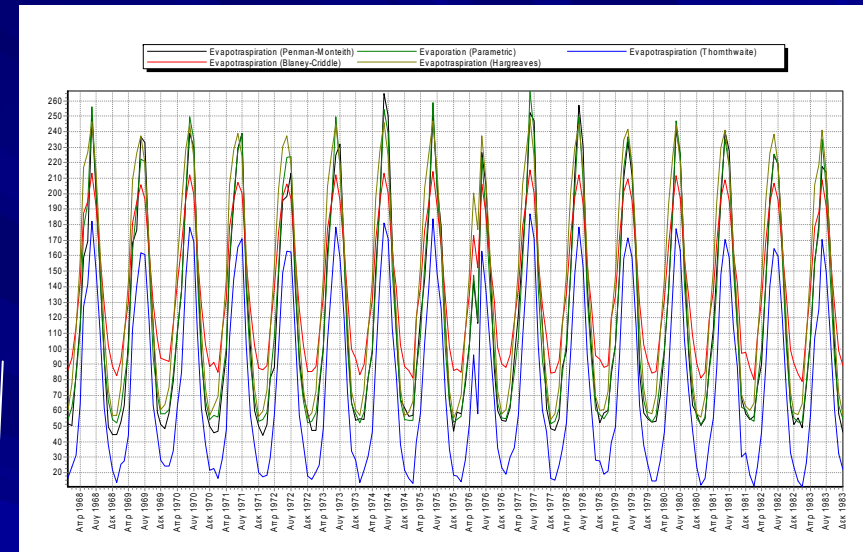
Συγκεντρωτικά αποτελέσματα

Σταθμός	Parametric		Oudin		Mcguiness	
	CE(cal)	CE(val)	CE(cal)	CE(val)	CE(cal)	CE(val)
Λήμνος	96.40%	97.10%	53%	62.70%	73.80%	94.30%
Χανιά	97.30%	96.30%	81.90%	82.40%	59.70%	76.60%
Χαλκίδα	95%	95.30%	91%	81.90%	59.90%	84.10%
Φλώρινα	96.70%	96.00%	95.30%	94.10%	64.30%	71.70%
Τρίπολη	94.20%	95.00%	84.80%	80.60%	85.70%	91.50%
Τρίκαλα	97.30%	97.00%	94.30%	92.30%	66.80%	76.40%
Σκύρος	92.60%	91.00%	72.50%	70.20%	76.30%	77.60%
Σητεία	98.50%	99.00%	61.10%	66.80%	92.30%	89.40%
Σέρρες	98.20%	97.00%	97.20%	93.40%	50.10%	74%
Ρόδος	97.20%	97.00%	55.20%	53.80%	93.50%	95%
Πάτρα	98.70%	96.00%	90.40%	90.70%	60.80%	59.50%
Ορεστιάδα	98.10%	97.00%	93.60%	90.40%	68.30%	72.40%
Νάξος	97.50%	98%	45.50%	43.90%	80.30%	85.70%
Μυτιλήνη	98.80%	97.00%	52.50%	73.80%	94.90%	81.50%
Μηλός	97.20%	98%	53.60%	48.40%	92.60%	94.10%
Μέθωνη	96.20%	97.00%	76.70%	74.20%	59.40%	62.58%
Λάρισα	98.70%	98.00%	95.20%	94%	62.30%	71.00%
Κύμη	97.50%	91.00%	69.80%	60.90%	92.20%	95.60%
Κύθηρα	95.70%	97.00%	41.70%	50.40%	92.30%	93.50%

Σύγκριση με εμπειρικές μεθόδους

Μέθοδος	CE
Παραμετρική	98.20%
Thornwaite	47.90%
Blaney-Criddle	79.60%
Hargreaves	84.40%

Αποτελέσματα για το σταθμό του Ελληνικού για την περίοδο της επαλήθευσης.



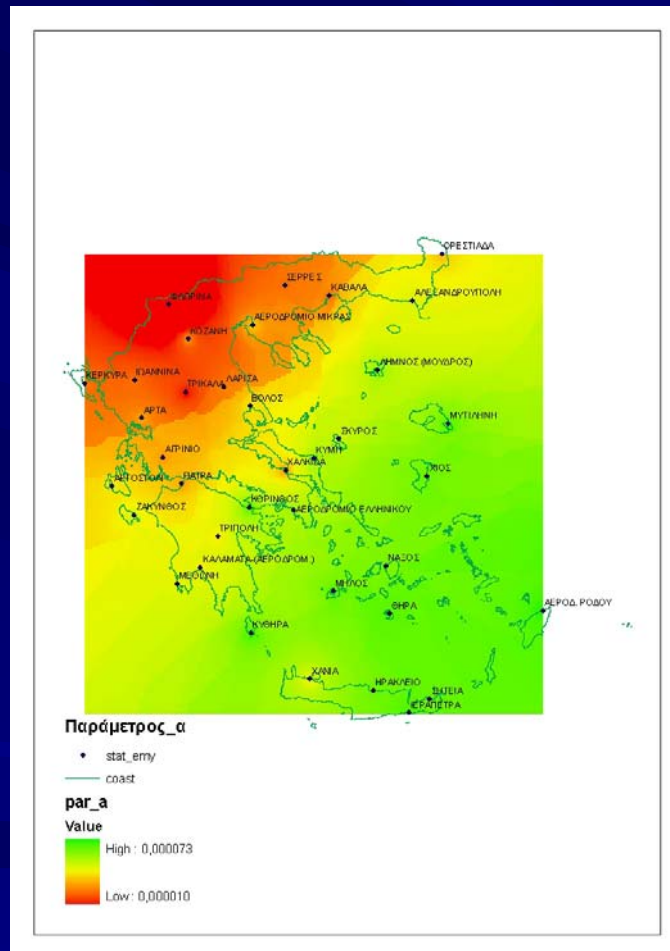
Γεωγραφική παρεμβολή παραμέτρων

- Η γνώση της χωρικής κατανομής είναι πολύ σημαντική για όλες τις υδρομετεωρολογικές μεταβλητές
- Η ανάλυση με τη χρήση Συστημάτων Γεωγραφικής Πληροφορίας επιτρέπει τη χρήση της νέας απλοποιημένης έκφρασης σε όλο τον ελλαδικό χώρο
- Η ανάλυση πραγματοποιήθηκε για δύο διαφορετικές μαθηματικές εκφράσεις της παραμετρικής εξίσωσης
- Έγινε χρήση της μεθόδου των Σταθμισμένων Αντίστροφων Αποστάσεων.

$$h = \frac{d_1^{-k}}{\sum_{n=1}^N d_n^{-k}} h_1 + \frac{d_2^{-k}}{\sum_{n=1}^N d_n^{-k}} h_2 + \dots + \frac{d_N^{-k}}{\sum_{n=1}^N d_n^{-k}} h_N$$

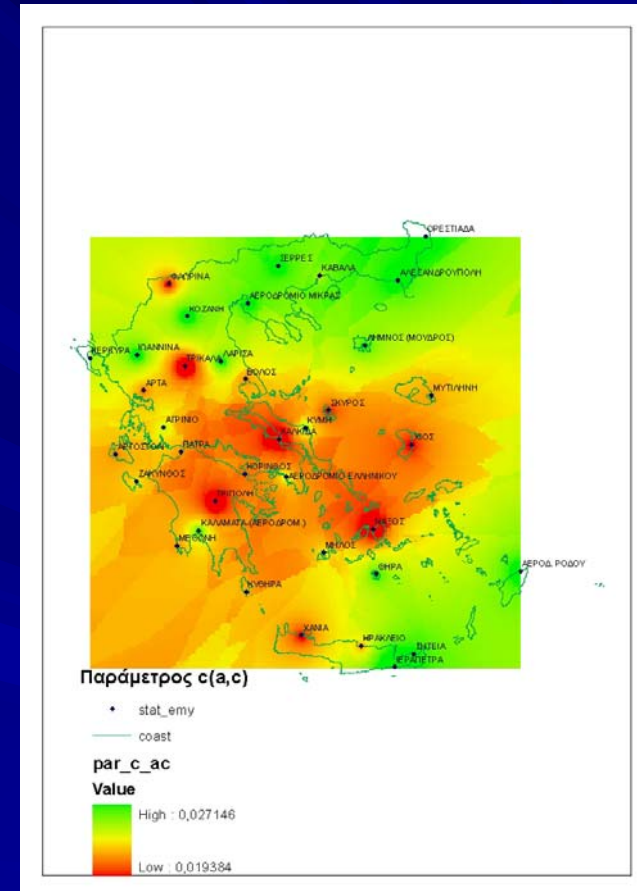
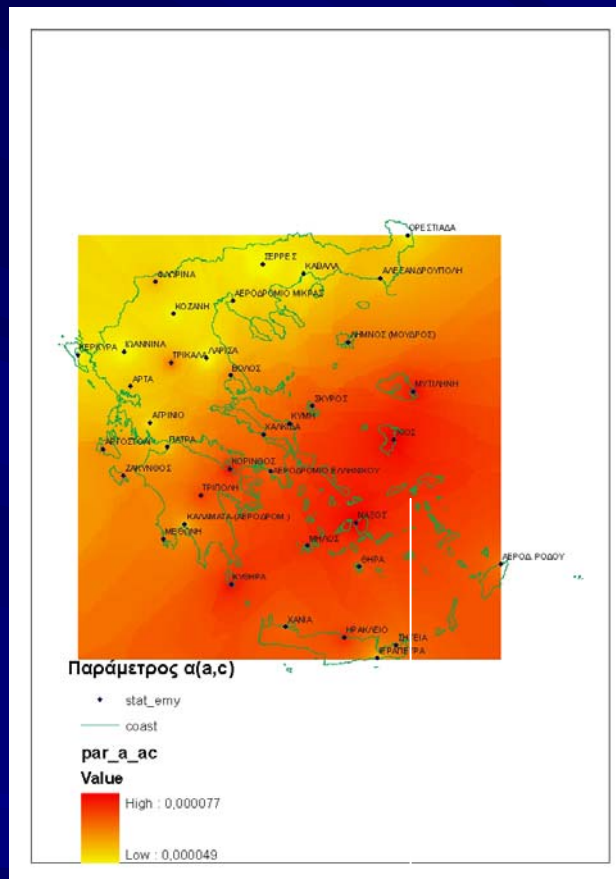
Μεταβολή παραμέτρου α

- Οι τιμές της παραμέτρου αυξάνονται από τα βορειοδυτικά προς νοτιοανατολικά.



$$E = \frac{aS_0}{1 - 0.02344T}$$

Μεταβολή παραμέτρων α, c



Αντίστοιχη μεταβολή της παραμέτρου με την προηγούμενη παρεμβολή

$$E = \frac{aS_0}{1 - cT}$$

Συμπεράσματα

- Το νέο παραμετρικό μοντέλο για τον υπολογισμό της δυνητικής εξατμοδιαπνοής συμπληρώνει την υπάρχουσα γνώση γύρω από αρκετές ερευνητικές προσπάθειες απλοποιήσεων των μεθόδων συνδυασμού (Penman, Penman- Monteith).
- Άρση της πολυπλοκότητας υπολογισμού της εξατμοδιαπνοής.
- Τα αποτελέσματα του νέου μοντέλου εμφανίζονται καλύτερα τόσο από τις απλοποιήσεις των μεθόδων συνδυασμού, όσο και από τις εμπειρικές μεθόδους
- Μετά την γεωγραφική παρεμβολή των παραμέτρων για τη συνεπή εκτίμηση της εξατμοδιαπνοής στη χώρα μας απαιτείται πλέον μόνο η μέση θερμοκρασία και η εξωγήινη ακτινοβολία.
- Οι νέες εξισώσεις έχουν ευρεία εφαρμογή σε ζητήματα διαχείρισης των υδάτινων πόρων όπως η εκτίμηση του υδρολογικού ισοζυγίου, ο υπολογισμός των υδατικών αναγκών των καλλιεργειών, η εξάτμιση από υδάτινες επιφάνειες