



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΠΑΤΡΩΝ
UNIVERSITY OF PATRAS

ΑΝΟΙΚΤΑ ακαδημαϊκά
μαθήματα **ΠΠ**

ΤΙΤΛΟΣ ΜΑΘΗΜΑΤΟΣ: ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΑ - ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΑ

ΕΝΟΤΗΤΑ: **6α. ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ – ΝΕΦΗ –
ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΑ ΚΑΤΑΚΡΗΜΝΙΣΜΑΤΑ**

ΟΝΟΜΑ ΚΑΘΗΓΗΤΗ: ΑΓΓΕΛΙΚΗ ΦΩΤΙΑΔΗ

ΤΜΗΜΑ: Τμήμα Διαχείρισης Περιβάλλοντος και Φυσικών
Πόρων

ΑΓΡΙΝΙΟ

Άδειες Χρήσης

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό υπόκειται σε άδειες χρήσης Creative Commons.
- Για εκπαιδευτικό υλικό, όπως εικόνες, που υπόκειται σε άλλου τύπου άδειας χρήσης, η άδεια χρήσης αναφέρεται ρητώς.



Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στα πλαίσια του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Πατρών**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο τη αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΑΓΓΕΛΙΚΗ ΦΩΤΙΑΔΗ

Επίκουρος Καθηγήτρια

του Τμήματος Διαχείρισης

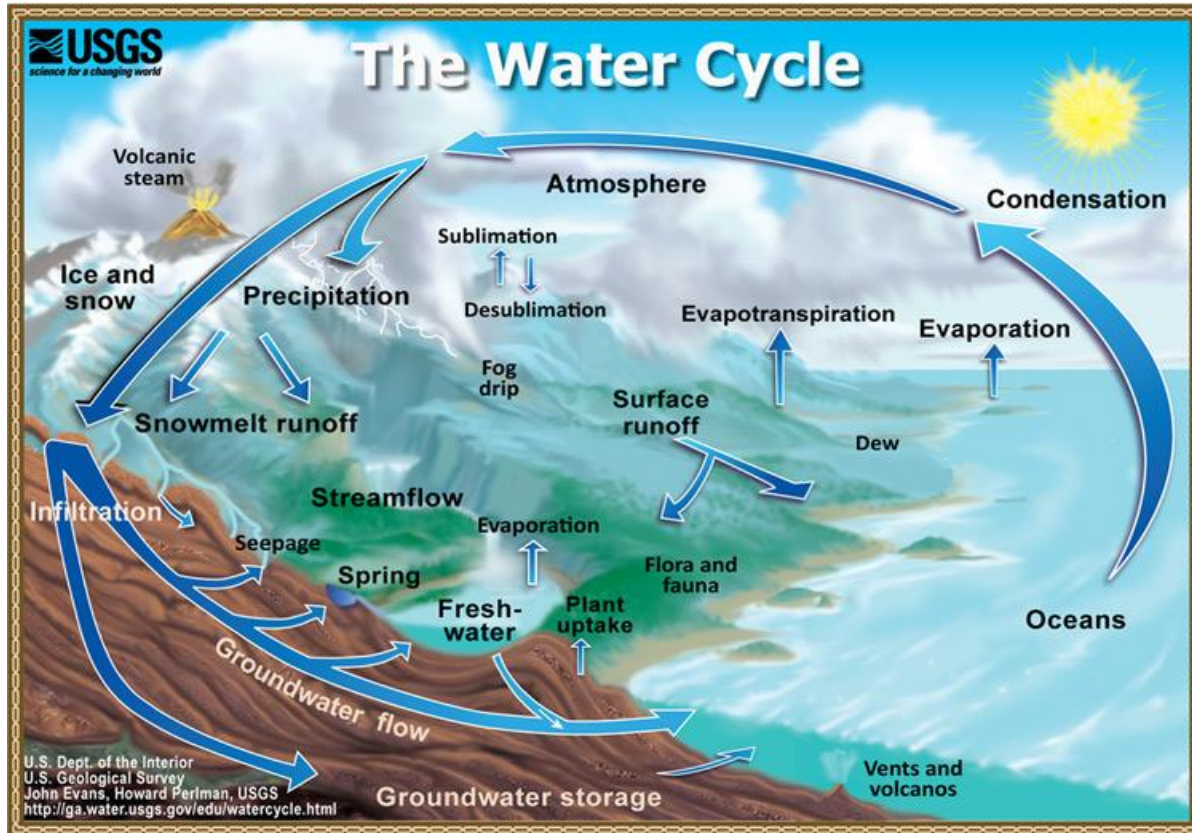
Περιβάλλοντος & Φυσικών Πόρων

 2641074156

 afotiadi@upatras.gr

Το νερό στην ατμόσφαιρα

Υγρασία του αέρα: αποτελεί ένα μέτρο της περιεκτικότητας της ατμόσφαιρας σε υδατμούς. Δείχνει την ποσότητα των υδατμών που υπάρχουν στην ατμόσφαιρα



- Η ατμόσφαιρα, κυρίως στο κατώτερο τμήμα της, περιέχει πάντα μια μεταβλητή ποσότητα νερού

- Το νερό αυτό υπάρχει:

1. **αέρια** κατάσταση (υδατμοί)
2. **υγρή** (νέφη, υδροσταγόνες, βροχή, ομίχλη, ...)
3. **στερεή** (παγοκρύσταλλοι, χαλάζι, χιόνι, ...)

Υγρασία του αέρα: αποτελεί ένα μέτρο της περιεκτικότητας της ατμόσφαιρας σε υδρατμούς. Δείχνει την ποσότητα των υδρατμών που υπάρχουν στην ατμόσφαιρα

Οι υδρατμοί περιέχονται σχεδόν στο σύνολο τους στην τροπόσφαιρα και κυρίως στα στρώματα κάτω των 6.5 km

Η ατμόσφαιρα περιέχει πάντα υδρατμούς η ποσότητα των οποίων μεταβάλλεται τόσο με τον χρόνο όσο και με τον χώρο

Σε μερικές περιοχές βρίσκονται σε εξαιρετικά χαμηλό ποσοστό (σχεδόν απόντες) & σε άλλες αποτελούν μέχρι και το **4%** κατ' όγκο της ατμόσφαιρας

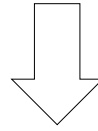
■ Η ποσότητα του νερού στην ατμόσφαιρα εξαρτάται από **2** κυρίως **παράγοντες:**

1. Οι υδρατμοί εισέρχονται στην ατμόσφαιρα κυρίως μέσω της **εξάτμισης** από τις υδάτινες επιφάνειες και δευτερευόντως μέσω **εξατμισοδιαπνοής** από το έδαφος και τα φυτά,
2. Τα **ατμοσφαιρικά υδατώδη κατακρημνίσματα** δηλ. τον **υετό** (βροχή, χιόνι, χαλάζι, ...) με τα οποία το νερό απομακρύνεται από την ατμόσφαιρα και επιστρέφει στην επιφάνεια της Γης

Υγρασία

- Ο ατμοσφαιρικός αέρας, για κάθε τιμή της θερμοκρασίας του, μπορεί να συγκρατήσει ορισμένη ποσότητα υδρατμών, η οποία αν ξεπεραστεί, οι επιπλέον υδρατμοί **συμπυκνώνονται**
- Η οριακή αυτή ποσότητα των υδρατμών σε δοσμένη θερμοκρασία είναι ορισμένη & εξαρτάται μόνο από την τιμή της θερμοκρασίας
- Σε περίπτωση που ο αέρας περιέχει μια τέτοια οριακή ποσότητα υδρατμών καλείται **κορεσμένος** διαφορετικά καλείται **ακόρεστος**
- Οι υδρατμοί παίζουν σημαντικό ρόλο στο ενεργειακό & υδρολογικό ισοζύγιο του πλανήτη & στη δημιουργία των καιρικών φαινομένων της ατμόσφαιρας

$$\frac{de_s}{dT} = \frac{e_s L_u}{R_u T^2}$$



Εξίσωση Clausius-Clapeyron

Όπου:

- L_u = λανθάνουσα θερμότητα
- R_u = ειδική σταθερά των υδρατμών
- T = η θερμοκρασία του αέρα σε K

Υγρασία - Εξάτμιση (evaporation)

- **Εξάτμιση:** η μετατροπή ή μετάβαση του νερού από την υγρή στην αέρια φάση
 - Η εξάτμιση μετριέται με το **ισοδύναμο ύψος** νερού σε mm
 - Η εξάτμιση του νερού στην ατμόσφαιρα γίνεται κυρίως από τις **υδάτινες επιφάνειες** (ωκεανοί, λίμνες, ποταμοί) και δευτερευόντως από: **έδαφος, φύλλωμα βλάστησης**, από την **επιφάνεια** του **χιονιού** και των **πάγων (εξάχνωση)**
 - Κατά την εξάτμιση τα μόρια από την επιφάνεια του νερού διαφεύγουν στην ατμόσφαιρα
 - όσο μεγαλύτερη είναι η θερμοκρασία του νερού τόσο μεγαλύτερη ενέργεια έχουν τα μόρια του νερού, με τόσο μεγαλύτερη ταχύτητα κινούνται & συνεπώς τόσο περισσότερα μόρια έχουν τη δυνατότητα να διαφύγουν από αυτό προς την ελεύθερη ατμόσφαιρα
 - Τα μόρια του νερού που διαφεύγουν στην ατμόσφαιρα με αυτόν τον τρόπο έχουν αποθηκευμένη ενέργεια με τη μορφή κινητικής ενέργειας η οποία ονομάζεται **λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης (LE)**
 - Επειδή η θερμότητα του νερού μετατρέπεται σε λανθάνουσα θερμότητα στους υδρατμούς, το νερό που παραμένει σε υγρή μορφή ψύχεται (**evaporative cooling**)

Υγρασία - Εξάτμιση (evaporation)

- **Εξάτμιση:** περιγράφεται από τον γενικό νόμο της εξάτμισης του **Dalton**

$$E = \frac{A \cdot S \cdot (e_s - e)}{P}$$

E = ποσότητα εξάτμισης ή ταχύτητα εξάτμισης (mm ή cm / sec ή min ή ...)

A = συντελεστής που εξαρτάται από την φύση του υγρού, την ταχύτητα απαγωγής υδρατμών (π.χ. ταχύτητα ανέμου)

e_s - e = παράγοντας εξάτμισης ή έλλειμμα κόρου (κοροπλήρωμα)

e = η τάση των υδρατμών του ατμοσφαιρικού αέρα

e_s = μέγιστη τάση των υδρατμών στη θερμοκρασία της υγρής επιφάνειας

P = η ατμοσφαιρική πίεση

S = η επιφάνεια του υγρού (συνήθως τη θεωρούμε μοναδιαία)

Υγρασία - Εξάτμιση (evaporation)

■ Παράγοντες που επηρεάζουν την εξάτμιση

✓ Θερμοκρασία (του νερού & αέρα)

○ Η ένταση της εξάτμισης αυξάνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας τόσο του νερού όσο και του αέρα

✓ Υπάρχουσα ποσότητα υδρατμών στην ατμόσφαιρα (υγρασία)

○ Όσο μεγαλύτερη είναι η ποσότητα των υδρατμών στην ατμόσφαιρα τόσο περισσότερο μειώνεται η ένταση της εξάτμισης

✓ Κίνηση του αέρα (άνεμος & αναταρακτικές κινήσεις)

○ Η κίνηση του αέρα όμως πάνω από την επιφάνεια του νερού αυξάνει την απαγωγή και τη διάχυση των δημιουργούμενων υδρατμών κατά την εξάτμιση με αποτέλεσμα να αυξάνεται η εξάτμιση για την αναπλήρωση αυτών

■ **Ημερήσια & Ετήσια μεταβολή της Εξάτμισης:** ακολουθεί την αντίστοιχη ημερήσια & ετήσια μεταβολή της θερμοκρασίας

Υγρασία - Εξάτμιση (evaporation)

- **Γεωγραφική κατανομή της εξάτμισης**
 - Οι περιοχές 30° βόρεια και νότια του ισημερινού εμφανίζουν σαφώς μεγαλύτερη εξάτμιση από τα μεγαλύτερα γεωγραφικά πλάτη
 - Οι **μεγαλύτεροι ρυθμοί εξάτμισης** παρατηρούνται στις υποτροπικές ωκεάνιες περιοχές κατά το χειμώνα όταν ψυχρές & ξηρές ηπειρωτικές αέριες μάζες πνέουν πάνω από τα θερμά ωκεάνια ρεύματα όπως του κόλπου και το Kuroshio. Πάνω από περιοχές με ισχυρούς ανέμους στην επιφάνεια και πάνω από περιοχές των τυφώνων & κυκλώνων λόγω των μεγάλων ταχυτήτων ανέμου που αναπτύσσονται

Υγρασία - Εξάτμιση (evaporation)

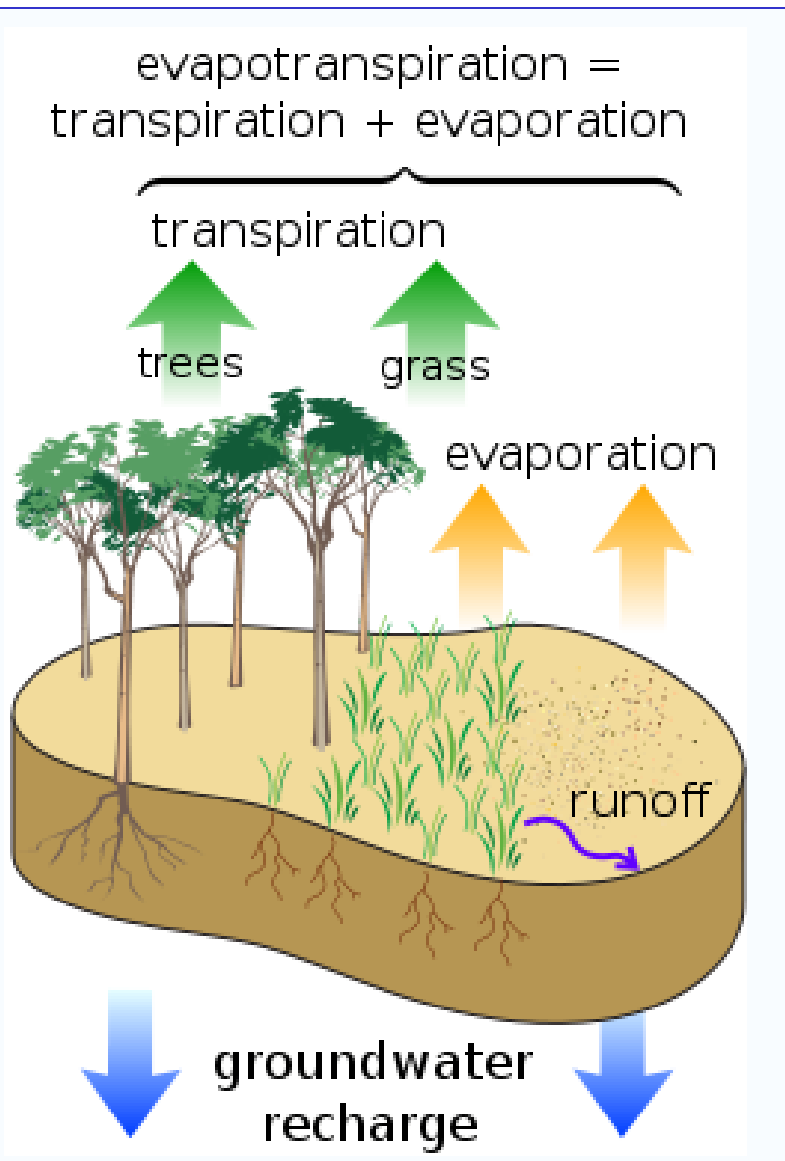
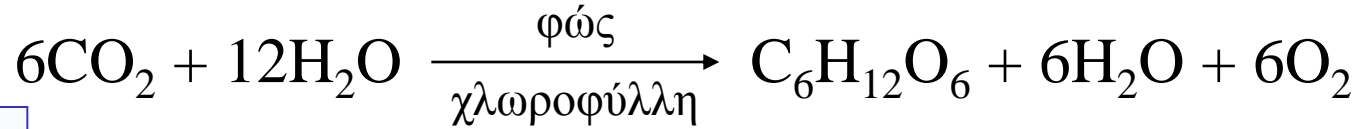
■ Γεωγραφική κατανομή της εξάτμισης

- Οι **μικροί ρυθμοί εξάτμισης** κατά μήκος του Ισημερινού οφείλονται στην παρουσία ψυχρών ωκεάνιων ρευμάτων και φαινομένων ανάδυσης (upwelling), στους ασθενείς ανέμους που επικρατούν σε ορισμένες περιοχές και στην παρουσία νεφών μεγάλης κατακόρυφης ανάπτυξης (deep convective) που εμποδίζουν την εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία να φτάσει στην επιφάνεια
- Γενικά, η εξάτμιση μειώνεται από τα μικρά γεωγραφικά πλάτη προς τα μεγάλα

Υγρασία - Εξατμισοδιαπνοή (evapotranspiration)

- **Εξατμισοδιαπνοή:** η ατμόσφαιρα, εκτός της διαδικασίας της εξάτμισης, εμπλουτίζεται με υδρατμούς και από τα φυτά, με τη διαδικασία της **διαπνοής (transpiration)**

Φωτοσύνθεση:



- Η διαπνοή ελέγχεται, ως προς το ρυθμό της, από τα κύτταρα των φυτών μέσω της ρύθμισης των ανοιγμάτων των στομάτων των φύλλων
- Ο συνδυασμός των διεργασιών της εξάτμισης & της διαπνοής καλείται **Πραγματική εξατμισοδιαπνοή (ΑΕ)** & εκφράζει τη διεργασία της μεταφοράς των υδρατμών στην ατμόσφαιρα από μια επιφάνεια που καλύπτεται από βλάστηση
- Η εξατμισοδιαπνοή από εδαφικές επιφάνειες εξαρτάται άμεσα από τη διαθεσιμότητα του εδάφους σε νερό, ενώ δεν συμβαίνει το ίδιο για την εξάτμιση από υδάτινες επιφάνειες όπου αυτή θεωρείται δεδομένη

Υγρασία - Εξατμισοδιαπνοή (evapotranspiration)

➤ Δυνητική εξατμισοδιαπνοή (PE)

- Η απώλεια νερού από εδαφικές επιφάνειες πλήρως & ομοιόμορφα καλυμμένες από αναπτυσσόμενη βλάστηση, κάτω από συνθήκες απεριόριστης διαθεσιμότητας νερού στο έδαφος (σε αντιστοιχία με την εξάτμιση από υδάτινες επιφάνειες)
- Η δυνητική εξατμισοδιαπνοή παριστάνει στην ουσία τις απαιτήσεις ενός τόπου για εξατμισοδιαπνοή με βάση τα χαρακτηριστικά του & αν πληρούνταν οι όροι του ορισμού της
- Αποτελεί έναν δείκτη της διαθέσιμης ενέργειας για την εξάτμιση του νερού & του διαθέσιμου ανέμου να μεταφερθούν οι υδρατμοί από το έδαφος στην κατώτερη ατμόσφαιρα
- Η δυνητική εξατμισοδιαπνοή ισούται με την πραγματική όταν υπάρχει αφθονία νερού
- Για τον καθορισμό της τιμής της **PE** απαιτούνται δεδομένα θερμοκρασίας, βλάστησης, χαρακτηριστικών εδάφους & η τιμή της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής
- Για περιοχές που η τιμή της **βροχόπτωσης** > της τιμής της **PE** => πλεόνασμα νερού συσσωρεύεται στο έδαφος
- Όταν **PE** > **βροχόπτωσης** => τότε δεν υπάρχει νερό διαθέσιμο για αποθήκευση στο έδαφος & στα φυτά, με αποτέλεσμα να ξηραίνονται

Υγρασία - Εξατμισοδιαπνοή (evapotranspiration)

➤ Παράγοντες που επηρεάζουν την εξατμισοδιαπνοή

✓ Θερμοκρασία

✓ Ηλιακή ακτινοβολία

✓ Ατμοσφαιρική Υγρασία

✓ Άνεμος

Δυνητική
Εξατμισοδιαπνοή
(PE)

✓ Ανεπάρκεια ύδατος της βλάστησης (AE)

✓ Πυκνότητα & είδος βλάστησης (AE)

Πραγματική
Εξατμισο-
διαπνοή (AE)

Υγρασία - Εξατμισοδιαπνοή (evapotranspiration)

- Γεωγραφική κατανομή της μέσης ετήσιας εξατμισοδιαπνοής πάνω από την ξηρά
Μέση τιμή της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής για την περίοδο 2000-2006 βάσει δεδομένων MODIS

- Μειώνεται από τις τροπικές περιοχές προς τους πόλους
- δεδομένης της εξάρτησης της από τη διαθέσιμη ποσότητα ύδατος, παρουσιάζει ελάχιστες τιμές πάνω από τις ερήμους
- Οι μέγιστες τιμές σημειώνονται στις τροπικές περιοχές λόγω του μεγάλου ύψους βροχόπτωσης, της υψηλής θερμοκρασίας και των πυκνών τροπικών δασών

Υγρασία - Εξατμισοδιαπνοή (evapotranspiration)

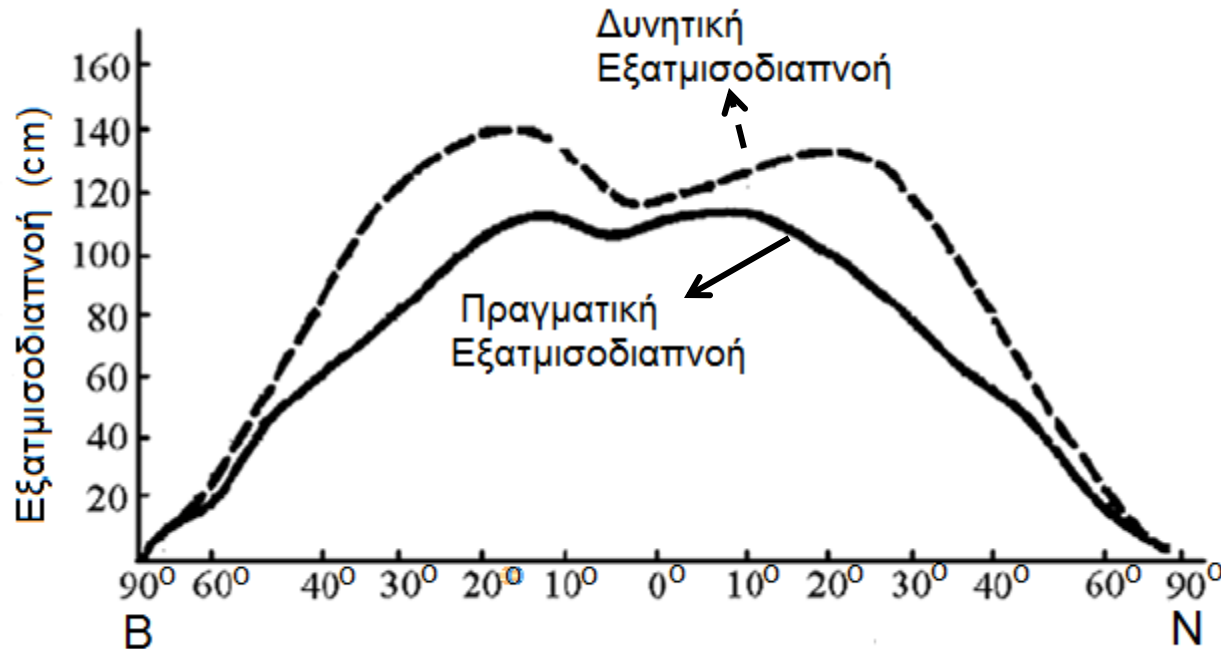
- Γεωγραφική κατανομή της μέσης ετήσιας εξατμισοδιαπνοής πάνω από την ξηρά

Εποχική κατανομή της πραγματική εξατμισοδιαπνοής πάνω από τη ξηρά για την περίοδο 2000-2006
βάσει δεδομένων MODIS

Υγρασία - Εξατμισοδιαπνοή (evapotranspiration)

■ Γεωγραφική κατανομή της εξατμισοδιαπνοής

Κατανομή με το γεωγραφικό πλάτος της μέσης πραγματικής και δυνητικής εξατμισοδιαπνοής



Πηγή: adapted from A.A. Φλόκας, Μαθήματα Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας, 1997

- Οι μέγιστες τιμές της εξατμισοδιαπνοής σημειώνονται στις υποτροπικές περιοχές (20° – 30°) Βόρεια και Νότια του Ισημερινού
- Οι τιμές της εξατμισοδιαπνοής είναι μεγαλύτερες πάνω από τις ωκεάνιες περιοχές σε σχέση με την ξηρά

Υγρασία - Εξατμισοδιαπνοή (evapotranspiration)

- Γεωγραφική κατανομή της μέσης τιμής της Δυνητικής εξατμισοδιαπνοής (PE)
- Σαφής βαθμίδα μείωσης των τιμών της PE με την αύξηση του γεωγραφικού πλάτους
- Διάφορες ανωμαλίες οφείλονται στην παρουσία των ορεινών όγκων (π.χ. Ιμαλία)

Υγρασία - Εξατμισοδιαπνοή (evapotranspiration)

■ Γεωγραφική διανομή της μέσης Πραγματικής & Δυνητικής εξατμισοδιαπνοής στον Ευρωπαϊκό χώρο

- Η Δυνητική εξατμισοδιαπνοή υποθέτει συνθήκες απεριόριστης διαθεσιμότητας νερού στο έδαφος εμφανίζει βαθμίδα βαίνοντας μειούμενη από τα μικρά προς τα μεγάλα γεωγραφικά πλάτη

Υγρασία - Εξατμισοδιαπνοή (evapotranspiration)

- Γεωγραφική κατανομή της Δυνητικής εξατμισοδιαπνοής (PE) στον Ελλαδικό χώρο

■ Η υγρασία της ατμόσφαιρας μετράται μέσω διαφόρων μεταβλητών οι σπουδαιότερες εκ των οποίων είναι:

- ✓ Απόλυτη υγρασία
- ✓ Θερμοκρασία δρόσου
- ✓ Τάση υδρατμών
- ✓ Σχετική υγρασία
- ✓ Ειδική υγρασία
- ✓ Αναλογία μίγματος

■ **Υγρός αέρας:** καλείται ο αέρας που περιέχει υδρατμούς

■ **Ξηρός αέρας:** καλείται ο αέρας που θεωρητικά δεν περιέχει υδρατμούς

■ **ισχύει:** $m = m_v + m_\alpha$

m_v = η μάζα των υδρατμών

m_α = η μάζα του ξηρού αέρα

m = η συνολική μάζα του υγρού αέρα

Ρυθμός εξάτμισης
=
Ρυθμό συμπύκνωσης

- Μία δεδομένη μάζα αέρα για μια ορισμένη τιμή της θερμοκρασίας μπορεί να περιέχει μέχρι ένα ορισμένο ποσό μάζας υδρατμών πριν να αρχίζει με την προσθήκη επιπλέον υδρατμών, να συμπυκνώνεται σε σταγόνες. Το όριο αυτό εξαρτάται από τη θερμοκρασία και την πίεση του αέρα (αυξάνεται όταν αυξάνεται η θερμοκρασία ή μειώνεται η πίεση του αέρα) ονομάζεται **σημείο κόρου ή δρόσου** και το φαινόμενο **κορεσμός**. Για παράδειγμα, αυτό το φαινόμενο συμβαίνει όταν συμπυκνώνονται υδρατμοί στον καθρέπτη του μπάνιου όταν τρέξει ζεστό νερό από το ντους
- Μία αέρια μάζα μπορεί να φτάσει στο σημείο δρόσου με δύο τρόπους:
 - Διατηρώντας σταθερή τη θερμοκρασία να τροφοδοτείται συνεχώς με υδρατμούς
 - Διατηρώντας σταθερή την ποσότητα των υδρατμών και την πίεση και μειώνοντας τη θερμοκρασία. Το ποσό των υδρατμών που μια αέρια μάζα μπορεί να συγκρατήσει μειώνεται με τη μείωση της θερμοκρασίας

Υγρασία - Τάση υδρατμών (vapor pressure)

Τάση υδρατμών (e): είναι η πίεση που ασκούν οι υδρατμοί όντας αέριο

- Είναι η συνεισφορά των υδρατμών στην ολική ατμοσφαιρική πίεση
- Κυμαίνεται μεταξύ 5 και 30 hPa στην επιφάνεια της θάλασσας
- Εξαρτάται από την ποσότητα των υδρατμών (m_v) και την ατμοσφαιρική πίεση (P)

Μέγιστη τάση υδρατμών (e_s): είναι η τάση των υδρατμών στο σημείο δρόσου δηλ. στην κατάσταση κορεσμού όπου η τάση των υδρατμών είναι μέγιστη

- Εξαρτάται μόνο από τη θερμοκρασία και αυξάνεται με αυτή δηλ. όσο πιο θερμός είναι ο αέρας τόσο μεγαλύτερη ποσότητα υδρατμών μπορεί να συγκρατήσει

Μονάδες: mbars (hPa), mmHg

- Υπολογίζεται από την εξίσωση Clausius - Clapeyron

$$e_s = e_{s0} \cdot \exp\left[\frac{L_v}{R_v} \left(\frac{1}{T_0} - \frac{1}{T}\right)\right]$$

Όπου: L_v = η λανθάνουσα θερμότητα εξαέρωσης του νερού = 600 cal/g

R_v = η ειδική σταθερά των υδρατμών = R/M_{Bu}

ή εναλλακτικά από ... \Rightarrow

Υγρασία - Τάση υδρατμών (vapor pressure)

... την εμπειρική σχέση **Magnus – Tetens**:

$$e_s = e_{s0} \cdot 10^{\frac{\alpha \cdot T}{\beta + T}}$$

Όπου:

$$e_{s0} = 6.11 \text{ hPa}$$

T = η θερμοκρασία του αέρα σε °C

$\alpha = 7.5$ και $\beta = 237.3$ °C πάνω από νερό

$\alpha = 9.7$ και $\beta = 265.5$ °C πάνω από πάγο

- Για τον προσδιορισμό της e_s απαιτείται μόνο μία παράμετρος, η θερμοκρασία T
- **Τάση υδρατμών (e)** υπολογίζεται από τη σχέση:

$$e = e_s(T_w) - \frac{C_{pa}}{0.622L_u} (T - T_w) \cdot P$$

- T = η θερμοκρασία του αέρα (θερμοκρασία ξηρού θερμομέτρου) σε °C
- T_w = η θερμοκρασία του υγρού θερμομέτρου σε °C
- $e_s(T_w)$ = η μέγιστη τάση των υδρατμών στη θερμοκρασία του υγρού θερμομέτρου
- C_{pa} = η ειδική θερμότητα του ξηρού αέρα σε σταθερή πίεση
- P = η ατμοσφαιρική πίεση

- Για τον προσδιορισμό της e απαιτείται, η γνώση της θερμοκρασίας T & της πίεσης P
- Η θερμοκρασία υγρού θερμομέτρου T_w προσδιορίζεται από τα ψυχρόμετρα

Υγρασία - Θερμοκρασία Δρόσου (Dew point)

Θερμοκρασία Δρόσου (T_d): είναι η θερμοκρασία στην οποία θα πρέπει να ψυχθεί ο αέρας υπό σταθερή ατμοσφαιρική πίεση, ώστε να καταστεί κορεσμένος χωρίς την προσθήκη άλλων υδρατμών

Μεγάλη τιμή της $T_d \Rightarrow$ μεγάλη υγρασία και αντίστροφα

Επειδή η πίεση στην επιφάνεια της Γης δεν μεταβάλλεται σημαντικά, η θερμοκρασία δρόσου αποτελεί έναν καλό δείκτη της υγρασίας στην ατμόσφαιρα

- **Πολύ καλή ένδειξη υγρασίας (σχετικής) η διαφορά θερμοκρασίας = $T - T_d$**
 - T θερμοκρασία αέρα
 - T_d θερμοκρασία δρόσου
- ✓ Δείχνει την απόσταση από το σημείο δρόσου
- ✓ Όσο πιο μεγάλη είναι η διαφορά $T - T_d$ τόσο πιο μακριά βρίσκεται η ατμόσφαιρα από το σημείο δρόσου (από την κατάσταση κορεσμού)
- Σημαντική μετεωρολογική παράμετρος στην πρόγνωση: Δρόσου, πάχνης, παγετού και ομίχλης

Υγρασία - Θερμοκρασία Δρόσου (Dew point)

- Δεδομένου ότι η ποσότητα των υδρατμών δε μεταβάλλεται, η τάση των υδρατμών $e_{(T)}$ στη θερμοκρασία T θα είναι ίδια με την τάση των υδρατμών $e_{(T_d)}$ στη θερμοκρασία δρόσου T_d
$$e_{(T)} = e_{(T_d)}$$

- Όμως στη θερμοκρασία δρόσου ο αέρας καθίσταται κορεσμένος, οπότε

$$e_{(T_d)} = e_{s(T_d)} \Rightarrow e_{(T)} = e_{s(T_d)}$$

- Από τη σχέση **Magnus – Tetens** έχουμε:

$$e_{(T)} = e_{s(T_d)} = e_{so} \cdot 10^{\frac{\alpha \cdot T_d}{\beta + T_d}}$$
$$e_{so} = 6.11 hPa$$

$$\Rightarrow T_d = \frac{237.3 \cdot (\log e_{(T)} - \log 6.11)}{7.5 - (\log e_{(T)} - \log 6.11)}$$

- **Θερμοκρασία Δρόσου (Td):** σημαντική μετεωρολογική παράμετρος στην πρόγνωση Δρόσου, πάχνης, παγετού και ομίχλης

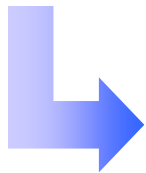
Υγρασία - Απόλυτη Υγρασία

- **Απόλυτη υγρασία (ρ):** είναι η μάζα των υδρατμών (m_v) που περιέχεται σε όγκο αέρα (V), πάνω από μια περιοχή σε μια δεδομένη στιγμή
Δηλαδή πρόκειται για την πυκνότητα των υδρατμών

$$\rho = \frac{m_v}{V}$$

Μονάδες: g / m³

- Εξαρτάται από την Θερμοκρασία και την Πίεση η οποία επηρεάζει τον όγκο
- Αύξηση της θερμοκρασίας ευνοεί την εξάτμιση και επομένως αυξάνει και η απόλυτη υγρασία



Λόγω της εξάρτησης από τη θερμοκρασία, η απόλυτη υγρασία μεταβάλλεται ανάλογα με τη θερμοκρασία εμφανίζοντας την ίδια ετήσια κύμανση με **μέγιστες τιμές το καλοκαίρι** και **ελάχιστες τον χειμώνα**

- Σε συνηθισμένες μετεωρολογικές συνθήκες, στην επιφάνεια της θάλασσας ισχύει:

$$\rho \approx e \quad \text{όταν μετρώνται σε } \mathbf{g / cm^3} \text{ \& } \mathbf{mmHg} \text{ αντίστοιχα}$$

- Εξαιτίας της εξάρτησής της από τον όγκο και τη θερμοκρασία είναι μια **μη διατηρητική παράμετρος** και επομένως δεν είναι τόσο χρήσιμη στη μετεωρολογία

Υγρασία - Απόλυτη Υγρασία

- Για κάθε τιμή της θερμοκρασίας T υπάρχει μία μέγιστη τιμή της απόλυτης υγρασίας ρ_s
- Επιτρέπει τον προσδιορισμό της ποσότητας των υδρατμών που συμπυκνώνεται όταν ο αέρας ψυχθεί από μια ορισμένη θερμοκρασία σε μια άλλη

Υγρασία - Αναλογία Μίγματος (mixing ratio)

- **Αναλογία μίγματος (r):** ορίζεται ως ο λόγος της μάζας των υδρατμών (m_v) που περιέχονται σ' ένα δείγμα υγρού αέρα προς τη μάζα του ξηρού αέρα (m_a) που περιέχεται στο δείγμα

Μονάδες: g υδρατμών / g ξηρού αέρα
g υδρατμών / Kg ξηρού αέρα

$$r = \frac{m_v}{m_a}$$

ή

$$r = \frac{\rho_v}{\rho_a}$$

- Γενικά η αναλογία μίγματος r στην ατμόσφαιρα παίρνει πολύ μικρές τιμές, **μικρότερες από 0.04 g / g** (ή **< 40 g / Kg**)

- Αποδεικνύεται ότι:

$$r = 0.622 \frac{e}{P - e}$$

& για την κατάσταση κορεσμού

$$r_s = 0.622 \frac{e_s}{P - e_s}$$

- Επειδή η τάση των υδρατμών είναι πολύ μικρότερη της ατμοσφαιρικής πίεσης ($e \ll P$ και $e_s \ll P$) μπορεί να γραφτεί:

$$r = 0.622 \frac{e}{P}$$

&

$$r_s = 0.622 \frac{e_s}{P}$$

Υγρασία - Ειδική Υγρασία (specific Humidity)

- **Ειδική Υγρασία (q):** ορίζεται ως ο λόγος της μάζας των υδρατμών (m_v) προς τη συνολική μάζα του υγρού αέρα ($m = m_v + m_a$)

Μονάδες: g υδρατμών / g αέρα
g υδρατμών / Kg αέρα

$$q = \frac{m_v}{m} = \frac{m_v}{m_a + m_v}$$

- Διαιρώντας με m_v αποδεικνύεται ότι:

$$q = \frac{r}{1 + r}$$

& για την κατάσταση κορεσμού

$$q_s = \frac{r_s}{1 + r_s}$$

- Επειδή:

$$r = 0.622 \frac{e}{P - e}$$

\Rightarrow

$$r = 0.622 \frac{e}{P - 0.378 \cdot e}$$

δηλ. $r = f(e)$

- Επειδή ισχύει $e \ll P$ και $e_s \ll P$ αποδεικνύεται:

$$q = 0.622 \frac{e}{P} \Rightarrow q = r$$

&

$$q_s = 0.622 \frac{e_s}{P} \Rightarrow q_s = r_s$$

Υγρασία - Σχετική υγρασία (Relative Humidity)

Σχετική υγρασία (%RH): είναι ο λόγος (επί τοις εκατό, %) της μάζας των υδρατμών (m_v) που περιέχεται σε ένα δεδομένο όγκο αέρα προς τη μάζα που θα έπρεπε να περιέχει ο ίδιος όγκος αέρα ώστε να είναι κορεσμένος (m_{vs}) δηλ. τη μέγιστη μάζα των υδρατμών που μπορεί να συγκρατήσει ή ο λόγος της πραγματικής (e) προς τη μέγιστη τάση των υδρατμών (e_s) στην ίδια θερμοκρασία

Εκφράζεται επί τοις εκατό (%)

$$RH = \frac{m_v}{m_{vs}} = \frac{e}{e_s} = \frac{r}{r_s} = \frac{q}{q_s}$$

Εκφράζει πόσο η ατμόσφαιρα απέχει από το σημείο κόρου (κορεσμό)

■ Σημαντική παράμετρος από βιολογικής πλευράς. Η ευφορία ή δυσφορία των οργανισμών εξαρτάται περισσότερο από τη σχετική παρά από την απόλυτη υγρασία

$RH \sim 100\% \Rightarrow$ ατμόσφαιρα κορεσμένη σε υδρατμούς (βροχή ή ομίχλη)

Υγρασία - Σχετική υγρασία (Relative Humidity)

■ Επιλύοντας τη σχέση που εκφράζει την αναλογία μίγματος r συναρτήσει της τάσης των υδρατμών e ως προς e , έχουμε:

$$r = 0.622 \frac{e}{P - e} \Rightarrow e = p \cdot \frac{r}{0.622 + r}$$

■ Επομένως, η τάση των υδρατμών μεταβάλλεται συναρτήσει της πίεσης p και της ποσότητας των υδρατμών r και ανεξάρτητα της θερμοκρασίας T δηλ. **$e = f(p, r)$**

■ Από την άλλη η μέγιστη τάση των υδρατμών e_s είναι συνάρτηση μόνο της θερμοκρασίας T δηλ. **$e_s = f(T)$**

■ Άρα, για σταθερή πίεση (**$p = ct$**), έχουμε: $RH = \frac{e}{e_s} = \frac{f(r)}{f(T)} \Rightarrow$

\Rightarrow Για σταθερή πίεση (**$p = ct$**) η σχετική υγρασία (**RH**) είναι **ανάλογη** της **ποσότητας των υδρατμών** (r) και **αντιστρόφως ανάλογη** της **θερμοκρασίας** (T)

\Rightarrow Η σχετική υγρασία (**RH**) μιας μάζας αέρα, όταν η πίεση είναι σταθερή (**$p = ct$**), αυξάνει όταν:

1. με την **προσθήκη υδρατμών** (π.χ. μέσω εξάτμισης) όταν η θερμοκρασία διατηρείται σταθερή
2. **μειώνοντας τη θερμοκρασία** T όταν η ποσότητα των υδρατμών του δείγματος διατηρείται σταθερή

Υγρασία - Άλλες παράμετροι

- **Έλλειμμα κόρρου ή κορροπλήρωμα (SD):** ορίζεται ως η διαφορά μεταξύ της τάσης των υδρατμών (e) του ατμοσφαιρικού αέρα και της μέγιστης τάσης των υδρατμών (e_s) στην ίδια θερμοκρασία

$$SD = e_s - e$$

- **Υετίσιμο ύδωρ (P_w , precipitable water):** ορίζεται ως το σύνολο των υδρατμών που περιέχονται σε μία κατακόρυφη στήλη ατμοσφαιρικού αέρα μοναδιαίας διατομής η οποία εκτείνεται μεταξύ δύο επιπέδων

Για το σύνολο (ολικό ύψος) της ατμόσφαιρας υπολογίζεται το **συνολικό υετίσιμο ύδωρ**

- Το υετίσιμο ύδωρ εκφράζεται συνήθως από το ύψος του ναρού που θα συλλεγόταν δε δοχείο ίδιας διατομής με τη θεωρούμενη στήλη αν όλοι οι υπεράνω υδρατμοί συμπυκνώνονταν και έπεφταν σαν βροχή

- Αποδεικνύεται ότι:
$$P_w = 0.01 \int_{P_1}^{P_2} q \cdot dP \quad \text{σε mm}$$

όπου P σε hPa και q σε g/Kg

Υγρασία - Συμπερασματικά

■ **Συμπερασματικά:** όλες οι παράμετροι της υγρασίας εκφράζονται σαν συνάρτηση της τάσης των υδρατμών e και της ατμοσφαιρικής πίεσης P

■ Θυμίζουμε ότι:
$$e = e_s(T_w) - \frac{C_{pa}}{0.622L_u} (T - T_w) \cdot P \quad \Rightarrow$$

■ **Επομένως:** για τον υπολογισμό των παραμέτρων της υγρασίας αρκεί να μετρήσουμε την ατμοσφαιρική πίεση P , τη θερμοκρασία του αέρα T , και τη θερμοκρασία υγρού θερμομέτρου T_w που μετράται με τα ψυχρόμετρα

Υγρασία - Σχετική υγρασία: ημερήσια μεταβολή

Σχετική υγρασία (%RH) – ημερήσια μεταβολή: δεδομένου ότι η ποσότητα των υδρατμών στην ατμόσφαιρα μεταβάλλεται πολύ λίγο κατά τη διάρκεια του 24-ώρου, η ημερήσια πορεία της σχετικής υγρασίας εξαρτάται από την αντίστοιχη πορεία της θερμοκρασίας

Η ημερήσια πορεία της σχετικής υγρασίας είναι **αντίστροφη της πορείας της θερμοκρασίας του αέρα**

- Αντίστοιχα, η **ετήσια πορεία της σχετικής υγρασίας είναι αντίστροφη της ετήσιας πορείας της θερμοκρασίας του αέρα**

Γεωγραφική διανομή της Υγρασίας

Τάση Υδρατμών & Απόλυτη υγρασία: ακολουθεί την κατανομή της θερμοκρασίας & της εξάτμισης

- ✓ **Μέγιστες τιμές:** Ισημερινές, Τροπικές περιοχές & περιοχές Μουσώνων (Ινδία)
 - ✓ **Ελάχιστες τιμές:** ψυχρές περιοχές των μεγάλων γεωγραφικών πλατών & πάνω από ερήμους
- Περισσότερους υδρατμούς πάνω από τους ωκεανούς σε σχέση με την ξηρά

Γεωγραφική διανομή της Σχετικής Υγρασίας

Σχετική υγρασία

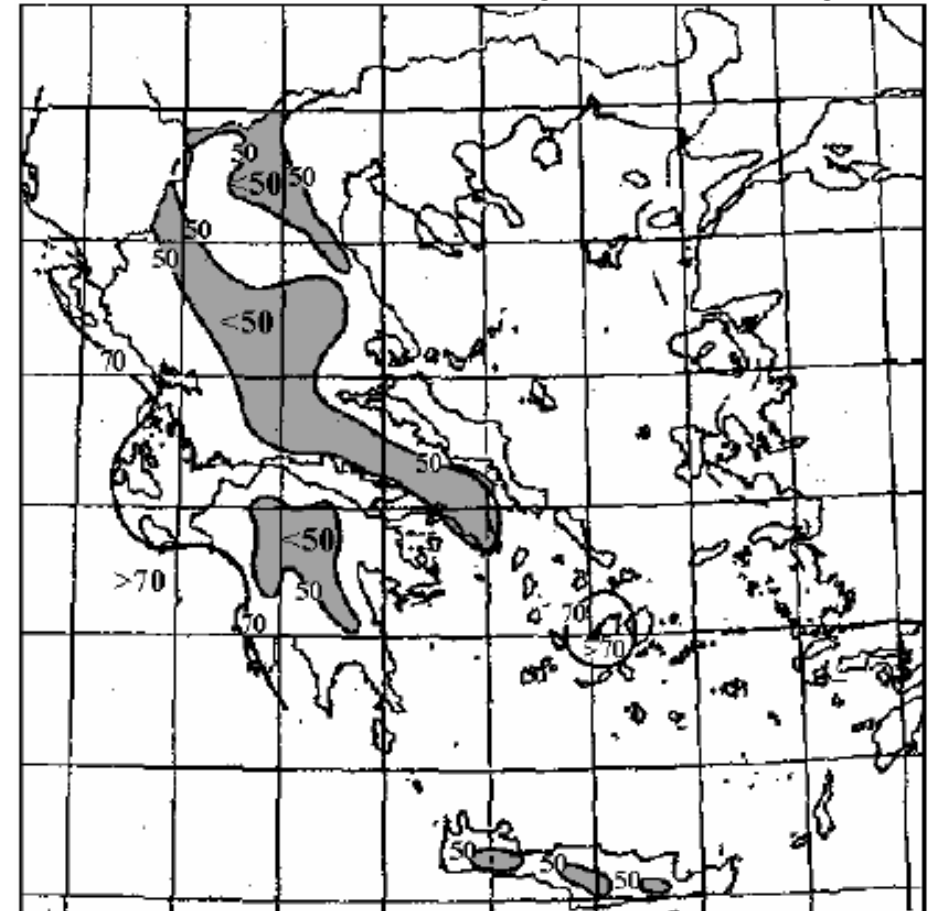
- ✓ **Μέγιστες τιμές:** Ισημερινές, Τροπικές περιοχές γιατί εκεί επικρατεί μεν υψηλή θερμοκρασία αλλά η ατμόσφαιρα περιέχει μεγάλες ποσότητες υδρατμών λόγω αυξημένης εξάτμισης
- ✓ **Μέγιστες τιμές:** Πολικές περιοχές γιατί μεν εδώ η ποσότητα των υδρατμών στην ατμόσφαιρα είναι μικρή αλλά και η θερμοκρασία είναι χαμηλή και προσεγγίζει τη θερμοκρασία δρόσου
- ✓ **Ελάχιστες τιμές:** στα μέσα γεωγραφικά πλάτη

Γεωγραφική διανομή της Σχετικής Υγρασίας στην Ελλάδα

ΧΕΙΜΩΝΑΣ: Νοέμβριος-Φεβρουάριος



ΘΕΡΟΣ: Ιούνιος-Σεπτέμβριος



Πηγή: adapted from A.A. Φλόκας, Μαθήματα Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας, 1997

- Οι **μέγιστες** τιμές της σχετικής υγρασίας (**RH**) στον Ελλαδικό χώρο σημειώνονται κατά τη **ψυχρή περίοδο** (Νοέμβριο – Φεβρουάριο) πάνω από τους ορεινούς όγκους % πάνω από τις κεντρικές και νότιες περιοχές των Κυκλάδων
- Οι **ελάχιστες** τιμές παρατηρούνται κατά τη **θερμή περίοδο** (Ιούνιο – Σεπτέμβριο) πάνω από τους ορεινούς όγκους
- Το ετήσιο εύρος της RH είναι μέγιστο στις ορεινές περιοχές και ελάχιστο στις θαλάσσιες και παράκτιες περιοχές της Δυτικής Ελλάδος

Υγρασία - Μεταβολή της υγρασίας με το ύψος

$$e_z = e_o 10^{\frac{-z}{5000}}$$

- e_o , τάση υδρατμών στην επιφάνεια
- e_z , τάση υδρατμών σε ύψος z

- Πρακτικά η ποσότητα των υδρατμών σε ύψη μεγαλύτερα των 10 km είναι ελάχιστη. Ακόμη και αν υπάρχουν έχουν μετατραπεί σε παγοκρυστάλλους λόγω των χαμηλών θερμοκρασιών

Αναφορές

- Φλόκας Α.: Μαθήματα Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας, Εκδόσεις ΖΗΤΗ, Θεσσαλονίκη, 1997, ISBN: 960-431-288-X

Σημείωμα Ιστορικού Εκδόσεων Έργου

Το παρόν έργο αποτελεί την 1^η έκδοση.

Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Πανεπιστήμιο Πατρών, Αγγελική Φωτιάδη, 2015.

Αγγελική Φωτιάδη. «**ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΑ - ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΑ**». Έκδοση: 1.0. Αγρίνιο 2015.

Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση:

https://eclass.upatras.gr/modules/document/document.php?course=ENV_109

Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά Δημιουργού, Απαγόρευση Εμπορικής Χρήσης και Όχι Παράγωγα Έργα. Εξαιρούνται τα αυτοτελή έργα τρίτων π.χ. φωτογραφίες, διαγράμματα κ.λ.π., τα οποία εμπεριέχονται σε αυτό και τα οποία αναφέρονται μαζί με τους όρους χρήσης τους στο «Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων».

«Το υλικό της παρουσίασης προέρχεται από τις πανεπιστημιακές παραδόσεις της καθηγήτριας Α. Φωτιάδη».



Το Έργο αυτό κάνει χρήση των ακόλουθων έργων:

Διαφάνεια 5: https://en.wikipedia.org/wiki/Water_cycle

Διαφάνεια 14: <https://en.wikipedia.org/wiki/Evapotranspiration>

Διαφάνεια 19: Α.Α. Φλόκας, Μαθήματα Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας, 1997

Διαφάνεια 40: Α.Α. Φλόκας, Μαθήματα Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας, 1997

