



Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος
Πολυτεχνική Σχολή
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ

Σημειώσεις μαθήματος **ENE2310: Τεχνική Υδρολογία**

Διάλεξη 8
13/05/2022

Βασιλική Συγγούνα
Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος
Πανεπιστήμιο Πατρών

Μοναδιαίο Υδρογράφημα (ΜΥΓ, Unit hydrograph)

Προσδιορισμός ΜΥΓ από άλλο ΜΥΓ

Όταν έχουμε προσδιορίσει το ΜΥΓ για συγκεκριμένη διάρκεια, μπορούμε να το χρησιμοποιήσουμε για να προσδιορίσουμε άλλα ΜΥΓ μεγαλύτερης ή μικρότερης διάρκειας, λαμβάνοντας υπόψη ότι η λεκάνη απορροής αποτελεί ένα γραμμικό σύστημα.

1) Προσδιορισμός ΜΥΓ – $n \cdot t_R$ από ΜΥΓ – t_R

Όταν η διάρκεια t_R' του ζητούμενου ΜΥΓ είναι ακέραιο πολλαπλάσιο της διάρκειας του δεδομένου ΜΥΓ, δηλαδή $t_R' = n \cdot t_R$, τότε η διαδικασία υπολογισμού είναι η εξής:

- Τοποθετούμε τα n ΜΥΓ το ένα δίπλα στο άλλο, αφού μεταθέσουμε το καθένα από αυτά κατά t_R ώρες σε σχέση με το αμέσως προηγούμενο.
- Προσθέτουμε τις τιμές των ΜΥΓ.
- Διαιρούμε τα αθροίσματα που προέκυψαν με το n ώστε το ύψος του περισσεύματος βροχόπτωσης να είναι 1 cm.

Μοναδιαίο Υδρογράφημα (ΜΥΓ, Unit hydrograph)

Προσδιορισμός ΜΥΓ από άλλο ΜΥΓ

II) Προσδιορισμός ΜΥΓ – t_R από ΜΥΓ – $n \cdot t_R$

Όταν η διάρκεια t_R' του ζητούμενου ΜΥΓ είναι ακέραιο υποπολλαπλάσιο της διάρκειας του δεδομένου ΜΥΓ, δηλαδή $t_R' = t_R/n$, τότε η διαδικασία υπολογισμού είναι η εξής:

- Οι τιμές u_i του άγνωστου ΜΥΓ δίνονται από τη σχέση:

$$u_i = n \cdot U_i - \sum_{j=2}^n u_{i-j+1}$$

όπου U_i οι τιμές του δεδομένου ΜΥΓ

Οι συνολικές τιμές του ζητούμενου ΜΥΓ θα είναι $I - n + 1$, όπου I είναι οι συνολικές τιμές του δεδομένου ΜΥΓ.

Π.χ. για $n = 4$ και $i = 4$ \longrightarrow
$$u_4 = 4 \cdot U_4 - \sum_{j=2}^4 u_{4-j+1} = 4 \cdot U_4 - (u_3 + u_2 + u_1)$$

Μοναδιαίο Υδρογράφημα (ΜΥΓ, Unit hydrograph)

Προσδιορισμός ΜΥΓ από άλλο ΜΥΓ

II) Προσδιορισμός ΜΥΓ – t_R από ΜΥΓ – $n \cdot t_R$

Η παραπάνω διαδικασία μπορεί να επεκταθεί για τον υπολογισμό ΜΥΓ του οποίου η διάρκεια δεν είναι ακέραιο πολλαπλάσιο ή υποπολλαπλάσιο της διάρκειας του δεδομένου ΜΥΓ.

Στην περίπτωση αυτή υπολογίζουμε πρώτα ένα ενδιάμεσο ΜΥΓ του οποίου η διάρκεια είναι ακέραιο υποπολλαπλάσιο της διάρκειας του δεδομένου ΜΥΓ, ενώ ταυτόχρονα η διάρκεια του ζητούμενου ΜΥΓ είναι ακέραιο πολλαπλάσιο της διάρκειας του ενδιάμεσου ΜΥΓ.

Παράδειγμα: Αν η διάρκεια ενός δεδομένου ΜΥΓ είναι $t_R = 3 \text{ hrs}$ και η διάρκεια του ζητούμενου ΜΥΓ είναι $t_R' = 5 \text{ hrs}$, τότε υπολογίζουμε πρώτα ένα ΜΥΓ με διάρκεια υποτριπλάσια αυτής του δεδομένου ($t_R'' = 1 \text{ hr}$), και έπειτα με πρόσθεση 5 ΜΥΓ-1hr προκύπτει το ζητούμενο.

ΜΥΓ - 3 hrs \longrightarrow ΜΥΓ - 1 hr \longrightarrow ΜΥΓ - 5 hrs

Μοναδιαίο Υδρογράφημα (ΜΥΓ, Unit hydrograph)

Αθροιστικό Υδρογράφημα ή Υδρογράφημα S

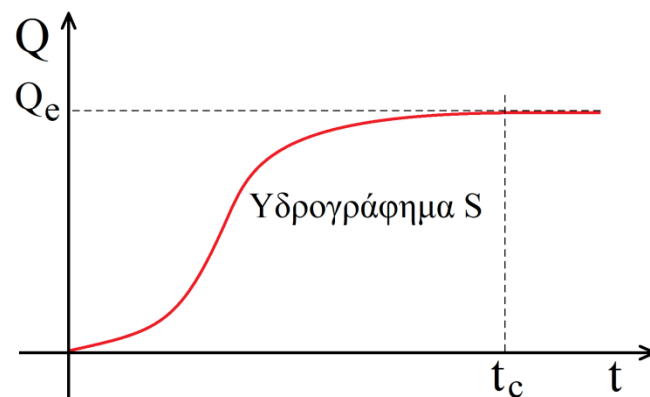
Αθροιστικό Υδρογράφημα καλείται το υδρογράφημα άμεσης απορροής το οποίο προκύπτει από βροχόπτωση ορισμένης και σταθερής έντασης, το οποίο συνεχίζει για μεγάλη διάρκεια μέχρι την επίτευξη απορροής σταθερής έντασης.

Με τη μέθοδο του Αθροιστικού Υδρογραφήματος θεωρούμε ότι αφού η βροχή είναι άθροισμα επιμέρους βροχών διάρκειας t_R , τότε και το υδρογράφημα μπορεί να θεωρηθεί ως άθροισμα των επιμέρους ΜΥΓ- t_R .

Ο όρος **αθροιστικό** αφορά στην διαδοχική πρόσθεση μοναδιαίων ΜΥΓ- t_R για τον προσδιορισμό του υδρογραφήματος, με χρονική μετατόπιση καθενός από αυτά κατά t_R ώρες ως προς το προηγούμενο.

Η τιμή της παροχής ισορροπίας μετά από χρόνο t_c από την έναρξη της βροχής είναι:

$$Q_e = \frac{A_d}{0,36 \cdot t_R}$$



Μοναδιαίο Υδρογράφημα (ΜΥΓ, Unit hydrograph)

Συνθετικό Μοναδιαίο Υδρογράφημα, Μέθοδος Snyder

Στην περίπτωση έλλειψης μετρήσεων απορροής για μία λεκάνη, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τα γεωμετρικά και υδρολογικά χαρακτηριστικά της λεκάνης για τον προσδιορισμό του ΜΥΓ.

Το υδρογράφημα το οποίο προκύπτει από αυτή τη μέθοδο ονομάζεται **Συνθετικό Υδρογράφημα**.

Υπάρχουν αρκετές μέθοδοι υπολογισμού του Συνθετικού Υδρογραφήματος. Μία από τις πιο γνωστές είναι η μέθοδος **Snyder**.

Η μέθοδος **Snyder** προσεγγίζει το ΜΥΓ σαν ένα τρίγωνο, γνωρίζοντας τη χρονική βάση T , τη χρονική επιβράδυνση t_L και την παροχή αιχμής Q_{max} .

Χρονική επιβράδυνση είναι η χρονική απόσταση από το μέσο της βροχής μέχρι την κορυφή του υδρογραφήματος, δηλαδή τη χρονική στιγμή της παροχής αιχμής.

Μοναδιαίο Υδρογράφημα (ΜΥΓ, Unit hydrograph)

Συνθετικό Μοναδιαίο Υδρογράφημα, Μέθοδος Snyder

Η μέθοδος **Snyder** προσεγγίζει το ΜΥΓ σαν ένα τρίγωνο, γνωρίζοντας δεδομένα όπως η διάρκεια βροχής t_R , η χρονική επιβράδυνση t_L , η παροχή αιχμής Q_{\max} και η χρονική βάση T .

Χρονική επιβράδυνση είναι η απόσταση από το μέσο της βροχής μέχρι την κορυφή του υδρογραφήματος.

$$t_L = 0,752 \cdot C_t \cdot (L \cdot L_c)^{0,3}$$

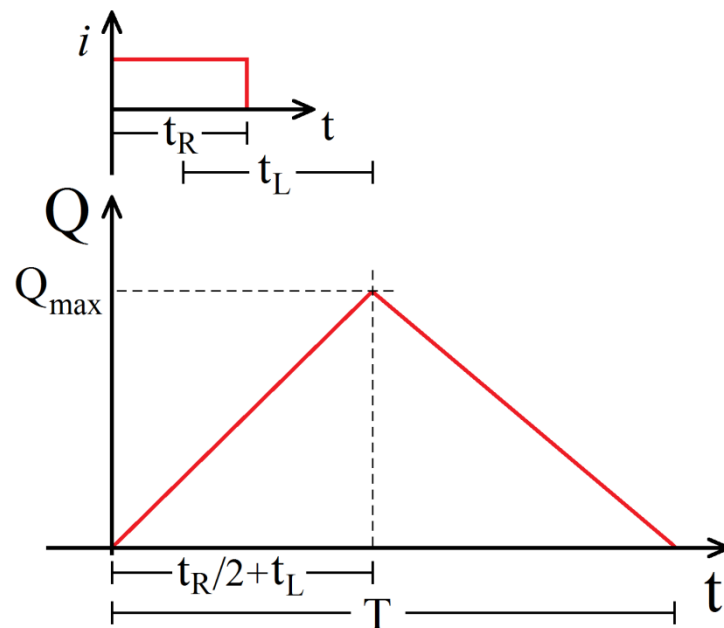
όπου:

t_L : Η χρονική επιβράδυνση (hr).

L : Η απόσταση από την έξοδο της λεκάνης μέχρι το γεωμετρικά πιο απόμακρο σημείο της, και μετρημένη κατά μήκος του κύριου ρεύματος.

L_c : Η απόσταση του κέντρου βάρους της λεκάνης από την έξοδο, και μετρημένη κατά μήκος του κύριου ρεύματος.

C_t : Συντελεστής (1,8 - 2,2) ανάλογα με την κλίση της λεκάνης.



Μοναδιαίο Υδρογράφημα (ΜΥΓ, Unit hydrograph)

Συνθετικό Μοναδιαίο Υδρογράφημα, Μέθοδος Snyder

Η παροχή αιχμής Q_{\max} και η χρονική βάση T (days) δίνονται από τις σχέσεις:

$$Q_{\max} = 2,278 \cdot \frac{C_p \cdot A_d}{t_L}$$

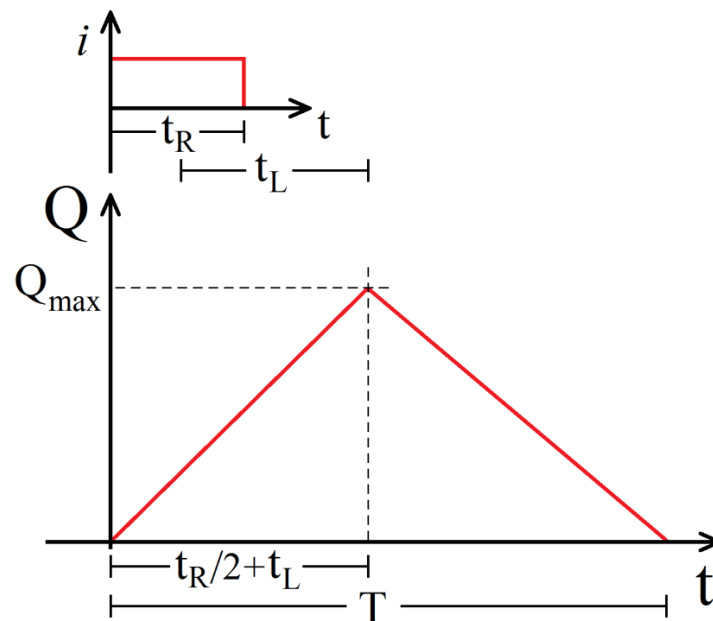
$$T = 3 + \frac{t_L}{8}$$

όπου C_p συντελεστής (0,65 - 0,69) ανάλογα με την ικανότητα αποθήκευσης της λεκάνης

Για μικρές λεκάνες η τιμή του T που προκύπτει από την παραπάνω σχέση είναι πολύ μεγάλη. Στις περιπτώσεις αυτές πρέπει να λαμβάνεται τιμή ίση με 3-5 φορές την τιμή του t_L

Η χρονική επιβράδυνση t_L αντιστοιχεί σε τυπική βροχόπτωση διάρκειας t_r (hr) η οποία δίνεται από τη σχέση:

$$t_r = t_L / 5,5$$



Απώλειες Βροχής

Απώλειες βροχής είναι το νερό που απαιτείται για τις διαδικασίες της εξάτμισης, της κατείσδυσης (διήθησης) και της συγκράτησης από τη βλάστηση αλλά και από τις κοιλότητες του εδάφους.

Η διαφορά μεταξύ του συνολικού ύψους βροχόπτωσης και του ύψους απωλειών ονομάζεται **περίσσευμα βροχόπτωσης** ή **καθαρό ύψος βροχής** και είναι αυτό που μετατρέπεται σε άμεση απορροή.

Αφού η άμεση απορροή αποτελεί το κύριο τμήμα μιας πλημμυρικής απορροής, είναι αντιληπτό πόσο μεγάλη σημασία έχει η ακριβής εκτίμηση των απωλειών βροχής.

Για την εκτίμηση των απωλειών βροχής έχουν αναπτυχθεί αρκετές μέθοδοι:

- Η μέθοδος **Horton**
- Η μέθοδος του **Δείκτη φ**
- Η μέθοδος της **Soil Conservation Service (SCS)**

Απώλειες Βροχής

Η μέθοδος Horton

Στην περίπτωση που όλες οι απώλειες εκτός της κατείσδυσης έχουν υπολογιστεί ή είναι αμελητέες, τότε μένει μόνο ο υπολογισμός της κατείσδυσης (διήθησης).

Για τη **διηθητικότητα** του εδάφους έχουν διατυπωθεί αρκετές σχέσεις, στις οποίες η ταχύτητα κατείσδυσης παρουσιάζεται ως εκθετική συνάρτηση του χρόνου. Μία από αυτές είναι η συνάρτηση **Horton**:

$$f(t) = f_c + (f_0 - f_c) \cdot e^{-kt}$$

όπου:

$f(t)$: Η διηθητικότητα του εδάφους (cm/hr) τη χρονική στιγμή t (hr)

f_0 : Η αρχική τιμή της διηθητικότητας (cm/hr) τη χρονική στιγμή $t = 0$ (hr)

f_c : Η τελική τιμή της διηθητικότητας (cm/hr) τη χρονική στιγμή $t \rightarrow \infty$

k : Σταθερά (hr^{-1}) η οποία προσδιορίζεται πειραματικά και εξαρτάται από το είδος και της συνθήκες του εδάφους και της βλάστησης

Απώλειες Βροχής

Η μέθοδος του Δείκτη φ

Στις λεκάνες απορροής στις οποίες γίνονται μετρήσεις και καταγραφή της απορροής, τότε ο συνολικός όγκος απωλειών μίας βροχόπτωσης μπορεί να προσδιοριστεί από το υδρογράφημα της αντίστοιχης απορροής.

Μετά από διαχωρισμό της βασικής από την άμεση απορροή, υπολογίζουμε τον όγκο της άμεσης απορροής.

Η διαφορά του όγκου της άμεσης απορροής από το συνολικό όγκο βροχόπτωσης είναι ο συνολικός όγκος απωλειών.

Μετά από αναγωγή σε ισοδύναμο ύψος απωλειών (cm) και μετά από διαίρεση με τη διάρκεια βροχόπτωσης, προκύπτει η ανά μονάδα χρόνου μέση απώλεια βροχής, ή αλλιώς ο **Δείκτης φ** .

$$\varphi = \frac{h_L}{t_R}$$

όπου: h_L οι απώλειες βροχής (cm)
 t_R η διάρκεια βροχόπτωσης (hr)

Απώλειες Βροχής

Η μέθοδος της Soil Conservation Service (SCS)

Για τον προσδιορισμό των απωλειών βροχής, η Υπηρεσία Συντηρήσεως Εδαφών των ΗΠΑ ανέπτυξε μία εμπειρική μέθοδο εκτίμησης της απορροής η οποία εξαρτάται από τρεις μεταβλητές:

- Το ύψος βροχόπτωσης
- Την αρχική κατάσταση υγρασίας του εδάφους
- Τον συνδυασμό εδάφους – φυτοκάλυψης

Η **κατάσταση υγρασίας** του εδάφους καθορίζεται από το ύψος βροχής κατά το διάστημα των τελευταίων 5 ημερών.

Με την έννοια «**συνδυασμός εδάφους - φυτοκάλυψης**» εννοείται ο συνδυασμός μίας ειδικής κατηγορίας εδάφους και μίας ειδικής κατηγορίας φυτοκάλυψης. Ο συνδυασμός αυτός μπορεί να χαρακτηριστεί υδρολογικά σαν ένας δείκτης για την εκτίμηση της απορροής από μία λεκάνη.

Τεχνική Υδρολογία

Βιβλιογραφία

- Τεχνική Υδρολογία, Σακκάς Ι.Γ., Τόμος 1, Υδρολογία Επιφανειακών Υδάτων, Εκδόσεις Αϊβάζης, 2007.
- Τεχνική Υδρολογία, Μιμίκου Μ.Α., Μπαλτάς Ε.Α. 6^η έκδοση, Εκδόσεις Παπασωτηρίου, 2018.
- Υδατικοί Πόροι II: Εφαρμογές Τεχνικής Υδρολογίας, Τσακίρης Γ., Βαγγέλης Χ. Εκδόσεις Συμμετρία, 2009.