



ΔΗΜΟΚΡΕΤΕΙΟ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΡΑΚΗΣ

Πολυτεχνική Σχολή
Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών
Εργαστήριο Υδρολογίας και Υδραυλικών Έργων

Μάθημα: ΥΔΡΟΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗ

11^η Διάλεξη : Μοντελοποίηση μοναδιαίου υδρογραφήματος

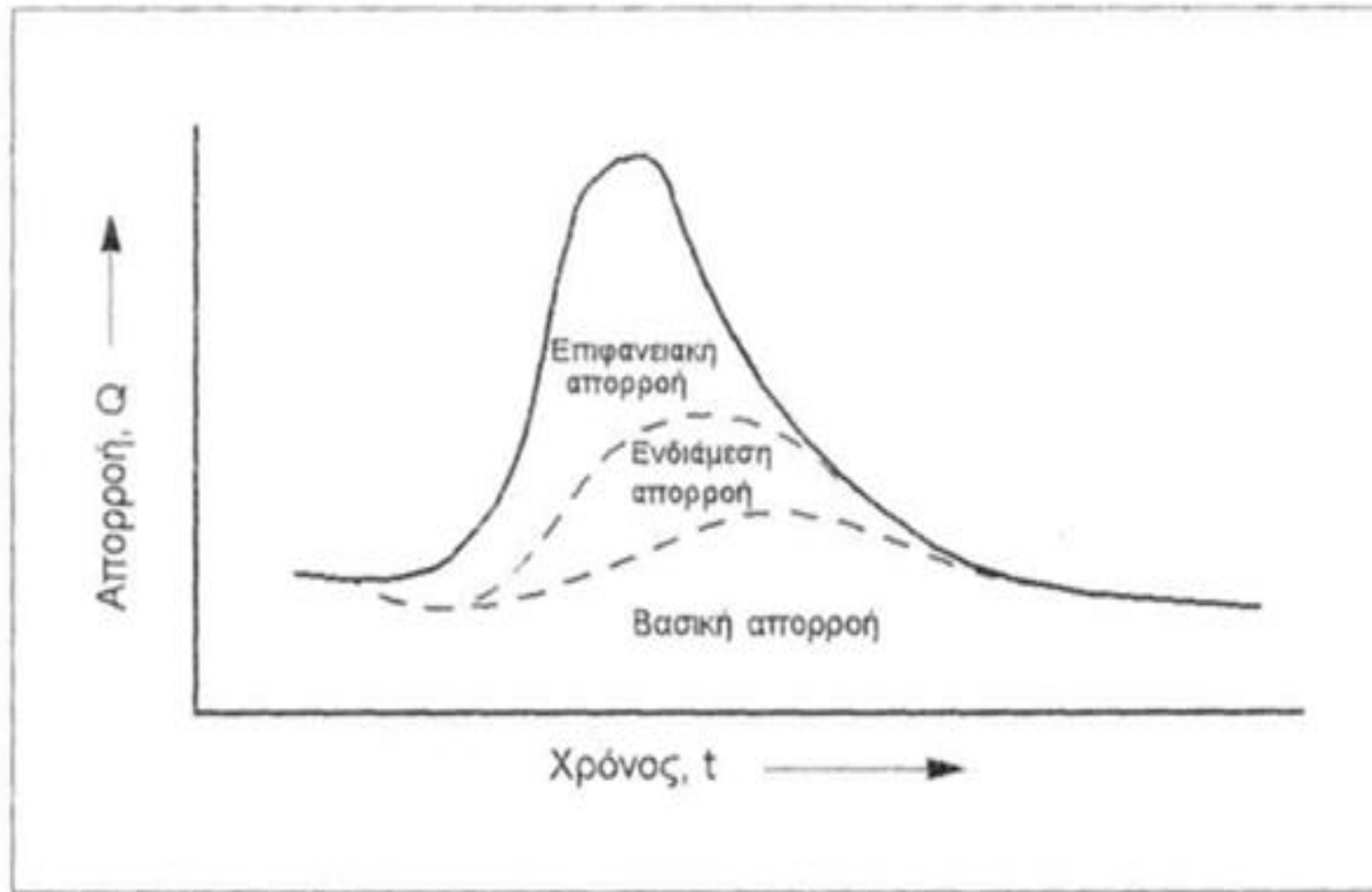
Φώτιος Π. Μάρης, Καθηγητής Δ.Π.Θ.

Πηγή:
Τίτλος Συγγράμματος: ΥΔΡΟΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗ
Φ.Μάρης, Σπ.Παπαρρίζος, Γ.Καράτζιος
Εκδόσεις: ΔΙΣΙΓΜΑ

➤ Εισαγωγή

- Ως **παροχή υδατορεύματος** σε μία συγκεκριμένη θέση, ορίζεται η μεταβολή της ποσότητας του νερού στη μονάδα του χρόνου και μετριέται σε m^3/sec .
- Η μεταβολή της παροχής ενός ρεύματος (που είναι προϊόν της απορροής της υδρολογικής λεκάνης του) σε σχέση με το χρόνο αποτελεί το **υδρογράφημα**.
- Οι **βασικές συνιστώσες** (μέρη) ενός υδρογραφήματος είναι η επιφανειακή απορροή, η ενδιάμεση απορροή και η βασική απορροή.
- Στο Σχήμα 1 φαίνονται οι τρεις βασικές συνιστώσες που συνθέτουν ένα τυπικό υδρογράφημα. Η συνιστώσα της επιφανειακής απορροής περιλαμβάνει το νερό που ρέει πάνω στην επιφάνεια του εδάφους.
- Η συνιστώσα της ενδιάμεσης απορροής περιλαμβάνει το νερό που κινείται πλευρικά κάτω από την επιφάνεια του εδάφους στην ακόρεστη ζώνη και εκδηλώνεται μετά κάποια απόσταση πάλι στην επιφάνεια ή απευθείας στην κοίτη του ρεύματος.

➤ Εισαγωγή

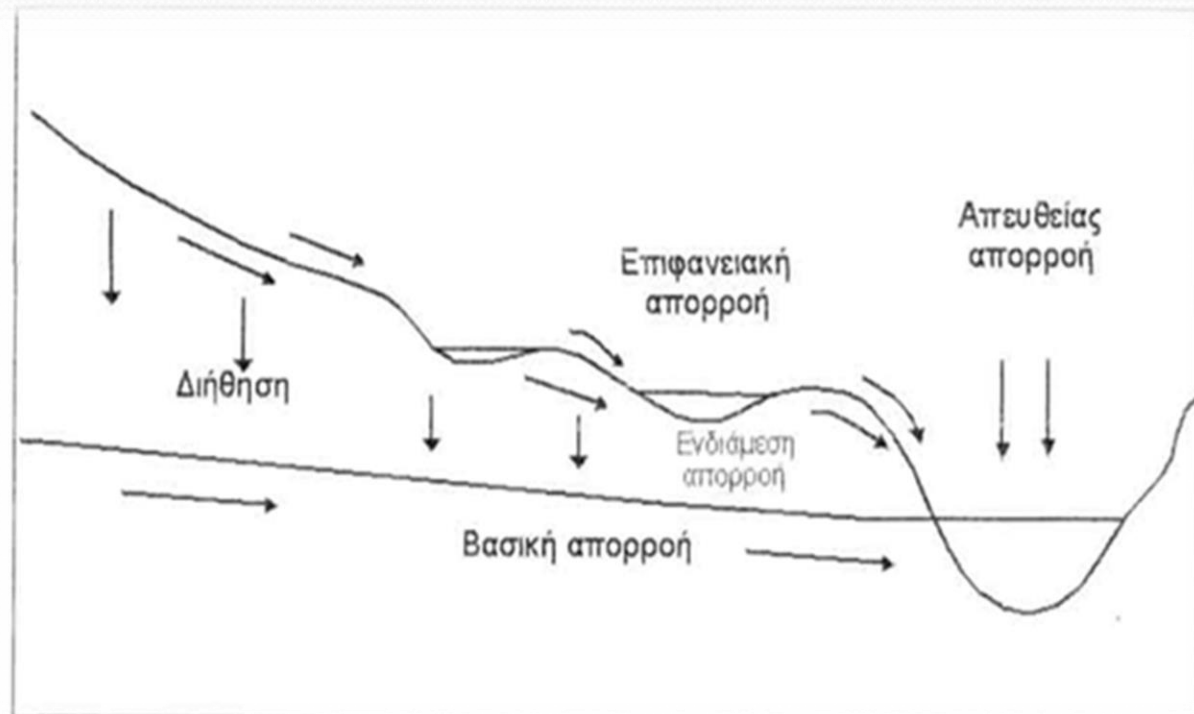


Σχήμα 1: Οι τρεις βασικές συνιστώσες της απορροής που συνθέτουν ένα υδρογράφημα

➤ Εισαγωγή

- Η συνιστώσα της βασικής απορροής περιλαμβάνει το νερό που προέρχεται από υπόγεια ροή απ' την κορεσμένη ζώνη.
- Η συνιστώσα της ενδιάμεσης απορροής και της επιφανειακής απαρτίζουν την άμεση απορροή.
- Το απλό σκαρίφημα που δίνεται στο σχήμα 2 δείχνει τους παράγοντες που διαμορφώνουν την παροχή ενός ρεύματος.

Σχήμα 2: Σκαρίφημα που δείχνει τους παράγοντες που διαμορφώνουν την παροχή του ρεύματος



➤ Εισαγωγή

- Στο **μοναδιαίο υδρογράφημα** το ύψος της απορροής ισούται με τη **μονάδα**.
- Διαιρώντας, δηλαδή, τον όγκο της απορροής με το εμβαδόν της υδρολογικής λεκάνης στην οποία αναφέρεται, το ύψος της απορροής θα είναι ίσο με ένα.
- Ιδιαίτερα σημαντικό σχετικά με το μοναδιαίο υδρογράφημα είναι ότι παρέχει τη δυνατότητα παραγωγής του υδρογραφήματος της πλημμύρας σχεδιασμού.
- Στο **στιγμιαίο μοναδιαίο υδρογράφημα** η επίδραση του χρόνου αγνοείται (διάρκεια = 0 h) και κατασκευάζεται ένα μοναδικό μοναδιαίο υδρογράφημα για τη δοθείσα υδρολογική λεκάνη.
- Το πλεονέκτημα της χρήσης των στιγμιαίων μοναδιαίων υδρογραφημάτων έναντι των μοναδιαίων υδρογραφημάτων είναι ότι συνδέονται μόνο με την ενεργό βροχόπτωση.

➤ Εισαγωγή

- Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο, για την κατασκευή του στιγμιαίου μοναδιαίου υδρογραφήματος γίνεται εφαρμογή της μεθόδου του **Clark** (Clark 1945), ένα από τα κύρια πλεονεκτήματα της οποίας είναι η δυνατότητα χρησιμοποίησής της στα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών.
- Η μεθοδολογία του Clark απαιτεί την εκτίμηση τριών βασικών παραγόντων.
- Ο πρώτος είναι ο χρόνος συγκέντρωσης (T_c), που αντιπροσωπεύει το χρόνο που χρειάζεται για να φτάσει η ροή από το πιο απομακρυσμένο σημείο λεκάνης απορροής στην έξοδο αυτής.
- Για τον υπολογισμό του χρόνου αυτού χρησιμοποιήθηκε η εξίσωση καθυστέρησης (lag equation) της Soil Conservation Service (SCS), η οποία απαιτεί το μήκος του κύριου ποταμού, την κλίση της λεκάνης απορροής και τη μέση τιμή του αριθμού καμπύλης της λεκάνης.
- Οι συγκεκριμένοι παράγοντες μπορούν να υπολογιστούν γρήγορα και αξιόπιστα με τη χρήση των Γ.Σ.Π.

➤ Εισαγωγή

- Η επόμενη παράμετρος που πρέπει να καθοριστεί είναι ο συντελεστής εναποθήκευσης R , ο οποίος και αντικατοπτρίζει το φαινόμενο συγκράτησης της βροχόπτωσης από το υδρογραφικό δίκτυο.
- Ο υπολογισμός του έγινε γραφικά από ένα παρατηρημένο πλημμυρογράφημα της λεκάνης και χρησιμοποιήθηκε στη διαδικασία της γραμμικής διόδευσης.
- Η τελευταία παράμετρος, το ιστόγραμμα χρόνου-εμβαδού της λεκάνης, αναπαριστά το εμβαδό της λεκάνης που συμβάλλει στην ροή στην έξοδο της λεκάνης, σε οποιαδήποτε δεδομένη στιγμή, μετά την εφαρμογή σε αυτή μιας μονάδας βροχόπτωσης.
- Επιπλέον, το ιστόγραμμα αναπαριστά το σχήμα και τις ιδιότητες διόδευσης της λεκάνης απορροής.

➤ Εισαγωγή

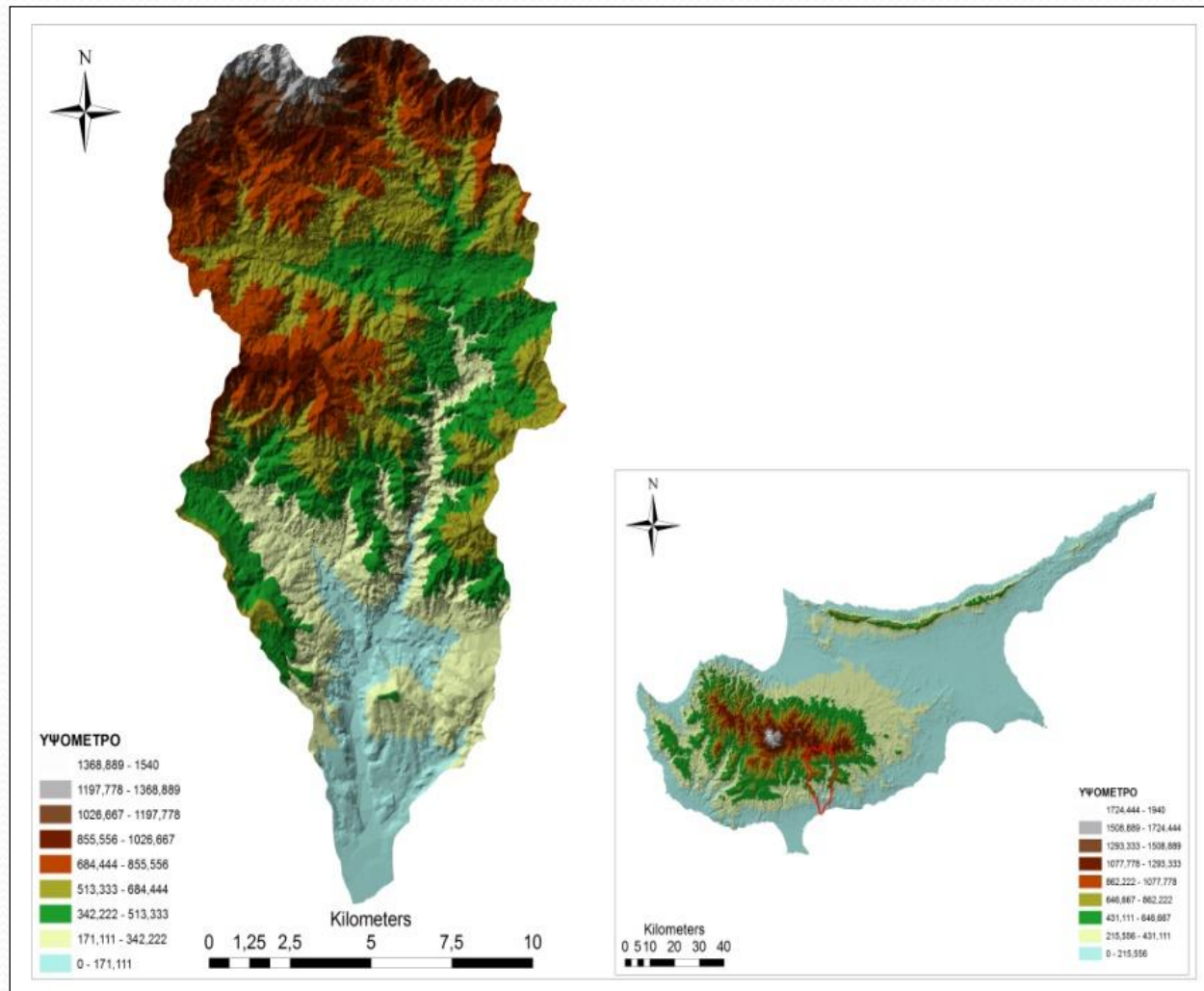
- Για τη σύνθεσή του κατασκευάστηκε το ψηφιακό μοντέλο εδάφους σε μορφή καννάβου και με ανάλυση 10x10m στο κάθε του κελί.
- Στη συνέχεια, στο ιστόγραμμα το ύψος βροχόπτωσης θεωρήθηκε ίσο με 1mm και δημιουργήθηκε ένα ενδιάμεσο στιγμιαίο μοναδιαίο υδρογράφημα.
- Με τη μεθοδολογία της γραμμικής διόδευσης ταμειυτήρα προέκυψε το τελικό στιγμιαίο μοναδιαίο υδρογράφημα, το οποίο παράχθηκε ως αποτέλεσμα μιας μονάδας βροχόπτωσης που σημειώθηκε σε ένα απείρως μικρό χρονικό διάστημα πάνω από την λεκάνη.
- Εφόσον η διάρκεια της βροχόπτωσης τείνει στο μηδέν, το σχήμα του υδρογραφήματος εξαρτάται μόνο από τα χαρακτηριστικά της λεκάνης.

➤ Παράδειγμα εφαρμογής μεθόδου Clark

➤ Περιοχή μελέτης

- Η λεκάνη απορροής της Γερμασόγειας βρίσκεται στην Κύπρο, βορειανατολικά της Λεμεσού.
- Καταλαμβάνει έκταση 178 km^2 και το μήκος του κύριου υδατορέματος είναι περίπου 37 km . Το μέσο υψόμετρο της λεκάνης απορροής είναι $575,18 \text{ m}$, ενώ το μέγιστο υψόμετρο αγγίζει τα 1400 m .
- Ο ετήσιος μέσος όρος κατακρήμνισης είναι 638 mm , ενώ ο μέσος ετήσιος απορροϊκός όγκος είναι $22,5 \cdot 10^6 \text{ m}^3$.
- Η μέση ετήσια παροχή συναντάται στα $0,42 \text{ m}^3/\text{sec}$.
- Τέλος σημαντική χαρακτηρίζεται η εδαφοκάλυψη αφού το $57,7 \%$ καλύπτεται από δάση, το $33,75$ από θάμνους, ενώ οι καλλιέργειες, οι αστικές περιοχές και οι περιοχές χωρίς σημαντική βλάστηση περιορίζονται στο $8,6\%$.

➤ Παράδειγμα εφαρμογής μεθόδου Clark



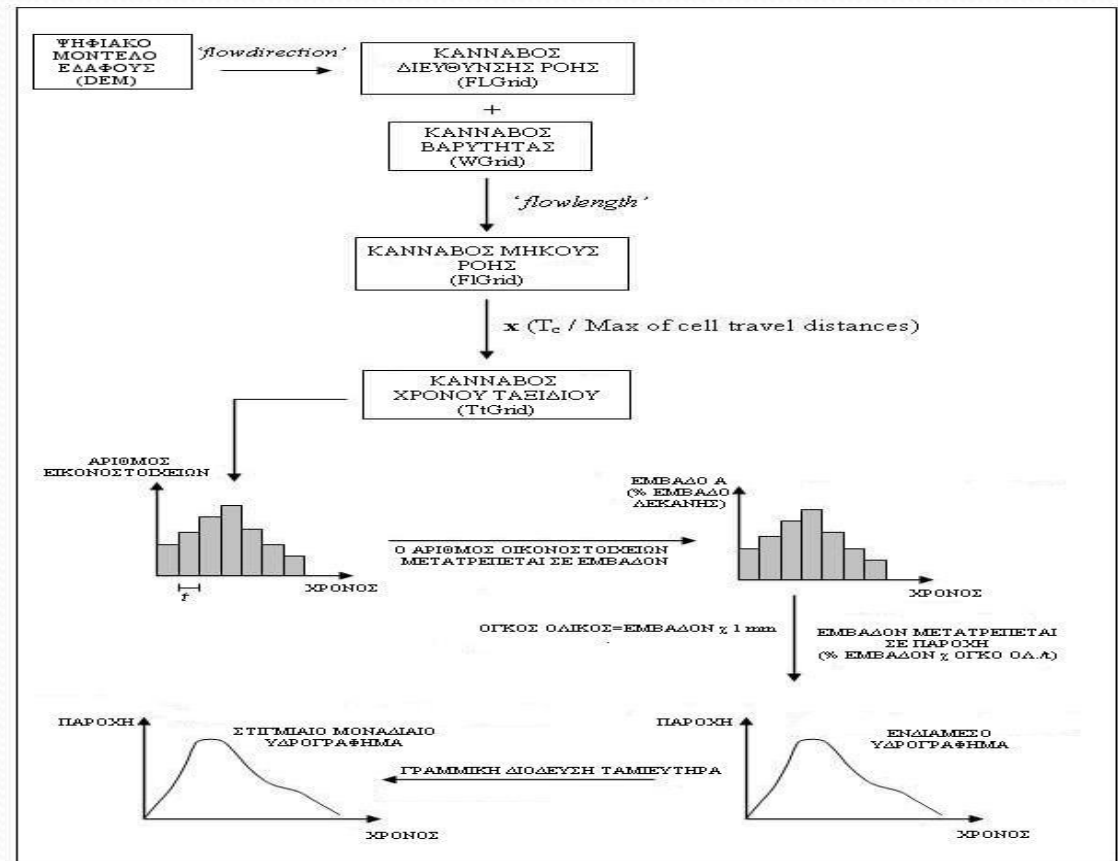
Σχήμα 3: Περιοχή μελέτης

➤ Παράδειγμα εφαρμογής μεθόδου Clark

➤ Μεθοδολογία

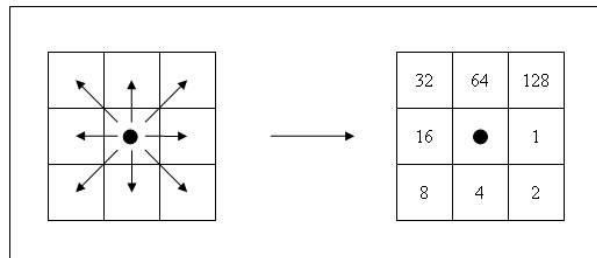
- Η ροή της εργασίας εμφανίζεται στο παρακάτω σχήμα:

Σχήμα 4: Ροή της εργασίας



➤ Παράδειγμα εφαρμογής μεθόδου Clark

- Για τη κατασκευή του ψηφιακού μοντέλου εδάφους χρησιμοποιήθηκαν οι ισοϋψείς ισοδιάστασης 20m και έπειτα έλαβε χώρα η μετατροπή του σε κανναβικό αρχείο ανάλυσης 10x10 m.
- Για τον υπολογισμό του καννάβου διεύθυνσης ροής (Flowdirection: FdGrid) έγινε χρήση της εργαλειοθήκης Hydrology του ArcGIS και της εντολής Flow Direction.
- Σε ένα τετραγωνικό περιβάλλον πλέγματος, κάθε φατνίο πλέγματος περιβάλλεται από οκτώ φατνία.
- Η κατεύθυνση της ροής από ένα φατνίο μπορεί να αναπαρασταθεί με έναν αριθμό που αντιπροσωπεύει μια από τις οκτώ κατευθύνσεις όπως παρουσιάζεται παρακάτω.



Σχήμα 5: Κάνναβος διεύθυνσης ροής

➤ Παράδειγμα εφαρμογής μεθόδου Clark

- Στην συνέχεια, δημιουργήθηκε ο κάνναβος βαρύτητας (WGrid) με χρήση της εξίσωσης:

$$WGrid = \frac{1}{VGrid}$$

Όπου:

WGrid ο κάνναβος βαρύτητας

VGrid ο κάνναβος που αντιπροσωπεύει τη ταχύτητα ροής σε κάθε κελί του

- Για τον υπολογισμό του VGrid έγινε εφαρμογή της εξίσωσης του Manning, η οποία χρησιμοποιείται συχνά στη ρευστομηχανική, ενώ οδηγεί σε αξιόλογα αποτελέσματα και στη χερσαία ροή και περιγράφεται από τον παρακάτω τύπο:

$$V = \frac{1}{n} x R^{\frac{2}{3}} x \sqrt{s}$$

Όπου:

V η ταχύτητα ροής

n ο συντελεστής τραχύτητας Manning

R η υδραυλική ακτίνα και **s**: η κλίση της λεκάνης απορροής.

➤ Παράδειγμα εφαρμογής μεθόδου Clark

- Οι παραπάνω παράγοντες εισήχθησαν με μορφή καννάβου στην εξίσωση:

$$VGrid = \frac{1}{nGrid} \times RGrid^{\frac{2}{3}} \times \sqrt{sGrid}$$

- Ο κάνναβος που αναπαριστά το συντελεστή Manning (nGrid) καθορίζεται από τις χρήσεις γης. Για τον λόγο αυτό χρησιμοποιήθηκε η βάση δεδομένων χρήσεων γης της European Environmental Agency Corine 2006 για την Κύπρο και με τη βοήθεια του παρακάτω πίνακα δόθηκαν οι κατάλληλες τιμές σε κάθε κελί.

Πίνακας 1: Τιμές συντελεστή Manning

Χρήσεις γης	Συντελεστής Manning (n)
Δάσος	0,15
Αγροτικές καλλιέργειες	0,17
Λιβάδια	0,24
Επιφάνειες νερού	0,01
Οπωροφόρα δέντρα	0,08
Οικισμοί	0,015

➤ Παράδειγμα εφαρμογής μεθόδου Clark

- Η δεύτερη παράμετρος που πρέπει να υπολογιστεί με βάση την εξίσωση του Manning είναι η υδραυλική ακτίνα.
- Για τους ανοιχτούς αγωγούς αυτή ορίζεται ως η αναλογία του εμβαδού της διαβρεχόμενης επιφάνειας προς τη διαβρεχόμενη περίμετρο.
- Στην συγκεκριμένη εφαρμογή όμως αυτό δεν ήταν εφικτό, διότι είναι απαραίτητη και η υδραυλική ακτίνα της χερσαίας ροής σε ολόκληρη τη λεκάνη.
- Για τη δημιουργία του κανναβικού αρχείου RGrid, το κάθε κελί επιβάλλεται να πάρει μια τιμή ως προς την υδραυλική ακτίνα.
- Για την χερσαία ροή, όλα τα κελιά τα οποία δε συμμετέχουν στο υδρογραφικό δίκτυο έλαβαν την τιμή 0,001 εφόσον στο μοναδιαίο υδρογράφημα η τιμή της βροχόπτωσης ισούται με 1mm.
- Για τον υπολογισμό της υδραυλικής ακτίνας των ρεμάτων υπολογίστηκε η συγκέντρωση ροής από το ψηφιακό μοντέλο εδάφους και έγινε εξαγωγή του υδρογραφικού δικτύου από τα κελιά που η συγκέντρωση ροής είναι μεγαλύτερη από 1000 .

➤ Παράδειγμα εφαρμογής μεθόδου Clark

- Έπειτα, έγινε εκτίμηση της υδραυλικής ακτίνας σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα ανάλογα με τις τιμές της συγκέντρωσης ροής.

Πίνακας 2: Τιμές υδραυλικής ακτίνας

Συγκέντρωση Ροής (DEM 10x10)	Υδραυλική Ακτίνα
<1000	0,001
1000-5000	0,04
5000-15000	0,08
15000-35000	0,12
>35000	0,25

➤ Παράδειγμα εφαρμογής μεθόδου Clark

- Επιπλέον, ο υπολογισμός της κλίσης πραγματοποιήθηκε από το ψηφιακό μοντέλο υψομετρίας, με χρήση του πρόσθετου 3D Analyst.
- Χρησιμοποιώντας το Raster Calculator και με τη βοήθεια της εξίσωσης 3, δημιουργήθηκε ο κάνναβος ταχύτητας ροής του κάθε κελιού σε ολόκληρη τη λεκάνη απορροής.
- Επόμενο βήμα ήταν ο υπολογισμός του καννάβου μήκους ροής (Flowlength: FlGrid) με χρήση της εργαλειοθήκης Hydrology του ArcGIS και της εντολής Flow Length, ο οποίος αντιπροσωπεύει την απόσταση ταξιδιού κάθε κυττάρου προς την έξοδο της λεκάνης απορροής.
- Στο σημείο αυτό θα πρέπει να σημειώσουμε ότι στην παρούσα εφαρμογή δημιουργήθηκαν δύο κάνναβοι μήκους ροής.
- Ο πρώτος παράχθηκε αποκλειστικά από το κανναβικό αρχείο της διεύθυνσης ροής.

➤ Παράδειγμα εφαρμογής μεθόδου Clark

- Στη δεύτερη περίπτωση στο κανναβικό αρχείο της διεύθυνσης ροής προστέθηκε και ο κάνναβος βαρύτητας και στη συνέχεια υπολογίστηκε το σταθμισμένο μήκος ροής.
- Ακολούθησε ο υπολογισμός του καννάβου χρόνου ταξιδιού.
- Για τη μετατροπή του καννάβου μήκους ροής σε χρόνο απαιτείται ο πολλαπλασιασμός του καννάβου μήκους ροής με το πηλίκιο του χρόνου συγκέντρωσης δια τη μέγιστη τιμή του αρχείου *FlGrid*:

$$TtGrid = \frac{Tc}{Max - of - cell - travel - lenghts} x FlGrid$$

➤ Παράδειγμα εφαρμογής μεθόδου Clark

- Ο χρόνος συγκέντρωσης (T_c) είναι ο χρόνος που απαιτείται ώστε το περίσσειμα βροχόπτωσης να ταξιδέψει από το πιο απομακρυσμένο σημείο της λεκάνης μέχρι την έξοδό της.
- Στο τέλος αυτού του χρόνου, ολόκληρη η λεκάνη θα συμβάλλει στη ροή στην έξοδό της.
- Μετά από εξέταση των διαθέσιμων παραμέτρων επιλέχθηκε η εξίσωση καθυστέρησης της Soil Conservation Service (SCS):

$$T_c = \frac{L^{0,8} \times \left(\frac{1000}{CN} - 9\right)^{0,7}}{190 \times S^{0,7}}$$

Όπου:

T_c ο χρόνος της συγκέντρωσης σε min

L η μακρύτερη πορεία ροής της λεκάνης σε feet, η οποία είναι η μέγιστη τιμή του κανναβικού αρχείου μήκους ροής

CN η μέση τιμή του αριθμού καμπύλης της λεκάνης

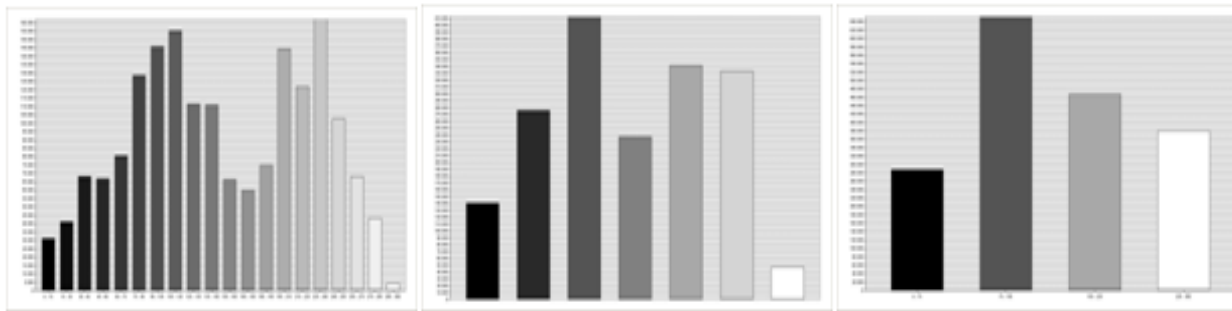
S η μέση κλίση υδροκρίτη

➤ Παράδειγμα εφαρμογής μεθόδου Clark

- Στο επόμενο στάδιο έλαβε χώρα ο υπολογισμός του χρόνου ταξιδιού από κάθε κελί του καννάβου.
- Η μέγιστη τιμή του αρχείου *FlGrid* αντιστοιχεί στο πιο απομακρυσμένο κελί της λεκάνης απορροής.
- Ο χρόνος ταξιδιού της ροής από το πιο απομακρυσμένο κελί μέχρι την έξοδο της λεκάνης μας δίνει το χρόνο συγκέντρωσης.
- Υπολογιστήκαν 2 κάρτες χρόνου ταξιδιού, ένας χωρίς τη συμμετοχή του συντελεστή βαρύτητας και ένας με το συντελεστή βαρύτητας.
- Το ιστόγραμμα χρόνος-εμβαδό της λεκάνης καθορίζεται από τον κάρτα χρόνου ταξιδιού της λεκάνης.

➤ Παράδειγμα εφαρμογής μεθόδου Clark

- Αρχικά, ιστογράμματα του καννάβου χρόνου ταξιδιού παράγονται για διαφορετικά χρονικά διαστήματα.
- Παρατηρείται ότι καθώς το χρονικό διάστημα μικραίνει το ιστόγραμμα μοιάζει με τα σύνθετα υδρογραφήματα, και καθώς αυξάνεται η μορφή του μοιάζει κατά προσέγγιση με ένα μοναδιαίο υδρογράφημα αιχμής.
- Ο στόχος είναι μετά από διάφορες τιμές διαστήματος να καθοριστεί μια μορφή ιστογράμματος που να προσεγγίζει ένα μοναδιαίο υδρογράφημα αιχμής με το μικρότερο δυνατό χρονικό διάστημα.



Σχήμα 6: Ιστογράμματα χρόνου-εμβαδού για 15, 45 και 75 min

➤ Παράδειγμα εφαρμογής μεθόδου Clark

- Το στιγμιαίο μοναδιαίο υδρογράφημα της λεκάνης θα παραχθεί εάν το επιλεγμένο χρονικό διάστημα είναι απείρως μικρό.
- Ουσιαστικά, είναι αδύνατο να δημιουργηθεί το ιστόγραμμα χρόνου ταξιδιού με απείρως μικρό χρονικό διάστημα.
- Έτσι, για να εφαρμοστεί η τεχνική Clark επιλέγεται το μικρότερο πιθανό χρονικό διάστημα.
- Το ιστόγραμμα χρόνου ταξιδιού έχει τις χρονικές τιμές στον άξονα των τετμημένων και τον αριθμό φατνίων στον άξονα των τεταγμένων.
- Το ιστόγραμμα χρόνος-εμβαδό της λεκάνης προκύπτει από το ιστόγραμμα χρόνου ταξιδιού με τη μετατροπή του αριθμού φατνίων σε εμβαδό (π.χ. 100 m^2 για το πλέγμα $10 \times 10 \text{ m}$).

➤ Παράδειγμα εφαρμογής μεθόδου Clark

- Στη συνέχεια, το μοναδιαίο περίσσειμα βροχόπτωσης κατανέμεται ομοιόμορφα σε ολόκληρη λεκάνη και αυτή η βροχόπτωση μεταβιβάζεται στην έξοδο της λεκάνης από ένα υδρογράφημα.
- Όπως προαναφέρθηκε, το ιστόγραμμα χρόνος-εμβαδό αντιπροσωπεύει το ποσοστό του εμβαδού της λεκάνης που συμβάλλει στη ροή στην έξοδο σε κάθε χρονικό διάστημα.
- Μετά από τη στιγμιαία εφαρμογή της μοναδιαίας βροχόπτωσης, ο συνολικός όγκος του ύδατος που θα παρατηρηθεί στην έξοδο της λεκάνης καθορίζεται με τον πολλαπλασιασμό του εμβαδού της λεκάνης (178 km^2) με το ύψος της βροχόπτωσης (1 mm).
- Οι όγκοι μετατρέπονται έπειτα σε απορροές για τα αντίστοιχα χρονικά διαστήματα και με τη χάραξη αυτών των τιμών στις μέσες τιμές των χρονικών διαστημάτων καθορίζεται το ενδιάμεσο υδρογράφημα.
- Στο σημείο αυτό θα πρέπει να τονιστεί ότι το ενδιάμεσο υδρογράφημα δε λαμβάνει υπόψη το φαινόμενο της αποθήκευσης ενός ποσοστού των κατακρημνισμάτων στο υδρογραφικό δίκτυο.

➤ Παράδειγμα εφαρμογής μεθόδου Clark

- Επομένως, για τον υπολογισμό του τελικού υδρογραφήματος επιλέξαμε να χρησιμοποιήσουμε τη μέθοδο της γραμμικής διόδευσης ταμιευτήρα, όπως περιγράφεται στη παρακάτω εξίσωση:

$$Q(t) = \frac{\Delta t}{R + 0,5\Delta t} I(t) + \left(1 - \frac{\Delta t}{R + 0,5\Delta t}\right) Q(t-1)$$

Όπου:

Q(t) το στιγμιαίο μοναδιαίο υδρογράφημα

Δt το επιλεγμένο χρονικό διάστημα

R ο συντελεστής εναποθήκευσης

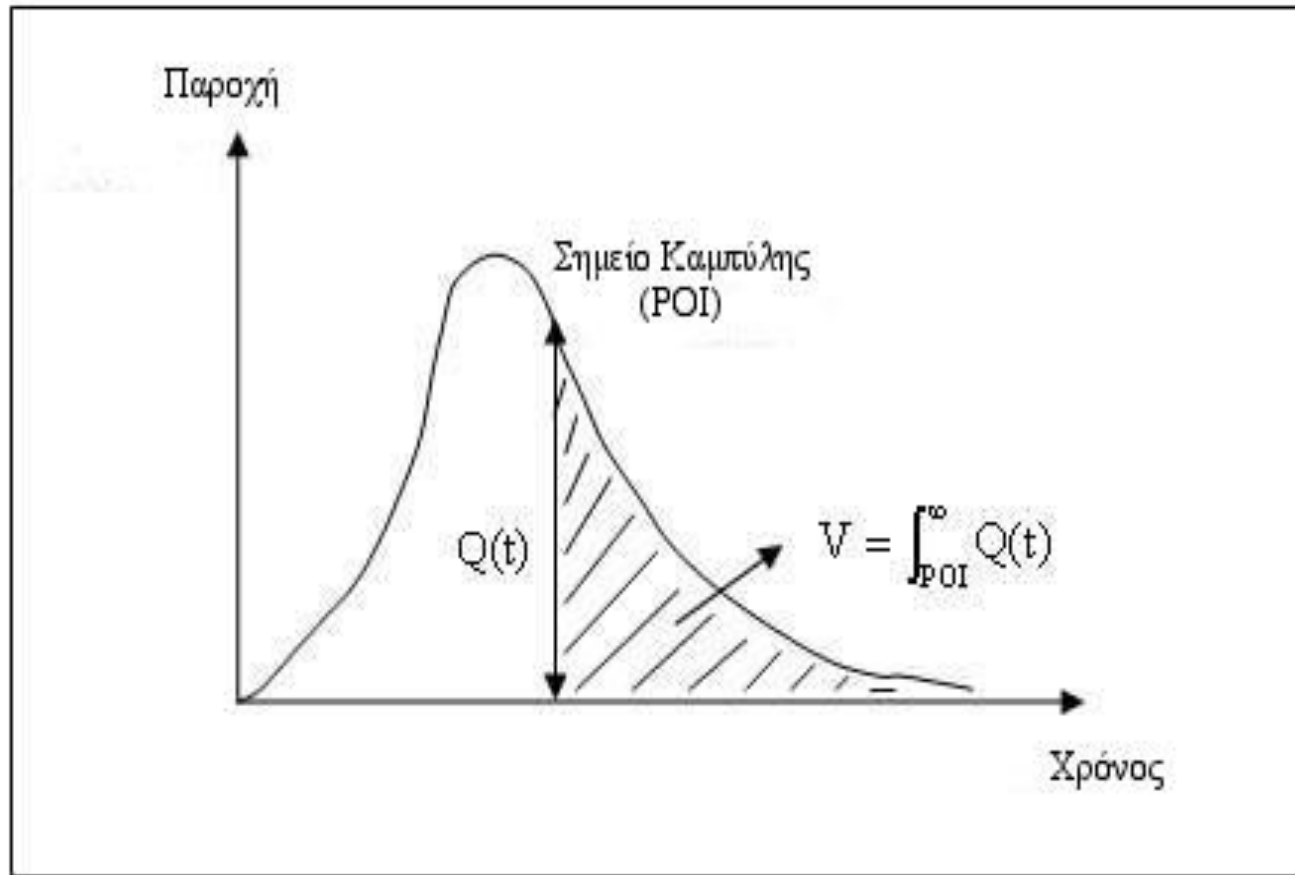
I(t) το ενδιάμεσο υδρογράφημα.

- Ο συντελεστής R ορίζεται ως η αναλογία του όγκου από το δεύτερο σημείο της καμπύλης προς τη τιμή της παροχής στο ίδιο σημείο:

$$R = \frac{\int_{POI}^{\infty} Q(t)}{Q_{POI}}$$

➤ Παράδειγμα εφαρμογής μεθόδου Clark

- Ο συντελεστής R υπολογίζεται γραφικά όπως περιγράφεται στο παρακάτω σχήμα 7:



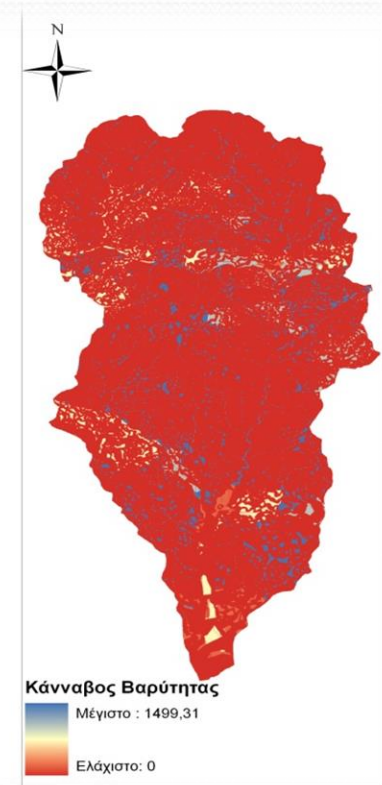
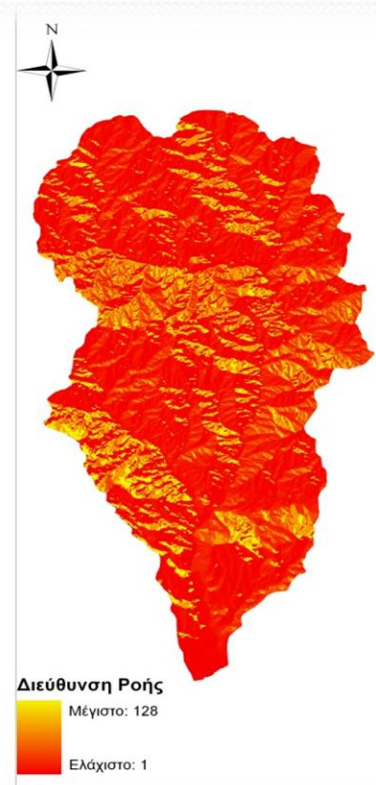
Σχήμα 7: Υπολογισμός του συντελεστή εναποθήκευσης (R)

➤ Παράδειγμα εφαρμογής μεθόδου Clark

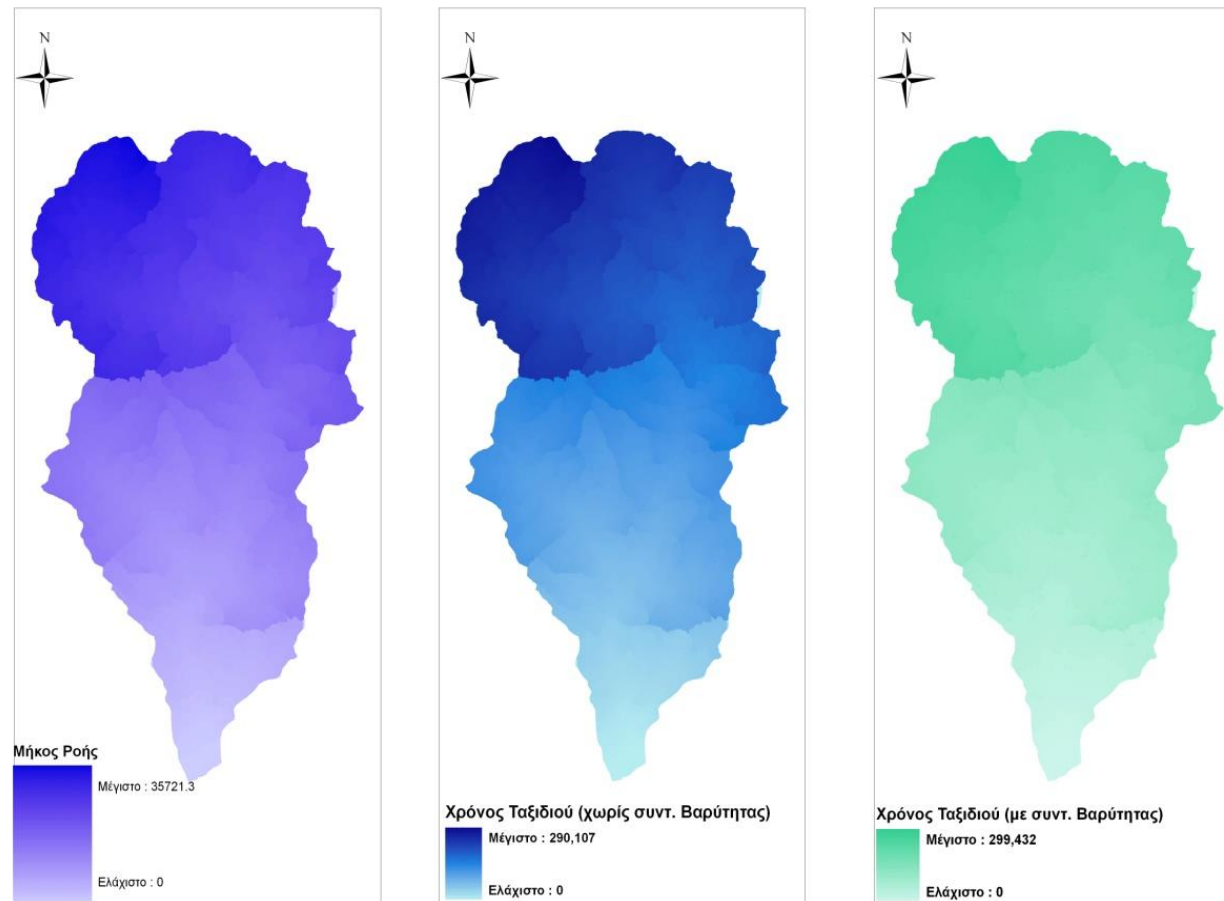
➤ Αποτελέσματα

- Τα απαραίτητα κανναβικά αρχεία για την υπολογισμού του στιγμιαίου μοναδιαίου υδρογραφήματος δημιουργήθηκαν με χρήση του ArcGIS και παρουσιάζονται στα σχήματα παρακάτω:

Σχήμα 8: Τα κανναβικά αρχεία Υψομέτρου, Διεύθυνσης Ροής και Βαρύτητας



➤ Παράδειγμα εφαρμογής μεθόδου Clark



Σχήμα 9: Τα κανναβικά αρχεία Μήκους Ροής, Χρόνου Ταξιδιού χωρίς συντελεστή βαρύτητας και Χρόνου Ταξιδιού με συντελεστή βαρύτητας

➤ Παράδειγμα εφαρμογής μεθόδου Clark

- Για τον υπολογισμό του χρόνου ταξιδιού ήταν επιβεβλημένος ο υπολογισμός του χρόνου συγκέντρωσης:

$$T_c = \frac{L^{0,8} \times \left(\frac{1000}{CN} - 9\right)^{0,7}}{190 \times S^{0,7}}$$

- Ο συντελεστής **C** υπολογίστηκε ίσος με 73,12, το μήκος της μεγαλύτερης ροής **L** ίσο με 35721,3m (117195,86 feet), ενώ η μέση κλίση της λεκάνης απορροής ισούται με 36,81%.
- Από τα παραπάνω εκτιμήθηκε ότι ο χρόνος συγκέντρωσης αντιστοιχεί σε 290,1min. Στη συνέχεια, υπολογίστηκε ο χρόνος ταξιδιού σε 290,1min στην περίπτωση που δεν λαμβάνεται υπόψη ο συντελεστής βαρύτητας, ενώ στην αντίθετη περίπτωση η τιμή του χρόνου ταξιδιού είναι 299,4min.
- Για τον καθορισμό του χρονικού διαστήματος χρησιμοποιήθηκε το ιστόγραμμα χρόνου-εμβαδού του σχήματος 4 και μετά από δοκιμές καταλήξαμε στην τιμή των 75 min.

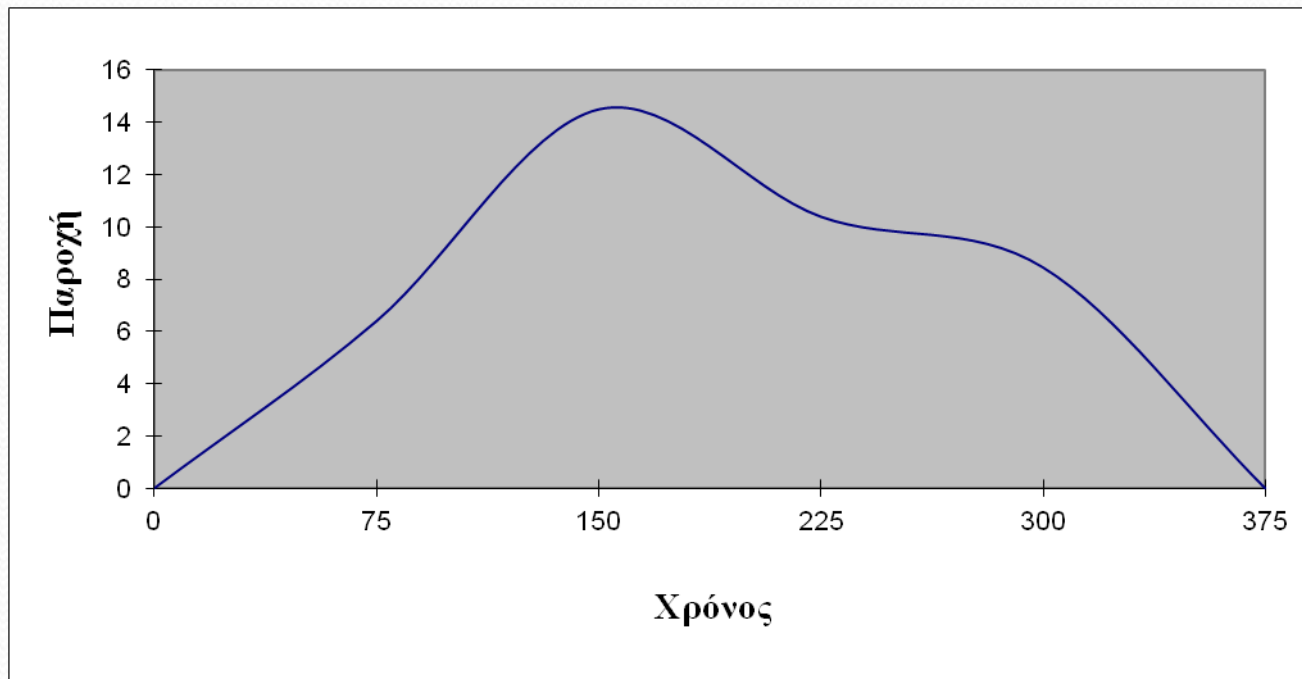
➤ Παράδειγμα εφαρμογής μεθόδου Clark

- Το ενδιάμεσο υδρογράφημα προέκυψε από τον ακόλουθο πίνακα και έχει την παρακάτω μορφή.

Πίνακας 3: Πίνακας υπολογισμού ενδιάμεσου υδρογραφήματος

t(min)	Κλάσεις Χρόνου	$\Delta t(\text{min})$	pixels	area(m ²)	V(m ³)	Q(m ³ /min)	Q(m ³ /sec)
0	0	75					
75	37,5		287913	28791300	28791,3	383,884	6,398067
150	112,5		652432	65243200	65243,2	869,9093	14,49849
225	187,5		467509	46750900	46750,9	623,3453	10,38909
300	262,5		380367	38036700	38036,7	507,156	8,4526
Εμβαδόν	178822100						

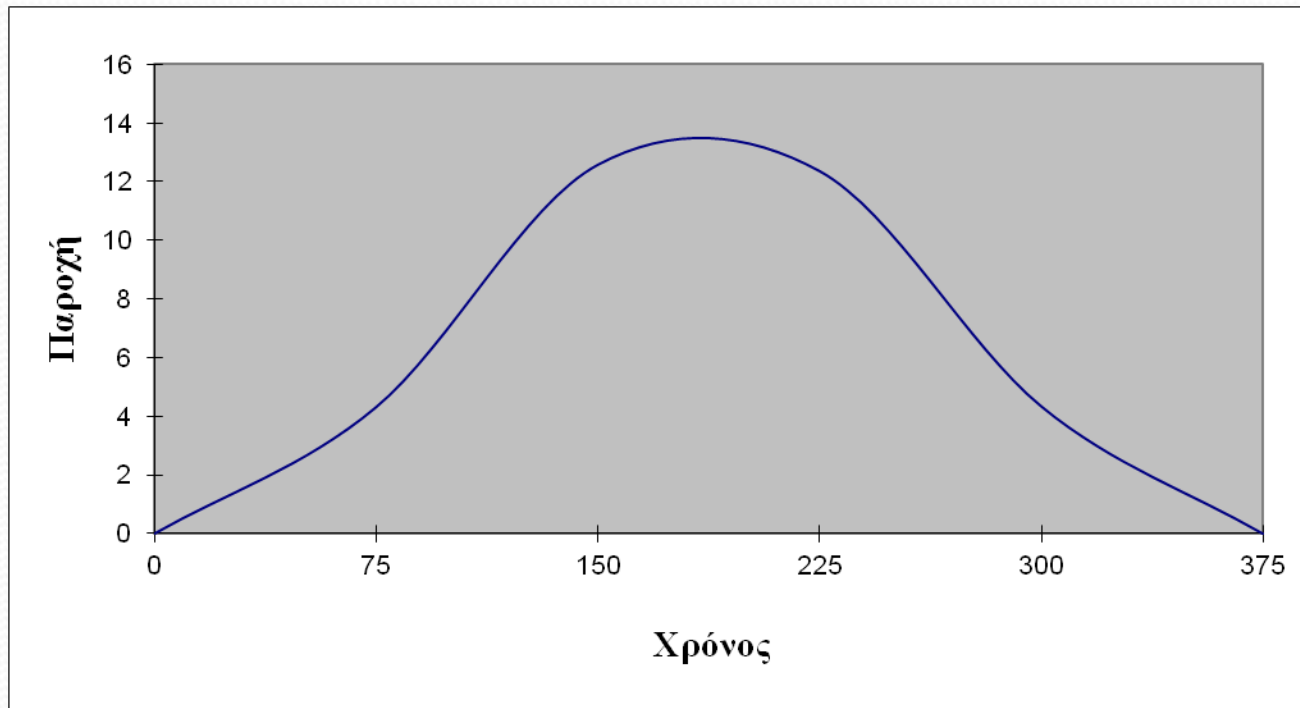
➤ Παράδειγμα εφαρμογής μεθόδου Clark



Σχήμα 10: Ενδιάμεσο Υδρογράφημα

➤ Παράδειγμα εφαρμογής μεθόδου Clark

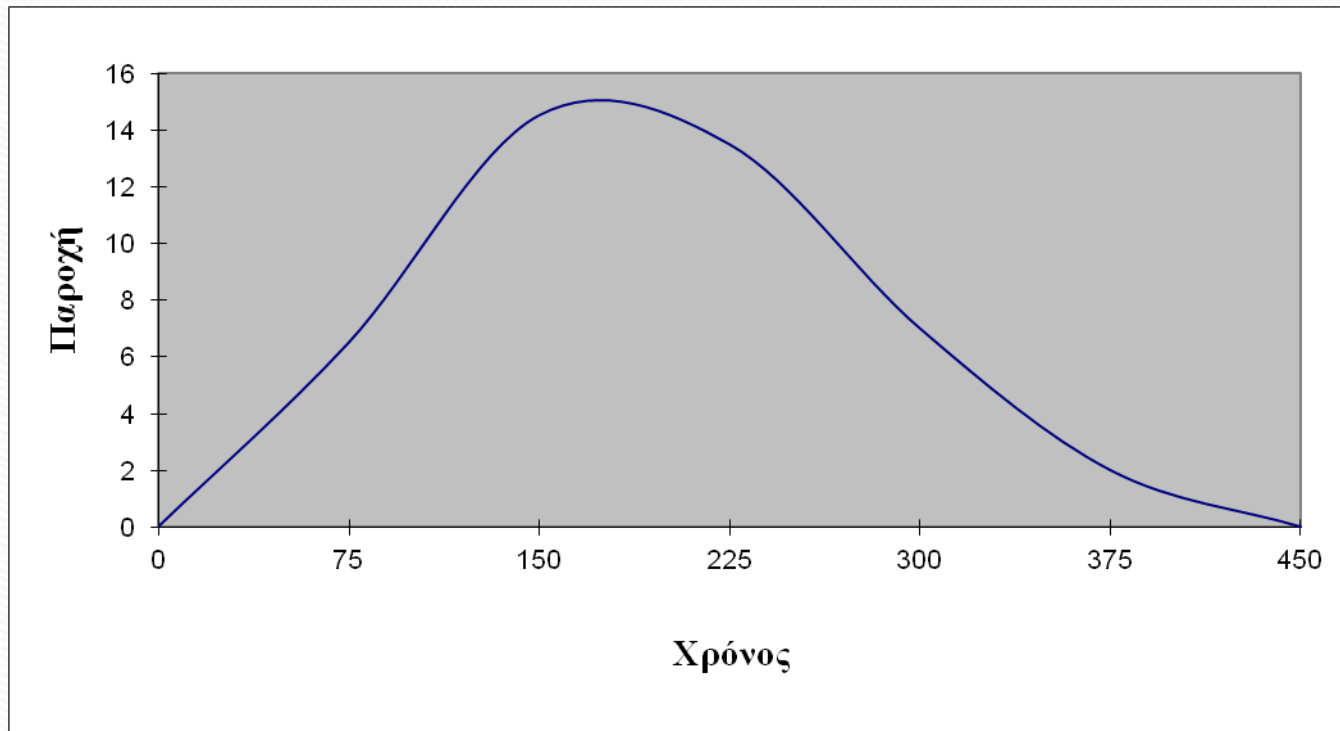
- Από το ενδιάμεσο υδρογράφημα και χρησιμοποιώντας τη γραμμική διόδευση ταμειυτήρα προέκυψε το τελικό υδρογράφημα.



Σχήμα 11: Στιγμαίο Μοναδιαίο Υδρογράφημα (χωρίς συντελεστή βαρύτητας)

➤ Παράδειγμα εφαρμογής μεθόδου Clark

- Αντίστοιχα παράχθηκε και το υδρογράφημα από τον κάρναβο βαρύτητας.



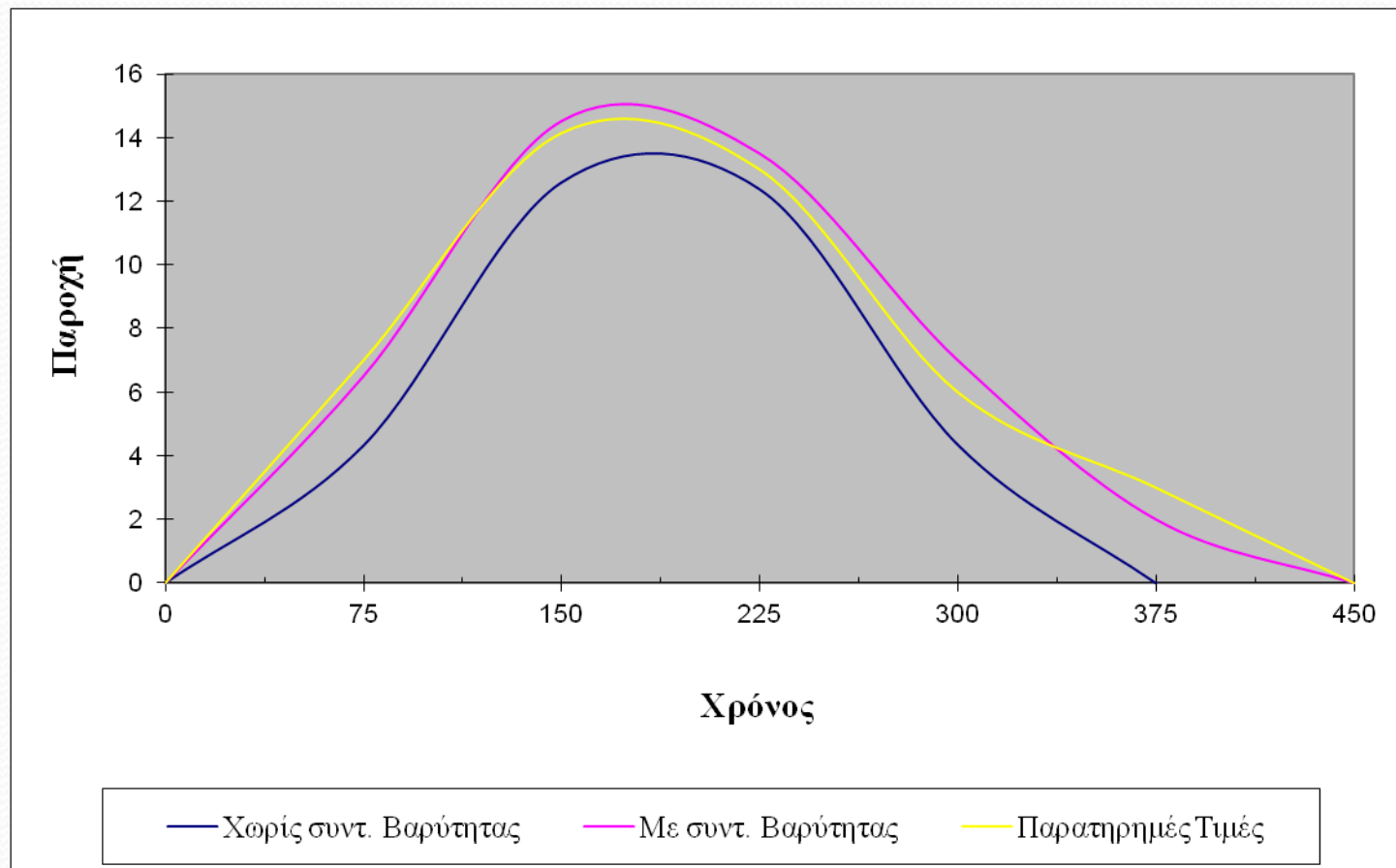
Σχήμα 12: Στιγμαίο Μοναδιαίο Υδρογράφημα (με συντελεστή βαρύτητας)

➤ Παράδειγμα εφαρμογής μεθόδου Clark

➤ Συμπεράσματα

- Στην παρούσα εφαρμογή δημιουργήθηκαν δύο στιγμιαία μοναδιαία υδρογραφήματα.
- Το πρώτο προέκυψε μόνο από το ψηφιακό μοντέλο υψομετρίας, επομένως όλα τα κελιά θεωρήθηκε ότι έχουν την ίδια αντίσταση στη ροή.
- Το δεύτερο παράχθηκε με τη χρήση του καννάβου βαρύτητας που δηλώνει την αντίσταση του κάθε κελιού στη ροή σύμφωνα με τους τοπογραφικούς παράγοντες και την εδαφοκάλυψη.
- Τα υδρογραφήματα που δημιουργήθηκαν καθώς και ένα υδρογράφημα που συντέθηκε από πραγματικά δεδομένα εμφανίζονται συγκριτικά στο παρακάτω σχήμα.

➤ Παράδειγμα εφαρμογής μεθόδου Clark



Σχήμα 13: Σύγκριση Υδρογραφημάτων

➤ Παράδειγμα εφαρμογής μεθόδου Clark

- Η μέγιστη παροχή, ο χρόνος της μέγιστης παροχής καθώς ο χρόνος βάσης εμφανίζονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 4: Συγκριτικός πίνακας υδρογραφημάτων

	Μέγιστη Παροχή	Χρόνος της Μέγιστης Παροχής (min)	Χρόνος Βάσης (h)
Χωρίς Συντελεστή Βαρύτητας	12,591	187	6,25
Με Συντελεστή Βαρύτητας	145,212	220	7,5
Παρατηρημένο	14,143	225	7,5

➤ Παράδειγμα εφαρμογής μεθόδου Clark

- Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω και τα 2 υδρογραφήματα συμπεριφέρονται ιδιαίτερα ικανοποιητικά σε σχέση με το πραγματικό.
- Ελαφρώς καλύτερη είναι η προσαρμογή του υδρογραφήματος με το συντελεστή βαρύτητας, που προέκυψε με χρήση της εξίσωσης του Manning.
- Γενικότερα, από τα αποτελέσματα που εξάγονται από την εφαρμογή της μεθόδου Clark προκύπτει ότι δεν είναι απαιτητική σε εξισώσεις υπολογισμού των απαραίτητων σε αυτή παραγόντων.
- Η εφαρμογή της είναι δυνατή και σε περιοχές όπου δεν υπάρχουν πραγματικά δεδομένα, δίνοντας αξιόπιστα αποτελέσματα, ενώ μπορεί να χρησιμοποιηθεί για οποιαδήποτε επιθυμητή περίοδο σχεδιασμού.
- Επιπλέον, σε συνδυασμό με την τηλεπισκόπηση εξασφαλίζει ακόμα μεγαλύτερη ακρίβεια.
- Συμπερασματικά, η παραπάνω μεθοδολογία μαζί με τη χρήση των Γ.Σ.Π. μπορεί να δώσει αξιόπιστες λύσεις στην κατασκευή του στιγμιαίου μοναδιαίου υδρογραφήματος.