



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

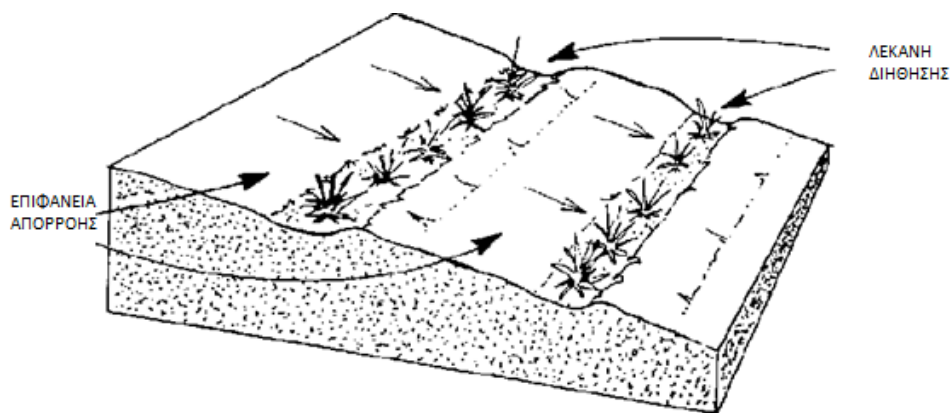
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Εργαστήριο Εγγειοβελτιωτικών Έργων & Διαχείρισης Υδατικών Πόρων

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Εναλλακτική άρδευση με μικρολεκάνες απορροής- Εφαρμογή στη Νήσο Πάρο

Alternative irrigation with M.C.W.H.-Application in the island of Paros



Εκπόνηση: Σκαλιέρης Αλέξιος

Επίβλεψη: Γιακουμάκης Σπυρίδων, Αν. Καθηγητής Ε.Μ.Π.

ΑΘΗΝΑ 2019

Αντί Προλόγου

Η παρούσα Διπλωματική Εργασία πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο εκπλήρωσης των απαιτήσεων για την απόκτηση του Διπλώματος της Σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών Ε.Μ.Π., στο Εργαστήριο Εγγειοβελτιωτικών Έργων & Διαχείρισης Υδατικών Πόρων. Στόχος της εργασίας αυτής ήταν η διερεύνηση μιας εναλλακτικής μεθόδου άρδευσης με εφαρμογή στην νήσο Πάρο. Πρόκειται για την τεχνική M.C.W.H. (Micro-Catchment Water Harvesting). Η μέθοδος αυτή αξιοποιεί αποκλειστικά τη φυσική βροχόπτωση και κρίνεται ιδανική για περιοχές με ξηρό ή ημίξηρο κλίμα όπως τα νησιά των Κυκλάδων (μέση ετήσια βροχόπτωση 400mm). Πρόκειται για μια εναλλακτική μέθοδο άρδευσης που μπορεί να φανεί ιδιαίτερα χρήσιμη για τις ανάγκες της γεωργίας με στόχευση την αξιοποίηση του βρόχινου νερού σε σχεδόν άνομβρες περιοχές κατά την αρδευτική περίοδο, όπως η προαναφερθείσα.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	8
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	9
ABSTRACT	10
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	11
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ	14
2.1. Μέθοδος συλλογής βρόχινου νερού για άρδευση (Rainwater Harvesting). 14	
2.1.1. Γενική περιγραφή της μεθόδου	14
2.1.2. Βασικές κατηγορίες της μεθόδου	14
2.2. Τεχνική Micro-Catchment Water Harvesting	16
2.2.1. Τμήματα μικρολεκάνης	17
2.2.2. Απαιτήσεις υψής εδάφους	18
2.2.3. Απαιτήσεις κλίσης εδάφους.....	29
2.2.4. Ριζόστρωμα καλλιεργειών-απαιτήσεις βάθους εδάφους	20
2.2.5. Απαιτήσεις σε βροχόπτωση	20
2.2.6. Υδατικό ισοζύγιο στη μικρολεκάνη	21
2.2.7. Παράμετροι σχεδιασμού της μικρολεκάνης.....	25
2.3. Παραλλαγές M.C.W.H.	32
2.4. Τεχνικές βελτίωσης της μεθόδου M.C.W.H.	40
2.4.1. Επεμβάσεις στην επιφάνεια απορροής CA.....	40
2.4.2. Επεμβάσεις στην λεκάνη διήθησης IB	41
2.5. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της τεχνικής M.C.W.H.....	42
2.6. Απαιτούμενα δεδομένα για την εφαρμογή της τεχνικής M.C.W.H.....	42
2.7. Εξάτμιση-εξατμισοδιαπνοή.....	44
2.8. Κατάλληλες καλλιέργειες για την τεχνική M.C.W.H.	46
2.9. Μοντέλο βροχόπτωσης-απορροής και βροχή-απορροή σχεδιασμού	47
2.10. Διαστασιολόγηση της μικρολεκάνης και των επιμέρους τμημάτων της....	49
2.11. Τεχνικο-οικονομική αξιολόγηση της τεχνικής M.C.W.H. με τη μέθοδο NPV	50
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΕΦΑΡΜΟΦΗ ΣΤΗ ΝΗΣΟ ΠΑΡΟ	51
3.1. Γενικά στοιχεία για την Πάρο	51
3.1.1. Γεωγραφικά- Διοικητικά στοιχεία.....	51

3.2.2. Δημογραφικά στοιχεία –Απασχόληση	51
3.2.3. Τοπογραφικά και γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά.....	52
3.2.4. Κλίμα.....	52
3.2.5. Υδατικοί πόροι- αρδεύσεις-υδρεύσεις	53
3.2.6. Γεωργία.....	54
3.2. Επιλογή περιοχής εφαρμογής της τεχνικής M.C.W.H. στο νησί.....	55
3.3. Εύρεση βροχόπτωσης και απορροής σχεδιασμού	56
3.4. Επιλογή καλλιέργειας-υπολογισμός εξατμισοδιαπνοής	59
3.5. Εύρεση των παραμέτρων σχεδιασμού και διαστασιολόγηση.....	63
3.6. Διάταξη μικρολεκανών	66
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΤΕΧΝΙΚΟ-ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ.....	67
4.1. Τεχνικές εργασίες	67
4.2. Κόστος κατασκευής.....	68
4.3. Αξιολόγηση του έργου με την μέθοδο NPV	70
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ	71
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	73
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	77
<u>ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ</u>	
Εικόνα 1.1.: Μέσο ετήσιο ύψος βροχοπτώσεων για την κάθε περιοχή της Ελλάδας	12
Εικόνα 2.1.: Τεχνική M.C.W.H.	15
Εικόνα 2.2. Τεχνική Macro-Catchment.W.H.	16
Εικόνα 2.3. Λειτουργία μικρολεκάνης M.C.	17
Εικόνα 2.4. Τμήματα μικρολεκάνης M.C.....	18
Εικόνα 2.5. Υδατικό ισοζύγιο στην συνολική μικρολεκάνη M.C. για ολόκληρο το υδρολογικό έτος	24
Εικόνα 2.6. Οριζοντιογραφία μικρολεκάνης τετραγωνικού σχήματος με τετραγωνική λεκάνη διήθησης IB στην μία γωνία.....	31
Εικόνα 2.7. Οριζοντιογραφία διάταξης μικρολεκανών με IB σε μορφή λωρίδας (strip)	31
Εικόνα 2.8. Σκαρίφημα διάταξης μικρολεκανών τύπου Negarim	32
Εικόνα 2.9. Σκαρίφημα μικρολεκάνης τύπου Negarim.....	33

Εικόνα 2.10. Οριζοντιογραφία μικρολεκανών τύπου Meskat	34
Εικόνα 2.11. Σύστημα μικρολεκανών τύπου Contour bench terraces	34
Εικόνα 2.12. Σύστημα μικρολεκανών τύπου Desert Strip Farming	35
Εικόνα 2.13. Παραδείγματα της τεχνικής Inter row water harvesting	36
Εικόνα 2.14. Τεχνική Countour ridges	37
Εικόνα 2.15. Τεχνική Semi-circular and triangular bunds	37
Εικόνα 2.16. Εφαρμογή της τεχνικής semi-circular and triangular bunds στη Συρία	38
Εικόνα 2.17. Τεχνική Eyebrow terraces.....	38
Εικόνα 2.18. Εφαρμογή της τεχνικής Eyebrow terraces για δέντρα ελιάς στην Τυνησία	39
Εικόνα 2.19. Τεχνική Vallerani-type	39
Εικόνα 2.20. Εξατμισοδιαπνοή καλλιέργειας	45
Εικόνα 3.1. Νήσος Πάρος	51
Εικόνα 3.2. Περιοχή εφαρμογής	56
Εικόνα 3.3. Μικρολεκάνη α).για αμυγδαλιές β). ροδακινιές-βερυκοκιές.....	65
Εικόνα 3.4. Αγροτικό δίκτυο και διάταξη μικρολεκανών	66

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1.1.: Ποσοστά κάθε μορφής γήϊνου νερού	11
Πίνακας 3.1. Πληθυσμός Πάρου κατά φύλο και ηλικία	52
Πίνακας 3.2. Απασχόληση πληθυσμού κατά τομέα	52
Πίνακας 3.3.Χρήσεις γης Πάρου	54
Πίνακας 3.4. Στοιχεία υπολογισμού για τον έλεγχο καταλληλότητας της κανονικής κατανομής στο δείγμα των ετησίων βροχοπτώσεων.....	57
Πίνακας 3.5.Μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες Πάρου	60
Πίνακας 3.6.Μέση μηνιαία ηλιοφάνεια για την Πάρο	60
Πίνακας 3.7.Τιμές μηνιαίας εξατμισοδιαπνοής αναφοράς.....	61
Πίνακας 3.8. Μηνιαίοι φυτικοί συντελεστές αμυγδαλιάς.....	61
Πίνακας 3.9. Μηνιαίοι φυτικοί συντελεστές ροδακινιάς-βερυκοκιάς	62
Πίνακας 3.10. Μηνιαίες τιμές εξατμισοδιαπνοής αμυγδαλιάς.....	62
Πίνακας 3.11. Μηνιαίες τιμές εξατμισοδιαπνοής ροδακινιάς-βερυκοκιάς	63
Πίνακας 4.1. Προϋπολογισμός έργου	69

Πίνακας 4.2. Ετήσια έσοδα	70
Πίνακας 4.3. Υπολογισμός της NPV	70

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον Αναπληρωτή Καθηγητή του Ε.Μ.Π. κ.Σπύρο Γιακουμάκη για την ανάθεση της παρούσας διπλωματικής εργασίας, με την οποία μου δόθηκε η ευκαιρία να εμβαθύνω σε μία εναλλακτική μέθοδο άρδευσης, η οποία δεν χρησιμοποιείται στην Ελλάδα και η έρευνα εφαρμογής της έχει εξαιρετικό ενδιαφέρον. Επιπλέον τον ευχαριστώ ιδιαίτερα για τις κατευθύνσεις που μου έδωσε και για την άριστη και συνεχή συνεργασία καθ'όλη την διάρκεια εκπόνησης αυτής της εργασίας.

Θα ήθελα επιπρόσθετα να απευθύνω τις ευχαριστίες μου στα μέλη της εξεταστικής επιτροπής κ. Β. Τσιχριντζή, καθηγητή Ε.Μ.Π. και κ. Ι. Ναλμπάντη, επίκ. καθηγητή Ε.Μ.Π.

Ακόμη, από το Εργαστήριο Εγγειοβελτιωτικών Έργων και Διαχείρισης Υδατικών Πόρων θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Δρ. Χάρη Βαγγέλη, μέλος Ε.ΔΙ.Π, του οποίου ήταν πολύτιμες οι γνώσεις σε θέματα Τεχνικής Υδρολογίας.

Ευλικρινείς ευχαριστίες στην Τεχνολόγο Γεωπόνο Αναστασία Σαμιώτη για τις γνώσεις που μου παρείχε σε θέματα του αντικειμένου της δένδροκομίας, οι οποίες ήταν πολύ χρήσιμες για την περάτωση αυτής της εργασίας.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα εργασία διερευνάται η εφαρμογή της εναλλακτικής μεθόδου άρδευσης με μικρολεκάνες απορροής σε περιοχές με ημίξηρο κλίμα όπως τα νησιά των Κυκλάδων, που στην διεθνή βιβλιογραφία είναι γνωστή ως Micro-Catchment Water Harvesting (M.C.W.H.).

Πρόκειται για μια μέθοδο που βασίζεται εξ' ολοκλήρου στη φυσική βροχόπτωση, με χαμηλό κόστος κατασκευής και μηδενικών ενεργειακών απαιτήσεων. Στα πλαίσια αυτής της ΔΕ, πέρα από γνωστές προσεγγίσεις της βιβλιογραφίας για τη διαστασιολόγηση των μικρολεκανών απορροής, προτείνονται εξισώσεις που συνιστούν μια νέα προσέγγιση στο θέμα.

Αρχικά, με κριτήρια το μέσο ετήσιο ύψος βροχόπτωσης και την διαθεσιμότητα βροχομετρικών δεδομένων, αλλά και εδαφολογικών χαρτών και την καταλληλότητα των εδαφών, επιλέχθηκε η νήσος Πάρος για την δυνατότητα εφαρμογής της τεχνικής αυτής. Στη συνέχεια επιλέχθηκε πιλοτικά μια περιοχή του νησιού αυτού με κριτήρια την κλίση, την υφή και το βάθος του εδάφους, αλλά και την έκτασή της. Προτάθηκαν τρεις δενδρώδεις καλλιέργειες (αμυγδαλιά, ροδακινιά, βερυκοκιά), οι οποίες είναι συμβατές με την τεχνική M.C.W.H. και με τις περιβαλλοντικές συνθήκες του νησιού.

Για τον υπολογισμό των υδατικών αναγκών των φυτών που επιλέχθηκαν, αρχικά υπολογίστηκε η εξατμισοδιαπνοή αναφοράς κατά Thornthwaite ελλείπει άλλων δεδομένων πλην θερμοκρασίας αέρα και κατόπιν η εξατμισοδιαπνοή της κάθε καλλιέργειας με βάση τους μηνιαίους φυτικούς συντελεστές για το κάθε δέντρο. Έπειτα, με βάση τις υδατικές ανάγκες του κάθε δέντρου και το υδατικό ισοζύγιο της περιοχής εφαρμογής, έγινε η διαστασιολόγηση των μικρολεκανών. Με την επιλογή η συνολική επιφάνεια εφαρμογής να χωριστεί ισόποσα για την κάθε καλλιέργεια και με την πρόβλεψη ενός αγροτικού οδικού δικτύου, έγινε η τελική διάταξη των μικρολεκανών στην περιοχή.

Τέλος, έγινε η τεχνικο-οικονομική διερεύνηση του προτεινόμενου έργου με τη μέθοδο NPV (NetPresentValue). Με βάση τα αποτελέσματα που προέκυψαν, η μέθοδος M.C.W.H. κρίθηκε συμφέρουσα για την περιοχή εφαρμογής.

ABSTRACT

As the title suggests, the main purpose of the present work is to investigate the application of the alternative irrigation method called Micro-Catchment Water Harvesting (M.C.W.H.) in semi-arid regions such as the Aegean islands.

It is a method based entirely on natural rainfall, with low cost of construction and zero energy requirements. In the context of this Diploma Thesis, apart from the well-known bibliographic approaches for the planning of micro-catchments, equations that constitute a new approach to the subject, are proposed here.

Initially, based on the average annual rainfall and the availability of rainfall data, as well as the availability of soil maps and the suitability of the soils, Paros island was chosen to study this technique. Then, an area of application was selected in the island with criteria of slope, texture and depth of the soil, but also the extent of the application area. Then, three tree crops (almonds, peach and apricots trees) were selected, which are compatible with the environmental conditions of the island.

In order to calculate the water needs of the crops selected, at first the reference evapotranspiration was calculated using the method of Thornthwaite and then the evapotranspiration of each crop on the basis of the monthly crop coefficients for each tree. Then, based on the water needs of each crop and the water balance in the area of application, micro-catchment's size was found. By selecting the area of application to be divided equally for each crop including a rural road network, micro-catchments were arranged in it.

Finally, the economic and technical evaluation of the irrigation project under consideration was made, using the NPV (Net Present Value) method. Results showed that the M.C.W.H. technique is advantageous for the area of application.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το νερό αποτελεί έναν από τους πιο σημαντικούς φυσικούς πόρους του πλανήτη. Εξάλλου η εξέλιξη και η ιστορία του ανθρώπου ήταν πάντα συνδεδεμένη με την ύπαρξη και τη διαχείριση του νερού. Είναι χαρακτηριστικό ότι οι πρώτοι πολιτισμοί αναπτύχθηκαν σε περιοχές κοντά σε μεγάλα ποτάμια (Νείλος στην Αίγυπτο, Τίγρης και Ευφράτης στη Μεσοποταμία, Ινδός στη Δυτική Ινδία-σημερινό Πακιστάν). Πάντως η διαχείριση της ποιότητας και της ποσότητας του νερού από τον άνθρωπο δεν είναι πάντα και η καλύτερη δυνατή (Κούγκολος 2017).

Μπορούν να διακριθούν τα προβλήματα που έχουν σχέση με τη διαχείριση υδατικών πόρων στις παρακάτω κατηγορίες (Κούγκολος 2017):

- Προβλήματα που σχετίζονται με την άνιση κατανομή της φυσικής προσφοράς και ζήτησης του νερού
- Προβλήματα που σχετίζονται με την έλλειψη σχεδιασμού στην ανάπτυξη των οικισμών και πόλεων και με την έλλειψη συντονισμού και ενιαίας πολιτικής
- Προβλήματα που σχετίζονται με την έλλειψη ευαισθησίας και παιδείας του απλού πολίτη-χρήστη

Αν και η γη είναι ένας πλανήτης που καλύπτεται στο μεγαλύτερο μέρος του από το νερό, το τελευταίο υπάρχει κυρίως σε μορφές που δεν είναι άμεσα διαθέσιμες στον άνθρωπο. Το σύνολο του νερού του πλανήτη εκτιμάται σε $1360 \cdot 10^6 \text{ km}^3$. Στον παρακάτω πίνακα φαίνεται η εκτίμηση του ποσοστού κατά κατηγορία του νερού της γης (Κούγκολος 2017), (Πίνακας 1.1.):

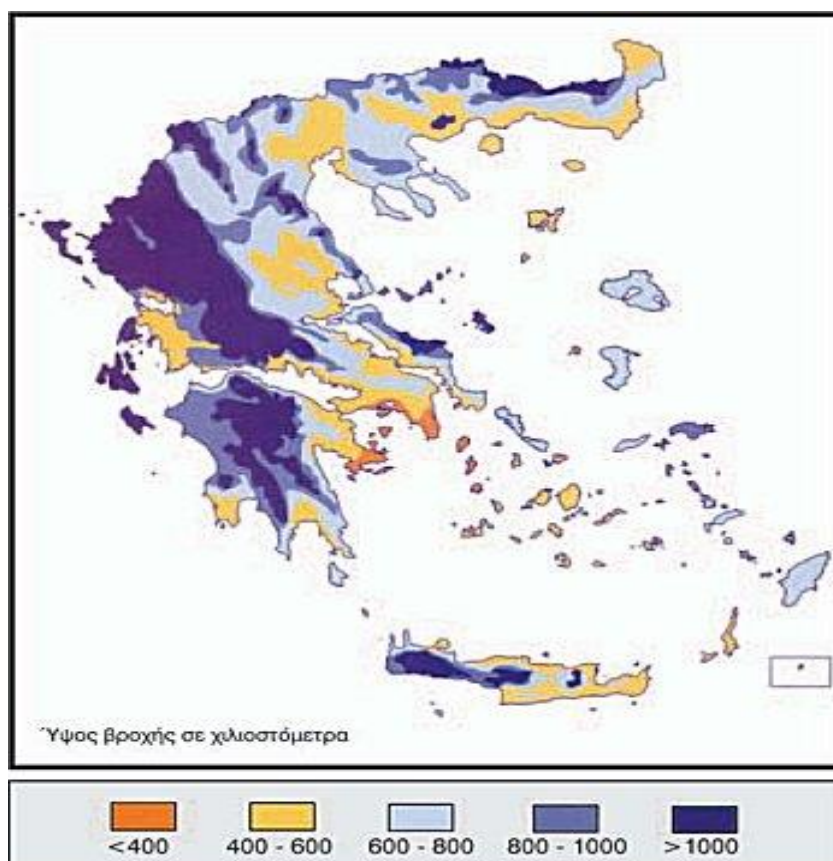
Πίνακας 1.1.: Ποσοστά κάθε μορφής γήινου νερού

ΜΟΡΦΗ	ΠΟΣΟΣΤΟ (%)
ΘΑΛΑΣΣΕΣ (ΑΛΜΥΡΟ ΝΕΡΟ)	97,250
ΠΑΓΕΤΟΙ (ΧΙΟΝΙΑ)	2,124
ΥΠΟΓΕΙΑ ΝΕΡΑ	0,607
ΛΙΜΝΕΣ	0,007
ΕΔΑΦΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ	0,003
ΠΟΤΑΜΟΙ	0,000
ΛΙΜΝΕΣ ΑΛΜΥΡΟΥ ΝΕΡΟΥ	0,005
ΥΦΑΛΜΥΡΑ ΝΕΡΑ	0,000
ΝΕΡΟ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ	0,004
ΣΥΝΟΛΟ	100

Όπως φαίνεται από τον προηγούμενο πίνακα, το μεγαλύτερο ποσοστό του νερού της γης (97,25%) είναι αλμυρό και δεν μπορεί να εξυπηρετήσει τις βασικές ανθρώπινες ανάγκες. Από την άλλη, το σημαντικότερο ποσοστό του γλυκού νερού είναι εγκλωβισμένο στους παγετούς και στα χιόνια των πόλων ή των υψηλών βουνών κι έτσι σε αυτό (2,1% του γήινου νερού) η προσβασιμότητα του ανθρώπου είναι πολύ δύσκολη. Τελικά μόλις το 0,33% του συνολικού γήινου νερού είναι εκμεταλλεύσιμο για τις ανθρώπινες ανάγκες.

Σε ό,τι αφορά τις ανάγκες της γεωργίας σε νερό, μπορεί να ειπωθεί ότι εξαρτώνται από πολλούς παράγοντες, σπουδαιότερος εκ των οποίων είναι το κλίμα. Έτσι, ενώ στα ξηρά κλίματα οι αρδεύσεις είναι κεφαλαιώδους σημασίας, αφού οι βροχοπτώσεις κατά την περίοδο ανάπτυξης των καλλιεργειών σπανίζουν, στα υγρά κλίματα ο ρόλος τους είναι συμπληρωματικός των βροχοπτώσεων, κυρίως λόγω της ανομοιομορφίας της κατανομής τους χρονικά (Κούγκολος 2017).

Όσον αφορά την Ελλάδα ανήκει γενικά στο υποτροπικό μεσογειακό κλίμα, όμως η μεγάλη τοπογραφική ποικιλομορφία της χώρας δημιουργεί αρκετές διαφορές από περιοχή σε περιοχή. Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται για την κάθε περιοχή της Ελλάδας πού κυμαίνεται το μέσο ετήσιο ύψος βροχόπτωση (Εικόνα 1.1.):



Εικόνα 1.1.: Μέσο ετήσιο ύψος βροχοπτώσεων για την κάθε περιοχή της Ελλάδας
Πηγή : (Γενική διεύθυνση περιφερειακής αγροτικής οικονομίας και κτηνιατρικής 2013)

Όσον αφορά τα νησιά των Κυκλάδων, τα χαρακτηρίζει το ημίξηρο κλίμα και η έλλειψη βροχοπτώσεων. Τα έργα που έχουν κατασκευασθεί (π.χ. λιμνοδεξαμενές, φράγματα) αποσκοπούν κυρίως στο να καλύψουν τις ανάγκες για ύδρευση, που είναι και οι πιο σημαντικές, ιδιαίτερα κατά τη θερινό περίοδο, εφόσον αυτά τα νησιά έχουν πολύ τουρισμό τότε. Έτσι οι αρδεύσεις έρχονται σε δεύτερη μοίρα. Επιπλέον, το κόστος μεταφοράς του νερού από άλλες περιοχές της Ελλάδας είναι υψηλό (Γενική διεύθυνση περιφερειακής αγροτικής οικονομίας και κτηνιατρικής 2013).

Η αφορμή αυτής της εργασίας ήταν η έλλειψη του αρδευτικού νερού σε τέτοιες περιοχές και διερευνάται μια μη συμβατική μέθοδος άρδευσης, η οποία εξαρτάται μόνο από το βρόχινο νερό. Δεδομένης της έλλειψης του αρδευτικού νερού, μια μέθοδος άρδευσης όπου το βρόχινο νερό αποθηκεύεται κατευθείαν στο ριζόστρωμα των καλλιεργειών και καταναλώνεται από αυτές ώστε να καλυφθούν οι ανάγκες τους, φαντάζει ιδανική λύση. Η τεχνική αυτή είναι διεθνώς γνωστή ως Micro-Catchment Water Harvesting και δεν έχει εφαρμοστεί στον Ελλαδικό χώρο. Έτσι λοιπόν και λόγω της κλιματικής αλλαγής, είναι ενδιαφέρουσα η διερεύνηση της τεχνικής αυτής σε περιοχές με ημίξηρο κλίμα.

Στο κεφάλαιο 2 της παρούσας εργασίας περιλαμβάνεται το θεωρητικό μέρος της, κατά το οποίο αναλύεται η λειτουργία της μικρολεκάνης και τα δύο τμήματά της, δηλαδή η επιφάνεια απορροής CA (Contributing Area) και η λεκάνη διήθησης IB (Infiltration Basin). Παρουσιάζονται όλα τα απαιτούμενα θεωρητικά στοιχεία για τον σχεδιασμό ενός συστήματος μικρολεκανών, δηλαδή οι απαιτήσεις που πρέπει να πληροί μια περιοχή, οι παράμετροι σχεδιασμού και το μαθηματικό υπόβαθρο για την εύρεση τους, αλλά και την τεχνικο-οικονομική αξιολόγηση ενός τέτοιου έργου. Όσον αφορά στο μαθηματικό υπόβαθρο, προτείνεται επίσης στα πλαίσια της εργασίας αυτής, μια νέα προσέγγιση.

Στο κεφάλαιο 3 παρουσιάζεται η εφαρμογή της τεχνικής M.C.W.H. στην νήσο Πάρο στο μέσο περίπου των Κυκλάδων, στο νότιο Αιγαίο, εφόσον το κλίμα της γενικά και το μέσο ετήσιο ύψος βροχόπτωσης προσφέρονται για κάτι τέτοιο. Για την εύρεση της κατάλληλης περιοχής του νησιού τέθηκαν κριτήρια που αφορούν την κλίση του εδάφους, τη σύσταση και το βάθος του αλλά και την έκτασή της. Μετά την εύρεση της περιοχής επιλέχθηκαν τρεις δενδρώδεις καλλιεργείες να φυτευτούν, οι οποίες είναι συμβατές τόσο με την τεχνική M.C.W.H., όσο και με τις περιβαλλοντικές συνθήκες του νησιού. Με βάση το θεωρητικό υπόβαθρο του κεφαλαίου 2 έγινε ο σχεδιασμός των μικρολεκανών.

Στο κεφάλαιο 4 αναφέρονται οι κατασκευαστικές εργασίες που πρέπει να γίνουν στην περιοχή εφαρμογής και πραγματοποιείται η τεχνικο-οικονομική αξιολόγηση του έργου.

Στο κεφάλαιο 5 αναφέρονται τα συμπεράσματα που εξήχθησαν από την παρούσα εργασία, όπως και κάποιες προτάσεις όσον αφορά την εφαρμογή της τεχνικής M.C.W.H. και σε άλλες περιοχές του ελλαδικού χώρου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

2.1. Μέθοδος συλλογής βρόχινου νερού για άρδευση (Rainwater Harvesting)

2.1.1. Γενική περιγραφή της μεθόδου

Σε ξηρές ή ημίξηρες περιοχές, υπάρχει έλλειψη νερού, λόγω των χαμηλών ετήσιων βροχοπτώσεων, αλλά και λόγω της δυσμενούς κατανομής τους κατά τη διάρκεια του έτους. Σε τέτοιες περιοχές, οι αρδεύσεις είναι απαραίτητες για την ανάπτυξη της γεωργίας. Οι συνηθισμένες μέθοδοι άρδευσης απαιτούν σημαντικές ποσότητες νερού, οι οποίες συνήθως σε τέτοιες περιοχές είναι περιορισμένες. Μια ενδιαφέρουσα λύση σε αυτές τις περιπτώσεις είναι η μέθοδος συλλογής βρόχινου νερού (Rainwater Harvesting), με την οποία επιτυγχάνεται η συλλογή βρόχινου νερού, το οποίο απορρέει πάνω σε μία επιφάνεια (π.χ. έδαφος, στέγη κτηρίου) και αποθήκευση του σε κάποιο μέρος (π.χ. δεξαμενή) για μελλοντική χρήση, όπως για άρδευση, οικιακή χρήση και άλλους σκοπούς.

Πρέπει να σημειωθεί ότι η μέθοδος συλλογής όμβριων νερών (Rainwater Harvesting), περιέχει πληθώρα παραλλαγών, οι οποίες έχουν τα εξής χαρακτηριστικά (Giakoumakis 2008):

α) Εφαρμόζονται σε ξηρές ή ημίξηρες περιοχές, όπου η απορροή εμφανίζεται ασταθής και με ένα περιοδικό χαρακτήρα. Η επιφανειακή απορροή εμφανίζεται κατά ξεχωριστά διακριτά γεγονότα, ενώ η υπεδάφια απορροή κατά ένα συνεχόμενο διάστημα και στη συνέχεια, στις ξηρές περιόδους σταματάει. Αυτός είναι ακριβώς ο λόγος που η αποθήκευση αποτελεί βασικό αναπόσπαστο κομμάτι της όλης συλλογής ομβρίων νερών.

β) Εξαρτώνται αποκλειστικά από το βρόχινο νερό

γ) Αποτελούν μικρής κλίμακας εφαρμογές, τόσο για τον αποθηκευμένο όγκο νερού, όσο και για την επένδυση κεφαλαίου.

Το βασικό πλεονέκτημα της μεθόδου είναι η αξιοποίηση του βρόχινου νερού, που διαφορετικά θα χανόταν ανεκμετάλλευτο, χωρίς συνήθως να απαιτείται επιπλέον νερό πέραν του βρόχινου εφόσον το σύστημα σχεδιάζεται έτσι ώστε να μην απαιτείται επιπρόσθετο νερό και το χαμηλό κόστος του όλου συστήματος με μηδενική κατανάλωση ενέργειας (Giakoumakis 2008).

2.1.2. Βασικές κατηγορίες της μεθόδου

Έχουν αναπτυχθεί διάφορες τεχνικές συλλογής βρόχινου νερού. Εδώ αναφέρονται οι δύο σπουδαιότερες (Boers and Ben-Asher 1982):

(i). Micro-Catchment Water Harvesting (M.C.W.H.)

Η τεχνική Micro-Catchment Water Harvesting (M.C.W.H) ορίζεται ως η μέθοδος συλλογής της επιφανειακής απορροής από μια Επιφάνεια Απορροής (Contributing Area) CA και αποθήκευσης της για μελλοντική χρήση στο ριζόστρωμα κατάλληλα διαμορφωμένης λεκάνης αποθήκευσης, η οποία ονομάζεται Λεκάνη Διήθησης (Infiltration Basin) IB (Εικόνα 2.1.). Η επιφάνεια απορροής CA μαζί με τη λεκάνη διήθησης IB, αποτελούν τη μικρολεκάνη MC. Στην IB μπορεί να καλλιεργούνται δέντρα, θάμνοι ή καλλιέργειες, ενώ η μέγιστη διάσταση της CA είναι τα 100 m μήκους. Κάθε μικρολεκάνη MC μπορεί να έχει εμβαδόν από 0,5m² έως 1000m². Εφαρμόζεται σε περιοχές με μέση τιμή ύψους ετήσιας βροχόπτωσης από 100mm έως 650mm.

Η τεχνική αυτή είναι κατά κύριο λόγο το αντικείμενο ενδιαφέροντος αυτής της εργασίας και θα αναπτυχθεί διεξοδικά παρακάτω.

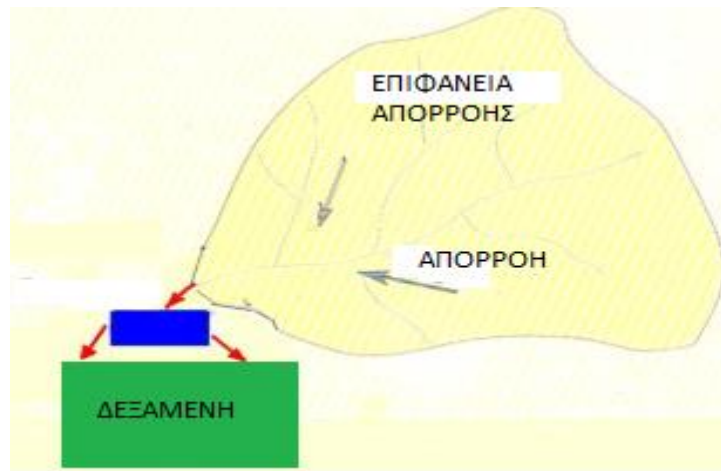


Εικόνα 2.1.: Τεχνική M.C.W.H.

Πηγή: (F.A.O. 1991)

(ii). Macro-Catchment Water Harvesting

Η τεχνική αυτή ορίζεται ως η μέθοδος συλλογής επιφανειακής απορροής από σχετικά μεγάλη επιφάνεια απορροής, που συνήθως είναι ορεινή περιοχή. Το νερό της απορροής καταλήγει σε αγροτική δεξαμενή, όπου και αποθηκεύεται εκεί, με σκοπό να χρησιμοποιηθεί για άρδευση (Εικόνα 2.2.).



Εικόνα 2.2. Τεχνική Macro-Catchment.W.H.
Πηγή: (Tsakiris 1991)

2.2. Τεχνική Micro-Catchment Water Harvesting

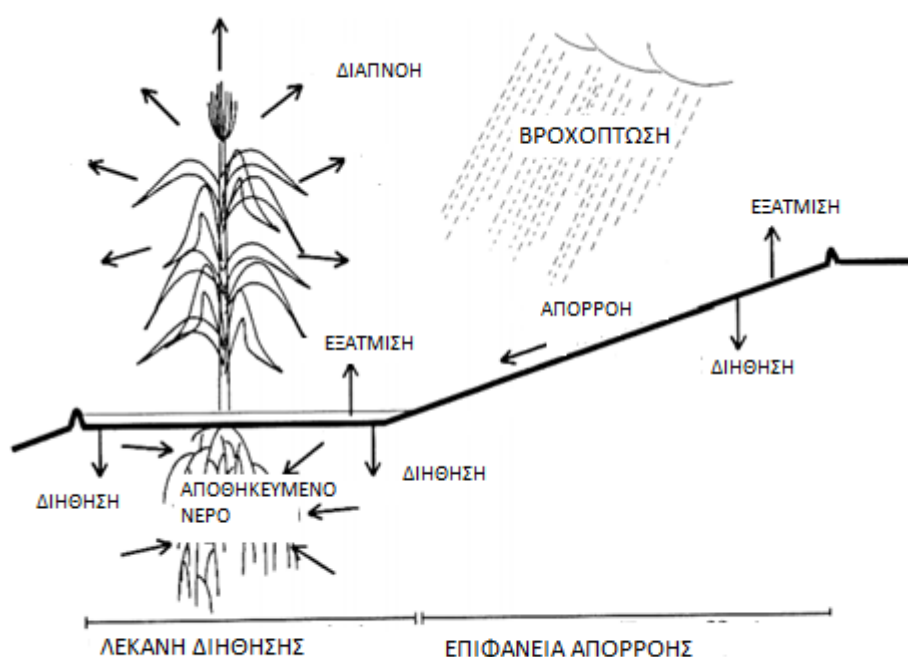
Όπως προαναφέρθηκε, στην τεχνική αυτή η κάθε μικρολεκάνη αποτελείται από δυο μέρη:

- i) την επιφάνεια απορροής (Contributing Area, CA)
- ii) τη λεκάνη διήθησης (Infiltration Basin, IB)

Η λογική της μεθόδου, η οποία στηρίζεται αποκλειστικά στις βροχοπτώσεις και κυρίως της υγρής περιόδου του έτους, είναι η απευθείας τροφοδοσία του ριζοστρώματος της IB με βρόχινο νερό, η οποία είναι καλλιεργούμενη έκταση, μέσω της απορροής της στεγανής κεκλιμένης επιφάνειας CA, στην οποία απορρέει το βρόχινο νερό με κατεύθυνση την IB. Αυτό γίνεται με σκοπό την αποθήκευση νερού στο ριζόστρωμα της IB, ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί την ξηρή εποχή του έτους, όπου οι βροχοπτώσεις σπανίζουν και οι καλλιέργειες έχουν ανάγκη σε νερό (Boers et al.1986a), (Εικόνα 2.3.).

Σε συνέχεια με τα προηγούμενα, σημαντική προς διερεύνηση παράμετρος είναι η εδαφική υγρασία στην αρχή της ξηρής περιόδου του έτους. Έτσι αυτό που επιθυμείται είναι με τέτοιου είδους παρεμβάσεις (δημιουργία μικρολεκανών) το ριζόστρωμα να φτάνει κοντά στην υδατοϊκανότητα (στην αρχή της ξηρής περιόδου) για να μπορεί κατόπιν να καλύψει τις ανάγκες των καλλιεργειών (με σχετικά μικρές ανάγκες σε νερό). Έτσι λοιπόν, αναλόγως την καλλιέργεια επιλογής, οι μικρολεκάνες σχεδιάζονται κατά τέτοιο τρόπο ώστε η εδαφική υγρασία στην αρχή της ξηρής περιόδου να είναι τέτοια που να μπορεί να καλύψει τις ανάγκες των φυτών της IB. Αντίστροφα, με δεδομένη εκτιμώμενη εδαφική υγρασία κατά την αρχή της ξηρής

περιόδου, μπορούν να επιλεγούν φυτά που οι ανάγκες τους να καλύπτονται από αυτή (Tsakiris 1991).



Εικόνα 2.3. Λειτουργία μικρολεκάνης M.C.

Πηγή: (Sharamo 2002)

2.2.1. Τμήματα μικρολεκάνης

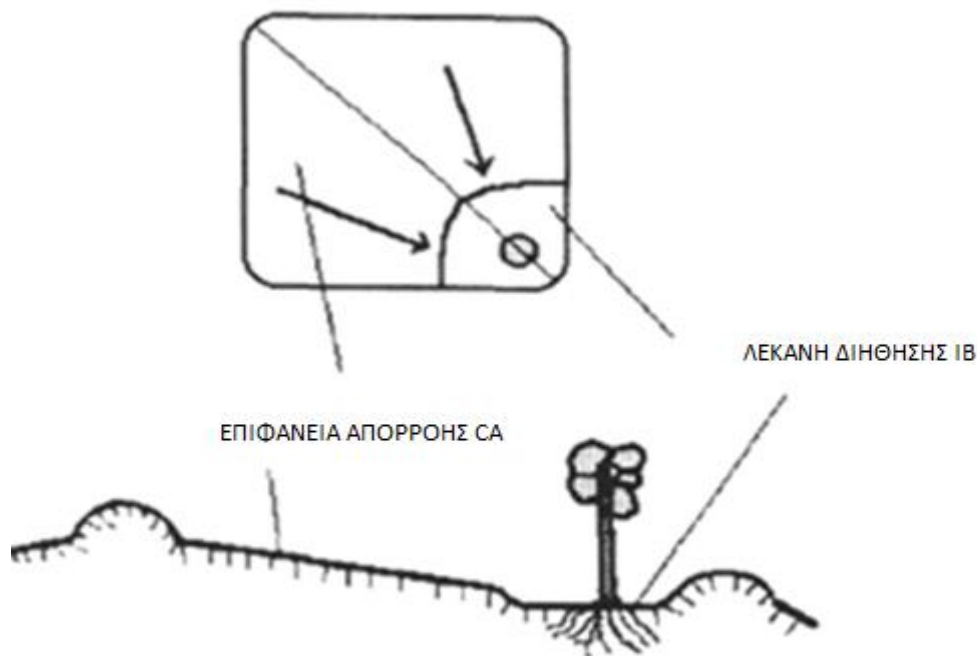
Παρακάτω παρουσιάζονται τα δυο τμήματα της μικρολεκάνης (F.A.O. 1991),(Εικόνα 2.4.):

α)Επιφάνεια απορροής CA

Είναι το ένα απο τα δύο μέρη της μικρολεκάνης. Είναι κεκλιμένη στεγανή επιφάνεια και με τη βοήθεια της κλίσης της, η επιφανειακή απορροή καταλήγει στη λεκάνη διήθησης IB, όπου και αναπτύσσονται οι καλλιέργειες.

β)Λεκάνη διήθησης IB

Είναι το μέρος της μικρολεκάνης στο οποίο υπάρχουν και αναπτύσσονται οι καλλιέργειες και στο οποίο καταλήγει η απορροή από την επιφάνεια απορροής CA.



Εικόνα 2.4. Τμήματα μικρολεκάνης Μ.Σ.

Πηγή: (Ali 2012)

2.2.2. Απαιτήσεις υφής εδάφους

Η ταξινόμηση των εδαφών για αρδευτικά έργα γίνεται σε τρεις βασικές κατηγορίες με βάση τη υφή τους, δηλαδή την κοκκομετρική τους σύσταση (μέγεθος κόκκων και αναλογία τους). Η ταξινόμηση αυτή παρουσιάζεται παρακάτω (F.A.O. 1991):

- Λεπτόκοκκα εδάφη, στα οποία συμπεριλαμβάνονται τα εδάφη αργιλικής υφής.
- Μέσης σύστασης εδάφη, όπου η αναλογία σε ιλύ, άμμο και άργιλο είναι περίπου η ίδια.
- Χονδρόκοκκα εδάφη, στα οποία περιλαμβάνονται τα αμμώδη.

Όσον αφορά το έδαφος της επιφάνειας απορροής CA, με τη λογική ότι επιθυμείται να είναι όσο γίνεται μικρότερες οι απώλειες λόγω διήθησης και η επιφανειακή απορροή να είναι όσο γίνεται μεγαλύτερη (Renner and Frasier 1995), καταλληλότερα εδάφη

είναι τα αδιαπέρατα ή ελάχιστα διαπερατά από το νερό, τα λεγόμενα συνεκτικά εδάφη ή αλλιώς λεπτόκοκκα, όπως για παράδειγμα τα αργιλική υφής (Τερζίδης και Παπαζαφειρίου 1997). Σε περίπτωση που επιλεχθούν εδάφη που δεν έχουν αυτά τα χαρακτηριστικά υπάρχουν τεχνικές στεγανοποίησης που θα αναπτυχθούν στη συνέχεια αυτής της εργασίας.

Το έδαφος στο τμήμα της λεκάνης διήθησης IB είναι επιθυμητό να είναι γόνιμο και το νερό να μπορεί να διηθείται εύκολα, ώστε να μην υπάρχουν μεγάλες απώλειες λόγω εξάτμισης εξαιτίας του χρόνου που παραμένει στην επιφάνεια πριν διηθηθεί στο έδαφος, αλλά και ταυτόχρονα να έχει καλή ικανότητα συγκράτησης του νερού και άρα μικρές απώλειες λόγω βαθιάς διήθησης, ώστε να μένει αποθηκευμένο στο ριζόστρωμα και να χρησιμοποιείται όταν οι καλλιέργειες το έχουν ανάγκη (κυρίως την περίοδο ανάπτυξης, που είναι και η ξηρή περίοδος του έτους). Επιπλέον το έδαφος της IB πρέπει να είναι πλούσιο σε θρεπτικά συστατικά για την ανάπτυξη των φυτών. Τέτοιου είδους εδάφη είναι τα μέσης κοκκομετρικής σύστασης (F.A.O. 1991).

Βεβαίως τα χονδρόκοκκα εδάφη (αμμώδη) δεν συνιστώνται καθόλου για Water Harvesting, αφού δεν έχουν καλή ικανότητα συγκράτησης νερού και οι απώλειες λόγω βαθιάς διήθησης είναι μεγάλες. Επίσης, το αμμώδες έδαφος είναι φτωχό σε θρεπτικά συστατικά για την ανάπτυξη των φυτών. Έτσι, καθίσταται πολύ κακή επιλογή για έδαφος της IB, όπως και της CA, αφού έχει μεγάλη ικανότητα διήθησης και ο συντελεστής απορροής θα είναι μικρός (F.A.O. 1991).

Επομένως, ιδανικά θα επιλεγόταν για την επιφάνεια απορροής CA λεπτόκοκκο έδαφος (βέβαια χωρίς να αποκλείεται και συμπαγής βράχος) και για τη λεκάνη διήθησης έδαφος μέσης σύστασης. Όμως, οι μικρολεκάνες απορροής είναι σχετικά μικρού μεγέθους (συνήθως μερικές δεκάδες τετραγωνικά μέτρα, έως ένα στρέμμα) και συνήθως δεν δημιουργείται μία μεμονωμένη μικρολεκάνη, αλλά μια διάταξη μικρολεκανών, κι έτσι είναι πολύ δύσκολο να βρεθεί στη φύση κάποια περιοχή ώστε να είναι δυνατή μια τέτοια επιλογή, δηλαδή ξεχωριστή υφή εδάφους για την CA και ξεχωριστή για την IB. Οπότε κατά την επιλογή της περιοχής, για να εφαρμοστεί η τεχνική αυτή και να δημιουργηθεί μια διάταξη μικρολεκανών, πρέπει να γίνει επιλογή ενός τύπου υφής εδάφους, που να εξυπηρετεί τις ανάγκες και των δυο μερών της κάθε μικρολεκάνης. Η επιλογή αυτή γίνεται με γνώμονα ότι πρέπει να δοθεί προτεραιότητα στις ανάγκες της IB όπου και αναπτύσσονται οι καλλιέργειες κι έτσι προτιμώνται για εφαρμογή της τεχνικής M.C.W.H. εδάφη μέσης σύστασης και για την CA εφαρμόζονται τεχνικές στεγανοποίησης του εδάφους (Sharamo 2002, F.A.O. 1991).

2.2.3.Απαιτήσεις κλίσης εδάφους

Όσον αφορά τις κλίσεις εδάφους που επιλέγονται για την εφαρμογή της τεχνικής M.C.W.H., συνήθως είναι 2-8% και δανικά 3-5% (Sharamo 2002, Renner and Frasier 1995, Rands 1980, F.A.O. 1991, Ali 2012, Fidelibus and Bainbridg 1995). Βέβαια εξαρτάται και από την παραλλαγή της τεχνικής που εφαρμόζεται, αλλά σε γενικές γραμμές επιλέγονται εδάφη τέτοιων κλίσεων.

Με δεδομένο ότι σε μεγάλες κλίσεις η ταχύτητα ροής είναι μεγάλη και οι απώλειες λόγω εξάτμισης περιορίζονται, από αυτή την άποψη θα ήταν θεμιτό οι κλίσεις να ήταν μεγαλύτερες. Όμως σε μεγάλες κλίσεις παρουσιάζονται διάφορα προβλήματα, όπως (Sharamo 2002, Renner and Frasier 1995, Rands 1980, F.A.O. 1991, Ali 2012):

- Διάβρωση εδαφών λόγω της μεγάλης ταχύτητας ροής
- Μεγάλες απαιτήσεις σε χωματουργικές εργασίες
- Δυσκολίες για τους καλλιεργητές

Για αυτούς κυρίως τους λόγους, σε γενικές γραμμές, επιλέγονται ήπιες κλίσεις για την εφαρμογή της M.C.W.H. Όμως δεν απορρίπτονται μεγαλύτερες και κλίσεις, αλλά σε αυτή την περίπτωση χρησιμοποιούνται μικρότερου μεγέθους μικρολεκάνες (Boers 1997).

2.2.4. Ριζόστρωμα καλλιεργειών-απαιτήσεις βάθους εδάφους

Ως ριζόστρωμα των καλλιεργειών νοείται το βάθος του εδάφους στο οποίο εκτείνονται οι ρίζες. Ενεργό ριζόστρωμα ονομάζεται το βάθος του εδάφους όπου δραστηροποιείται κυρίως το ριζικό σύστημα (άνω τμήμα του ριζοστρώματος). Σε ένα ομοιογενές έδαφος το 80- 90% του όγκου του ριζικού συστήματος αναπτύσσεται στα 60-75% του ολικού βάθους της ρίζας. Σύμφωνα με τα ανωτέρω, όταν το ριζόστρωμα είναι επαρκώς εφοδιασμένο με νερό, τα φυτά αντλούν νερό περισσότερο από τα επιφανειακά στρώματα και λιγότερο από τα παρακάτω. Αυτό έχει μεγάλη σημασία για τις αρδεύσεις, αφού το νερό του εδάφους που κυρίως θα χρησιμοποιηθεί, θα είναι στην περιοχή του ενεργού ριζοστρώματος (Σαμαράς 2010).

Όσον αφορά το βάθος του εδάφους για την εφαρμογή της τεχνικής M.C.W.H., αυτό εξαρτάται απολύτως από τις απαιτήσεις της λεκάνης διήθησης IB. Το βάθος του εδάφους πρέπει να είναι επαρκές ώστε να ευνοεί την ανάπτυξη των ριζών, αλλά και για να υπάρχει χώρος για επαρκή αποθήκευση νερού, ώστε να καλυφθούν οι ανάγκες των φυτών. Ιδανικά το βάθος του εδάφους θα πρέπει να είναι περίπου ίσο με αυτό του ριζοστρώματος (και λίγο μεγαλύτερο), διότι αν το βάθος του εδάφους είναι αρκετά μεγαλύτερο, το νερό που θα διηθηθεί σε βάθος μεγαλύτερο του ριζοστρώματος θα παραμείνει ανεκμετάλλευτο από το φυτό και εκτός αυτού, υπάρχει ο κίνδυνος να μην υπάρχει επαρκές νερό στο στρώμα του εδάφους που αναπτύσσονται οι ρίζες (αφού θα έχει διηθηθεί πιο κάτω) (Renner and Frasier 1995). Στην περίπτωση που επιλέγεται να φυτευτούν δέντρα, το βάθος του εδάφους πρέπει να είναι τουλάχιστον 1,5 με 2m για να υπάρχει επαρκής χώρος για την ανάπτυξη των ριζών (Rands 1980).

2.2.5. Απαιτήσεις σε βροχόπτωση

Σε παλαιότερες ερευνητικές εργασίες έχουν χρησιμοποιηθεί από 100mm έως 650mm ύψη ετήσιας βροχόπτωσης σε συστήματα μικρολεκανών (Boers and Ben-Asher 1982). Οι απόψεις των ερευνητών διαφοροποιούνται για την ελάχιστη ποσότητα ύψους βροχόπτωσης, ώστε να σχεδιαστεί ένα αποδοτικό σύστημα μικρολεκανών. Άλλοι ερευνητές υποστηρίζουν ότι 80mm επαρκούν, άλλοι 250mm και άλλοι 200-300mm. Μερικοί επιστήμονες υποστηρίζουν ότι 50 με 80 mm επαρκούν για να

εφαρμοστεί η τεχνική M.C.W.H., αλλά τότε δεν συνιστά οικονομική λύση (Sharamo 2002). Βέβαια για την κάθε παραλλαγή της τεχνικής αυτής προτείνονται τα ελάχιστα ύψης βροχόπτωσης όπως θα αναφερθεί παρακάτω. Σε γενικές γραμμές οι μικρολεκάνες απορροής σχεδιάζονται για ύψη βροχόπτωσης μεγαλύτερα από 200 mm (Beckersetal. 2013).

2.2.6. Υδατικό ισοζύγιο στη μικρολεκάνη

Σημαντικό για την κατανόηση της λειτουργίας της μικρολεκάνης απορροής, είναι το υδατικό της ισοζύγιο κατά τα επιμέρους τμήματά της (την επιφάνεια απορροής CA και την λεκάνη διήθησης IB), για την ξηρή και υγρή περίοδο του έτους, όπως και για την συνολική μικρολεκάνη στις δυο αυτές περιόδους. Ιδιαίτερης σημασίας είναι το υδατικό ισοζύγιο της λεκάνης διήθησης, αφού σε αυτό το τμήμα αναπτύσσονται τα φυτά. Παρακάτω ακολουθεί η ανάλυση του ισοζυγίου της μικρολεκάνης απορροής και των επιμέρους τμημάτων της (Ali 2012, Γλύνης και Μανιουδάκης 1999):

Η εξίσωση που περιγράφει το υδατικό ισοζύγιο σε τμήμα εδάφους σε βάθος από την επιφάνεια έως 2m, είναι:

$$\Delta W = I - L \quad (2.1.)$$

Όπου:

- ΔW : η μεταβολή της περιεχόμενης υγρασίας στο έδαφος [mm]
- I : οι ποσότητες που συμβάλλουν στην τροφοδοσία του εδάφους με νερό [mm]
- L : οι απώλειες νερού [mm]

Σύμφωνα με την Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία (Ε.Μ.Υ) το υδρολογικό έτος στην Ελλάδα χωρίζεται σε δυο περιόδους με ονομασίες υγρή και ξηρή περίοδος. Η πρώτη διαρκεί από 1^{ης} Οκτωβρίου έως την 31^η Μαρτίου, ενώ η δεύτερη από 1^{ης} Απριλίου έως και την 30^η Σεπτεμβρίου.

Στην παρακάτω ανάλυση τα σύμβολα CA,IB αναφέρονται στα μεγέθη επιφάνεια απορροής και λεκάνη διήθησης, αντίστοιχα. Επίσης, οι δείκτες 1, 2 αναφέρονται στην υγρή και την ξηρή περίοδο του υδρολογικού έτους, αντίστοιχα.

ΥΓΡΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΤΟΥ ΕΤΟΥΣ

(i). Υδατικό ισοζύγιο στην επιφάνεια απορροής CA

Αυτή τη χρονική περίοδο του έτους υπάρχουν βροχοπτώσεις. Όσον αφορά το βρόχινο νερό που προσκρούει στην επιφάνεια απορροής CA, το μεγαλύτερο μέρος του μετατρέπεται σε επιφανειακή απορροή (εφόσον η CA είναι μια στεγανή επιφάνεια με μικρή διηθητικότητα) και λόγω της κλίσης του εδάφους, κατευθύνεται στην λεκάνη διήθησης IB. Επίσης, ένα μέρος του βρόχινου νερού διηθείται στο έδαφος της CA. Κάποιο μέρος του νερού που διηθείται χάνεται λόγω βαθιάς διήθησης, ενώ ένα μέρος του νερού που έχει διηθηθεί και είναι κοντά στην επιφάνεια του εδάφους

χάνεται λόγω εξάτμισης. Από τα παραπάνω προκύπτει η μεταβολή της εδαφικής υγρασίας στην CA, που υπολογίζεται σε mm ως εξής:

$$\Delta W_{CA}=P_{CA}-R-E_{CA1}-D_{CA1} \quad (2.2.)$$

Όπου:

P_{CA} : η βροχόπτωση πάνω στην CA [mm]

R: η απορροή [mm]

E_{CA1} : η εξάτμιση της αβαθούς διήθησης της βροχόπτωσης από την επιφάνεια του εδάφους [mm]

D_{CA1} : η ποσότητα που εκφράζει τις απώλειες λόγω βαθιάς διήθησης [mm]

(ii).Υδατικό ισοζύγιο στη λεκάνη διήθησης IB

Αυτή την περίοδο του έτους οι καλλιέργειες βρίσκονται σε μια ανενεργή κατάσταση και η εξατμισοδιαπνοή των φυτών θεωρείται αμελητέα. Η IB τροφοδοτείται από το νερό της απευθείας βροχόπτωσης που πέφτει στο τμήμα αυτό και από το νερό της απορροής από την CA. Απώλειες νερού σε αυτό το τμήμα αυτήν την περίοδο προέρχονται από την εξάτμιση νερού που βρίσκεται σε αβαθές στρώμα του εδάφους στην IB, από την εξάτμιση λιμνάζοντος επιφανειακού νερού (μέρος δηλαδή του λιμνάζοντος νερού εξατμίζεται πριν προλάβει να διηθηθεί) και από τη βαθιά διήθηση. Έτσι, η μεταβολή της εδαφικής υγρασίας στην IB σε mm, υπολογίζεται από την παρακάτω εξίσωση:

$$\Delta W_{IB}= P_{IB}+R-E_{IB1}-E_w-D_{IB1} \quad (2.3.)$$

Όπου:

P_{IB} : η βροχόπτωση στην IB [mm]

R: η απορροή από την CA [mm]

E_{IB1} : η εξάτμιση του αβαθούς διηθημένου νερού στην IB [mm]

E_w : η εξάτμιση (λιμνάζοντος) επιφανειακού νερού στην IB [mm]

D_{IB1} : η βαθιά διήθηση του νερού στην IB [mm]

(iii). Υδατικό ισοζύγιο στην συνολική μικρολεκάνη M.C.

Η εξίσωση της μεταβολής της εδαφικής υγρασίας στη συνολική μικρολεκάνη σε mm την υγρή περίοδο του έτους προκύπτει από την άθροιση των επί μέρους μελών των εξισώσεων (2.2.) και (2.3.), δηλαδή:

$$\Delta W_{CA}+\Delta W_{IB}=P_{CA}+P_{IB}-E_{IB1}-E_{CA1}-E_w-D_{IB1}-D_{CA1} \quad (2.4.)$$

ΞΗΡΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΤΟΥ ΕΤΟΥΣ-ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ

(i). Υδατικό ισοζύγιο στην επιφάνεια απορροής CA

Αυτή την περίοδο του έτους οι βροχοπτώσεις είναι αραιές ή ακόμα και ανύπαρκτες, επομένως η απορροή μπορεί να θεωρηθεί αμελητέα. Όσον αφορά τις απώλειες, εξατμίζεται μέρος του αβαθούς αποθηκευμένου νερού στο έδαφος. Το υδατικό ισοζύγιο της CA, σε αυτή τη περίοδο δεν έχει κάποιο ενδιαφέρον για τη λειτουργία της μικρολεκάνης γιατί δεν τροφοδοτεί τη λεκάνη διήθησης με επιφανειακή απορροή. Η εξίσωση υπολογισμού της μεταβολής της εδαφικής υγρασίας σε mm αυτήν την περίοδο του έτους στη CA, είναι:

$$\Delta W_{CA} = -E_{CA2} \quad (2.5.)$$

Όπου:

E_{CA2} : η εξάτμιση μέρους του αβαθούς νερού στο έδαφος της CA [mm]

(ii). Υδατικό ισοζύγιο στην λεκάνη διήθησης IB

Αυτή την περίοδο οι καλλιέργειες είναι σε ανάπτυξη. Οι απώλειες οφείλονται στην εξατμισοδιαπνοή, ενώ θεωρείται ότι έχει ολοκληρωθεί με το τέλος της ξηρής περιόδου η διαδικασία της βαθιάς διήθησης και δεν υπάρχουν επιπλέον απώλειες λόγω αυτού του φαινομένου. Οι βροχοπτώσεις και η απορροή από την CA θεωρούνται αμελητέες, επομένως η τροφοδοσία της IB με νερό θεωρείται περίπου μηδενική. Επομένως δεν υπάρχει λιμνάζον νερό για να εξατμιστεί. Έτσι το ισοζύγιο στην IB αυτήν την περίοδο του έτους γράφεται:

$$\Delta W_{IB} = -ET_c \quad (2.6.)$$

Όπου:

ΔW_{IB} : η μεταβολή της εδαφικής υγρασίας στο ριζόστρωμα [mm]

ET_c : η εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας [mm]

(iii). Υδατικό ισοζύγιο στην συνολική μικρολεκάνη M.C.

Προκύπτει από την άθροιση των επί μέρους μελών των εξισώσεων (2.5.) και (2.6.), ως εξής:

$$\Delta W_{CA} + \Delta W_{IB} = -E_{CA2} - ET_c \quad (2.7.)$$

ΣΥΝΟΛΙΚΑ ΓΙΑ ΤΟ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟ ΕΤΟΣ

(i). Υδατικό ισοζύγιο στην επιφάνεια απορροής CA

Από τις εξισώσεις (2.2.) και (2.5.) προκύπτει το υδατικό ισοζύγιο στην CA για ολόκληρο το υδρολογικό έτος:

$$\Delta W_{CA} = P_{CA} - R - E_{CA1} - E_{CA2} - D_{CA1} \quad (2.8.)$$

(ii) Υδατικό ισοζύγιο στην λεκάνη διήθησης IB

Από τις εξισώσεις (2.3.) και (2.6.) προκύπτει το υδατικό ισοζύγιο στην IB για ολόκληρο το υδρολογικό έτος:

$$\Delta W_{IB} = P_{IB} + R - E_{IB1} - E_w - E_{Tc} - D_{IB1} \quad (2.9.)$$

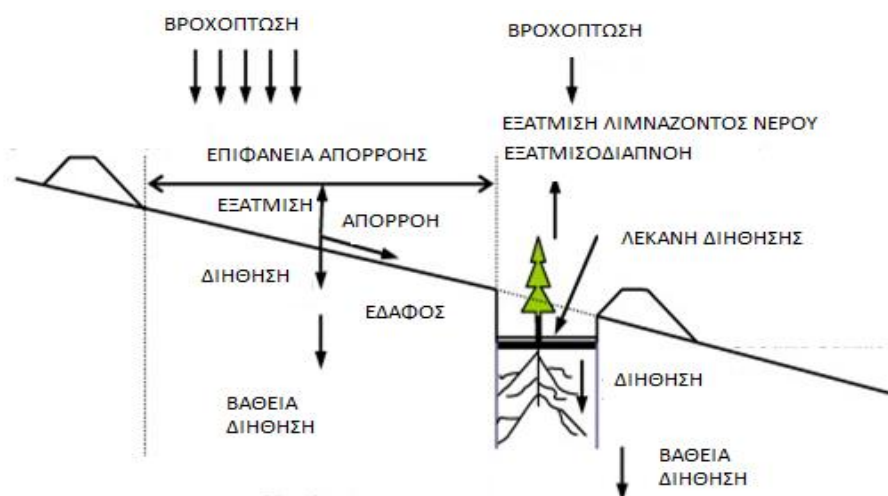
(iii) Υδατικό ισοζύγιο στην συνολική μικρολεκάνη M.C

Από τις εξισώσεις (2.8.) και (2.9.) προκύπτει το υδατικό ισοζύγιο ολόκληρης της μικρολεκάνης M.C. για ολόκληρο το υδρολογικό έτος:

$$\Delta W_{CA} + \Delta W_{IB} = P_{CA} + P_{IB} - E_{IB1} - E_{CA1} - E_w - E_{CA2} - E_{Tc} - D_{IB1} - D_{CA1} \quad (2.10.)$$

Το σημαντικότερο από τα υδατικά ισοζύγια που αναφέρθηκαν για τον σχεδιασμό των μικρολεκανών είναι της IB για ολόκληρο το υδρολογικό έτος, αφού εκεί αναπτύσσονται τα φυτά (εξ. 2.9.).

Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται το υδατικό ισοζύγιο στην συνολική μικρολεκάνη για ολόκληρο το υδρολογικό έτος (Εικόνα 2.5.):



Εικόνα 2.5. Υδατικό ισοζύγιο στην συνολική μικρολεκάνη M.C. για ολόκληρο το υδρολογικό έτος

Πηγή: (Ali 2012)

2.2.7. Παράμετροι σχεδιασμού της μικρολεκάνης

Δεν υπάρχει κάτι το γενικευμένο για τον σχεδιασμό μικρολεκανών (Renner and Frasier 1995), δηλαδή συγκεκριμένες διαστάσεις που να προτείνονται, εφόσον η κάθε περιοχή είναι διαφορετική. Ο σχεδιασμός μιας μικρολεκάνης πρέπει να είναι τέτοιος έτσι ώστε να καλύπτει τις ανάγκες σε νερό των καλλιεργειών και παράλληλα να είναι οικονομικός. Δηλαδή αν οι επιφάνειες απορροής είναι μεγαλύτερες από ό,τι

χρειάζεται, οι ανάγκες θα καλύπτονται με το παραπάνω, όμως δεν είναι οικονομική λύση και θα υπάρχουν και μεγάλες απώλειες λόγω βαθιάς διήθησης.

Με δεδομένο το είδος της καλλιέργειας που επιλέγεται να φυτευτεί στην IB, τις κλιματολογικές συνθήκες της περιοχής (βροχοπτώσεις, θερμοκρασία κλπ), τις ιδιότητες του εδάφους (εξαρτώνται κυρίως από την κοκκομετρία του, όπως η διηθητικότητα, η ικανότητα συγκράτησης νερού κλπ), το βάθος του εδάφους και τα τοπογραφικά χαρακτηριστικά της περιοχής (κλίση εδάφους, ομαλότητα κλπ), το ερώτημα που τίθεται είναι ποιά είναι το κατάλληλο μέγεθος μικρολεκάνης M.C., αλλά και των επιμέρους τμημάτων της, της επιφάνειας απορροής CA και της λεκάνης διήθησης IB (Giakoumakis 2008). Επίσης, ένα άλλο σημαντικό ερώτημα είναι ποιά υποκατηγορία της τεχνικής είναι κατάλληλη για να εφαρμοστεί σε κάθε περίπτωση.

Παρακάτω αναφέρονται οι βασικές παράμετροι σχεδιασμού:

α). Σχήμα

Είναι βασική παράμετρος σχεδιασμού και εξαρτάται από τα τοπογραφικά χαρακτηριστικά της περιοχής, την καλλιέργεια στην IB, τις ιδιότητες του εδάφους και από το υδατικό ισοζύγιο (Boers and Ben-Asher 1982). Έχουν προταθεί διάφορα σχήματα για την μικρολεκάνη, συνηθέστερο εκ των οποίων είναι το τετραγωνικό σχήμα με επίσης τετραγωνικού σχήματος τη λεκάνη διήθησης IB στη μία γωνία (τεχνική *pegarim micro-catchment*) (Εικόνα 2.6.) και το ορθογωνικό με ορθογώνια επιμέρους τμήματα (CA,IB), (τεχνική *Contour bench terraces* και *desert strip farming*) (Εικόνα 2.7.), όπου σε αυτή την περίπτωση η λεκάνη διήθησης IB είναι σε μορφή λωρίδας (*strip*) (Boers and Ben-Asher 1982). Επιπλέον χρησιμοποιείται και το κυκλικό σχήμα μικρολεκάνης, κυρίως για δέντρα. Χρησιμοποιούνται και άλλα σχήματα που καθορίζουν τις επιλογές της υποκατηγορίας της τεχνικής που επιλέγεται σε κάθε περίπτωση.

β). Μέγεθος

Βασική παράμετρος σχεδιασμού είναι το μέγεθος της μικρολεκάνης και των επιμέρους τμημάτων της. Συνήθως το συνολικό της μέγεθος κυμαίνεται από 0,5 έως 1000 m² (Boers and Ben-Asher 1982). Εξαρτάται από το υδατικό ισοζύγιο, τις καλλιέργειες στην IB και τις ανάγκες τους σε νερό, την κλίση και την σύσταση του εδάφους (Renner and Frasier 1995).

Για την διαστασιολόγηση των επιμέρους τμημάτων της μικρολεκάνης και τελικά του συνολικού μεγέθους της, μπορεί να ακολουθηθεί η παρακάτω διαδικασία:

- Η λεκάνη διήθησης IB θα πρέπει να καταλαμβάνει επιφάνεια λίγο μεγαλύτερη από αυτή που καταλαμβάνει το ενεργό ριζόστρωμα. Έτσι προκύπτει και ο αριθμός των φυτών ή δέντρων που θα αναπτυχθούν σε αυτό το τμήμα της μικρολεκάνης (Mwangi 1998).

- Με την προϋπόθεση ότι έχει προσδιορισθεί ο λόγος σχεδιασμού των εμβαδών των CA και IB, υπολογίζεται το απαιτούμενο εμβαδόν που πρέπει να καταλαμβάνει η επιφάνεια απορροής CA (Mwangi 1998) .
- Τέλος, το συνολικό μέγεθος της μικρολεκάνης υπολογίζεται από το άθροισμα των επιφανειών των επιμέρους τμημάτων της (CA, IB).

γ). Λόγος των εμβαδών $\lambda = A_{CA}/A_{IB}$

Αποτελεί παράμετρο κλειδί για τον σχεδιασμό της μικρολεκάνης και εξαρτάται από τις κλιματολογικές συνθήκες της περιοχής εφαρμογής, τις εδαφικές συνθήκες και την κλίση του εδάφους, καθώς και από τις απαιτήσεις της καλλιέργειας που υπάρχει στην IB (Boers and Ben-Asher 1982). Σύμφωνα με έρευνες που έχουν γίνει στο παρελθόν, αυτός ο λόγος συνήθως κυμαίνεται μεταξύ 1 και 6, χωρίς αυτό όμως να είναι απαραίτητο. Μάλιστα έχει χρησιμοποιηθεί και λόγος $\lambda = A_{CA}/A_{IB} = 25$ μικρολεκανών που κατασκευάστηκαν στην Αυστραλία (Boers and Ben-Asher 1982). Αν ο λόγος λ λάβει μεγάλες τιμές μπορεί να προκληθούν απώλειες σε νερό λόγω βαθιάς διήθησης και πρόβλημα αερισμού της καλλιέργειας λόγω της παρατεταμένης διαρροής νερού στην IB, όπου συγκεντρώνονται λιμνάζοντα νερά στην επιφάνεια του εδάφους για μεγάλο χρονικό διάστημα (Santosh 2017). Επιπλέον, προβλήματα διάβρωσης του εδάφους. Εξάλλου είναι και μη οικονομική λύση η επιφάνεια απορροής να είναι πολύ μεγαλύτερη από ό,τι χρειάζεται (Ali 2012).

1^η προσέγγιση εύρεσης λόγου σχεδιασμού λ (βιβλιογραφικά)

Ο λόγος $\lambda = A_{CA}/A_{IB}$ σχεδιασμού υπολογίζεται ως εξής (Ammar Adhamet.al. 2016, Ali 2012, F.A.O. 1991):

Η λογική των αρδεύσεων είναι ότι πρέπει να εφοδιάζεται η καλλιέργεια με νερό τόσο, όσες είναι οι επιπλέον απαιτήσεις του φυτού από αυτές που ικανοποιεί η φυσική βροχόπτωση.

Δηλαδή:

Νερό από άρδευση = Επιπλέον απαιτήσεις του φυτού.

Έτσι η επιφάνεια απορροής θα πρέπει να έχει την απαραίτητη έκταση ώστε να καλύψει αυτές τις επιπλέον ανάγκες του φυτού.

Ο όγκος του συλλεγόμενου νερού σε m^3 από την επιφάνεια απορροής CA δίνεται από την σχέση:

$$V_1 = 0.001 \cdot A_{CA} \cdot R \cdot EF \quad (2.11.)$$

Όπου:

A_{CA} : το εμβαδόν της επιφάνειας απορροής CA [m^2]

R : το ύψος της απορροής από την CA [mm]

EF: συντελεστής που συμπεριλαμβάνει απώλειες που δεν έχουν ληφθεί υπόψη, όπως λόγω βαθιάς διήθησης στην IB και λόγω εξάτμισης [-]

Να σημειωθεί ότι η τιμή του EF κυμαίνεται μεταξύ 0,5-0,75 στον σχεδιασμό μικρολεκανών και είναι στην κρίση και την εμπειρία του μηχανικού. Εξαρτάται από διάφορους παράγοντες όπως οι τιμές της εξάτμισης στην περιοχή, η σύσταση του εδάφους στην IB που επηρεάζει τις απώλειες λόγω βαθιάς διήθησης, η διηθητικότητα του εδάφους στην IB ώστε να μην καθυστερεί το νερό να εισέλθει στο ριζόστρωμα και έτσι να αποφεύγονται οι απώλειες λόγω εξάτμισης του λιμνάζοντος νερού κ.α.

Οι επιπλέον απαιτήσεις σε όγκο νερού σε m^3 υπολογίζονται από την σχέση:

$$V_2=0.001 \cdot A_{IB} \cdot (CWR-P) \quad (2.12.)$$

Όπου:

A_{IB} : το εμβαδόν της λεκάνης διήθησης IB [m^2]

CWR: οι απαιτήσεις του φυτού σε νερό [mm]

P: το ύψος βροχόπτωσης [mm]

Όμως πρέπει $V_1 = V_2$ και άρα, εξισώνοντας τα δεύτερα μέλη των εξισώσεων (2.11.) και (2.12.) και λύνοντας ύστερα ως προς A_{CA}/A_{IB} , προκύπτει η εξίσωση που δίνει τον λόγο σχεδιασμού:

$$\lambda = A_{CA}/A_{IB} = (CWR-P)/(R \cdot EF) \quad (2.13.)$$

2^η προσέγγιση εύρεσης λόγου σχεδιασμού CA/IB

Ο όγκος νερού που απορρέει από την CA σε m^3 με κατεύθυνση την IB δίνεται από την σχέση:

$$V_{CA}=0.001 \cdot R \cdot A_{CA} \quad (2.14.)$$

Όπου:

R: η απορροή από την CA [mm]

A_{CA} : το εμβαδόν της CA [m^2]

Ο όγκος νερού σε m^3 που εισέρχεται στην IB λόγω της βροχόπτωσης που πέφτει κατευθείαν σε αυτήν, δίνεται από την σχέση:

$$V_{IB}=0.001 \cdot P \cdot A_{IB} \quad (2.15.)$$

Όπου:

P: το ύψος βροχόπτωσης [mm]

A_{IB} : το εμβαδόν της IB [m^2]

Αν θεωρηθεί ότι p είναι το ποσοστό του όγκου του νερού που εισέρχεται στο ριζόστρωμα και χάνεται λόγω βαθιάς διήθησης ή και εξάτμισης από την επιφάνεια του εδάφους, το οποίο εξαρτάται από την υφή του εδάφους, τότε προκύπτει ο όγκος νερού που αποθηκεύεται στο ριζόστρωμα σε m^3 από την παρακάτω σχέση:

$$V_{\alpha\pi}=(1-p)\cdot(V_{CA}+V_{IB}) \quad (2.16.)$$

Όμως ο απαιτούμενος όγκος νερού σε m^3 που πρέπει να αποθηκευτεί στο ριζόστρωμα ώστε να καλυφθούν οι ανάγκες της καλλιέργειας σε νερό δίνεται από την σχέση:

$$V_{\alpha\pi}=0.001\cdot ET_c\cdot A_{IB} \quad (2.17.)$$

Όπου:

ET_c : η εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας [mm]

A_{IB} : το εμβαδόν της IB [m^2]

Από τις σχέσεις (2.14.), (2.15.), (2.16.) και (2.17.) προκύπτει τελικά ο λόγος σχεδιασμού $\lambda=A_{CA}/A_{IB}$:

$$A_{CA}/A_{IB}=[ET_c-(1-p)\cdot P]/[(1-p)\cdot R] \quad (2.18.)$$

Από τις σχέσεις (2.14.), (2.15.) και (2.16.) προκύπτει η παρακάτω εξίσωση:

$$V_{\alpha\pi}=0.001\cdot(1-p)\cdot(R\cdot A_{CA}+P\cdot A_{IB}) \quad (2.19.)$$

Όπου:

$V_{\alpha\pi}$: ο όγκος νερού που αποθηκεύεται στο ριζόστρωμα [m^3]

p : το ποσοστό του όγκου του νερού που εισέρχεται στο ριζόστρωμα και χάνεται λόγω βαθιάς διήθησης και εξάτμισης από την επιφάνεια του εδάφους [-]

P : ύψος βροχόπτωσης [mm]

R : ύψος απορροής [mm]

A_{CA} : εμβαδόν της επιφάνειας απορροής [m^2]

A_{IB} : εμβαδόν της λεκάνης διήθησης [m^2]

Ολόγος λ των εμβαδών των τμημάτων της μικρολεκάνης είναι:

$$\lambda=A_{CA}/A_{IB} \quad (2.20.)$$

Το συνολικό εμβαδόν της μικρολεκάνης σε m^2 προκύπτει από την σχέση:

$$A_{MC}=A_{CA}+A_{IB} \quad (2.21.)$$

Από τις σχέσεις (2.20.) και (2.21.) προκύπτουν:

$$A_{CA} = (\lambda/1+\lambda) \cdot A_{MC} \quad (2.22.)$$

$$A_{IB} = (1/1+\lambda) \cdot A_{MC} \quad (2.23.)$$

Συνδυάζοντας τις (2.22.), (2.23.) και (2.19.), προκύπτει ο όγκος νερού σε m³ που αποθηκεύεται στο ριζόστρωμα συναρτήσει του λόγου σχεδιασμού λ και του συνολικού εμβαδού της μικρολεκάνης A_{MC}:

$$V_{\alpha\pi} = 0.001 \cdot A_{MC} \cdot (P+R \cdot \lambda) \cdot [(1-p)/(1+\lambda)] \quad (2.24.)$$

Η εξίσωση 2.24 είναι γραμμικής μορφής και έχει ιδιαίτερο ενδιαφέρον, καθώς για δεδομένο λόγο εμβαδών σχεδιασμού λ φαίνεται πώς μεταβάλλεται ο όγκος νερού που αποθηκεύεται στο ριζόστρωμα της καλλιέργειας στην IB, συναρτήσει του συνολικού εμβαδού της μικρολεκάνης και των υψών βροχόπτωσης και απορροής.

δ). Μέγιστο μήκος

Μήκος της μικρολεκάνης νοείται η διάσταση που ταυτίζεται με τη διεύθυνση ροής του νερού (κάθετη στις ισοϋψείς) και πλάτος η κάθετη πλευρά σε αυτήν. Έχει διαπιστωθεί ότι μεγάλος λόγος μήκους/πλάτους της επιφάνειας απορροής CA ενδέχεται να προκαλέσει προβλήματα διάβρωσης. Επίσης, αυτός ο λόγος για τις διαστάσεις της IB πρέπει να είναι σχετικά μικρός για να αποφεύγεται κακή και ανομοιόμορφη κατανομή της εδαφικής υγρασίας (δηλαδή να μην υπάρχουν αλλού ξηρά και αλλού πολύ υγρά τμήματα).

Όσον αφορά το μήκος της επιφάνειας απορροής CA, προτείνεται ο παρακάτω τύπος για το μέγιστο μήκος της σε m ανάλογα με την κλίση του εδάφους, ώστε να μην υπάρχει κίνδυνος διάβρωσης του εδάφους (Rands 1980):

$$L = (600/S)^{1/2} \quad (2.25.)$$

όπου:

L: το μήκος της επιφάνειας απορροής [m]

S: η κλίση του εδάφους [%]

Από αυτόν το τύπο συμπεραίνεται ότι όσο μεγαλύτερη είναι η κλίση του εδάφους, τόσο μικρότερο το μέγιστο μήκος της CA, και κατά συνέπεια, τόσο μικρότερες οι μικρολεκάνες. Αυτό όμως σημαίνει ότι όσο μεγαλύτερη η κλίση του εδάφους, τόσο λιγότερο θα είναι το συλλεγόμενο νερό στην IB (παρόλο που όσο μεγαλύτερη η κλίση του εδάφους, τόσο μεγαλύτερη η ταχύτητα ροής και λιγότερες απώλειες νερού λόγω εξάτμισης, άρα μεγαλύτερος συντελεστής απορροής). Αυτό σημαίνει ότι με αυτόν τον περιορισμό, συνεπάγεται και περιορισμός στην επιλογή των καλλιεργειών. Άρα η επιλογή καλλιεργειών στην τεχνική M.C.W.H. εξαρτάται και από την κλίση του εδάφους. Επιπλέον, η εξίσωση (2.25) δείχνει ότι μπορεί να υπάρξουν και

μικρολεκάνες με μεγαλύτερες κλίσεις από τις συνηθισμένες, αλλά θα είναι μικρότερες σε εμβαδόν επιφάνειας.

ε). Συντελεστής απορροής C

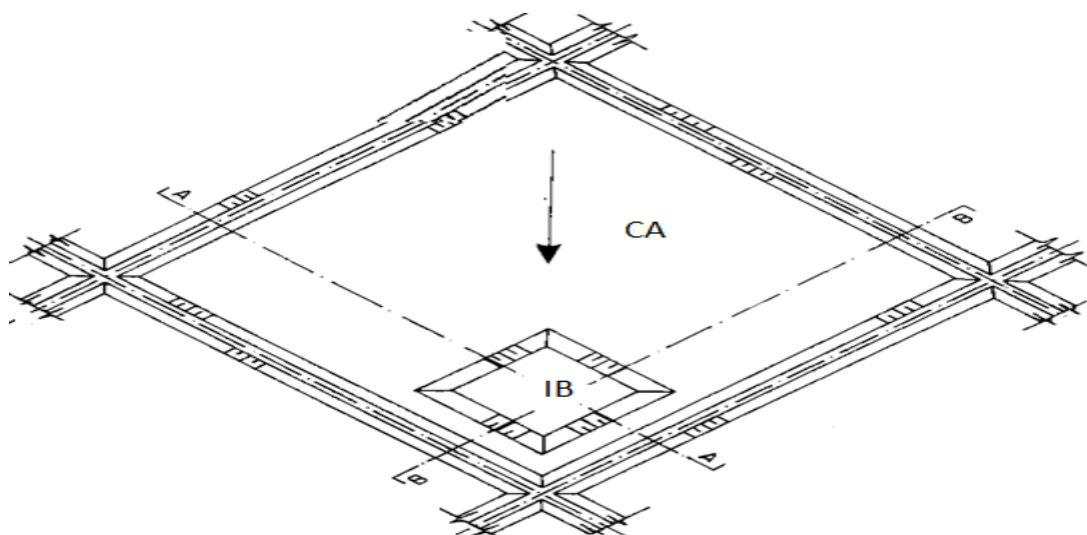
Είναι ο συντελεστής που δείχνει το ποσοστό της βροχής στη CA που μετατρέπεται σε απορροή. Επιδιώκεται αυτός ο συντελεστής να είναι μεγάλος, ώστε να τροφοδοτείται επαρκώς η IB και να υπάρχουν μικρές απώλειες του βρόχινου νερού που πέφτει στην επιφάνεια απορροής CA, ώστε να μην χάνεται ανεκμετάλλευτο. Ο συντελεστής αυτός εξαρτάται από την υφή και την κλίση του εδάφους της CA, το σχήμα της CA και από τα χαρακτηριστικά της βροχόπτωσης (ένταση, διάρκεια, κατανομή της στο χρόνο), αλλά και από την εξάτμιση (Sharamo 2002). Υπάρχουν τεχνικές για την αύξησή του, όπως θα αναφερθεί παρακάτω. Ο συντελεστής αυτός δίνεται από τη σχέση:

$$C=100 \cdot R/P, [\%] \quad (2.26.)$$

Όπου:

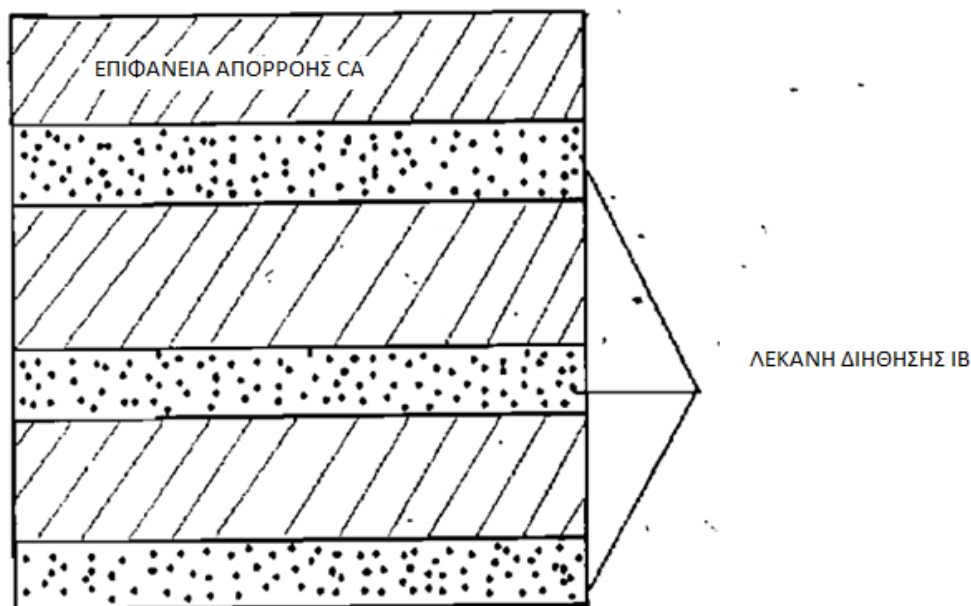
- P το ύψος βροχής (σε mm)
- R το ύψος απορροής (σε mm)

Να σημειωθεί ότι σε καλώς κατασκευασμένες και συντηρημένες επιφάνειες, το 30 με 80% του βρόχινου νερού μπορεί να αποθηκευτεί για να χρησιμοποιηθεί από τις καλλιέργειες (Giakoumakis 2008).



Εικόνα 2.6. Οριζοντιογραφία μικρολεκάνης τετραγωνικού σχήματος με τετραγωνική λεκάνη διήθησης IB στην μία γωνία.

Πηγή: (Meinzinger 2006)



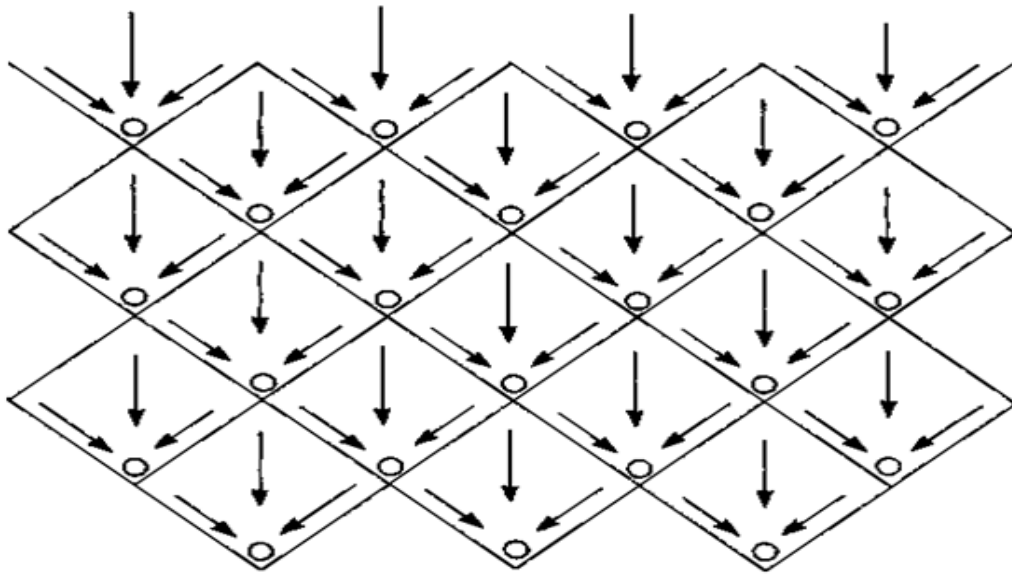
Εικόνα 2.7. Οριζοντιογραφία διάταξης μικρολεκανών με IB σε μορφή λωρίδας (strip)

Πηγή: (Meinzinger 2006)

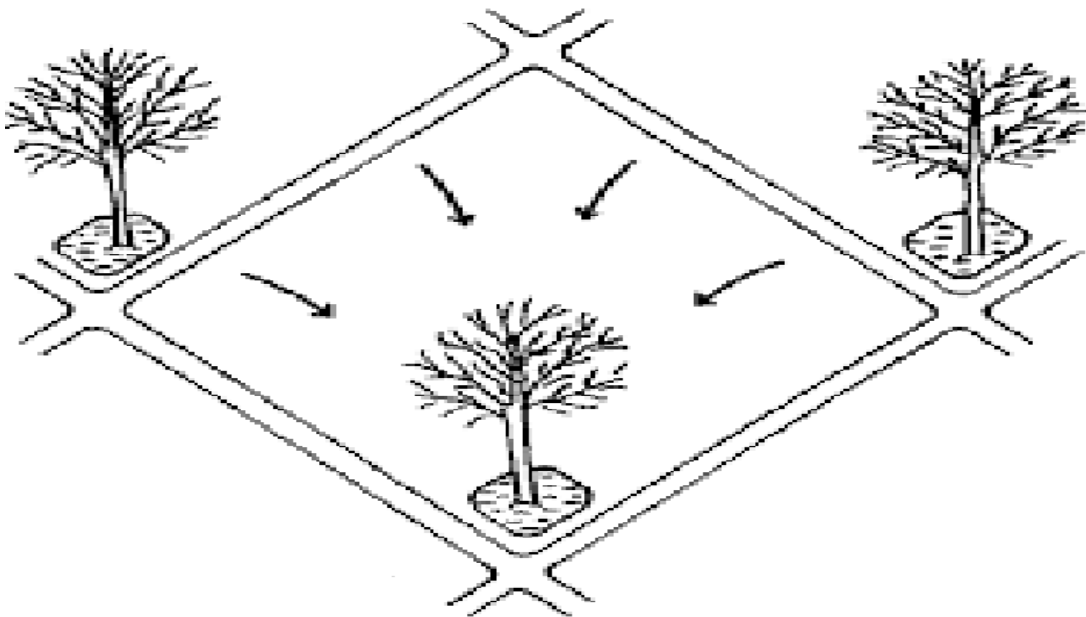
2.3. Παραλλαγές M.C.W.H.

Υπάρχουν διαφορετικές παραλλαγές της τεχνικής M.C.W.H., μερικές από τις οποίες είναι οι εξής:

Negarim (F.A.O. 1991, Renner and Frasier 1995, Prinz and Malik 2002), (Εικόνες 2.8. και 2.9.): Σύμφωνα με αυτή τη μέθοδο, δημιουργούνται τετραγωνικές μικρολεκάνες με επίσης τετραγωνικού σχήματος λεκάνη διήθησης IB, που βρίσκεται στη μια γωνία της μικρολεκάνης. Η επιφάνεια απορροής είναι κατάλληλα διαμορφωμένη, ώστε η απορροή να οδηγείται εύκολα στην IB. Χρησιμοποιείται συνήθως για μεμονωμένη φύτευση δέντρου ή καλλιέργειας (συνήθως δέντρου). Είναι μια από τις πιο συνηθισμένες τεχνικές M.C.W.H. και εφαρμόζεται συνήθως σε κλίσεις εδάφους 2 έως 8%, ιδανικά 3-5%. Εφαρμόζεται σε περιοχές με μέση ετήσια βροχόπτωση τουλάχιστον 150mm και ο λόγος των εμβαδών $\lambda = A_{CA}/A_{IB}$ κυμαίνεται από 1 έως 6. Τα εμβαδά της CA κυμαίνονται συνήθως από 3-250m² και της IB από 1-10m².



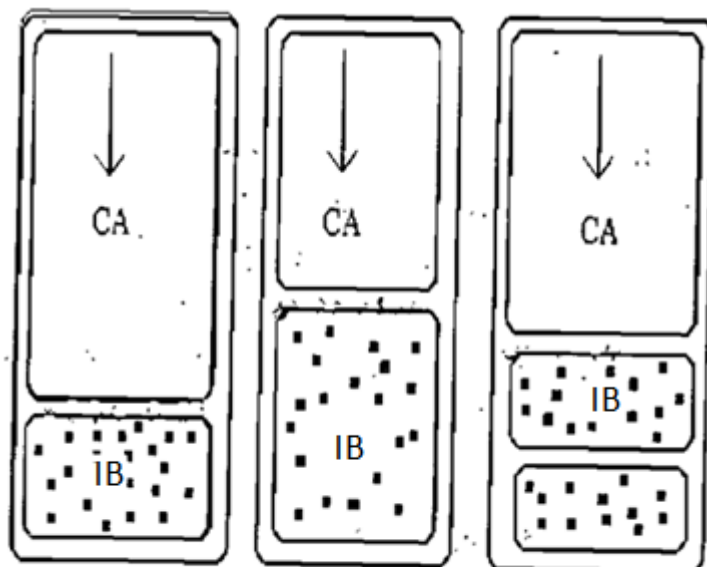
Εικόνα 2.8. Σκαρίφημα διάταξης μικρολεκανών τύπου Negarim
Πηγή: (F.A.O. 1991)



Εικόνα 2.9. Σκαρίφημα μικρολεκάνης τύπου Negarim
Πηγή: (F.A.O. 1991)

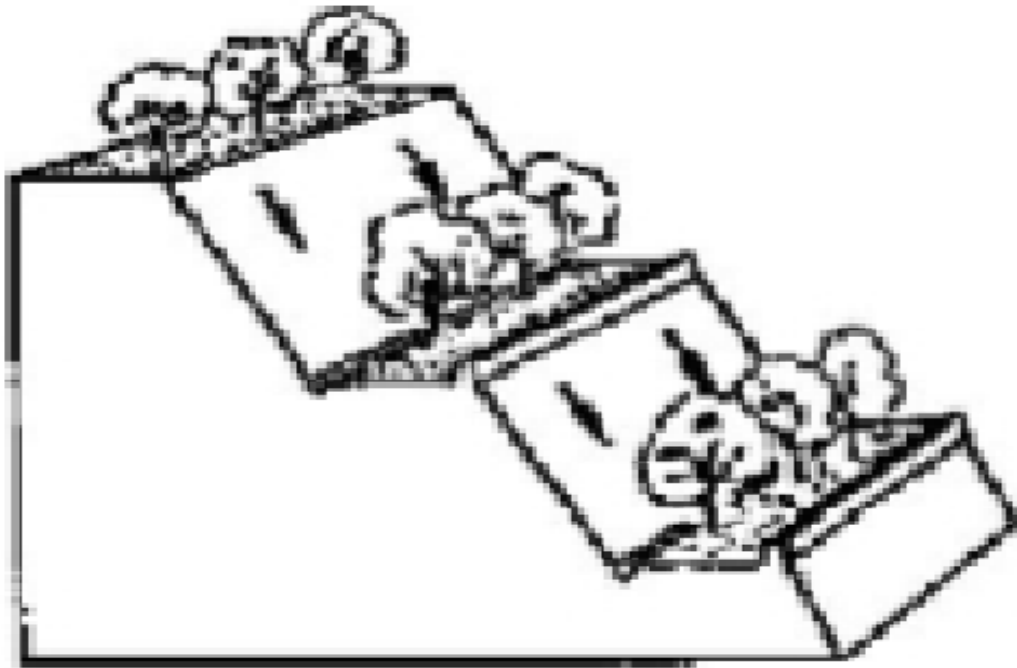
Meskat-type (Beckers et.al 2013, Renner and Frasier 1995), (Εικόνα 2.10.): Αυτή η μέθοδος εφαρμόζεται σε κλίσεις (2-15%) και είναι διαδομένη κυρίως στην Τυνησία. Η μικρολεκάνη αυτής της κατηγορίας αποτελείται από τα δύο τμήματα, την επιφάνεια απορροής που εδώ καλείται “Meskat” και από τη λεκάνη διήθησης που εδώ ονομάζεται “ mangaâ”. Συνήθως ο λόγος λ ισούται με 2 σε αυτή την περίπτωση. Η επιφάνεια απορροής είναι της τάξεως των 500 m² και παρέχει μέσω της απορροής νερό στην λεκάνη διήθησης, που αποτελείται από ένα ή περισσότερα τμήματα τα οποία περικλείονται από ξερολιθιές (ύψους περίπου 20cm) και συνδέονται μεταξύ τους μέσω ανοιγμάτων, ώστε το νερό να ρέει από τα υψηλότερα προς τα χαμηλότερα τμήματα. Το προτεινόμενο ελάχιστο ετήσιο ύψος βροχόπτωσης για να εφαρμοστεί η τεχνική αυτή είναι 200mm.

Contour bench terraces (F.A.O. 1991, Renner and Frasier 1995, Meininger 2006), (Εικόνα 2.11.): Εφαρμόζεται σε περιοχές με μεγαλύτερη κλίση από αυτές που εφαρμόζονται συνήθως τεχνικές micro-catchment water harvesting. Πιο συγκεκριμένα, αυτή η τεχνική προτιμάται σε περιοχές με κλίση 20-50% συνήθως, έτσι ώστε να αξιοποιηθούν εδάφη με σχετικά μεγάλες κλίσεις. Σχεδιάζονται αναβαθμοί και σε κάθε αναβαθμό διαμορφώνεται μια μικρολεκάνη που αποτελείται από τα δυο μέρη της CA και IB. Τα επιμέρους τμήματα (CA και IB) είναι ορθογωνικού σχήματος. Ο συνήθης λόγος των εμβαδών λ κυμαίνεται μεταξύ 1 έως 6 και εφαρμόζεται σε περιοχές που έχουν μέσο ετήσιο ύψος βροχόπτωσης τουλάχιστον 200mm. Οι διαστάσεις της CA κυμαίνονται συνήθως από 2-16m², ενώ της IB από 2-8m².



Εικόνα 2.10. Οριζοντιογραφία μικρολεκανών τύπου Meskat

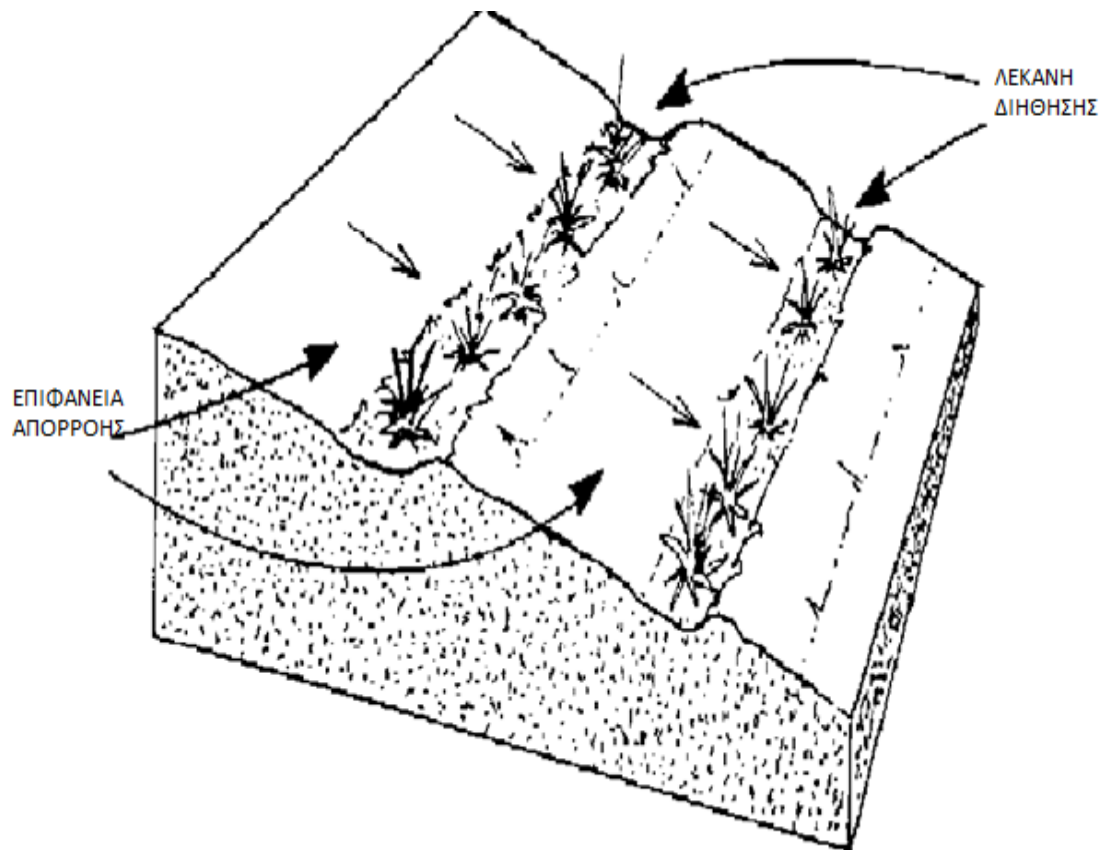
Πηγή: (Renner and Frasier 1995)



Εικόνα 2.11. Σύστημα μικρολεκανών τύπου Contour bench terraces

Πηγή: (F.A.O. 1991)

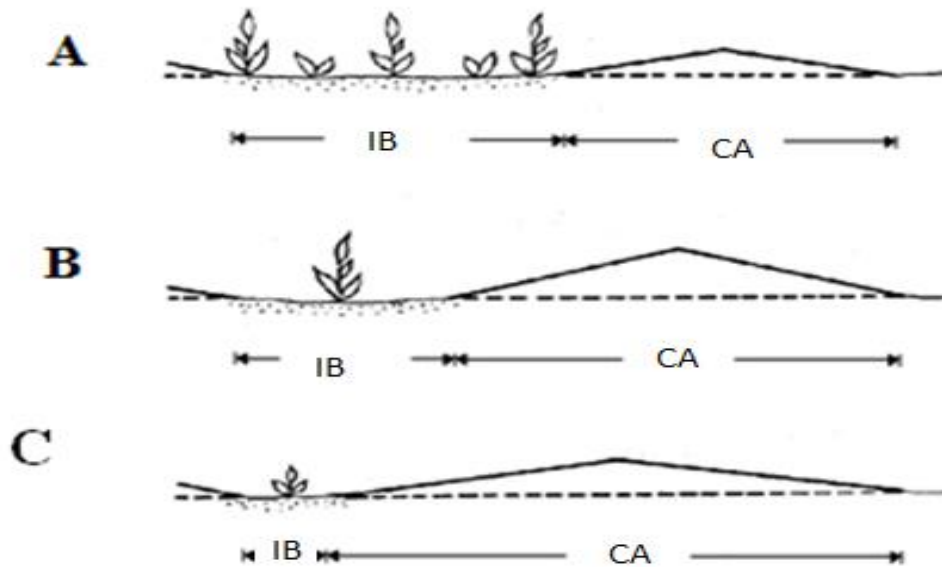
Desert strip farming (Rands 1980), (Εικόνα 2.12.): Σε αυτή την παραλλαγή η IB είναι σε μορφή λωρίδας (strip) και είναι μία από τις πιο συνηθισμένες μεθόδους M.C.W.H. Το σχήμα της μικρολεκάνης είναι ορθογωνικό με επίσης επιμέρους τμήματα ορθογωνικά. Σε κάποιες περιπτώσεις το σχήμα της μικρολεκάνης επιλέγεται και τετραγωνικό, αλλά γενικότερα προτιμάται το ορθογωνικό. Οι κλίσεις του εδάφους που συνήθως επιλέγονται για αυτήν την παραλλαγή κυμαίνονται από 2 έως 8%, ιδανικά γύρω στο 5%. Αποτελεί ίσως την ευκολότερη κατασκευαστικά λύση τεχνικής M.C.W.H. για κεκλιμένο έδαφος με αυτές τις κλίσεις. Ο λόγος λ κυμαίνεται συνήθως από 1 έως 6 και εφαρμόζεται σε περιοχές με μέση ετήσια βροχόπτωση τουλάχιστον 200mm.



Εικόνα 2.12. Σύστημα μικρολεκανών τύπου Desert Strip Farming

Πηγή: (Rands 1980)

Inter row water harvesting (Prinz and Malik 2002), (Εικόνα 2.13): Εφαρμόζεται σε εδάφη με πολύ ήπια κλίση, σχεδόν επίπεδα (κλίση μέχρι 1%) και απαιτεί ετήσιο ύψος βροχόπτωσης τουλάχιστον 200mm. Σε αυτή την περίπτωση δημιουργούνται πολύ μικρά λοφάκια και οι IB βρίσκονται ανάμεσά τους. Τα λοφάκια είναι τριγωνικού σχήματος και προκύπτουν δύο επιφάνειες απορροής για την κάθε IB. Ο λόγος λ (όπου CA το συνολικό δηλαδή και από τις δυο επιφάνειες απορροής) σε αυτήν την μέθοδο κυμαίνεται συνήθως από 1:1 έως 5:1.



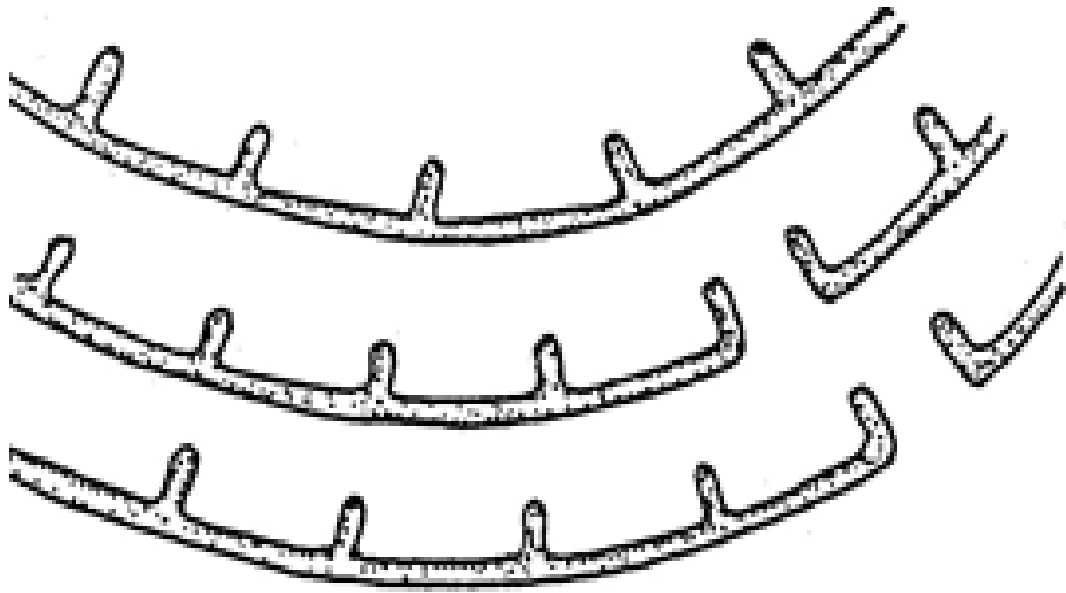
Εικόνα 2.13. Παραδείγματα της τεχνικής Inter row water harvesting

Πηγή: (Prinz and Malik 2002)

Countour ridges (ή αλλιώς **Countour bunds**) (Prinz2001), (Εικόνα 2.14.): Αυτή η τεχνική χρησιμοποιείται συνήθως σε περιοχές με μέσο ετήσιο ύψος βροχόπτωσης 300-600mm, σε κλίσεις 5-25%. Το μέγεθος της επιφάνειας απορροής CA συνήθως κυμαίνεται μεταξύ 50-100m², ενώ το μέγεθος της λεκάνης διήθησης IB μεταξύ 10-20 m². Ο λόγος λ που εφαρμόζεται είναι περίπου 5:1. Η τεχνική αυτή χρησιμοποιείται κυρίως για δέντρα. Ένα παράδειγμα εφαρμογής αυτής της τεχνικής είναι στην Kenya.

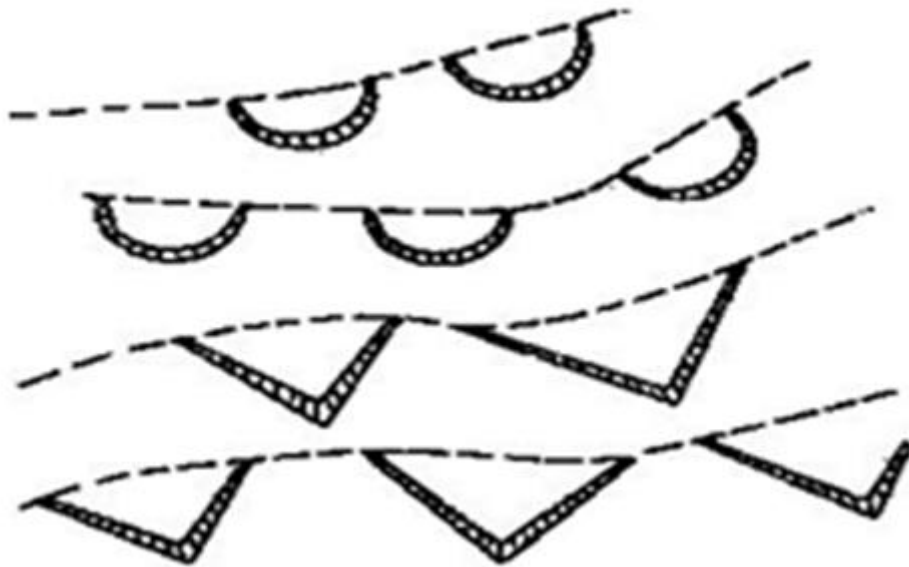
Semi-circular and triangular bunds (Prinz 2001), (Εικόνες 2.15. και 2.16.): Χρησιμοποιείται για δέντρα και θάμνους. Εφαρμόζεται σε κλίσεις 0,5-5% και σε περιοχές με μέσο ετήσιο ύψος βροχόπτωσης μεγαλύτερο των 300mm. Δημιουργούνται ημικυκλικές ή τριγωνικές ξεροληθιές ύψους περίπου 0,5m, οι οποίες σταματούν τη ροή του νερού λόγω της φυσικής κλίσης του εδάφους, ώστε να διηθηθεί στις IB. Ο λόγος λ σε αυτήν την περίπτωση είναι συνήθως 4:1.

Eyebrow terraces (Prinz 2001), (Εικόνες 2.17. και 2.18.): Εφαρμόζεται για μεμονωμένα δέντρα ή θάμνους σε περιοχές με κλίση 1-50%. Η επιφάνεια απορροής συνήθως κυμαίνεται σε μέγεθος 5-50 m², ενώ η λεκάνη διήθησης σε 1-5m². Ο λόγος λ κυμαίνεται από 3:1 έως 20:1 και εφαρμόζεται σε περιοχές με μέσο ετήσιο ύψος βροχόπτωσης 100-600mm.



Εικόνα 2.14. Τεχνική Countour ridges

Πηγή: (Prinz2001)

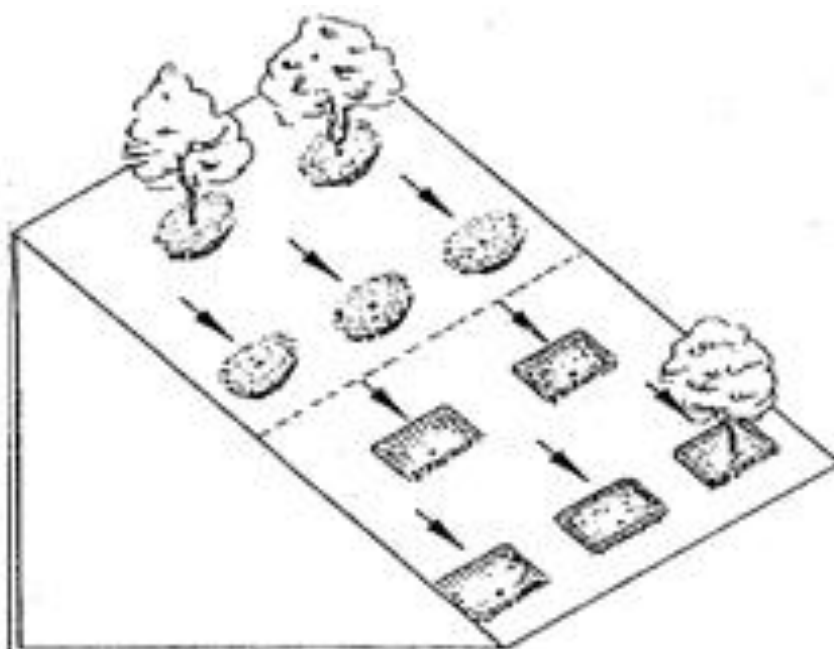


Εικόνα 2.15. Τεχνική Semi-circular and triangular bunds

Πηγή: (Prinz 2001)



Εικόνα 2.16. Εφαρμογή της τεχνικής semi-circular and triangular bunds στη Συρία
Πηγή: (Prinz 2001)

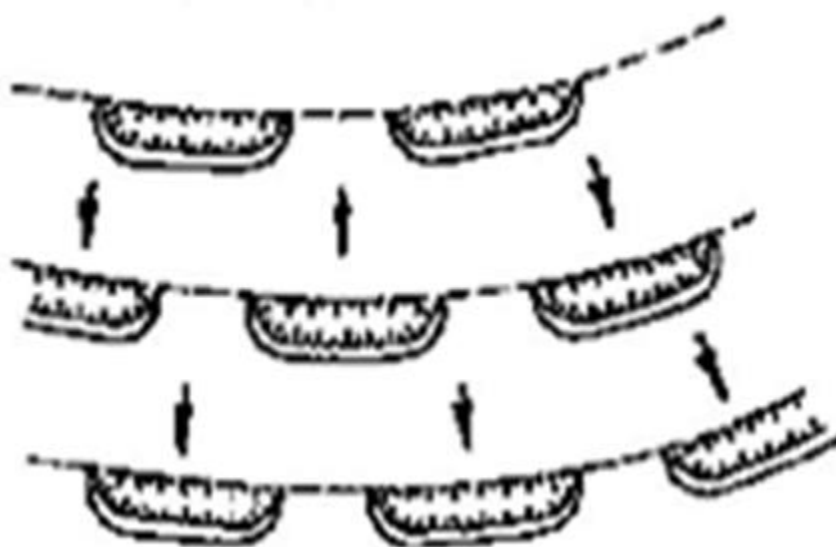


Εικόνα 2.17. Τεχνική Eyebrow terraces
Πηγή: (Prinz 2001)



Εικόνα 2.18. Εφαρμογή της τεχνικής Eyebrow terraces για δέντρα ελιάς στην Τυνησία
Πηγή: (Prinz 2001)

Vallerani-type (Prinz 2001), (Εικόνα 2.19.): Εφαρμόζεται σε περιοχές με μέση ετήσια βροχόπτωση 200-600mm και κλίσεις 20-50 %. Ο συνήθης λόγος λ είναι 6:1. Η μέθοδος είναι δύσκολη κατασκευαστικά και απαιτεί αρκετές εξειδικευμένες εργασίες για την εφαρμογή της.



Εικόνα 2.19. Τεχνική Vallerani-type
Πηγή: (Prinz 2001)

2.4. Τεχνικές βελτίωσης της μεθόδου M.C.W.H.

Με δεδομένες τις διαστάσεις και το σχήμα της CA και της IB, του εδάφους τους και της κλίσης της CA, υπάρχουν τεχνικές για να βελτιωθεί το αποτέλεσμα της μεθόδου, δηλαδή να αυξηθεί η ποσότητα του αποθηκευμένου νερού στο έδαφος της IB, αλλά και να χρειαστούν μικρότερες επιφάνειες απορροής, άρα και μικρολεκάνες για την αποθήκευση ίδιας ποσότητας νερού στο έδαφος. Αυτό μπορεί να γίνει με παρεμβάσεις στη CA, ώστε να αυξηθεί ο συντελεστής απορροής, αλλά και με παρεμβάσεις στη IB, ώστε να αυξηθεί η διηθητικότητα του εδάφους της (Boers and Ben Asher 1982).

2.4.1. Επεμβάσεις στην επιφάνεια απορροής CA

Όπως έχει αναφερθεί, τα εδάφη που ευνοούν την απορροή είναι αυτά που είναι αδιαπέρατα ή ελάχιστα διαπερατά στο νερό. Τέτοια εδάφη είναι τα λεπτόκκοκα ή αλλιώς, όπως λέγονται, συνεκτικά εδάφη, χωρίς να αποκλείονται και οι συμπαγείς βράχοι (Καββαδάς 2006). Σε περίπτωση που δεν συναντώνται τέτοια εδάφη στη CA, υπάρχουν διάφορες τεχνικές για την αύξηση του συντελεστή απορροής. Παρακάτω παρουσιάζονται κάποιες από αυτές:

ΒΟΤΑΝΙΣΜΑ

Σύμφωνα με έρευνες που έχουν γίνει, έχει αποδειχτεί ότι το βοτάνισμα, δηλαδή η αφαίρεση της όποιας βλάστησης από τη CA, μειώνει την ικανότητα διήθησης του εδάφους. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση της απορροής στη CA. Συνήθως αυτή η μέθοδος συνδυάζεται με τη μέθοδο της επιφανειακής επεξεργασίας (Boers and Ben-Asher 1982).

ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

Η μέθοδος αυτή στοχεύει στην ελάττωση της επιφανειακής παγίδευσης του απορρέοντος νερού. Κατά την εφαρμογή αυτής της μεθόδου γίνεται καθαρισμός της CA από πέτρες και βράχους με ταυτόχρονη λείανση και συμπίεση της επιφάνειας του εδάφους. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να μην υπάρχουν τοπικές ανωμαλίες όπου το απορρέον νερό θα παγιδευόταν, με συνέπεια την αύξηση του συντελεστή απορροής.

Πρέπει να σημειωθεί ότι τόσο η επιφανειακή επεξεργασία όσο και η διαχείριση της φυτοκάλυψης είναι σχετικά φθηνές μέθοδοι με μεγάλη διάρκεια ζωής. Επιπλέον, αξιοσημείωτο είναι ότι όταν η επιφάνεια αντιμετωπίζει κυρίως πρόβλημα μεγάλης διηθητικότητας του εδάφους, επιδρά θετικά το βοτάνισμα, ενώ όταν έχει προβλήματα με επιφανειακή παγίδευση, επιδρά θετικά η επιφανειακή επεξεργασία. Βεβαίως το βοτάνισμα προηγείται της επιφανειακής επεξεργασίας σε περίπτωση που εφαρμοστούν και οι δύο μέθοδοι (Boers and Ben-Asher 1982).

ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ

Μία μέθοδος για την τεχνητή μείωση της διηθητικότητας του εδάφους, είναι η συμπίκνωση του. Αυτό μπορεί να γίνει με διάφορους τρόπους όπως η πτώση βάρους (δυναμική συμπίκνωση) και με μηχανικούς οδοστρωτήρες. Με τη συμπίκνωση το έδαφος γίνεται πυκνότερο με μικρότερο πορώδες, με συνέπεια να έχει μικρότερη διηθητικότητα, που συνεπάγεται αύξηση του συντελεστή απορροής (Καββαδάς 2006).

ΧΗΜΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

Με αυτή τη μέθοδο χρησιμοποιούνται διάφορα χημικά υλικά, ώστε να επιτευχθεί μείωση της διηθητικότητας του εδάφους, με συνέπεια την αύξηση της επιφανειακής απορροής. Τέτοια υλικά είναι άλατα νατρίου, παραφινικό κερί, σιλικόνη και άσφαλτος. Όσον αφορά τα άλατα νατρίου έχουν την ιδιότητα να διεισδύουν στους πόρους του εδάφους και να τους σφραγίζουν μερικά. Όσον αφορά το κερί και την άσφαλτο, όταν εφαρμοστούν στο έδαφος δημιουργείται ένα λεπτό στρώμα, κλείνοντας κάθε πόρο του εδάφους (Boers and Ben-Asher 1982).

Επίσης, πολλοί τύποι συνθετικών μεμβρανών έχουν χρησιμοποιηθεί για την αύξηση της απορροής. Οι πλαστικές μεμβράνες, όπως το πολυαιθυλένιο και το PVC, έχουν χρησιμοποιηθεί σε εκατοντάδες τετραγωνικά μίλια έργων αναζωογόνησης στην Κίνα. Είναι πολύ αποτελεσματικές, αλλά γενικά έχουν διάρκεια λιγότερο από ένα χρόνο. Το καουτσούκ βουτυλίου και τα φύλλα χλωριωμένου πολυαιθυλενίου διαρκούν πολύ περισσότερο. Κάθε τέτοιου τύπου υλικό είναι δαπανηρό και πρέπει να είναι καλά τοποθετημένο. Ακόμη και σκυρόδεμα και άλλες σκληρές επιφάνειες μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για την στεγανοποίηση της CA (Γλύνης και Μανιουδάκης 1999).

2.4.2.Επεμβάσεις στην λεκάνη διήθησης IB

Τα εδάφη που είναι κατάλληλα για αυτό το τμήμα της μικρολεκάνης είναι τα μέσης κοκκομετρικής σύστασης, τα οποία είναι γόνιμα, έχουν καλή διηθητικότητα, αλλά και καλή ικανότητα συγκράτησης νερού, που είναι και τα ζητούμενα για την αποτελεσματικότητα της μεθόδου. Επεμβάσεις στη λεκάνη διήθησης IB για βελτίωση της αποδοτικότητας της τεχνικής, είναι επεμβάσεις αύξησης της διηθητικότητας, ώστε να μειωθούν οι απώλειες νερού λόγω εξάτμισης.

ΠΡΟΣΘΗΣΗ ΟΡΓΑΝΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

Η χρήση οργανικών υλικών στο έδαφος αυξάνει τη διηθητικότητα του εδάφους (Renner and Frasier 1995).

2.5.Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της τεχνικής M.C.W.H.

Μερικά πλεονεκτήματα της μεθόδου αναφέρονται παρακάτω (Giakoumakis 2008, Chhotray 2017, Γλύνης και Μανιουδάκης 1999):

- Προσαρμόζεται εύκολα στο τοπικό περιβάλλον της περιοχής
- Οι μικρολεκάνες σχηματίζονται με απλές μεθόδους κατασκευής, ακόμα και με χειρονακτικές εργασίες
- Χαμηλό κόστος κατασκευής
- Μηδενική κατανάλωση ενέργειας
- Δεν απαιτούνται ειδικά συστήματα αποθήκευσης νερού, αφού αυτό αποθηκεύεται κατευθείαν στο ριζόστρωμα των καλλιεργειών
- Όταν στη λεκάνη διήθησης υπάρχουν απώλειες νερού λόγω βαθείας διήθησης, εμπλουτίζονται οι υδροφορείς
- Βελτίωση της απόπλυσης και συχνά μείωση του κινδύνου αλατότητας του εδάφους
- Μείωση της διάβρωσης των εδαφών
- Εκμετάλλευση του βρόχινου νερού που αλλιώς θα χανόταν ανεκμετάλλευτο
- Βελτίωση της παραγωγικότητας

Μειονεκτήματα της μεθόδου(Chhotray 2017):

- Η άμεση εξάρτηση της αποτελεσματικότητάς της από τις κλιματολογικές συνθήκες της περιοχής και ειδικότερα από τη βροχόπτωση
- Σχετικά χαμηλή απόδοση ανά μονάδα έκτασης. Αυτό σημαίνει πως για αποδοτική εφαρμογή της μεθόδου, απαιτείται σχετικά μεγάλη έκταση

2.6.Απαιτούμενα δεδομένα για την εφαρμογή της τεχνικής M.C.W.H.

Για τον σχεδιασμό μιας διάταξης μικρολεκανών στην περιοχή ενδιαφέροντος απαιτούνται κάποια δεδομένα τα οποία παρουσιάζονται παρακάτω (Giakoumakis 2008, Sharamo 2002, Walker and Tsubo 2003, F.A.O. 1991, Fidelibus and Bainbridge 1995, Ali 2012):

ΒΡΟΧΟΜΕΤΡΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ

Η τεχνική M.C.W.H. εξαρτάται άμεσα από τα γεγονότα των βροχοπτώσεων, αφού η άρδευση γίνεται με την αξιοποίηση μόνο του βρόχινου νερού. Τα βροχομετρικά δεδομένα απαιτούνται αρχικά για να κριθεί αν η περιοχή είναι κατάλληλη ως προς την απαίτηση της μέσης ετήσιας βροχόπτωσης που ορίστηκε προηγουμένως. Έπειτα, αν η περιοχή κριθεί κατάλληλη για την εφαρμογή της τεχνικής M.C.W.H., απαιτούνται τα βροχομετρικά δεδομένα για τον υπολογισμό της απορροής στην CA με τη βοήθεια κάποιου μοντέλου βροχόπτωσης-απορροής και κατά συνέπεια, για τον υπολογισμό του νερού που θα αποθηκευτεί στην IB από την απορροή της CA και από το νερό που πέφτει ως βροχόπτωση απευθείας στην IB.

Προτιμάται να συλλέγονται για την περιοχή μηνιαία ύψη βροχής, χωρίς όμως να αποκλείονται τα ετήσια για τον σχεδιασμό. Επιδιώκεται να υπάρχουν βροχομετρικά δεδομένα για την περιοχή τουλάχιστον 10 συνεχόμενων υδρολογικών ετών από βροχομετρικό σταθμό, όσο γίνεται πιο κοντά στην περιοχή ενδιαφέροντος.

Με βάση τα δεδομένα υψών βροχόπτωσης που συλλέγονται, επιλέγεται η βροχόπτωση σχεδιασμού όπως θα αναφερθεί παρακάτω.

ΕΔΑΦΟΛΟΓΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ

Για να κριθεί αν κάποια περιοχή είναι κατάλληλη από άποψη εδάφους για την εφαρμογή της τεχνικής M.C.W.H. αλλά και για τον σχεδιασμό αν κριθεί κατάλληλη, απαιτούνται εδαφολογικά δεδομένα για αυτήν. Τα δεδομένα αυτά θα πρέπει να περιέχουν πληροφορία για την υφή του εδάφους (κοκκομετρική σύσταση), αλλά και για το βάθος του. Η γνώση της υφής είναι βασική για την εκτίμηση της απορροής και άρα, για την διαστασιολόγηση της μικρολεκάνης, αλλά και για να εκτιμηθεί κατά πόσο θα ήταν θεμιτό να γίνουν παρεμβάσεις στην CA για την στεγανοποίησή της και επομένως, για την αύξηση της επιφανειακής απορροής. Από την άλλη, η γνώση του βάθους του εδάφους της περιοχής είναι βασικό στοιχείο για να κριθεί η καταλληλότητά της μεθόδου, αλλά και για την επιλογή καλλιεργειών, εφόσον, όπως έχει αναφερθεί, πρέπει να υπάρχει αρκετό βάθος εδάφους ώστε να δίνεται η δυνατότητα αποθήκευσης επαρκούς ποσότητας νερού για να καλυφθούν οι ανάγκες των καλλιεργειών, αλλά και παράλληλα να μην είναι πολύ μεγαλύτερο από το βάθος του ριζοστρώματος, γιατί τότε το νερό θα κινηθεί σε κατώτερα στρώματα και θα παραμείνει ανεκμετάλλευτο.

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ

Η θερμοκρασία είναι βασική παράμετρος για τον υπολογισμό της εξατμισοδιαπνοής αναφοράς της περιοχής. Χωρίς καταγεγραμμένα δεδομένα θερμοκρασίας δεν γίνεται με κανένα μαθηματικό μοντέλο να προσδιοριστεί η εξατμισοδιαπνοή αναφοράς και έπειτα με τη βοήθεια του φυτικού συντελεστή της αντίστοιχης καλλιέργειας να προσδιοριστεί η εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας. Ασφαλώς, πολυπλοκότερα μοντέλα υπολογισμού της εξατμισοδιαπνοής αναφοράς απαιτούν και άλλα δεδομένα,

που συνήθως δεν είναι διαθέσιμα. Όσον αφορά τα δεδομένα θερμοκρασίας, συνήθως είναι διαθέσιμα της μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας για χρονικό διάστημα όσο και των βροχομετρικών δεδομένων που χρησιμοποιούνται από μετεωρολογικό σταθμό, όσο γίνεται εγγύτερα στην περιοχή ενδιαφέροντος.

ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ

Όπως έχει αναφερθεί, για την επιλογή της περιοχής, αλλά και για τον σχεδιασμό του συστήματος των μικρολεκανών κατόπιν, σημαντικό στοιχείο είναι η τοπογραφία της περιοχής. Πρέπει δηλαδή να υπάρχει γνώση του αναγλύφου, της μέσης κλίσης του εδάφους και της ομαλότητάς του. Αυτό είναι σημαντικό για τον σχεδιασμό των μικρολεκανών, αλλά και για τον υπολογισμό των χωματουργικών εργασιών που πρέπει να γίνουν στην περιοχή εφαρμογής. Τέτοιου είδους πληροφορία μπορεί να συλλεγεί από τοπογραφικούς χάρτες ή από ψηφιακά μοντέλα εδάφους.

2.7.Εξάτμιση-εξατμισοδιαπνοή

Ιδιαίτερα χρήσιμο για το υδατικό ισοζύγιο της μικρολεκάνης και άρα και για τον σχεδιασμό της, είναι η εξάτμιση που συμβαίνει στην περιοχή της μικρολεκάνης και η εξατμισοδιαπνοή (Εικόνα 2.20.), που συμβαίνει στη λεκάνη διήθησης της IB, όπου και αναπτύσσονται τα φυτά.

Εξάτμιση

Εξάτμιση είναι το φαινόμενο μέσω του οποίου ένα υλικό μεταπίπτει από την υγρή ή την στερεά κατάσταση στην αέρια (Αλεξιάδης 2005)

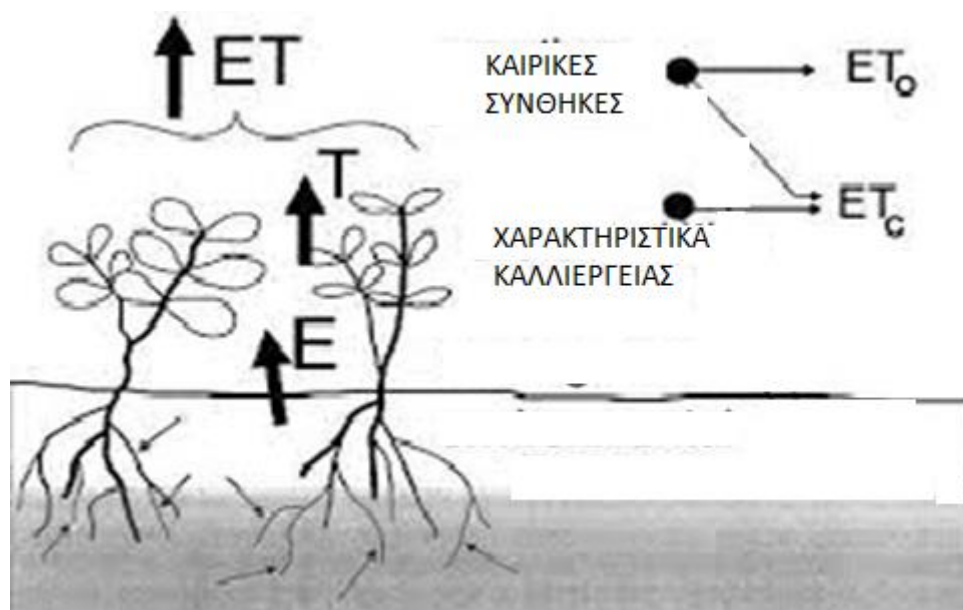
Εξατμισοδιαπνοή

Στις φυτοκαλυμμένες περιοχές ένα ποσοστό του εξατμιζόμενου νερού είναι νερό το οποίο περνά μέσα από το φυτό και εξέρχεται στην ατμόσφαιρα κυρίως μέσω των στομάτων των φυλλωμάτων. Αυτή η διαδικασία ονομάζεται διαπνοή. Η απευθείας εξάτμιση από το έδαφος και η διαπνοή γίνονται ταυτόχρονα στη φύση και είναι δύσκολο να διαχωριστούν οι υδρατμοί που παράγονται από τις δυο διεργασίες. Για αυτό το λόγο χρησιμοποιείται ο όρος εξατμισοδιαπνοή καλλιέργειας για να περιγράψει την συνολική διεργασία μεταφοράς νερού στην ατμόσφαιρα από φυτοκαλυμμένες επιφάνειες. Οι βασικοί παράγοντες που επηρεάζουν την εξατμισοδιαπνοή είναι κλιματολογικοί παράγοντες (θερμοκρασία αέρα, ηλιακή ακτινοβολία, σχετική υγρασία, ταχύτητα ανέμου), η ικανότητα διήθησης του εδάφους και το είδος της καλλιέργειας (Κουτσογιάννης 2012, Αλεξιάδης 2005).

Αξιοσημείωτος όρος για την εξατμισοδιαπνοή είναι η εξατμισοδιαπνοή αναφοράς. Η εξατμισοδιαπνοή αναφοράς έχει οριστεί ως εξής: Η εξατμισοδιαπνοή από μια εκτεταμένη επιφάνεια, που είναι καλυμμένη από γρασίδι ομοιόμορφου ύψους 8 έως 15cm, που αυξάνεται ενεργά, σκεπάζει εξ'ολοκλήρου το έδαφος και έχει επάρκεια νερού για την ανάπτυξή του (Μπαλτάς 2012).

Μέθοδοι εκτίμησης εξατμισοδιαπνοής αναφοράς

Υπάρχουν διάφορα μοντέλα εκτίμησης της εξατμισοδιαπνοής αναφοράς. Όσο πιο σύνθετο είναι το μοντέλο, τόσο πιο ακριβή και περισσότερα δεδομένα χρειάζονται. Στην εργασία αυτή επιλέχθηκε να χρησιμοποιηθεί ένα απλό εμπειρικό μοντέλο που απαιτεί μόνο τη μέση μηνιαία θερμοκρασία αέρα ως βασικό δεδομένο εισόδου και ονομάζεται μέθοδος Thornthwaite. Παρακάτω παρουσιάζεται συνοπτικά το μοντέλο αυτό (Τσακίρης 2006):



Εικόνα 2.20. Εξατμισοδιαπνοή καλλιέργειας

Πηγή: (Αλεξιάδης 2005)

Μέθοδος Thornthwaite

Η εξίσωση της μεθόδου Thornthwaite παρέχει την μηνιαία εξατμισοδιαπνοή αναφοράς σε (mm) και έχει ως εξής:

$$ET_0 = 16 \cdot (N/12) \cdot (m/30) \cdot (10 \cdot T_{\text{mean}}/I)^a \quad (2.27.)$$

Όπου:

N : η μέση μηνιαία ηλιοφάνεια [ώρες/ημέρα]

m : ο αριθμός ημερών του μήνα [-]

T_{mean} : η μέση μηνιαία θερμοκρασία [°C]

Το a δίνεται από τη σχέση:

$$a=6.75 \cdot 10^{-7} \cdot I^3 - 7.71 \cdot 10^{-5} \cdot I^2 + 1.79 \cdot 10^{-2} \cdot I + 0.49 \quad (2.28.)$$

Το I δίνεται από τη σχέση:

$$I = \Sigma(T_i^{\text{mean}}/5)^{1.514} \quad (2.29.)$$

Εξατμισοδιαπνοή καλλιέργειας

Εφόσον υπολογιστεί η εξατμισοδιαπνοή αναφοράς, μπορεί στη συνέχεια να υπολογιστεί η εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας ET_c . Η ET_c είναι η εξατμισοδιαπνοή για μια συγκεκριμένη καλλιέργεια και ουσιαστικά αντιπροσωπεύει τις ανάγκες σε νερό της καλλιέργειας αυτής. Η ET_c μιας καλλιέργειας σε mm υπολογίζεται με τη χρήση του φυτικού συντελεστή K_c της καλλιέργειας ως εξής:

$$ET_c = K_c \cdot ET_0 \quad (2.30.)$$

Όπου:

K_c : ο φυτικός συντελεστής καλλιέργειας [-]

ET_0 : η εξατμισοδιαπνοή αναφοράς [mm/ημέρα]

Σημειώνεται ότι οι περισσότερες επιρροές από τις μετεωρολογικές συνθήκες είναι ενσωματωμένες στην τιμή της ET_0 . Ο συντελεστής K_c διαφοροποιείται ανάλογα με τα ειδικά χαρακτηριστικά κάθε καλλιέργειας και εξαρτάται επίσης από τα στάδια ανάπτυξής της (Τσακίρης 2006).

Διακρίνονται τέσσερα στάδια ανάπτυξης (F.A.O. 1991):

- 1). Το αρχικό στάδιο όπου η καλλιέργεια χρησιμοποιεί λίγο νερό
- 2). Το στάδιο ανάπτυξης όπου η υδατοκατανάλωση της καλλιέργειας αυξάνεται
- 3). Το μέσο στάδιο όπου η υδατοκατανάλωση της καλλιέργειας φτάνει στο ανώτατο όριο
- 4). Το τελικό στάδιο όπου μειώνεται η υδατοκατανάλωση της καλλιέργειας

Ο K_c δίνεται από πίνακες για το κάθε στάδιο ανάπτυξης του φυτού. Να σημειωθεί ότι οι τιμές μπορεί να διαφοροποιούνται ανάλογα και με τις κλιματολογικές συνθήκες που επικρατούν στη περιοχή όπου αναπτύσσονται οι καλλιέργειες.

2.8. Κατάλληλες καλλιέργειες για την τεχνική M.C.W.H.

Σε συστήματα Water Harvesting συνήθως προτιμώνται είδη φυτών που είναι σε θέση να υποστούν περιόδους με σχετικά ξηρό έδαφος. Τα φυτά αυτά θα πρέπει να έχουν βαθιές ρίζες (κυρίως για δέντρα) και οι απαιτήσεις τους σε νερό να είναι ανάλογες των βροχοπτώσεων που επικρατούν στη περιοχή (Renner and Frasier 1995). Γενικά οι τοπικές καλλιέργειες ή τα δέντρα προσαρμόζονται καλύτερα στο τοπικό περιβάλλον

και θα πρέπει να έχουν προτεραιότητα σε σχέση με τα υπόλοιπα είδη. Επιλέγονται ανθεκτικά στην ξηρασία δέντρα, θάμνοι και καλλιέργειες. Αυτά μπορούν συχνά να επιβιώσουν ακόμη και σε ακραίες συνθήκες ξηρασίας, όταν το σύστημα δεν παρέχει επαρκή υγρασία (Giakoumakis 2008).

Συνηθισμένες καλλιέργειες σε συστήματα Water Harvesting είναι το βαμβάκι, ο αραβόσιτος (καλαμπόκι), κεχρί, ζαχαρόχορτο, όσπρια, αραχίδα (F.A.O. 1991).

Όσον αφορά τα δέντρα, συνήθως επιλέγονται δέντρα ξηρών καρπών, όπως φυστικιές και αμυγδαλιές, καθώς και άλλα δέντρα όπως βερυκοκιές και ροδιές (Giakoumakis 2008).

2.9. Μοντέλο βροχόπτωσης-απορροής και βροχή-απορροή σχεδιασμού

Βασικό στοιχείο για τον σχεδιασμό μιας μικρολεκάνης απορροής είναι η απορροή που δημιουργείται στην επιφάνεια απορροής CA και τροφοδοτεί την λεκάνη διήθησης IB. Ο υπολογισμός της γίνεται με τη χρήση μοντέλων βροχόπτωσης-απορροής. Ένα σύνθητες μοντέλο βροχόπτωσης-απορροής που χρησιμοποιείται για τον σχεδιασμό συστημάτων water harvesting είναι η μέθοδος Curve Number (CN) της υπηρεσίας Soil Conservation Service (SCS) των ΗΠΑ (Ali 2012). Το συγκεκριμένο μοντέλο έχει χρησιμοποιηθεί κατά το παρελθόν σε πολλές ερευνητικές εργασίες της μεθόδου M.C.W. H. (Ali 2012, Sharamo 2002, Rands 1980). Επιπλέον, είναι το μόνο από τα γνωστά (π.χ. γραμμικό, κινηματικού κύματος), που έχουν χρησιμοποιηθεί για τη μέθοδο αυτή, που δεν απαιτεί μετρημένες τιμές απορροής αλλά στηρίζεται εξ ολοκλήρου στη βροχόπτωση (Εφραιμίδης 1992).

Παρακάτω περιγράφεται συνοπτικά το μοντέλο CN της SCS (Τσακίρης 2013):

Σύμφωνα με τη μέθοδο CN εκτιμάται ότι οι αρχικές απώλειες (συγκράτησης, εξάτμισης) είναι 20% των συνολικών απωλειών S. Σύμφωνα με αυτή τη μέθοδο η απορροή σε mm, υπολογίζεται από τη παρακάτω εξίσωση:

$$R = (P - 0,2 \cdot S)^2 / (P + 0,8 \cdot S), \text{ για } P > 0,2 \cdot S \quad (2.31.)$$

$$R = 0, \text{ για } P < 0,2 \cdot S$$

Όπου:

P: ύψος βροχόπτωσης [mm]

S: συνολικές απώλειες της βροχόπτωσης σε [mm]

Οι συνολικές απώλειες είναι συνάρτηση μιας παραμέτρου, γνωστής ως αριθμό καμπύλης απορροής CN, με εξίσωση:

$$S = (25400 / CN) - 254 \text{ [mm]} \quad (2.32)$$

Ο αριθμός CN εξαρτάται από την διηθητικότητα και διαπερατότητα του εδάφους και δίνεται από πίνακες, με βάση τον υδρολογικό τύπο του εδάφους (A,B,C,D, εξαρτάται από τη διαπερατότητα και τη διηθητικότητά του) και τη χρήση γης της περιοχής. Για την Ελλάδα έχει προταθεί να χρησιμοποιείται ο πίνακας του Wanielista (Wanielista 1990).

Για να βρεθεί η απορροή σχεδιασμού ακολουθείται η εξής διαδικασία:

1). Εύρεση της βροχόπτωσης σχεδιασμού για την εφαρμογή της M.C.W.H. από δεδομένα τουλάχιστον 10 ετών και για περίοδο επαναφοράς μικρότερη των 10 ετών (Sharamo 2002).

2). Εύρεση της απορροής σχεδιασμού από το μοντέλο βροχόπτωσης – απορροής, με την αντικατάσταση της βροχόπτωσης σχεδιασμού στην μεταβλητή Ρ του μοντέλου.

Σε αυτήν την εργασία χρησιμοποιήθηκαν ετήσια δεδομένα βροχόπτωσης τα οποία βρέθηκε ότι προσαρμόζονται ικανοποιητικά στην κανονική κατανομή. Για αυτό τον λόγο παρακάτω παρουσιάζεται συνοπτικά το τυπολόγιο της κανονικής κατανομής, όπως επίσης και η διαδικασία ελέγχου προσαρμογής της στο δείγμα.

Κανονική κατανομή-Τιμή σχεδιασμού

Για περίοδο επαναφοράς T προκύπτει η αθροιστική πιθανότητα υπέρβασης (Τσακίρης και Βαγγέλης 2009):

$$P(z) = 1/T \quad (2.33.)$$

Στην συνέχεια, από τον πίνακα της Τυπικής Κανονικής Κατανομής, προκύπτει η ανηγμένη μεταβλητή z για την αντίστοιχη αθροιστική πιθανότητα. Σημειώνεται ότι στην περίπτωση της κανονικής κατανομής, η ανηγμένη μεταβλητή ισούται με τον παράγοντα συχνότητας.

Στη συνέχεια υπολογίζονται η μέση τιμή των τιμών του δείγματος μ και η τυπική απόκλιση σ , ως εξής:

$$\mu = \sum X_i / N \quad (2.34.)$$

Όπου:

X_i : οι τιμές του δείγματος

N: το πλήθος των παρατηρήσεων

$$\sigma = \left(\sum (X_i - \mu)^2 / (N-1) \right)^{0.5} \quad (2.35.)$$

Τέλος, για την αντίστοιχη αθροιστική πιθανότητα υπέρβασης, η τιμή σχεδιασμού x προκύπτει από την σχέση:

$$x = \mu + z \cdot \sigma \quad (2.36.)$$

Έλεγχος καταλληλότητας κατανομής-τεστ χ^2

Το τεστ χ^2 είναι ένας αξιόπιστος στατιστικός έλεγχος καταλληλότητας μιας θεωρητικής κατανομής στα διαθέσιμα δεδομένα. Κατά την διαδικασία αυτή, οι παρατηρήσεις εντάσσονται σε k συνολικά κλάσεις με O_i τον αριθμό των παρατηρήσεων στην κλάση i και E_i τον αριθμό των παρατηρήσεων που προκύπτει από την θεωρητική κατανομή για την ίδια κλάση (E_i = θεωρητική σχετική συχνότητα πολλαπλασιασμένη με τον συνολικό αριθμό των παρατηρήσεων).

Υπολογίζεται η παράμετρος:

$$\chi_d^2 = \sum (O_i - E_i)^2 / E_i \quad (2.37.)$$

Αυτή συγκρίνεται με την ποσότητα που προκύπτει από την κατανομή χ^2 με $k-p-1$ βαθμούς ελευθερίας, όπου p ο αριθμός των παραμέτρων της θεωρητικής κατανομής, που στην περίπτωση της Τυπικής Κανονικής Κατανομής είναι 2 (μέση τιμή και τυπική απόκλιση).

Η μεταβλητή k είναι ο αριθμός των κλάσεων που διαιρείται το δείγμα και ευρίσκεται από τον παρακάτω εμπειρικό τύπο:

$$k = 1 + 3.3 \cdot \log N \quad (2.38.)$$

Όπου:

N : ο αριθμός των παρατηρήσεων

Υπολογίζεται η ανηγμένη μεταβλητή z για τις τιμές των ορίων της κάθε κλάσης:

$$z = (X_i - \mu) / \sigma \quad (2.39.)$$

Όπου:

X_i : η τιμή του ορίου της κλάσης

μ : η μέση τιμή των παρατηρήσεων

σ : η τυπική απόκλιση των παρατηρήσεων

Η υπόθεση ότι οι παρατηρήσεις προέρχονται από έναν πληθυσμό της θεωρητικής κατανομής που εξετάζεται, γίνεται δεκτή για ένα επίπεδο εμπιστοσύνης $(1-\alpha)$ που εκλέγεται συνήθως από 90 έως 99%, αν ισχύει:

$$\chi_d^2 < \chi_{1-\alpha, k-p-1}^2 \quad (2.40.)$$

Η ποσότητα δεξιά της ανισότητας βρίσκεται από τον πίνακα της κατανομής χ^2 για πιθανότητα υπέρβασης α και $v=k-p-1$ βαθμούς ελευθερίας.

2.10. Διαστασιολόγηση της μικρολεκάνης και των επιμέρους τμημάτων της

Όσον αφορά την διαστασιολόγηση της μικρολεκάνης, αρχικά διαστασιολογείται η λεκάνη διήθησης IB με βάση το είδος του φυτού που έχει επιλεγεί. Συγκεκριμένα η IB θα πρέπει να έχει εμβαδόν λίγο μεγαλύτερο από την επιφάνεια που καλύπτει το ενεργό ριζόστρωμα του φυτού ή των φυτών που αναπτύσσονται σε αυτό το κομμάτι της μικρολεκάνης (Mehemed 2011).

Στην συνέχεια υπολογίζεται ο απαιτούμενος λόγος λ των εμβαδών της επιφάνειας απορροής CA προς την λεκάνη διήθησης IB .

Γνωρίζοντας τον λόγο των εμβαδών των επιμέρους τμημάτων της μικρολεκάνης και το εμβαδόν της IB, προκύπτει το εμβαδόν της επιφάνειας απορροής CA. Φυσικά πρέπει να λαμβάνεται υπόψη το μέγιστο επιτρεπόμενο μήκος της CA ανάλογα με την κλίση του εδάφους, ώστε να μην υπάρχει κίνδυνος διάβρωσης του εδάφους.

Τέλος, γνωρίζοντας το μέγεθος των CA και IB, προκύπτει το μέγεθος της συνολικής μικρολεκάνης από το άθροισμα τους.

2.11.Τεχνικο-οικονομική αξιολόγηση της τεχνικής M.C.W.H. με τη μέθοδο NPV

Σε ένα οποιοδήποτε αρδευτικό έργο υπάρχουν έσοδα λόγω της απόδοσης των καλλιεργειών και έξοδα τα οποία διακρίνονται σε (Τσακίρης 2006):

- i) αρχικές δαπάνες κατασκευής
- ii) δαπάνες συντήρησης
- iii) δαπάνες λειτουργίας

Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιείται η μέθοδος της Καθαρής Παρούσας Αξίας (NPV) για την αξιολόγηση του προτεινόμενου έργου, η οποία αποτελεί ένα από τα πιο συνηθισμένα κριτήρια αξιολόγησης χρηματοοικονομικών αποφάσεων. Με την συγκεκριμένη μέθοδο δίνεται η δυνατότητα μεταφοράς όλων των χρηματικών ωφελειών και δαπανών που εκτιμώνται ότι θα λάβουν χώρα κατά το υπολογιζόμενο χρονικό διάστημα, σε ένα συγκεκριμένο έτος βάσης, με τη βοήθεια του επιτοκίου προεξόφλησης.

Η καθαρά παρούσα αξία NPV υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση (Τσακίρης 2006):

$$NPV = \sum (Ταμειακές \text{ εισροές } (t) - Ταμειακές \text{ εκροές}(t)) / (1+i)^t \quad (2.41.)$$

Όπου:

i: το επιτόκιο προεξόφλησης [-]

t: ο χρόνος (περίοδος) προεξόφλησης σε έτη κάθε ποσού

Με βάση το κριτήριο αυτό η υπό αξιολόγηση επένδυση κρίνεται συμφέρουσα όταν η NPV είναι μεγαλύτερη του 0.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΕΦΑΡΜΟΦΗ ΣΤΗ ΝΗΣΟ ΠΑΡΟ

3.1. Γενικά στοιχεία για την Πάρο

3.1.1. Γεωγραφικά- Διοικητικά στοιχεία

Η Πάρος ανήκει στο νησιωτικό σύμπλεγμα των Κυκλάδων και είναι το τρίτο σε μέγεθος νησί του συμπλέγματος. Βρίσκεται δυτικά της Νάξου περίπου 3 ναυτικά μίλια, ενώ από το Πειραιά απέχει 90 ναυτικά μίλια, σε γεωγραφικό πλάτος $37^{\circ} 5'$ και γεωγραφικό μήκος $25^{\circ} 14'$ (Εικόνα 3.1).

Διοικητικά η Πάρος, πριν από την ένταξή της στο «σχέδιο Καποδίστριας», ήταν χωρισμένη σε 7 κοινότητες (Αρχιλόχου, Μάρπησσας, Νάουσας, Παροικίας, Κώστου, Αγκαιριάς και Λευκών). Σήμερα βρίσκεται κάτω από τη διοίκηση ενός και μόνο δήμου, του Δήμου Πάρου, που έχει έδρα την πρωτεύουσα του νησιού την Παροικία ή Παροικιά (Γενική διεύθυνση περιφερειακής αγροτικής οικονομίας και κτηνιατρικής 2013).



Εικόνα 3.1. Νήσος Πάρος

Πηγή: (Γενική διεύθυνση περιφερειακής αγροτικής οικονομίας και κτηνιατρικής 2013)

3.2.2. Δημογραφικά στοιχεία –Απασχόληση

Ο πληθυσμός της Πάρου, σύμφωνα με την τελευταία απογραφή του 2011, ανέρχεται σε 13.715 κατοίκους. Η ηλικιακή δομή του πληθυσμού της φαίνεται στον παρακάτω πίνακα, σύμφωνα με την απογραφή του 2011 (Ελ.Στατ 2011):

Πίνακας 3.1. Πληθυσμός Πάρου κατά φύλο και ηλικία

ΟΜΑΔΕΣ ΗΛΗΚΙΩΝ	ΑΡΡΕΝΕΣ	ΘΗΛΕΙΣ	ΣΥΝΟΛΟ
0-14	1.154	1.096	2.250
15-24	690	693	1.383
25-64	3.769	3.861	7.630
65+	1.233	1.219	2.452
ΣΥΝΟΛΟ	6.846	6.869	13.715

Η διάρθρωση της απασχόλησης του πληθυσμού κατά τομέα φαίνεται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 3.2. Απασχόληση πληθυσμού κατά τομέα

ΠΡΩΤΟΓΕΝΗΣ ΤΟΜΕΑΣ	ΔΕΥΤΕΡΟΓΕΝΗΣ ΤΟΜΕΑΣ	ΤΡΙΤΟΓΕΝΗΣ ΤΟΜΕΑΣ	ΣΥΝΟΛΟ
619	1.485	3.031	5.135

3.2.3. Τοπογραφικά και γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά

Το νησί έχει έκταση 198,4 τετραγωνικά χιλιόμετρα και έχει μήκος ακτών 118,5 χιλιόμετρα. Σημαντικό μέρος των ακτών του νησιού είναι απότομες και βραχώδεις, αλλά διακόπτονται από αρκετούς κολπίσκους με μικρές αμμώδεις παραλίες. Η Πάρος έχει σχήμα ελλειψοειδές μειούμενο προς Βορρά (Γενική διεύθυνση περιφερειακής αγροτικής οικονομίας και κτηνιατρικής 2013).

Στην Πάρο ο κύριος ορεινός όγκος συναντάται στα νοτιοανατολικά του νησιού, με μέγιστο υψόμετρο τα 771 μέτρα του Προφήτη Ηλία-Αγ. Πάντες. Οι πεδινές εκτάσεις βρίσκονται κυρίως στο βοριοδυτικό τμήμα του νησιού. Γενικά το ανάγλυφο της Πάρου είναι ομαλό κατά το πλείστον (Γενική διεύθυνση περιφερειακής αγροτικής οικονομίας και κτηνιατρικής 2013).

Όσον αφορά τη γεωλογία του νησιού, η Πάρος αποτελείται από μάρμαρα, γνεύσιους, σχιστόλιθους και γρανίτες (Γενική διεύθυνση περιφερειακής αγροτικής οικονομίας και κτηνιατρικής 2013).

3.2.4. Κλίμα

Το κλίμα του νησιού είναι ημίξηρο όπως στα περισσότερα νησιά των Κυκλάδων. Η ψυχρή εποχή του έτους χαρακτηρίζεται από την ηπιότητα των κλιματολογικών φαινομένων και οι βροχοπτώσεις είναι λίγες. Η θερμή εποχή, με μέση θερμοκρασία 20 έως 25°C, λόγω των επικρατούντων βόρειων και βορειοανατολικών ανέμων, αφορά την περίοδο από Μάιο έως και Σεπτέμβριο, συμπίπτει δε με την παντελή σχεδόν έλλειψη βροχοπτώσεων. Το ετήσιο θερμομετρικό εύρος κυμαίνεται γύρω στους 14°C. Η νέφωση είναι μάλλον περιορισμένη, σε αντίθεση με την ηλιοφάνεια που είναι μεγάλης διάρκειας. Το μέσο ετήσιο ύψος των βροχοπτώσεων ανέρχεται σε 480 χιλιοστά. Οι άνεμοι που πνέουν στην περιοχή είναι κυρίως βόρειοι, σε ποσοστό

38.1% και ακολουθούν οι βορειοανατολικοί σε ποσοστό 15.9% και οι βορειοδυτικοί σε ποσοστό 13%. Η ένταση των ανέμων κυμαίνεται συνήθως από 1 έως 7 Beaufort, ενώ η συχνότερη ένταση είναι 2-3 Beaufort (Γενική διεύθυνση περιφερειακής αγροτικής οικονομίας και κτηνιατρικής 2013).

3.2.5.Υδατικοί πόροι- αρδεύσεις-υδρεύσεις

Το νησί της Πάρου από υδρολογικής σκοπιάς παρουσιάζει μεγάλη υδροφορία σε σύγκριση με άλλα νησιά των Κυκλάδων. Χαρακτηριστικό παράδειγμα η συνεχής ροή των δύο μικρών ποταμών που εκβάλλουν στη Νάουσα διασχίζοντας όλη τη βορειοανατολική Πάρο. Παρατηρείται ακόμα ότι μέσα στο βυθό της θαλάσσιας περιοχής, αναβλύζει γλυκό νερό. Τα ίδια φαινόμενα παρατηρούνται και στην περιοχή του Δρυού. Τα τελευταία χρόνια λόγω του μεγάλου βαθμού υδρομάστευσης εξαιτίας της αυξημένης ζήτησης για την κάλυψη των αναγκών κατά τους θερινούς μήνες, παρατηρούνται φαινόμενα ξήρανσης των ποταμών και των πηγαδιών σε όλο το νησί. Οι περισσότερες ευνοημένες περιοχές από υδρολογική άποψη είναι οι περιοχές της Νάουσας και του Δρυού, χωρίς όμως να υστερούν οι οικισμοί των Μαρμάρων, Προδρόμου και Μάρπησσας. Πρόβλημα μεγάλης υδρολογικής υποβάθμισης αντιμετωπίζει κυρίως η δυτική πλευρά του νησιού, με την Παροικία, την Αγκαιριά και την Αλυκή (Γενική διεύθυνση περιφερειακής αγροτικής οικονομίας και κτηνιατρικής 2013).

Ο βασικός πόρος υδροδότησης του νησιού είναι το υπόγειο νερό, το οποίο είναι εκμεταλλεύσιμο μέσω ενός εκτενούς δικτύου γεωτρήσεων ύδρευσης και άρδευσης. Από το 2002 εγκαταστάθηκε μονάδα αφαλάτωσης στη Νάουσα. Υπεύθυνος φορέας για την ύδρευση του νησιού είναι η Δ.Ε.Υ.Α.Π., που έχει στην κατοχή της (Γενική διεύθυνση περιφερειακής αγροτικής οικονομίας και κτηνιατρικής 2013):

- Εξήντα (60) γεωτρήσεις για ύδρευση, που καλύπτουν το 82% των υδρευτικών αναγκών του νησιού, με συνήθη ημερήσια απόληψη 2000m³ και μέγιστη 4000m³ το χειμώνα και 12000 m³ το καλοκαίρι, φτάνοντας τα 14500m³ κατά τη διάρκεια της περιόδου αιχμής στα μέσα Αυγούστου (Δ.Ε.Υ.Α.Π, 2001).
- Δεξαμενές 29 συνολικής χωρητικότητας περίπου 12000 m³.
- Δίκτυα ύδρευσης τροφοδοτικά και διανομής με συνολικό μήκος περίπου 450 χλμ. Κατασκευασμένα από σωλήνες PVC, αμιαντοσωλήνες, σιδηροσωλήνες και σωλήνες πολυαιθυλενίου.

Γενικά, η πολιτική διαχείρισης των υδατικών πόρων στο νησί επενδύει στα υπόγεια νερά προσπαθώντας να αποφύγει την εξάρτηση των υδατικών αποθεμάτων από τις βροχοπτώσεις. Τα επιφανειακά νερά εξαρτώνται περισσότερο από τις βροχοπτώσεις, οι οποίες στο νησί είναι περιορισμένες. Τα υπόγεια νερά αντίθετα είναι εκμεταλλεύσιμα σε βάθος χρόνου (Γενική διεύθυνση περιφερειακής αγροτικής οικονομίας και κτηνιατρικής 2013).

Στην Πάρο και συγκεκριμένα στις περιοχές Αρχίλοχος και Νάουσας έχουν κατασκευαστεί φράγματα μερικής κατακράτησης των υδάτων από βροχοπτώσεις που εμπλουτίζουν τον υδροφόρο ορίζοντα, όμως θα πρέπει να γίνουν κι άλλα έργα για την αξιοποίηση των βροχοπτώσεων (Γενική διεύθυνση περιφερειακής αγροτικής οικονομίας και κτηνιατρικής 2013).

Κατά γενική εκτίμηση η Πάρος στο σύνολο της υδρεύεται ικανοποιητικά κατά τον χειμώνα, ενώ κατά τους θερινούς μήνες παρουσιάζονται πολλά προβλήματα που σχετίζονται περισσότερο με την επάρκεια και λιγότερο με την ποιότητα του διαθέσιμου νερού και την λειτουργία των έργων ύδρευσης. Η επάρκεια και ποιότητα του νερού ύδρευσης διαφέρουν κατά τη διάρκεια του έτους, τόσο κατά περιοχή όσο και κατά Δημοτικό Διαμέρισμα. Ειδικά στο Δ. Δ. Πάρου (Παροικία), η παρουσία μεγάλου αριθμού τουριστών κατά τη θερινή περίοδο (εκτιμάται ο συνολικός πληθυσμός στην αιχμή φθάνει στα 35000 άτομα ημερησίως), προκαλεί προβλήματα αυξημένης ζήτησης με αποτέλεσμα η ύδρευση να διακόπτεται κατά διαστήματα. Εκτιμάται ότι μόνο η Παροικία έχει μέγιστη κατανάλωση (κατά την θερινή αιχμή) που φθάνει τα 4500 m³/ ημέρα. Συνολικά παρατηρείται ότι ο μέσος όρος των υδάτινων εισροών - εκροών συνεχώς φθίνει, η στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα επίσης μειώνεται και η ποιότητα των γλυκών νερών χειροτερεύει (Γενική διεύθυνση περιφερειακής αγροτικής οικονομίας και κτηνιατρικής 2013).

Οι αρδευτικές ανάγκες εξυπηρετούνται από πηγάδια και ιδιωτικές γεωτρήσεις (οι περισσότερες από αυτές δεν έχουν άδειες) για αυτό και η κατανάλωση είναι δύσκολο να εκτιμηθεί λόγω έλλειψης καταγεγραμμένων στοιχείων. Πάντως οι ποσότητες νερού άρδευσης (που διαχειρίζεται επίσης η ΔΕΥΑΠ) δεν θεωρούνται σημαντικές και δύσκολα καλύπτουν τις ανάγκες των καλλιεργειών (Γενική διεύθυνση περιφερειακής αγροτικής οικονομίας και κτηνιατρικής 2013).

Η καλύτερη αξιοποίηση του βρόχινου νερού, το οποίο δεν είναι εκμεταλλεύσιμο, θα ήταν καλή λύση για να χρησιμοποιηθεί για αρδεύσεις. Επομένως, η τεχνική M.C.W.H. θα βοηθήσει προς την κατεύθυνση αυτή.

3.2.6.Γεωργία

Η συνολική έκταση της Πάρου είναι 198,4 χιλ. στρέμματα. Από αυτά τα 105 χιλ στρέμματα είναι γεωργική γη (ποσοστό 53%), ενώ ένα 24% της συνολικής έκτασης είναι βοσκότοποι (Γενική διεύθυνση περιφερειακής αγροτικής οικονομίας και κτηνιατρικής 2013) (Πίνακας 3.3.) .

Πίνακας 3.3.Χρήσεις γης Πάρου

Χρήσεις	Ν.Πάρος	
	Έκταση (στρ)	Κατανομή (%)
Γεωργική γη	105.000	53
Βοσκότοποι	47.400	24
Περιοχές με φυσική βλάστηση	32.300	16
Λοιπές εκτάσεις	13.700	7
ΣΥΝΟΛΟ	198.400	100

Οι καλλιεργούμενες εκτάσεις στην Πάρο έχουν γενικά μικρό μέγεθος, πράγμα που είναι χαρακτηριστικό όλων των νησιών των Κυκλάδων. Στις γεωργικές εκμεταλλεύσεις της Πάρου επικρατούν οι ετήσιες καλλιέργειες με 31.034 στρέμματα, ενώ οι δενδρώδεις καταλαμβάνουν μόνο 6.502 στρέμματα, οι κηπευτικές καλλιέργειες 1.307 στρέμματα και τα αμπέλια 7.005 στρέμματα. Οι αρδευόμενες εκτάσεις είναι της τάξης των 5.068 στρεμμάτων λόγω έλλειψης οργανωμένων αρδευτικών δικτύων που οφείλεται στην ανεπάρκεια των υδατικών πόρων. Το μεγαλύτερο μέρος της παραγωγής εντοπίζεται στο βορειοανατολικό τμήμα του νησιού μέχρι τη Νάουσα και στη νότια πλευρά μέχρι την Αγκαιριά (Γενική διεύθυνση περιφερειακής αγροτικής οικονομίας και κτηνιατρικής 2013).

3.2. Επιλογή περιοχής εφαρμογής της τεχνικής M.C.W.H. στο νησί

Για την επιλογή περιοχής στο νησί για εφαρμογή της M.C.W.H. ορίστηκαν κάποια κριτήρια που πρέπει αυτή να διαθέτει, τα οποία είναι:

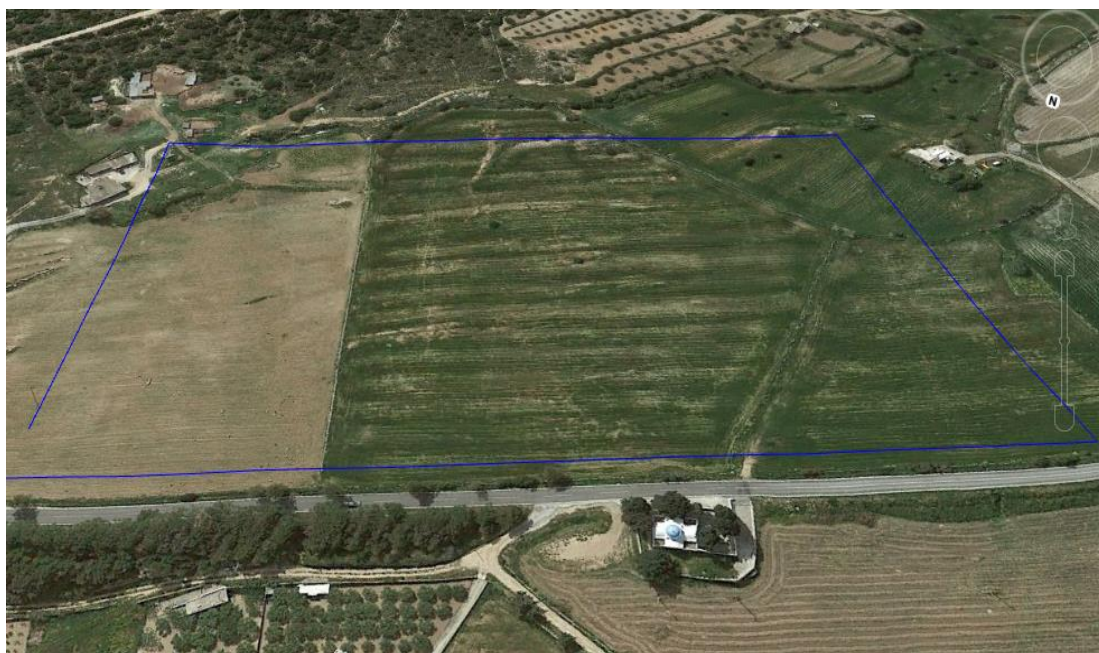
- α) Η μέση κλίση της περιοχής να κυμαίνεται μεταξύ 1-8% (θα εφαρμοστεί η υποκατηγορία της τεχνικής η desert strip farming).
- β) Να έχει επαρκές βάθος εδάφους, δηλαδή μεγαλύτερο από 1,5m (θα φυτευτούν δέντρα).
- γ) Η υφή του εδάφους να είναι μέσης κοκκομετρικής σύστασης, το οποίο είναι κατάλληλο για καλλιέργειες και επομένως κατάλληλο για την IB. Επειδή οι μικρολεκάνες είναι μικρής έκτασης και συνήθως το έδαφος είναι το ίδιο και στη CA και στην IB, δόθηκε προτεραιότητα στην IB μιας και εκεί θα αναπτυχθούν οι καλλιέργειες. Όσον αφορά τη CA, θα εφαρμοστούν κατάλληλες τεχνικές για τη μείωση της διηθητικότητας του εδάφους και αύξηση της απορροής.
- δ). Να έχει οδική πρόσβαση, ώστε να μπορεί να προσεγγιστεί από χωματουργικά μηχανήματα.

ε). Να είναι ακαλλιέργγητη έκταση.

ζ). Να είναι έκταση μερικών δεκάδων στρεμμάτων.

Να σημειωθεί ότι επιλέχθηκε να χρησιμοποιηθεί η μέθοδος desert strip farming (υποκατηγορία της M.C.W.H.), διότι από τις υποκατηγορίες που προαναφέρθηκαν παρατηρείται ότι για μια κεκλιμένη επιφάνεια είναι η ευκολότερη κατασκευαστικά μέθοδος και συνεπώς θα έχει το μικρότερο κατασκευαστικό κόστος και θα απαιτεί μικρότερες επεμβάσεις στην περιοχή που είναι και το ζητούμενο. Η τεχνική αυτή χρησιμοποιείται και για δέντρα και για λοιπές καλλιέργειες.

Με βάση αυτά τα κριτήρια επιλέχθηκε μια περιοχή η οποία βρίσκεται ακριβώς απέναντι από την μονή Λογγοβάρδας. Η περιοχή αυτή εκτείνεται σε υψόμετρο από 47 έως 65m και, έχει μέση κλίση 8% με βάση μετρήσεις που πραγματοποιηθήκαν με την χρήση του Google Earth. Από εδαφολογικό χάρτη του Ινστιτούτου Εδαφολογίας Αθηνών βρέθηκε πως το έδαφος εκεί είναι μέσης σύστασης και με βάθος εδάφους μεγαλύτερο από 1,5m. Η έκταση του τμήματος είναι ορθογωνικού σχήματος και διαστάσεων 200m x 350m (70 στρέμματα). Επιπλέον η περιοχή έχει άμεση σύνδεση με κεντρικό δρόμο του νησιού (Εικόνα 3.2.).



Εικόνα 3.2. Περιοχή εφαρμογής

3.3. Εύρεση βροχόπτωσης και απορροής σχεδιασμού

Εφόσον έχει προσδιοριστεί η περιοχή ενδιαφέροντος με βάση τα κριτήρια που τέθηκαν, πολύ σημαντικό για τον σχεδιασμό ενός συστήματος μικρολεκανών είναι η εύρεση της βροχόπτωσης σχεδιασμού και έπειτα της απορροής σχεδιασμού με βάση το μοντέλο που θα χρησιμοποιηθεί.

Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκαν ετήσια δεδομένα βροχόπτωσης από τον μετεωρολογικό σταθμό της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας (Ε.Μ.Υ.) που υπάρχει στο νησί σε υψόμετρο 32 m για τα έτη 1975-2003. Επειδή η περιοχή εφαρμογής δεν έχει σημαντική υψομετρική διαφορά από τον σταθμό μετρήσεων, επιλέχθηκε να μην γίνει αναγωγή των βροχοπτώσεων με τη χρήση βροχοβαθμίδας στο μέσο υψόμετρο της περιοχής ενδιαφέροντος.

Έλεγχος προσαρμογής της κανονικής κατανομής στα ετήσια δεδομένα βροχόπτωσης

Για την εύρεση της βροχόπτωσης σχεδιασμού αρχικά πρέπει να βρεθεί κάποια κατάλληλη κατανομή που να προσαρμόζεται στις παρατηρήσεις. Παρακάτω γίνεται ο έλεγχος προσαρμογής της Κανονικής Κατανομής με το τεστ- χ^2 :

Βήμα 1:

Το δείγμα διαιρείται σε κλάσεις σύμφωνα με την σχέση (2.33.), όπου $N=29$ όσο και οι παρατηρήσεις. Έτσι προκύπτει: $k=5,8$ και επιλέγεται $k=5$ κλάσεις (πάντα στρογγυλοποίηση προς τα κάτω). Επειδή ο έλεγχος χ^2 είναι ευαίσθητος στις μικρές συχνότητες, πρέπει σε κάθε κλάση να υπάρχουν τουλάχιστον 3 παρατηρήσεις, σε διαφορετική περίπτωση επιλέγεται μικρότερος αριθμός κλάσεων. Για 5 κλάσεις προκύπτει εύρος κλάσης $(882,2-186,3)/5=695,9/5=139,2$ mm και επομένως επιλέγεται 140 μοιράζοντας τις αποκλίσεις. Τελικά επιλέχθηκαν $k=4$ κλάσεις λόγω του περιορισμού να υπάρχουν 3 παρατηρήσεις τουλάχιστον σε κάθε κλάση, έτσι προκύπτει εύρος κλάσης $(882,2-186,3)/4=173,9$ mm και επιλέγεται 175 mm. Έτσι σημειώνεται ο αριθμός των παρατηρήσεων που ανήκουν σε κάθε κλάση.

Βήμα 2:

Στη συνέχεια υπολογίζεται ο μέσος όρος της χρονοσειράς από την σχέση (2.29.) και προκύπτει:

$$\mu=560,8\text{mm}$$

Η τυπική απόκλιση από τη σχέση (2.30.) :

$$\sigma=171,5\text{mm}$$

Βήμα 3:

Έπειτα υπολογίζεται η ανηγμένη μεταβλητή από την σχέση (2.34.), για τις τιμές των ορίων της κάθε κλάσης. Στη συνέχεια βρίσκεται η αντίστοιχη τιμή της αθροιστικής πιθανότητας από τον πίνακα της τυπικής κανονικής κατανομής. Κατόπιν, υπολογίζεται για κάθε κλάση η θεωρητική σχετική συχνότητα που είναι η διαφορά της αθροιστικής συχνότητας των ορίων της κλάσης και μετά υπολογίζεται ο αριθμός των παρατηρήσεων που προκύπτει από τη κανονική κατανομή, πολλαπλασιάζοντας τη θεωρητική σχετική συχνότητα με τον συνολικό αριθμό των παρατηρήσεων. Ακολουθεί ο παρακάτω πίνακας με αυτά τα στοιχεία:

Πίνακας 3.4. Στοιχεία υπολογισμού για τον έλεγχο καταλληλότητας της κανονικής κατανομής στο δείγμα των ετησίων βροχοπτώσεων

α/α κλάσης	Όρια κλάσεων (mm)	Αριθμός παρατηρήσεων O_i	Ανηγμένη μεταβλητή z	Αθροιστική συχνότητα $P(z)$	Θεωρητική σχετική συχνότητα $P=P_i(z)-P_{i-1}(z)$	Αριθμός παρατηρήσεων E_i
	185		-2,191	1,4		
1		3			10,6	3
	360		-1,171	12		
2		8			32,0	9
	535		-0,150	44		
3		12			37,0	11
	710		0,870	81		
4		6			18,97	6
	885		1,890	99,97		

Βήμα 4:

Υπολογίζεται η ποσότητα x_d^2 από την σχέση (2.37.) ίση με 0,2.

Βήμα 5:

Η ποσότητα αυτή συγκρίνεται με αυτή που προκύπτει από την κατανομή χ^2 με $k-p-1$ βαθμούς ελευθερίας, όπου p ο αριθμός των παραμέτρων της θεωρητικής κατανομής που ελέγχεται και k ο αριθμός των κλάσεων. Για την κανονική κατανομή έχουμε $p=2$ παραμέτρους (μέσο όρο και τυπική απόκλιση) και $k=4$ κλάσεις. Άρα $v=4-2-1=1$.

Ο έλεγχος επιλέχθηκε να γίνει για επίπεδο εμπιστοσύνης 95%, δηλαδή $1-\alpha=0,95$, άρα $\alpha=0,05$. Για $\alpha=0,05$ και 1 βαθμό ελευθερίας, από τον πίνακα της χ^2 κατανομής προκύπτει $\chi^2_{1-\alpha,k-p-1}=3,841$.

Άρα ισχύει: $x_d^2 < \chi^2_{1-\alpha,k-p-1}$

Επομένως, σύμφωνα με τον έλεγχο χ^2 τα ετήσια ύψη βροχόπτωσης του δείγματος του σταθμού της Ε.Μ.Υ. Πάρου προσαρμόζονται ικανοποιητικά στην κανονική κατανομή.

Εύρεση βροχόπτωσης σχεδιασμού με την χρήση της Τυπικής Κανονικής Κατανομής

Η πρόταση F.A.O. για αρδευτικά έργα είναι περίοδος επαναφοράς $T=8$ έτη και αυτή θα ληφθεί υπόψιν στο σχεδιασμό. Για περίοδο επαναφοράς $T=8$ έτη από την σχέση (2.33.) προκύπτει αθροιστική πιθανότητα υπέρβασης 0,125 ή 12,5%. Η αντίστοιχη ανηγμένη μεταβλητή z προκύπτει από τον πίνακα της Τυπικής Κανονικής Κατανομής (μετά από παρεμβολή) $z=-1,150$ (βλ. Παράρτημα).

Υπολογίζεται η μέση τιμή των παρατηρήσεων ετήσιας βροχόπτωσης από την σχέση (2.34.):

$$\mu=560,8 \text{ mm}$$

Η τυπική απόκλιση του δείγματος υπολογίζεται από την σχέση (2.35.):

$$\sigma=171,5 \text{ mm}$$

Τέλος, από την σχέση (2.36.) υπολογίζεται η τιμή της βροχόπτωσης σχεδιασμού:

$$P_{\sigma\epsilon\delta}=363,5 \text{ mm}$$

Εύρεση απορροής σχεδιασμού με βάση το μοντέλο CN της SCS

Στην παρούσα εργασία θεωρήθηκε ότι οι αρχικές απώλειες που λαμβάνει υπόψιν το μοντέλο CurveNumber της SCS είναι 20% για έναν ασφαλή σχεδιασμό.

Για το προσδιορισμό της παραμέτρου CN, με δεδομένο ότι το έδαφος είναι μέσης κοκκομετρικής σύστασης και θα υποστεί τεχνικές μείωσης της διηθητικότητας-αύξησης της απορροής, επιλέχθηκε κατηγορία εδάφους D (εδάφη με πολύ μικρή βασική διηθητικότητα και διαπερατότητα). Σύμφωνα με σχετικό πίνακα (Wanielista, 1990), αφού θεωρήθηκε γυμνό έδαφος (εφόσον το έδαφος της CA θα υποστεί βοτάνισμα και επιφανειακή επεξεργασία) και για τύπο εδάφους D, προέκυψε CN=94. Οι συνολικές απώλειες δίνονται από την σχέση (2.32.):

$$S=(25400/94)-254=16,2\text{mm}$$

Επομένως, από την εξίσωση (2.31.), αντικαθιστώντας όπου P την βροχόπτωση σχεδιασμού, δηλαδή 363,5 mm με S=16,2mm, η απορροή σχεδιασμού είναι:

$$R=344,7\text{mm}.$$

3.4.Επιλογή καλλιέργειας-υπολογισμός εξατμισοδιαπνοής

Επιλέχθηκε να φυτευτούν στις IB των μικρολεκανών της περιοχής εφαρμογής σε κάποιο τμήμα αμυγδαλιές, σε άλλο ροδακινιές και σε άλλο βερυκοκιές. Και τα τρία είδη δέντρων είναι συμβατά με τις κλιματολογικές συνθήκες του νησιού, αλλά και με την τεχνική M.C.W.H. Επιπλέον οι καρποί τους παρουσιάζουν οικονομικό ενδιαφέρον, αλλά και παρέχουν ομορφιά στο τοπίο.

Όπως έχει αναφερθεί, το ζητούμενο από την τεχνική M.C.W.H. είναι να αποθηκευτεί επαρκής ποσότητα νερού στο ριζόστρωμα των καλλιεργειών των IB, ώστε να καλυφθούν οι ανάγκες τους σε νερό. Επομένως, πολύ χρήσιμο για τον σχεδιασμό είναι να προσδιορισθούν αυτές οι ανάγκες που εκφράζονται κυρίως από την εξατμισοδιαπνοή, επομένως πρέπει να γίνει ο υπολογισμός της.

Υπολογισμός εξατμισοδιαπνοής αναφοράς

Ο υπολογισμός της εξατμισοδιαπνοής αναφοράς θα γίνει σύμφωνα με την μέθοδο Thornwaite, που παρέχει την μηνιαία εξατμισοδιαπνοή σε (mm). Για την εφαρμογή της μεθόδου απαιτούνται δεδομένα μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας και μέσης μηνιαίας ηλιοφάνειας.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες που υπολογίστηκαν από δεδομένα της Ε.Μ.Υ. για τα έτη 1975-2004 (οι τιμές των θερμοκρασιών είναι σε °C):

Πίνακας 3.5. Μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες Πάρου

ΜΕΣΕΣ ΜΗΝΙΑΙΕΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΕΣ	
ΙΑΝ	12,1
ΦΕΒ	12,0
ΜΑΡ	13,2
ΑΠΡ	16,1
ΜΑΙ	19,3
ΙΟΥΝ	23,3
ΙΟΥΛ	24,8
ΑΥΓ	24,7
ΣΕΠ	23,0
ΟΚΤ	19,8
ΝΟΕ	16,1
ΔΕΚ	13,5

Παρακάτω παρουσιάζονται οι τιμές της μέσης μηνιαίας ηλιοφάνειας (σε ώρες) για τον κάθε μήνα (από Ε.Μ.Υ. με δεδομένα 1975-2004):

Πίνακας 3.6. Μέση μηνιαία ηλιοφάνεια για την Πάρο

	ΜΕΣΗ ΜΗΝΙΑΙΑ ΗΛΙΟΦΑΝΕΙΑ (ΩΡΕΣ/ΗΜΕΡΑ)
ΙΑΝ	3,8
ΦΕΒ	4,6
ΜΑΡ	6,1
ΑΠΡ	8,1
ΜΑΙ	9,9
ΙΟΥΝ	12,2
ΙΟΥΛ	12,2
ΑΥΓ	11,5
ΣΕΠ	9,5
ΟΚΤ	7,2
ΝΟΕ	4,9
ΔΕΚ	3,5

Αρχικά προκύπτει μέσω των μέσων μηνιαίων θερμοκρασιών από την εξίσωση (2.29.):

$I=86.81$ και κατά συνέπεια $a=1,9044$ από την σχέση (2.28.).

Με εφαρμογή της εξίσωσης Thornthwaite (2.27.) προκύπτει η μηνιαία εξατμισοδιαπνοή αναφοράς σε (mm), όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 3.7. Τιμές μηνιαίας εξατμισοδιαπνοής αναφοράς

ΜΗΝΑΣ	ΕΤ _ο (mm)
ΙΑΝ	9,9
ΦΕΒ	10,9
ΜΑΡ	18,8
ΑΠΡ	35,0
ΜΑΙ	62,6
ΙΟΥΝ	106,4
ΙΟΥΛ	124,0
ΑΥΓ	116,2
ΣΕΠ	81,2
ΟΚΤ	47,9
ΝΟΕ	21,2
ΔΕΚ	11,1

Υπολογισμός εξατμισοδιαπνοής καλλιέργειας

Εφόσον έγινε η εκτίμηση της εξατμισοδιαπνοής αναφοράς, ακολουθεί η εκτίμηση της εξατμισοδιαπνοής καλλιέργειας ΕΤ_c για την κάθε καλλιέργεια. Αυτό θα γίνει με τη βοήθεια του φυτικού συντελεστή K_c της κάθε καλλιέργειας, που όπως έχει προαναφερθεί, δίνεται από πίνακες για την αντίστοιχη καλλιέργεια ανάλογα και με το στάδιο ανάπτυξης της καλλιέργειας. Επιλέχθηκε να φυτευτούν αμυγδαλιές που είναι ένας ακριβός καρπός και η αμυγδαλιά έχει μικρές απαιτήσεις σε νερό (στην Πάρο καλλιεργούνται περίπου 40 στρέμματα), όπως επίσης ροδακινιές και βερυκοκές οι οποίες βρίσκονται σε έλλειψη στο νησί (5 και 10 καλλιεργήσιμα στρέμματα αντίστοιχα). Παρακάτω παρουσιάζονται οι μηνιαίοι φυτικοί συντελεστές της κάθε καλλιέργειας που επιλέχθηκε (Ποντίκης 1997):

Πίνακας 3.8. Μηνιαίοι φυτικοί συντελεστές αμυγδαλιάς

ΜΗΝΑΣ	k _c
ΙΑΝ	0
ΦΕΒ	0
ΜΑΡ	0
ΑΠΡ	0,4
ΜΑΙ	0,55
ΙΟΥΝ	0,75
ΙΟΥΛ	0,9
ΑΥΓ	0,9
ΣΕΠ	0,7
ΟΚΤ	0,65
ΝΟΕ	0
ΔΕΚ	0

Όσον αφορά την ροδακινιά και την βερυκοκιά έχουν ίδιους φυτικούς συντελεστές, που παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 3.9. Μηνιαίοι φυτικοί συντελεστές ροδακινιάς-βερυκοκιάς

ΜΗΝΑΣ	kc
ΙΑΝ	0
ΦΕΒ	0
ΜΑΡ	0
ΑΠΡ	0,65
ΜΑΙ	0,8
ΙΟΥΝ	0,95
ΙΟΥΛ	1,05
ΑΥΓ	1,05
ΣΕΠ	0,85
ΟΚΤ	0,75
ΝΟΕ	0
ΔΕΚ	0

Η ET_c σε mm μιας καλλιέργειας υπολογίζεται από την εξίσωση (2.30.) με την χρήση του αντίστοιχου φυτικού συντελεστή.

Στους παρακάτω πίνακες παρουσιάζονται οι μηνιαίες τιμές της εξατμισοδιαπνοής, υπολογισμένες για την κάθε καλλιέργεια:

Πίνακας 3.10. Μηνιαίες τιμές εξατμισοδιαπνοής αμυγδαλιάς

ΜΗΝΑΣ	ET_c (mm)
ΙΑΝ	0
ΦΕΒ	0
ΜΑΡ	0
ΑΠΡ	14,0
ΜΑΙ	34,4
ΙΟΥΝ	79,8
ΙΟΥΛ	111,6
ΑΥΓ	104,6
ΣΕΠ	56,8
ΟΚΤ	31,2
ΝΟΕ	0
ΔΕΚ	0
ΕΤΟΣ	432,4

Πίνακας 3.11. Μηνιαίες τιμές εξατμισοδιαπνοής ροδακινιάς-βερικοκιάς

ΜΗΝΑΣ	ΕΤc (mm)
ΙΑΝ	0
ΦΕΒ	0
ΜΑΡ	0
ΑΠΡ	28,0
ΜΑΙ	59,5
ΙΟΥΝ	111,7
ΙΟΥΛ	142,5
ΑΥΓ	133,7
ΣΕΠ	85,2
ΟΚΤ	43,1
ΝΟΕ	0
ΔΕΚ	0
ΕΤΟΣ	603,7

3.5. Εύρεση των παραμέτρων σχεδιασμού και διαστασιολόγηση

Παρακάτω προσδιορίζονται οι βασικές παράμετροι σχεδιασμού για τις μικρολεκάνες:

α) Σχήμα

Επειδή η επιφάνεια του εδάφους στην περιοχή ενδιαφέροντος έχει ήπια κλίση και είναι σχετικά ομαλό τοπογραφικά εδάφος, για να υπάρχουν όσο το δυνατόν λιγότερες κατασκευαστικές επεμβάσεις, επιλέχτηκε να εφαρμοστεί η τεχνική desert strip farming που είναι μια υποκατηγορία της M.C.W.H., η οποία είναι και από τις πιο συνηθισμένες. Επομένως, το σχήμα της μικρολεκάνης είναι ορθογωνικό με επιμέρους τμήματα επίσης ορθογωνικά.

β) Λόγος των εμβαδών A_{CA}/A_{IB}

1^η προσέγγιση (βιβλιογραφικά)

Χρησιμοποιώντας την χαμηλότερη τιμή για ασφαλή σχεδιασμό του συντελεστή $EF=0.50$ και αντικαθιστώντας στην εξίσωση (2.13.), όπου CWR η υπολογισμένη εξατμισοδιαπνοή της αντίστοιχης καλλιέργειας, P η βροχόπτωση σχεδιασμού και R η απορροή σχεδιασμού, τελικά προκύπτει:

$A_{CA}/A_{IB}=0.4$ για την αμυγδαλιά και $A_{CA}/A_{IB}=1.4$ για την ροδακινιά-βερικοκιά.

2^η προσέγγιση

Από την εξίσωση (2.18.) για ποσοστό απωλειών λόγω βαθείας διήθησης 30% (δηλαδή $p=0.30$) που κρίνεται λογική τιμή για έδαφος μέσης σύστασης (Γλύνης και Μανιουδάκης 1999), προκύπτει:

$A_{CA}/A_{IB}=0.7$ για την αμυγδαλιά και $A_{CA}/A_{IB}=1.5$ για την ροδακινιά-βερικοκιά.

Τελικά επιλέχθηκαν οι εξής τιμές σχεδιασμού με βάση τις δυο προσεγγίσεις:

$A_{CA}/A_{IB}=0.7$ για την αμυγδαλιά και $A_{CA}/A_{IB}=1.5$ για την ροδακινιά-βερυκοκιά (που είναι από τη μεριά της ασφάλειας, δηλαδή δίνουν μεγαλύτερες CA για δεδομένα εμβαδά IB).

Οι λόγοι σχεδιασμού είναι μικροί σε σχέση με αυτούς που έχουν χρησιμοποιηθεί συνήθως σε εφαρμογές της τεχνικής M.C.W.H. Όμως αυτό ήταν αναμενόμενο δεδομένου ότι στις περισσότερες εφαρμογές η τιμή του ετήσιου ύψους βροχόπτωσης σχεδιασμού ήταν μικρότερη των 200mm, ενώ στην παρούσα εργασία ξεπερνά τα 350mm και οι ετήσιες ανάγκες των καλλιέργειών έχουν υπολογιστεί από την εξατμισοδιαπνοή σε περίπου 430 mm και 600 mm, αντίστοιχα. Έτσι γίνεται κατανοητό γιατί ο λόγος σχεδιασμού είναι λογικό να πάρει σχετικά μικρή τιμή.

Με βάση τον λόγο σχεδιασμού, ο ετήσιος όγκος νερού σε m^3 που αποθηκεύεται στο ριζόστρωμα συναρτήσει του συνολικού μεγέθους της μικρολεκάνης είναι (εξ.2.24.)

$$V_{\text{απ}}=0.25 \cdot A_{MC} \quad (3.1.)$$

γ) Μέγεθος

Μικρολεκάνες με αμυγδαλιές

Καταρχάς διαστασιοποιείται η IB με την λογική ότι η επιφάνεια της θα πρέπει να είναι λίγο μεγαλύτερη από την επιφάνεια που καταλαμβάνει το ενεργό ριζόστρωμα του φυτού, αφού από αυτό το κομμάτι του ριζικού συστήματος αντλείται κυρίως νερό για την κάλυψη των αναγκών του. Για τις αμυγδαλιές το ενεργό ριζόστρωμα καλύπτει μια επιφάνεια με 2,3 m διάμετρο περίπου (Ποντίκης 1997), δηλαδή $4,2 m^2$. Οι διαστάσεις της λεκάνης διήθησης πρέπει επομένως να έχουν τουλάχιστον από 2,3 m πλάτος και μήκος. Επειδή όμως οι αμυγδαλιές πρέπει να φυτεύονται σε απόσταση τουλάχιστον 4 m η μια με την άλλη για την σωστή ανάπτυξη των ριζών, το πλάτος της λεκάνης διήθησης θα πρέπει να είναι τουλάχιστον 4m. Επομένως, όσον αφορά τις διαστάσεις της IB για τις μικρολεκάνες με αμυγδαλιές, επιλέγεται $2,5m \times 4m$, δηλαδή εμβαδόν $10 m^2$.

Εφόσον έχει υπολογιστεί ο λόγος $A_{CA}/A_{IB}=0.7$, προκύπτει το εμβαδόν της επιφάνειας απορροής $7m^2$. Η διάσταση του πλάτους είναι 4m, όσο δηλαδή και της λεκάνης διήθησης και άρα του μήκους προκύπτει 1,75m. Επομένως, οι διαστάσεις της επιφάνειας απορροής θα είναι $1,75m \times 4m$.

Όσον αφορά την συνολική μικρολεκάνη, οι διαστάσεις της θα είναι $4,25m \times 4m$, δηλαδή με εμβαδόν $17 m^2$ (Εικόνα 3.3.).

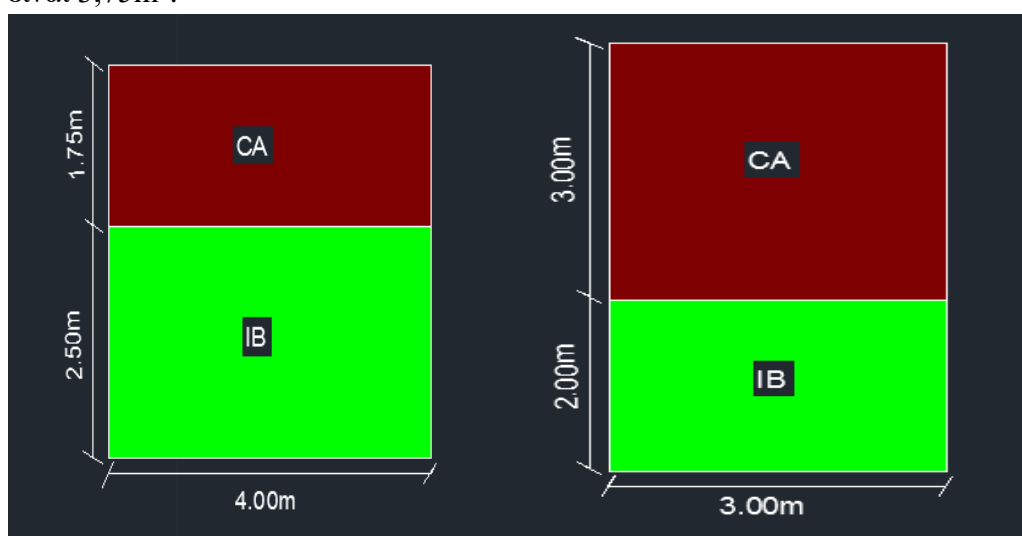
Από την εξίσωση (3.1.) και για εμβαδόν μικρολεκάνης $17 m^2$ ο αναμενόμενος ετήσιος όγκος νερού που θα αποθηκεύεται στο ριζόστρωμα ανά IB αμυγδαλιάς, είναι $4,25m^3$.

Μικρολεκάνες με ροδακινιές-βερυκοκιές

Με την ίδια λογική και δεδομένου ότι οι ροδακινιές-βερυκοκιές αποτελούνται από ενεργό ριζόστρωμα το οποίο έχει μια μέση διάμετρο 1,8m (Ποντίκης 1997) και άρα καλύπτει μια επιφάνεια περίπου 2,5 m² και επιπλέον φυτεύονται σε αποστάσεις μεταξύ τους τουλάχιστον 3 m, οι διαστάσεις της IB είναι 2m x 3m, άρα εμβαδόν 6m².

Για λόγο σχεδιασμού 1,5 προκύπτει εμβαδόν επιφάνειας απορροής 9 m² με διαστάσεις 3m x 3m (Εικόνα 3.3.).

Για την συνολική μικρολεκάνη προκύπτουν διαστάσεις 5m X 3m και εμβαδόν 15m². Από την εξίσωση (3.1.) και για εμβαδόν μικρολεκάνης 15m² ο αναμενόμενος ετήσιος όγκος νερού που θα αποθηκευθεί στο ριζόστρωμα ανά IB βερυκοκιάς-ροδακινιάς, είναι 3,75m³.



Εικόνα 3.3. Μικρολεκάνη α).για αμυγδαλιές β). ροδακινιές-βερυκοκιές

δ) *Μέγιστο μήκος*

Όσον αφορά το μήκος της επιφάνειας απορροής CA από την εξίσωση (2.25.) για μέση κλίση εδάφους 8% βρίσκεται το μέγιστο επιτρεπόμενο μήκος, ώστε να μην υπάρχει κίνδυνος διάβρωσης του εδάφους. Έτσι, στο προκείμενο προκύπτει μέγιστο επιτρεπόμενο μήκος:

$$L=8,6m$$

Επομένως, δεν υπάρχει κίνδυνος διάβρωσης του εδάφους στις διαστασιολογημένες μικρολεκάνες, αφού τα μήκη τους είναι μικρότερα των 8,6m.

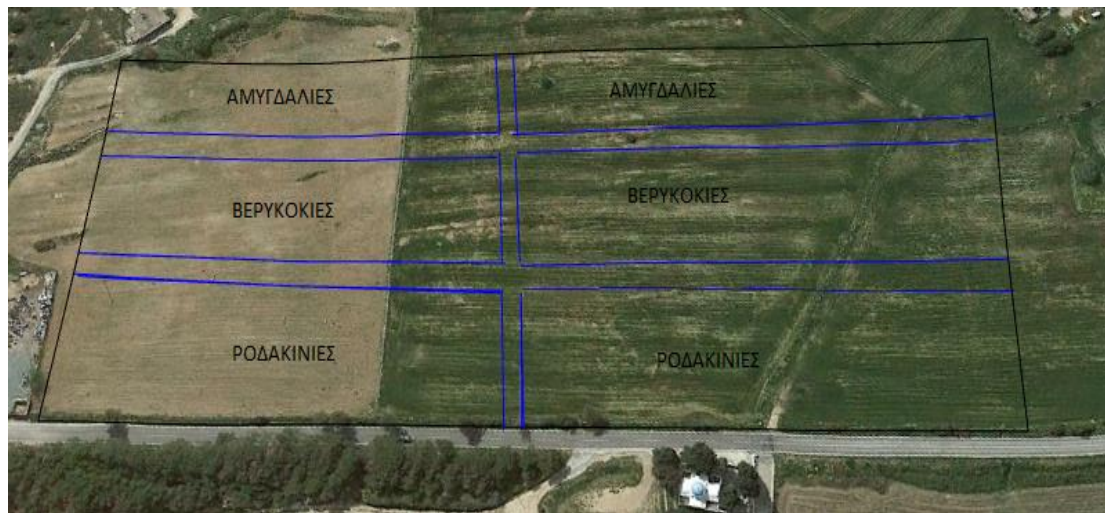
Όσον αφορά τις IB, το μέγιστο μήκος αυτών θα πρέπει να είναι έως και 2,5m ώστε να μην υπάρχει κίνδυνος κακής ομοιομορφίας της υγρασίας σε αυτό το τμήμα της μικρολεκάνης (δηλαδή αλλού ξηρά και αλλού υγρά τμήματα). Με βάση τα προηγούμενα, στις διαστασιολογημένες IB δεν υπάρχει τέτοιος κίνδυνος.

ε) Συντελεστής απορροής C

Ο συντελεστής απορροής προκύπτει από την εξίσωση (2.26.) ίσος με 94%, που είναι λογικό με επεξεργασμένες επιφάνειες απορροής.

3.6. Διάταξη μικρολεκανών

Προβλέπεται η κατασκευή ενός αγροτικού οδικού δικτύου, το οποίο θα αποτελείται από έναν κύριο άξονα που θα χωρίζει στα δυο την περιοχή ενδιαφέροντος και 2 δευτερεύοντες άξονες κάθετους σε αυτόν, συνολικής επιφάνειας 4 στρεμμάτων. Επομένως, η καθαρή αρδευόμενη επιφάνεια θα είναι 66 στρέμματα ή 22 στρέμματα ανά καλλιέργεια. Άρα, με βάση την συνολική έκταση της κάθε μικροεκάνης, προβλέπεται να φυτευτούν $22000/17=1294$ αμυγδαλιές, $22000/15=1467$ ροδακινιές και 1467 βερυκοκιές.



Εικόνα 3.4. Αγροτικό δίκτυο και διάταξη μικρολεκανών

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΤΕΧΝΙΚΟ-ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ

4.1. Τεχνικές εργασίες

Παρακάτω παρουσιάζονται οι τεχνικές εργασίες που πρόκειται να υλοποιηθούν για το υπό μελέτη έργο:

Βοτάνισμα

Το βοτάνισμα συνηθίζεται να εφαρμόζεται στην τεχνική Micro Catchment Water Harvesting (Boers and Ben-Asher 1982). Έτσι μειώνεται η ικανότητα διήθησης του εδάφους με αποτέλεσμα την αύξηση του συντελεστή απορροής της CA, αλλά και συμβάλλει επίσης στον καθαρισμό του εδάφους της, καθώς και των IB, ώστε να φυτευτούν οι καλλιέργειες. Το βοτάνισμα μπορεί να γίνει με διάφορους τρόπους όπως (Δόρδας 2009):

- i) Με τα χέρια.
- ii) Με χρήση τσάπας.

Οι δύο αυτοί τρόποι δεν απαιτούν μηχανήματα, παρά μόνον εργατικά.

- iii) Με χορτοκοπικό μηχάνημα που είναι ένας συνήθης τρόπος βοτανίσματος. Το πλεονέκτημα της μεθόδου είναι ότι είναι οικονομική. Όμως, ένα πολύ σημαντικό μειονέκτημα είναι ότι επειδή δεν καταστρέφεται το ριζικό σύστημα, μετά από καιρό ξανά φυτρώνουν ζιζάνια.

Επιλέχθηκε να χρησιμοποιηθούν οι πρώτοι δυο τρόποι, επομένως θα χρειαστούν μόνο εργατικά.

Επιφανειακή επεξεργασία

Θα χρειαστεί χρήση ισοπεδωτή (grader) για την ισοπέδωση και ευθυγράμμιση του εδάφους και οδοστρωτήρα για τη συμπύκνωση του εδάφους (Κοντόπουλος 2008). Επίσης θα χρειαστεί προωθητής για να σκάψει το έδαφος των IB (μικρό βάθος) όπως και εργατικά (χειριστές μηχανημάτων). Να σημειωθεί ότι μέρος των χωμάτων που θα αφαιρεθούν θα χρησιμοποιηθούν σαν μικρά αναχώματα που θα περικλείουν τις CA στο άνω και στα πλευρικά τους όρια, ώστε να διαχωρίζονται μεταξύ τους και να ελαττώνεται η απώλεια νερού από τις CA (Fidelibus and Bainbridge 1995).

Επιχώματα-Αναχώματα

Σε κάθε μικρολεκάνη δημιουργείται ανάχωμα στο τμήμα της λεκάνης διήθησης IB, εφόσον επιλέχθηκε η τεχνική desert strip farming. Επιπλέον στις επιφάνειες απορροής δημιουργούνται μικρά επιχώματα στα τριγύρω τους (φυσικά όχι στην πλευρά όπου η επιφάνεια απορροής συνορεύει με την λεκάνη διήθησης) της τάξης των 30cm, ώστε να μειώνονται οι απώλειες νερού στην μικρολεκάνη (Ali 2012).

Χημική επεξεργασία

Επιφάνεια απορροής CA:

Στις επιφάνειες απορροής θα χρησιμοποιηθούν υλικά που συμβάλουν στη μείωση της διηθητικότητας του εδάφους. Επιλέχθηκε να χρησιμοποιηθούν άλατα νατρίου που διεισδύουν στους πόρους του εδάφους και τους σφραγίζουν μερικά.

Λεκάνη διήθησης IB:

Στις λεκάνες διήθησης θα χρησιμοποιηθούν υλικά που αυξάνουν τη διηθητικότητα του εδάφους. Επιλέχθηκε η χρήση οργανικών υλικών.

Δενδροφύτευση

Θα χρειαστεί να φυτευτούν 1294 δέντρα αμυγδαλιάς, 1467 δέντρα βερυκοκιάς και 1467 ροδακινιάς επίσης.

4.2.Κόστος κατασκευής

Παρακάτω παρουσιάζεται η κοστολόγηση του έργου:

Βοτάνισμα, Επιχώματα-Αναχώματα-Εργατικά

Τα εργατικά σύμφωνα με Εθνική Γενική Συλλογική Σύμβαση Εργασίας για ανιδείκευτο εργάτη είναι 26,18 ευρώ για 6 ώρες και 40 λεπτά και άρα στο οκτάωρο 31,4 ευρώ και με εργοδοτικές εισφορές που ανέρχονται σε ποσοστό 25% σύμφωνα με το πακέτο 106 του ΙΚΑ, το κόστος ανά άτομο είναι τελικά 39,25 ευρώ την ημέρα και ο καθένας μπορεί να καλύψει 100m² ανά ημέρα σύμφωνα με το ΤΕΕ. Η συνολική έκταση που πρόκειται να υποστεί βοτάνισμα είναι όση η έκταση που καταλαμβάνουν οι μικρολεκάνες δηλαδή 66 στρέμματα. Επομένως για κόστος 39,25 ευρώ/ 100m² το συνολικό κόστος για βοτάνισμα προκύπτει $(66000/100) \cdot 39,25=25872$ ευρώ, περίπου 26000 ευρώ.

Επιφανειακή επεξεργασία-χρήση μηχανημάτων-εργατικά

Ισοπεδωτής:

Σύμφωνα με έρευνα που πραγματοποιήθηκε στο διαδίκτυο βρέθηκε μια μέση τιμή ενοικίασης 230 ευρώ την ημέρα. Η ημερήσια απόδοσή του μηχανήματος είναι της

τάξεως των 6 στρεμμάτων/ ανά ημέρα (Γλύνης και Μανιουδάκης 1999, Εφραιμίδης 2002). Η περιοχή που θα γίνει χρήση του ισοπεδωτή θα είναι αυτή που καταλαμβάνει τις επιφάνειες απορροής και το οδικό δίκτυο που προβλέπεται, επομένως η συνολική έκταση μείον την έκταση που καταλαμβάνουν οι λεκάνες διήθησης, δηλαδή $70000 - 10 \cdot 1294 - 6 \cdot 2 \cdot 1467 = 39456 \text{m}^2$. Επομένως εκτιμάται ότι θα χρειαστούν 7 ημέρες και το κόστος υπολογίζεται σε: $7 \cdot 230 = 1610$ ευρώ. Επιπλέον χρειάζεται χειριστής, που η αμοιβή του σύμφωνα με Εθνική Γενική Συλλογική Σύμβαση Εργασίας για ειδικευμένο εργάτη και τις εργοδοτικές εισφορές του ΙΚΑ ανέρχεται στα 53,2 ευρώ την ημέρα και επομένως για τις 7 ημέρες, 372,4 ευρώ.

Οδοστρωτήρας:

Σύμφωνα με έρευνα που πραγματοποιήθηκε στο διαδίκτυο βρέθηκε μια μέση τιμή ενοικίασης 30 ευρώ την ημέρα και η ημερήσια απόδοση του μηχανήματος είναι της τάξεως 6 στρεμμάτων την ημέρα και άρα χρειάζονται 8 ημέρες σε αυτή τη ζώνη και το κόστος υπολογίζεται $7 \cdot 30 = 210$ ευρώ. Ο χειριστής του θα κοστίσει επίσης 372,4 ευρώ.

Επομένως, για την επιφανειακή επεξεργασία το κόστος ανέρχεται περίπου στα 2565 ευρώ.

Δεντροφύτευση

Με μια έρευνα αγοράς που πραγματοποιήθηκε βρέθηκε ότι τα ζετή δένδρα αμυγδαλιάς, ροδακινιάς και βερυκοκιάς, που τότε αρχίζουν να καρποφορούν (Ποντίκης 1997), κοστίζουν περίπου 20 ευρώ το δένδρο. Επομένως το κόστος αγοράς για τα δένδρα είναι:

$(1294 + 2 \cdot 1467) \cdot 20 = 84560$ ευρώ.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζεται συνοπτικά ο ενδεικτικός προϋπολογισμός του έργου:

Πίνακας 4.1. Προϋπολογισμός έργου

	ΚΟΣΤΟΣ ΑΝΑ ΕΡΓΑΣΙΑ (ΕΥΡΩ)
ΒΟΤΑΝΙΣΜΑ	26000
ΕΠΙΦ.ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ	2565
ΔΕΝΤΡΟΦΥΤΕΥΣΗ	84560
ΣΥΝΟΛΟ	113125

Εκτιμάται ότι το συνολικό ετήσιο κόστος για τα λιπάσματα, τα φυτοφάρμακα και το κλάδεμα για 4228 δέντρα είναι 10000 ευρώ.

Τα ετήσια έσοδα του έργου θα προέρχονται από την ετήσια ποσότητα καρπών (αμύγδαλα, ροδάκινα, βερύκοκα) των δέντρων. Και τα τρία είδη δέντρων αποδίδουν τον πρώτο καρπό από το τρίτο έτος τους και επειδή προβλέπεται να αγοραστούν δέντρα ηλικίας τριών ετών θα υπάρχει παραγωγή από το πρώτο έτος της φύτευσής

τους. Το μέγιστο ύψος καρποφορίας αρχίζει από το 7^ο έτος, επομένως 4 χρόνια μετά την φύτευσή τους.

Όσον αφορά την μέση ποσότητα καρπών ανά έτος, η αμυγαλιά παράγει περίπου 10 κιλά με τιμή αγοράς από τον παραγωγό 6 ευρώ/κιλό (Νάνος 2018), η ροδακινιά παράγει περίπου 40 κιλά ανά δέντρο με τιμή αγοράς από τον παραγωγό 0,30 ευρώ/κιλό και η βερυκοκιά δίνει κατά μέσο όρο 35 κιλά ανά δέντρο με επίσης 0,30 ευρώ/κιλό (Ταβουλάρης 2012).

Παρακάτω παρουσιάζονται τα ετήσια έσοδα ανά είδος δένδρου αλλά και τα συνολικά ετήσια έσοδα:

Πίνακας 4.2. Ετήσια έσοδα

	ΕΤΗΣΙΑ ΕΣΟΔΑ (ΕΥΡΩ)
ΑΜΥΓΔΑΛΙΑ	77640
ΡΟΔΑΚΙΝΙΑ	17604
ΒΕΡΥΚΟΚΙΑ	15404
ΣΥΝΟΛΟ	110648

4.3.Αξιολόγηση του έργου με την μέθοδο NPV

Όπως έχει προαναφερθεί, η οικονομική αξιολόγηση του προτεινόμενου έργου θα γίνει με την μέθοδο της καθαράς παρούσας αξίας, NPV.

Για χρόνο ζωής έργου 8 έτη και με επιτόκιο προεξόφλησης 10% (μέση τιμή για αρδευτικά έργα στην Ελλάδα), προκύπτει από την εξίσωση (2.41.) η τιμή της NPV. Το αποτέλεσμα δίνεται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 4.3. Υπολογισμός της NPV

ΕΤΟΣ	ΤΑΜΕΙΑΚΕ Σ ΕΚΡΟΕΣ	ΤΑΜΕΙΑΚΕΣ ΕΙΣΡΟΕΣ	ΤΑΜ.ΕΙΣΡΟΕΣ- ΤΑΜ.ΕΚΡΟΕΣ	NPV
0	113125	0	-113125	-113125
1	10000	110648	100648	91498
2	10000	110648	100648	83180
3	10000	110648	100648	75618
4	10000	110648	100648	68744
5	10000	110648	100648	62494
6	10000	110648	100648	56813
7	10000	110648	100648	51648
8	10000	110648	100648	46853
			ΣΥΝΟΛΟ	423723>0

Επομένως προκύπτει η Καθαρή Παρούσα Αξία NPV=423723>0 και το έργο κρίνεται συμφέρον.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Με βάση την ανάλυση των προηγούμενων κεφαλαίων, τα κύρια συμπεράσματα της παρούσας εργασίας είναι τα εξής:

- Δεδομένης της κλιματικής αλλαγής και της έλλειψης σε νερό ύδρευσης πόσο μάλλον σε αρδευτικό νερό, μια μέθοδος όπως η M.C.W.H. που εξαρτάται μόνο από την βροχόπτωση της υγρής περιόδου του έτους και όπου το νερό αποθηκεύεται κατευθείαν στο ριζόστρωμα των καλλιεργειών για να χρησιμοποιηθεί όταν αυτές το έχουν ανάγκη (ξηρή περίοδος-περίοδος ανάπτυξης), φαντάζει η ιδανική λύση για τις αρδεύσεις σε περιοχές με ξηρό ή ημίξηρο κλίμα. Η M.C.W.H. έχει χαμηλό κόστος κατασκευής και μηδενικές ενεργειακές απαιτήσεις.
- Η κλίση του εδάφους επηρεάζει την επιλογή της καλλιέργειας για την εφαρμογή της τεχνικής M.C.W.H. εφόσον υπάρχει περιορισμός του μήκους της επιφάνειας απορροής λόγω κινδύνου διάβρωσης του εδάφους. Αυτό συνεπάγεται περιορισμό του συλλεγόμενου νερού για την καλλιέργεια και κατά συνέπεια, όσο μεγαλύτερη είναι η κλίση του εδάφους θα πρέπει το φυτό που επιλέγεται να έχει λιγότερες απαιτήσεις σε νερό. Ακόμη, η μέθοδος αυτή είναι πιο αποτελεσματική σε εδάφη μέσης σύστασης.
- Με δεδομένο ότι η M.C.W.H. χρησιμοποιεί την βροχόπτωση της υγρής περιόδου μιας και της ξηρής είναι αμελητέα συνήθως, η διαστασιολόγηση των μικρολεκανών απορροής είναι εφικτό να γίνει και με ετήσια δεδομένα ύψους βροχόπτωσης και απορροής.
- Στην παρούσα εργασία εξήχθησαν εξισώσεις για τον σχεδιασμό μικρολεκανών για τον υπολογισμό τόσο του λόγου των εμβαδών $\lambda = A_{CA}/A_{IB}$ των συστατικών μερών τους (επιφάνεια απορροής CA-λεκάνη διήθησης IB), όσο και για τον ετήσιο όγκο νερού που εκτιμάται ότι θα αποθηκευθεί στο ριζόστρωμα της καλλιέργειας. Οι εξισώσεις αυτές χρησιμοποιήθηκαν για τον σχεδιασμό μικρολεκανών απορροής στη νήσο Πάρο για δενδρώδεις καλλιέργειες.
- Η τεχνικο-οικονομική διερεύνηση που ακολούθησε, με τη μέθοδο της καθαρής παρούσας αξίας (NPV), κατέδειξε ότι η μέθοδος M.C.W.H. για την περιοχή εφαρμογής είναι οικονομικά συμφέρουσα.

Γενικά για την τεχνική M.C.W.H.:

- Αποτελεί ιδανική λύση για άρδευση, ειδικά στα νησιά του Αιγαίου όπως οι Κυκλάδες, που έχουν ημίξηρο κλίμα. Έτσι, ανεκμετάλλευτες εκτάσεις θα αξιοποιούνταν γεωργικά με μικρό κόστος κατασκευής και θα υπήρχε γρήγορη απόσβεση.

- Δεδομένου ότι το κόστος κατασκευής και συντήρησης είναι σχετικά μικρό και δεν απαιτείται επιπλέον νερό πέραν αυτού της φυσικής βροχόπτωσης αν ο σχεδιασμός είναι σωστός, ο παραγωγός έχει τη δυνατότητα να κατεβάσει την τιμή πώλησης του προϊόντος, το οποίο θα έχει όφελος και σε αυτόν (περισσότερες πωλήσεις) και στην κοινωνία.
- Καλό θα ήταν η τεχνική M.C.W.H. να εφαρμόζεται σε περιοχές με υπόγειο υδροφόρα, ώστε αυτός να εμπλουτίζεται από τις απώλειες λόγω βαθιάς διήθησης.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΞΕΝΗ

Adham A., Riksen M., Quessar M. and Ritsema C.J., 2016. A Methodology to Assess and Evaluate Rainwater Harvesting Techniques in (Semi-) Arid Regions, *Water*.8(5), 198.

Ali A., Rashid M., El-Naggar S. and Aal A., 2007. Water harvesting options in the drylands at different spatial scales, *Land Use and Water Resources Research*. 7, 1-13

Ali M., 2012 .Soil water conservation and water balance model for micro-catchment water harvesting system, University of Loughborough.

Beckers B., Berking J., Schutt B., 2013. Ancient Water Harvesting Methods in the Drylands of the Mediterranean and Western Asia. *Topoi Journal for Ancient Studies*, Berlin, Germany.

Boers T. and Ben-Asher J., 1982. A review of rainwater harvesting. *Agricultural Water Management* 5.

Boers T., Graff M., Feddes R., Ben-Asher J., 1986a. A linear regression model combined with a soil water balance model to design micro-catchments for water harvesting in arid zones. *Agricultural Water Management* 11.

Boers T., Zondervan K., Ben-Asher J., 1986b. Micro Catchment Water Harvesting (M.C.W.H.) for arid zone development. *Agriculture Water Management*, 12.

Boers T., 1997. Rainwater Harvesting in Arid and Semi-Arid Zones. International Institute for Land Reclamation and Improvement. Netherlands, Wageningen.

Chhotray S., 2017. Soil Water Conservation For Micro-Catchment Water Harvesting Systems. International Interdisciplinary Conference on Science Technology Engineering Management Pharmacy and Humanities, Singapore.

F.A.O. 1991. Water harvesting (AGL/MISC/17/91), Rome, Italy.

Fidelibus M. and Bainbridge D., 1995. Micro-Catchment Water Harvesting for desert revegetation, Soil Ecology and Restoration Group, Environmental Studies Program, Restoration Bulletin #5, United States International University, Pomerado Road San Diego.

Giakoumakis S., 2008. Rainwater Harvesting in Arid and Semi-Arid Regions, International Symposium: Water Shortage Management, Proceedings, NTUA, Athens, Greece.

Hai M., 1998. An Illustrative Manual for Development of Microcatchment Techniques for Crop Production in Dry Areas. Regional Land Management Unit. Nairobi, Kenya.

Meinzinger F., 2006. Lesson B2: Rainwater Harvesting. Institute of Wastewater Management, Hamburg University of Technology.

Prinz D. and Malik A., 2002. Runoff Farming. Institute of Water Resources Management, Hydraulic and Rural Engineering, Dept. of Rural Engineering, University of Karlsruhe, Karlsruhe, Germany.

Prinz D. and Malik A., 2012. Water Harvesting. Institute of Water Resources Management. University of Karlsruhe. *Karlsruhe, Germany*.

Prinz D., 2001. Water Harvesting for afforestation in dry areas. Institute of Water Resources Management, Hydraulic and Rural Engineering, Dept. of Rural Engineering, University of Karlsruhe, Karlsruhe, Germany.

Puhai et.al., 2003. Economic analysis of rainwater harvesting and irrigation methods, with an example from China. Agricultural Water Management. Gansu Agricultural University. Lanzhou, China.

SCS, 2004. National Engineering Handbook, Section 4: Hydrology, Soil Conservation Service, USDA, Washington, D.C., 2004.

Sharamo U., 2002. Hydrological Investigation for water Harvesting Potential using GIS, RS and Runoff models: A case study of Naivasha Area, Kenya, International Institute for geoinformation science and earth observation, ITC, Enschede.

Tabieh M., 2015. Economic analysis of Micro-Catchment Rainwater Harvesting Techniques in Jordan's Arid Zones, University of Jordan, Amman, Jordan.

Tsakiris G., 1991. Micro-Catchment Water Harvesting in Semi-Arid Regions: Basic Design Considerations, Water Resources Management 5.

Rands B., 1980. Double cropping in semi-arid regions using water harvesting agrosystems, University of Arizona, Arizona.

Razzaghi M., 2011. Rain Water Harvesting Systems is a Way for Water Conservation. Al-Jabal El-Gharbi University, Gharian, Libya.

Renner H. and Frasier G., 1995. Micro-catchment Water Harvesting for agricultural production: Part I: Physical and Technical Considerations, Rangelands 17.

Walker S. and Tsubo M., 2003. Estimation of rainfall intensity for potential crop production on clay soil with in-field water harvesting practices in semi-arid area. University of the Free State Bloemfontein, South Africa.

Wanielista M., 1990. Hydrology and Water Quantity Control. John Wiley & Sons, New York.

ΕΛΛΗΝΙΚΗ

Αλεξιάδης Κ., 2005. Άμεσες και έμμεσες μέθοδοι προσδιορισμού εξατμισοδιαπνοής, Πτυχιακή Εργασία, Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Μεσολογγίου-Σχολή Τεχνολόγων Γεωπόνων, Μεσολόγγι.

Γενική διεύθυνση περιφερειακής αγροτικής οικονομίας και κτηνιατρικής, 2013. Επιχειρησιακό σχέδιο αγροτικής ανάπτυξης 2014-2020: Πάρος, Περιφέρεια νοτίου Αιγαίου.

Γλύνης Α. και Μανιουδάκης Χ., 1999. Συλλογή ομβρίων νερών σε μικρολεκάνες απορροής για αρδευτική χρήση-Εφαρμογή στη νήσο Φολέγανδρο, Διπλωματική Εργασία, ΕΜΠ-Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, Αθήνα.

Δόρδας Χ., 2009. Μαθήματα γενικής γεωργίας, Εκδόσεις Σύγχρονη Παιδεία, Θεσσαλονίκη.

Εφραιμίδης Δ., 1992. Ανάπτυξη της τεχνολογίας συλλογής των όμβριων νερών για άρδευση, Διδακτορική Διατριβή (επιστ. υπεύθυνος: Γ. Τσακίρης), ΕΜΠ, Αθήνα.

Εφραιμίδης Χ., 2002. Δομικές μηχανές, Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα.

Καββαδάς Μ., 2006. Στοιχεία εδαφομηχανικής, ΕΜΠ, Αθήνα.

Κοντόπουλος Ν., 2008. Μελέτη σχήματος οργάνωσης παραγωγικών διαδικασιών και διαδικασιών υπηρεσιών σε επιχείρηση συντήρησης-αναβάθμισης μηχανημάτων έργων, Πτυχιακή Εργασία. Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Καβάλας-Τμήμα Μηχανολογίας, Καβάλα.

Κούγκολος Α., 2017. Περιβαλλοντική Μηχανική: Ρύπανση και Προστασία Περιβάλλοντος, Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη.

Κουτσογιάννης Δ., 2012. Υδρομετεωρολογία: Εξάτμιση και Διαπνοή, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.

Μπαλτάς Ε., 2012. Εξατμισοδιαπνοή, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.

Νάνος Γ., 2018. Ειδική δενδροκομία, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας-Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Βόλος.

Ποντίκης Κ. 1997. Γενική δενδροκομία, Εκδόσεις Σταμούλης, Αθήνα.

Σαμαράς Β., 2010. Υδατικές απαιτήσεις των καλλιεργειών βάμβακος, καλαμποκιού, βιομηχανικής ντομάτας και τεύτλων στον Θεσσαλικό χώρο, Πρόγραμμα Hydrosense, Αθήνα.

Ταβουλάρης Κ., 2012. Μέσες αποδόσεις φυτικών καλλιεργειών στην Ελλάδα, Υπουργείο αγροτικής ανάπτυξης και τροφίμων. Διεύθυνση αγροτικής πολιτικής και τεκμηρίωσης-τμήμα αγροτικής στατιστικής, Αθήνα.

Τερζίδης Γ.Α. και Παζαφειρίου Ζ.Γ., 1997. Γεωργική Υδραυλική, Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη.

Τσακίρης Γ. και Βαγγέλης Χ., 2009. Υδατικοί πόροι ΙΙ: Εφαρμογές Τεχνικής Υδρολογίας, Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα.

Τσακίρης Γ. (υπεύθυνος έκδοσης), 2013. Υδατικοί πόροι Ι: Τεχνική υδρολογία, Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα.

Τσακίρης Γ., (υπεύθυνος έκδοσης), 2006. Υδραυλικά έργα: Σχεδιασμός και διαχείριση, ΤΟΜΟΣ ΙΙ: Εγγειοβελτιωτικά Έργα, Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

**ΕΤΗΣΙΑ ΥΨΗ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ ΑΠΟ ΤΟΝ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΟ ΣΤΑΘΜΟ
ΤΗΣ Ε.Μ.Υ. ΣΤΗΝ ΠΑΡΟ**

ΕΤΟΣ	ΥΨΗ ΒΡΟΧΗΣ (mm)
1975	389,8
1976	533,2
1977	186,3
1978	568,7
1979	385,2
1980	483,1
1981	656,2
1982	882,2
1983	582,2
1984	759,7
1985	645,7
1986	399,6
1987	580,2
1988	703,8
1989	370,5
1990	360,2
1991	563,6
1992	376,9
1993	665,5
1994	833,8
1995	552
1996	670,9
1997	623,3
1998	641,4
1999	502,1
2000	356,5
2001	402,8
2002	716
2003	872,1

ΕΥΡΕΣΗ ΜΕΣΗΣ ΤΙΜΗΣ ΚΑΙ ΤΥΠΙΚΗΣ ΑΠΟΚΛΙΣΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΤΗΣΙΑ ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΑ ΥΨΩΝ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ

ΕΤΟΣ	ΥΨΗ ΒΡΟΧΗΣ (mm)	P-Pm	(P-Pm) ²
1975	389,8	-171,0	29244,5
1976	533,2	-27,6	762,3
1977	186,3	-374,5	140258,0
1978	568,7	7,9	62,2
1979	385,2	-175,6	30839,0
1980	483,1	-77,7	6038,9
1981	656,2	95,4	9099,2
1982	882,2	321,4	103291,3
1983	582,2	21,4	457,5
1984	759,7	198,9	39557,1
1985	645,7	84,9	7206,3
1986	399,6	-161,2	25988,8
1987	580,2	19,4	376,0
1988	703,8	143,0	20446,0
1989	370,5	-190,3	36218,0
1990	360,2	-200,6	40244,5
1991	563,6	2,8	7,8
1992	376,9	-183,9	33823,0
1993	665,5	104,7	10959,9
1994	833,8	273,0	74523,4
1995	552	-8,8	77,6
1996	670,9	110,1	12119,7
1997	623,3	62,5	3905,0
1998	641,4	80,6	6494,7
1999	502,1	-58,7	3446,9
2000	356,5	-204,3	41742,7
2001	402,8	-158,0	24967,3
2002	716	155,2	24083,8
2003	872,1	311,3	96901,2
ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	560,8		
ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ	171,5		