



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**  
**ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**  
**ΕΠΙΣΤΗΜΗ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ**



**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕ ΤΙΤΛΟ:**

**«Βελτιστοποίηση υδατικού και ενεργειακού αποτυπώματος αμπελώνων με  
χρήση καινοτόμων τεχνολογιών»**

**ΘΕΟΤΟΚΑΤΟΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ**

**ΑΜ: 120006**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ : ΕΥΣΤΡΑΤΙΑΔΗΣ ΑΝΔΡΕΑΣ**

**ΑΘΗΝΑ 2023**

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>Ευχαριστίες</b> .....	5
<b>Περίληψη</b> .....	6
<b>Abstract</b> .....	7
<b>1 Εισαγωγή</b> .....	8
1.1 Δομή Μελέτης.....	9
<b>2 Χρήσεις νερού – Υδατικό αποτύπωμα και τεχνολογίες επαναχρησιμοποίησης</b> .....	10
2.1 Η Χρήση του νερού.....	10
2.2 Υδατικό αποτύπωμα.....	12
2.2.1 Μπλε υδατικό αποτύπωμα.....	13
2.2.2 Πράσινο υδατικό αποτύπωμα.....	14
2.2.3 Γκρι υδατικό αποτύπωμα.....	15
2.3 Συλλογή όμβριων υδάτων.....	16
2.3.1 Σύστημα συλλογής όμβριων υδάτων.....	17
2.3.2 Δεδομένα ποσότητας και ποιότητας.....	20
<b>3 Η καλλιέργεια της αμπέλου</b> .....	23
3.1 Ιστορική αναδρομή.....	23
3.2 Η αμπελουργία στην Ελλάδα.....	23
3.3 Υδατικές ανάγκες.....	25
3.3.1 Εξατμισοδιαπνοή (ET).....	26
3.3.2 Φυτικός συντελεστής ( $K_c$ ).....	27

<b>4 Συνδυασμένη ανάπτυξη Γεωργίας και Ενέργειας Αγροβολταϊκά.....</b>	<b>31</b>
4.1 Τεχνικά χαρακτηριστικά φωτοβολταϊκών.....	32
4.1.1 Ύψος αγροβολταϊκών.....	32
4.1.2 Μέθοδος στήριξης αγροβολταϊκών.....	33
4.1.3 Κλίση και προσανατολισμός.....	34
4.1.4 Τύπος φωτοβολταϊκής μονάδας.....	35
4.2 Καλλιέργειες αγροβολταϊκών.....	36
<b>5 Μελέτες περίπτωσης.....</b>	<b>39</b>
5.1 Περιοχή μελέτης.....	39
5.2 Δεδομένα βροχόπτωσης και εξατμισοδιαπνοής.....	40
5.3 Μοντελο ημερησιου υδατικού ισοζυγίου.....	42
5.4 Μοντέλο απορροής.....	44
5.4.1. Υπολογισμός Απορροής των πάνελ – επιφάνειας συλλογής.....	44
5.4.2. Υπολογισμός της παραμέτρου Ia (Initial Abstraction).....	45
5.4.3 Υπολογισμός του συντελεστή απορροής εδάφους (Cs).....	47
5.4.4 Υπολογισμός της απορροής χωραφιού (Cfield).....	48
5.5 Προσδιορισμός των υδατικών αναγκών της καλλιέργειας της αμπέλου.....	48
5.6 Διαστασιολόγηση ομβροδεξαμενής.....	50
5.7 Προσδιορισμός ενέργειας από τα φωτοβολταϊκά πλαίσια.....	56
<b>6 Αποτελέσματα – Συζήτηση.....</b>	<b>57</b>
6.1 Ανάλυση βροχομετρικών δεδομένων.....	57
6.2 Ανάλυση αξιοπιστίας ομβροδεξαμενής και κάλυψη της ζήτησης.....	63
6.3 Ανάλυση του υδατικού αποτυπώματος από την χρήση ομβροδεξαμενών.....	72

6.4 Ανάλυση του ενεργειακού οφέλους από την χρήση φωτοβολταϊκών πάνελ σε αμπελώνα.....	73
6.5 Ανάλυση του συνδυαστικού μοντέλου για την περίπτωση των αγροβολταϊκών.....	75
6.6 Οικονομική ανάλυση.....	75
<b>7 Γενικά συμπεράσματα – Προτάσεις.....</b>	<b>77</b>
<b>Βιβλιογραφία.....</b>	

## **Ευχαριστίες**

Φτάνοντας στην ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής μελέτης, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή Ανδρέα Ευστρατιάδη, για την ανάθεση αυτού του ενδιαφέροντος θέματος καθώς και για την στήριξή του στο κομμάτι της εκπόνησης.

Επίσης, θέλω να ευχαριστήσω την οικογένειά μου, τους φίλους μου, τη σύντροφό μου, καθώς και τους ανθρώπους που ήταν και συνεχίζουν να είναι δίπλα μου, σε όλη τη ακαδημαϊκή μου πορεία, δείχνοντας έμπρακτα την πολύτιμη υποστήριξή τους.

## Περίληψη

Στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής μελέτης διερευνάται το πλέγμα νερού, τροφής και ενέργειας σε αμπελώνες, στους οποίους εφαρμόζονται καινοτόμες πρακτικές, αφενός για τη διαχείριση του νερού, μέσω συστημάτων συλλογής και αξιοποίησης των όμβριων υδάτων, και αφετέρου για την αξιοποίηση του ηλιακού δυναμικού και την παραγωγή πράσινης ενέργειας, μέσω της εγκατάστασης φωτοβολταϊκών πλαισίων. Η έρευνα θα εστιάσει σε δύο περιοχές του Ελλαδικού χώρου με διαφορετικά κλιματικά χαρακτηριστικά, χρησιμοποιώντας ιστορικές χρονοσειρές μετεωρολογικών δεδομένων για την κατάρτιση των υδατικών και ενεργειακών ισοζυγίων. Στόχος είναι να δοθούν προτάσεις για την πρακτική εφαρμογή των εν λόγω τεχνολογιών, βελτιώνοντας το υδατικό και ενεργειακό αποτύπωμα στην παραγωγή σταφυλιών και οίνου, που συνιστούν σημαντικά στοιχεία του πρωτογενούς τομέα της χώρας

Εφαρμόζεται ένα μοντέλο ημερήσιου υδατικού ισοζυγίου με σκοπό τη διερεύνηση του μεγέθους ομβροδεξαμενών για αρδευτική χρήση σε καλλιέργεια αμπελιού η οποία φιλοξενεί φωτοβολταϊκά πάνελ σε διάφορα ποσοστά επί του συνόλου της γεωργικής έκτασης. Ως περιοχές μελέτης, επιλέχθηκαν η περιοχή της Νεμέας της περιφερειακής ενότητας Κορινθίας και η περιοχή της Νέας Αγχιάλου της περιφερειακής ενότητας Μαγνησίας. Οι περιοχές αυτές επιλέχθηκαν με βάση την πίεση που ασκείται στους υδατικούς πόρους καθώς και με την γενικότερη γεωργική χρήση αμπελιού.

Για την εφαρμογή του μοντέλου υδατικού ισοζυγίου και τη διαστασιολόγηση των ομβροδεξαμενών, απαραίτητη προϋπόθεση είναι η διαθεσιμότητα ημερήσιων δεδομένων βροχόπτωσης, καθώς και οι υδατικές ανάγκες της καλλιέργειας της αμπέλου. Έτσι, χρησιμοποιήθηκαν ημερήσιες τιμές βροχόπτωσης και εξατμισοδιαπνοής 41 υδρολογικών ετών, για την χρονική περίοδο 1980-2021, από τους σταθμούς του Αστεροσκοπείου στη Νεμέα και στην Νέα Αγχιάλο. Εν συνέχεια, πραγματοποιήθηκε ανάλυση των αποτελεσμάτων του μοντέλου σε σχέση με την κάλυψη της ζήτησης από την χρήση της ομβροδεξαμενής, καθώς και την παραγωγή ενέργειας από τα φωτοβολταϊκά πλαίσια.

## **Abstract**

In this thesis water, food and energy matrix is investigated in vineyards, where innovative practices are applied, on the one hand, for water management, through rainwater harvesting and utilization systems, and on the other hand for the utilization of solar potential and the production of green energy, through the installation of photovoltaic panels. The research will focus on two regions of Greece with different climatic characteristics, using historical time series of meteorological data to establish water and energy balances. The aim is to provide proposals for the practical application of these technologies, improving the water and energy footprint in the production of grapes and wine, which are important elements of the country's primary sector.

A daily water balance model is applied, to investigate the size of rainwater tanks for irrigation use in a vineyard crop that hosts photovoltaic panels in different percentages of the total plot of land. The area of Nemea of the regional unit of Corinthia and the area of Nea Anchialos of the regional unit of Magnesia were selected as study areas. These areas were selected based on the pressure on water resources and the general agricultural use of vineyards.

For the application of the water balance model and the sizing of the rainwater tanks, the availability of daily rainfall data and the water needs of the vine crop is a prerequisite. Thus, daily rainfall and evapotranspiration values of 41 hydrological years, for the period 1980-2021, were used from the Greek Observatory stations in Nemea and Nea Anchialos. Subsequently, an analysis of the model results was carried out in relation to the demand coverage from the use of the rainwater harvesting system, as well as the energy production from the photovoltaic panels.

## ***1 Εισαγωγή***

Η συνεχώς αυξανόμενη ζήτηση νερού αλλά και ενέργειας, έχει οδηγήσει σε ορισμένες περιπτώσεις υπερεκμετάλευση των φυσικών πόρων του τόπου από τον οποίο προέρχονται-εκμεταλλεύονται. Όσον αφορά τη χρήση νερού, η ανάγκη για χρήση αρδευτικού νερού τους θερινούς μήνες, ειδικά στον Ελλαδικό χώρο τα τελευταία 40 έτη έχει γίνει αιτία για την υφαλμύρυνση των υπογείων υδάτων από τις ανεξέλεγκτες υπεραντλήσεις. Για το κομμάτι της ηλεκτρικής ενέργειας, η χώρα αντιμετωπίζει τεράστιο ενεργειακό πρόβλημα καθώς αναγκάζεται πλέον να εισάγει ενέργεια υπό την μορφή φυσικού αερίου διότι έχει περάσει στο μεταβατικό στάδιο της απολιγνητοποίησης καθώς η καύση λιγνίτη για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είναι ζημιογόνος για το περιβάλλον

Ο συνδυασμός των παραπάνω είχε οδηγήσει σε τεράστια περιβαλλοντικά ζητήματα αλλά και κοινωνικά. Η ζήτηση για γεωργικά επαγγέλματα σήμανε μεγάλη πτώση καθώς λόγω των περιορισμών που δημιουργήθηκαν όσον αφορά τη χρήση νερού, αποθάρρυναν πολύ κόσμο . Επίσης, λόγω της ενεργειακής κρίσης τα τελευταία δύο έτη η κοινωνία αντιμετωπίζει τεράστιο πρόβλημα με την ακρίβεια, πράγμα που επηρεάζει ακόμη και τον γεωργικό τομέα.

Στην μελέτη αυτή γίνεται αναφορά σε καινοτόμες πρακτικές που έχουν ως σκοπό την διαχείριση του νερού μέσω συστημάτων συλλογής των όμβριων υδάτων, καθώς και γεωργικές τεχνικές που σχετίζονται με την αξιοποίηση του ηλιακού δυναμικού και την παραγωγή πράσινης ενέργειας, μέσω της εγκατάστασης φωτοβολταϊκών πλαισίων. Η παραπάνω μέθοδος – τεχνολογία θα μπορούσε να αποτελέσει στίγμα για την ενίσχυση του σημαντικού πρωτογενούς τομέα της χώρας διότι οι τεχνικές αυτές είναι φιλικές προς το περιβάλλον και μπορούν να αποδώσουν αυξημένα κέρδη.

Συνεπώς αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η διερεύνηση του πλέγματος νερού, τροφής και ενέργειας σε καλλιέργειες αμπελιού, στις οποίες εφαρμόζονται καινοτόμες πρακτικές με σκοπό την αειφόρο διαχείριση του νερού, μέσω συστημάτων συλλογής των όμβριων υδάτων καθώς και αξιοποίησης του ηλιακού δυναμικού για παραγωγή πράσινης ενέργειας, μέσω της εγκατάστασης φωτοβολταϊκών πλαισίων



## ***1.1 Δομή Μελέτης***

Η δομή της παρούσας μελέτης αποτελείται από 6 κεφάλαια:

Το Κεφάλαιο 1 αποτελεί την εισαγωγή της μελέτης.

Στο Κεφάλαιο 2 γίνεται μια αναφορά σχετικά με τη χρήση του νερού τόσο σε παγκόσμιο και ευρωπαϊκό και εθνικό επίπεδο. Επίσης αναλύεται το υδατικό αποτύπωμα και οι συνιστώσες του.

Στο Κεφάλαιο 3 διερευνάται η συλλογή όμβριων υδάτων ως μέτρο αντιμετώπισης της πίεσης των υδατικών αποθεμάτων και πραγματοποιείται εκτεταμένη βιβλιογραφική επισκόπηση επί των μεθόδων διαστασιολόγησης ομβροδεξαμενών. Επίσης, γίνεται εκτενής αναφορά στην καλλιέργεια της αμπέλου σε εθνικό επίπεδο και ανάλυση των αρδευτικών της αναγκών.

Στο Κεφάλαιο 4 πραγματοποιείται βιβλιογραφική επισκόπηση επί της πρακτικής των φωτοβολταϊκών πάνελ και των χαρακτηριστικών τους καθώς και οι χρήσεις αυτών σε γεωργικό επίπεδο. Γίνεται επίσης εκτενής αναφορά στην πρακτική των αγροβολταϊκών.

Στο Κεφάλαιο 5 γίνεται αναφορά στην μεθοδολογία της εργασίας. Αναλύεται η μέθοδος του ημερησιου υδατικού ισοζυγίου και των συνιστωσών του. Περαιτέρω, αναλύεται η χρήση των φωτοβολταϊκών πάνελ σε συνδυασμό με την χρήση ομβροδεξαμενών και δημιουργούνται 3 σενάρια.

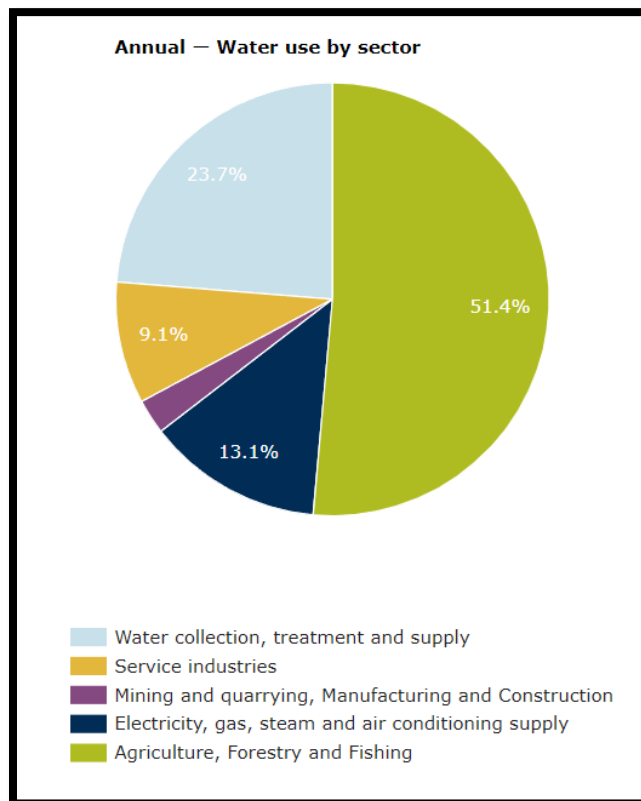
Στο Κεφάλαιο 6 αναλύονται και συνοψίζονται τα συμπεράσματα της μελέτης.

## 2. Χρήσεις νερού – Υδατικό αποτύπωμα και τεχνολογίες επαναχρησιμοποίησης

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται βιβλιογραφική αναφορά στις χρήσεις του νερού και την επιρροή της χρήσης νερού στον γεωργικό τομέα, αναλύεται βιβλιογραφικά το υδατικό αποτύπωμα και οι παράγοντες που το επηρεάζουν και τέλος γίνεται εκτενής αναφορά στην τεχνολογία της συλλογής όμβριων υδάτων.

### 2.1 Η Χρήση του νερού

Οι κύριοι τομείς χρήσης του γλυκού νερού είναι η βιομηχανική, η αστική και η γεωργική. Στην Εικόνα 2.1 παρουσιάζεται η χρήση νερού παγκοσμίως ανά τομέα χρήσης. Είναι ξεκάθαρο ότι ο γεωργικός τομέας είναι ο μεγαλύτερος χρήστης του νερού καθώς αντιπροσωπεύει περίπου το 51% της συνολικής κατανάλωσης του γλυκού νερού και άρα διαθέτει σαφές αντίκρισμα στο υδατικό αποτύπωμα που προαναφέρθηκε.

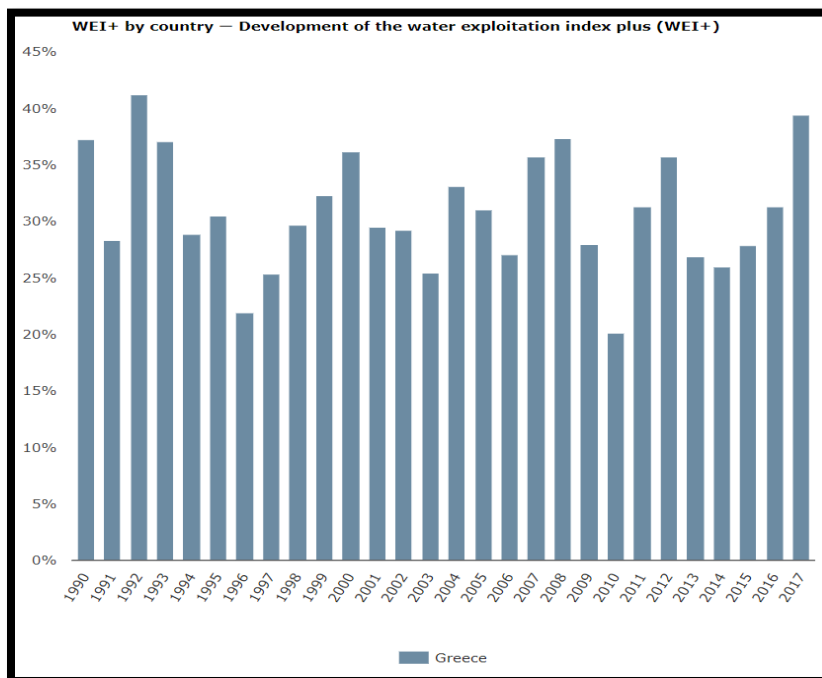


*Εικόνα 2.1 : Ετήσια χρήση νερού ανά τομέα (European Environment Agency, 2017)*

*Πηγή: [www.eea.europa.eu](http://www.eea.europa.eu)*

Επίσης, σε πολλές περιοχές της Ευρώπης, η διαθεσιμότητα του νερού έφτασε σε κρίσιμα επίπεδα καθώς μαζί με την εξέλιξη της τεχνολογίας γενικότερα αυξήθηκε και η ζήτηση του νερού συνδυαζόμενη και με περιόδους χαμηλών βροχοπτώσεων-ξηρασίας. Παρόλο που η Νότια Ευρώπη εμφάνιζε στοιχεία λειψυδρίας, τα τελευταία έτη εντοπίζεται μια πίεση στους υδατικούς πόρους των περιοχών της Βόρειας Ευρώπης. Επιπλέον, εκτιμάται ότι η κλιματική αλλαγή ίσως επιφέρει στο μέλλον περιόδους ξηρασίας και άρα επιδείνωσης των σημερινών καταστάσεων κρίσης νερού (EEA,2009).

Για την ανάλυση αλλά και την ενημέρωση της κλίμακας της κρίσης του νερού έχει δημιουργηθεί ο Δείκτης Εκμετάλλευσης Υδάτων (Water Exploitation Index-WEI), ο οποίος δείχνει τους διαθέσιμους υδατικούς πόρους σε μία χώρα ή περιοχή σε σύγκριση με την ποσότητα του νερού που χρησιμοποιείται και υπολογίζεται ως ο λόγος της ετήσιας απόληψης νερού προς την ποσότητα του ανανεώσιμου νερού σε ποσοστό επί τοις εκατό. Στην Εικόνα 2.2 παρουσιάζεται ένα γράφημα στο οποίο φαίνονται οι τιμές του δείκτη WEI για την Ελλάδα, για τα έτη από το 1990 έως το 2017 (EEA, 2017).



*Εικόνα 2.2 : Δείκτης Εκμετάλλευσης Υδάτων*

*Πηγή: [www.eea.europa.eu](http://www.eea.europa.eu)*

Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι για την ορθολογική χρήση του νερού τα τελευταία έτη με πρωτοβουλία της Ευρωπαϊκής Ένωσης αλλά και των ίδιων των κρατών – μελών της έχουν θεσπιστεί διεθνείς και ευρωπαϊκοί φορείς προστασίας των υδάτων καθώς και νομοθετικά πλαίσια τα οποία περιορίζουν την ανεξέλεγκτη εκμετάλλευση των υδάτων σκοπεύοντας στην αειφορική διαχείριση του νερού.

Όσον αφορά τον Ελλαδικό χώρο, είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι το πρόβλημα της χρήσης νερού γίνεται περισσότερο έντονο τους καλοκαιρινούς μήνες η αλλιώς «μήνες αιχμής» κυρίως για δύο βασικούς λόγους, ο πρώτος εκ των οποίων είναι οι καλλιέργειες οι οποίες χρειάζονται μεγάλες ποσότητες νερού έτσι ώστε να ικανοποιήσουν τις υδατικές τους ανάγκες. Οι ποσότητες οι χρησιμοποιούνται για την άρδευση των καλλιεργειών είναι αρκετά υψηλές και συνήθως για περιοχές όπως η Θεσσαλία όπου η στάθμη γλυκού νερού έχει πέσει σχεδόν στο επίπεδο της θάλασσας μπορούν να φανούν επικίνδυνες για την υποβάθμιση της περιοχής.

Τέλος, ο δεύτερος λόγος για τον οποίον καταπονείται το υδατικό δυναμικό της Ελλάδας τους καλοκαιρινούς μήνες, είναι διότι τους συγκεκριμένους μήνες ο τουρισμός της Ελλάδας είναι πολυπληθής, γεγονός που επιβαρύνει κυρίως περιοχές όπως οι Κυκλάδες ή και άλλες νήσοι της Ελλάδας όπου αναγκάζονται να χρησιμοποιήσουν τεράστιες ποσότητες νερού οι οποίες δυσχεραίνουν την ορθή εκμετάλλευση των υδάτων και υποβαθμίζουν τον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα.

## ***2.2 Υδατικό Αποτύπωμα***

Το υδατικό αποτύπωμα η αλλιώς «Water Footprint» αναφέρεται στον υπολογισμό του όγκου του νερού που χρησιμοποιήθηκε είτε έμμεσα είτε άμεσα, στην προέλευσή του αλλά και στην χρονική περίοδο όπου χρησιμοποιήθηκε. Συμβολίζεται με τα αρχικά WF και αποτελεί έναν σύνθετο δείκτη χρήσης επιφανειακού και υπόγειου νερού. Ένας άλλος όρος που χρησιμοποιείται είναι το εικονικό νερό και συνήθως χρησιμοποιείται σε υπεροπτικό η διεθνές επίπεδο.

Υπάρχουν τρία είδη Υδατικού αποτυπώματος:

α) *Το Μπλε υδατικό αποτύπωμα (Blue WF)* : Το οποίο αναφέρεται στην χρήση – κατανάλωση υπόγειου ή επιφανειακού νερού που δεσμεύεται έτσι ώστε να παραχθεί κάποιο προϊόν.

β) Το **Πράσινο υδατικό αποτύπωμα (Green WF)**: Το οποίο σχετίζεται με την κατανάλωση νερού το οποίο βρίσκεται αποθηκευμένο στο έδαφος υπό την μορφή υγρασίας για την παραγωγή ενός προϊόντος.

γ) Το **Γκρι υδατικό αποτύπωμα (Gray WF)** : Το οποίο αναφέρεται στην ρύπανση του νερού που προκύπτει από μία διεργασία και αποτελεί τον όγκο του νερού που ρυπαίνεται κατ' αυτήν την διεργασία.

Το ύψος του υδατικού αποτυπώματος καθορίζεται από τέσσερις βασικούς παράγοντες. Ο πρώτος και κύριος παράγοντας είναι το μέγεθος της κατανάλωσης και στην συνέχεια ακολουθεί η ποιότητα και η σύνθεση της κατανάλωσης. Ο τρίτος παράγοντας αφορά την επίδραση των κλιματικών συνθηκών και ο τέταρτος σχετίζεται με τον τρόπο παραγωγής στον τομέα της γεωργίας και κτηνοτροφίας.

### **2.2.1 Μπλε Υδατικό Αποτύπωμα,**

Όπως προαναφέρθηκε το μπλε ή γαλάζιο υδατικό αποτύπωμα αναφέρεται στην κατανάλωση του «μπλε» νερού. Το «μπλε νερό», ορίζεται ως το γλυκό νερό προερχόμενο από υδατικούς πόρους είτε αυτοί είναι επιφανειακοί όπως ποτάμια ή λίμνες είτε υπόγειοι όπως οι υπόγειοι υδροφορείς. Εκτός από τα φυσικά συστήματα, μπλε νερό βρίσκεται και στις ανθρώπινες κατασκευές όπως τα φράγματα και οι μονάδες αφαλάτωσης.

Ο κύκλος κατανάλωσης και χρήσης του «μπλε νερού» απαρτίζεται και από τέσσερις βασικές διαδικασίες: α) Αρχικά το νερό εξατμίζεται, β) το νερό ενσωματώνεται στο παραγόμενο προϊόν, στην συνέχεια γ) το νερό δεν επιστρέφει στην ίδια λεκάνη απορροής και δ) το νερό δεν επιστρέφει την ίδια περίοδο. Συνεπώς, ο όρος κατανάλωση του νερού αναφέρεται στην διαδικασία χωρικής αλλά και χρονικής δέσμευσης ή απομάκρυνσης από τον προερχόμενο πόρο ή υδρολογικό κύκλο ποσότητας νερού. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η άντληση των υπογείων υδάτων που πραγματοποιείται για την άρδευση των καλλιέργειών. Στην συγκεκριμένη διαδικασία κάποια ποσότητα ύδατος θα εξατμιστεί μέσω της εξαμισοδιαπνοής, ένα άλλο μέρος του νερού θα δεσμευτεί από τις ρίζες των φυτών της καλλιέργειας, μία μικρή ποσότητα θα απορρεύσει επιφανειακά ενώ τελικά κάποιο άλλο ποσοστό του νερού θα υποστεί βαθιά διήθηση προς τον υπόγειο υδροφόρο από όπου και αντλήθηκε. Έτσι, το φυτό της καλλιέργειας δέσμευσε ένα

ποσοστό του ύδατος που αντλήθηκε έτσι ώστε να καλυφθούν οι υδατικές του ανάγκες και όχι το σύνολο που του εφαρμόστηκε κατά την άρδευση. Έτσι, ο συγκεκριμένος υδατικό κύκλος όπως προαναφέρθηκε παρουσιάζει απώλειες στο σύστημα.

Το μπλε νερό μπορεί να υπολογιστεί κατά την χρήση αυτού για άρδευση βάσει ενός τύπου που διέπει το παραπάνω φαινόμενο. Έτσι, για την περίπτωση ενός αμπελώνα η σχέση είναι η εξής:

$$WF_{blue} = ET_{blue} + BWI + LRF \quad (\text{Σχέση } \chi\chi)$$

Όπου:

- $ET_{blue}$ : Η εξατμισοδιαπνοή του φυτού κατά την εφαρμογή άρδευσης
- $BWI$ : (Blue Water Incorporation) το νερό της άρδευσης που ενσωματώνεται στο προϊόν
  - $LRF$ : (Lost Return Flow) το ύψος άρδευσης που δεν είναι διαθέσιμο για επαναχρησιμοποίηση από την ίδια υδρολογική λεκάνη για την ίδια περίοδο

Τέλος είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι η αποδοτικότητα της άρδευσης παίζει καθοριστικό ρόλο στον τελευταίο παράγοντα της ανωτέρω σχέσης καθώς με την χρήση διαφορετικών μεθόδων άρδευσης επιτυγχάνεται και διαφορετικός συντελεστής απόδοσης. Σύμφωνα με τον FAO οι συντελεστές απόδοσης των παρακάτω μεθόδων άρδευσης είναι:

- Επιφανειακή άρδευση ( 60%)
- Τεχνητή βροχή (75%)
- Στάγδην Άρδευση (90%)

### **2.2.2 Πράσινο υδατικό αποτύπωμα**

Το πράσινο υδατικό αποτύπωμα, όπως προαναφέρθηκε σχετίζεται με την κατανάλωση του πράσινου νερού, δηλαδή του νερού που προέρχεται από βροχόπτωση και δεν απορρέει επιφανειακά ούτε διηθείται στον υπόγειο υδροφόρα. Πρόκειται λοιπόν για νερό που αποθηκεύεται στο έδαφος ή στα φύλλα των φυτών, η ακόμη και στην επιφάνεια του εδάφους που τελικά διαπνέεται και εξατμίζεται από τα φυτά. Το πράσινο νερό τελικά συντελεί στην κάλυψη των υδατικών αναγκών, χωρίς αυτό να σημαίνει ότι την καλύπτει εξ ολοκλήρου. Για αυτό άλλωστε γίνεται και η χρήση του μπλε νερού που αναλύθηκε στην προηγούμενη ενότητα.

Συγκεκριμένα, το πράσινο υδατικό αποτύπωμα αποδίδει το συνολικό ύψος του νερού το οποίο προήλθε από βροχόπτωση και καταναλώνεται κατά την παραγωγή ενός προϊόντος. Έτσι, στην περίπτωση υπολογισμού του υδατικού αποτυπώματος γίνεται μία κατηγοριοποίηση η οποία χωρίζει την χρήση του πράσινου νερού σε α) εξατμοδιαπνοή καλλιέργειας και β) ενσωμάτωση στο παραγόμενο προϊόν.

### **2.2.3 Γκρι υδατικό αποτύπωμα**

Όπως προαναφέρθηκε, το τελευταίο κομμάτι του υδατικού αποτυπώματος, το «γκρι υδατικό αποτύπωμα» αφορά στην προσομοίωση της μόλυνσης από μία παραγωγική διαδικασία. Συγκεκριμένα, ορίζεται ως η ποσότητα γλυκού ύδατος που απαιτείται για την αφομοίωση του παράγοντα της ρύπανσης, βάσει της υφιστάμενης κατάστασης του αποδέκτη και των ελαχίστων επιτρεπτών ορίων συγκεντρώσεων.

Ενώ τις προηγούμενες δεκαετίες η ερευνητική κοινότητα έδινε περισσότερο βάση στο μπλε υδατικό αποτύπωμα, τα τελευταία χρόνια γίνεται ιδιαίτερη έμφαση στο γκρι υδατικό αποτύπωμα είτε στον τομέα της βιομηχανίας είτε στον τομέα της γεωργίας. Άλλωστε, τα τελευταία χρόνια, όσον αφορά τα μέλη-κράτη της Ε.Ε., έχουν θεσπιστεί θεσμοί – πλαίσια για το νερό όπου θίγουν ιδιαίτερα το εν λόγω ζήτημα.

Οι βασικοί παράγοντες που καθορίζουν την ποσότητα του γκρι υδατικού αποτυπώματος, αφορούν παράγοντες όπως χημικές ενώσεις και στοιχεία τα οποία βρίσκονται σε τεχνητά προϊόντα από τον άνθρωπο. Ένα βασικό και φλέγον παράδειγμα είναι το παράδειγμα της γεωργίας. Οι γεωργοί προκειμένου να λάβουν το μέγιστη δυνατή απόδοση στην καλλιέργειά τους, χορηγούν σε αυτές εκτός των φυτοφαρμάκων και λιπάσματα. Τα λιπάσματα, χωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες όσον αφορά την χημική τους σύσταση, σε ανόργανα και οργανικά. Τα ανόργανα λιπάσματα είναι εκείνα που δημιουργούν το πρόβλημα της ρύπανσης των υδάτων καθώς είναι πλούσια σε αζωτούχες, φωσφορούχες και καλιούχες ενώσεις.

Το πρόβλημα λοιπόν, δεν βρίσκεται συγκεκριμένα στην ίδια την χρήση – εφαρμογή των λιπασμάτων, αλλά στην αλόγιστη χρήση αυτών από τους γεωργούς καθώς σε περίπτωση ορθολογικής και περιβαλλοντικά ευσυνείδητης χρήσης το πρόβλημα θα ήταν λιγότερα έντονο. Έτσι, για να υπολογίσει κανείς στην ποσότητα του γκρι αποτυπώματος θα πρέπει να έχει μία σαφή εικόνα για την εφαρμογή της λίπανσης καθώς και για την έκπλυση των στοιχείων των λιπασμάτων

κατά την άρδευση. Για παράδειγμα, όσον αφορά το στοιχείο του αζώτου, για τον υπολογισμό της ετήσιας έκπλυσης του αζώτου χρησιμοποιείται η παρακάτω διαδομένη σχέση:

$$N = 21,37 + \frac{P}{c*L} * [0.0037S + 0.0000601N_{org} - 0.00362U] \text{ (Σχέση XX)}$$

Όπου:

- N: η έκπλυση του αζώτου (Kg NO<sub>3</sub>N/ha)
- P: το άθροισμα της ετήσιας βροχόπτωσης καθώς και άρδευσης (mm)
- c: Ποσοστό αργίλου (%)
- L: Το βάθος ριζοστρώματος (m)
- S: Η ποσότητα εφαρμογής λίπανσης αζώτου (Kg N/ha)
- N<sub>org</sub>: το άζωτο του εδάφους σε μορφή οργανικής ουσίας (Kg N/ha)
- U: Η δέσμευση αζώτου από το φυτό (Kg N/ha)

Επίσης, σύμφωνα με το Φ.Ε.Κ. 4855/B 20.10.2021 για τον κώδικα ορθής Γεωργικής Πρακτικής για την προστασία των υδάτων από Νιτρορύπανση Γεωργικής Προέλευσης, το επιτρεπόμενο όριο εφαρμογής αζωτούχας λίπανσης για μέσα εδάφη για την καλλιέργεια της αμπέλου, ανέρχεται σε 13.3 κιλά Αζώτου (N) ανά στρέμμα. Παρόλα αυτά η καλλιέργεια της αμπέλου, δεσμεύει από 3 έως 4 kg Αζώτου (N) ανά στρέμμα ανά καλλιεργητική περίοδο.

Τέλος, σχέση που χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό του γκρι υδατικού αποτυπώματος είναι η εξής:

$$WF_{grey} = \frac{N_{teach}}{C_{max} - C_{nat}} \text{ Σχέση (XX)}$$

Όπου:

- N<sub>teach</sub> : Η ποσότητα αζώτου που καταλήγει στον υπόγειο υδροφόρα μέσω της έκπλυσης (Kg N/ha)
- C<sub>max</sub>: Η μέγιστη αποδέκτη συγκέντρωση αζώτου στο νερό (Kg N/m<sup>3</sup>)
- C<sub>nat</sub>: Η υφιστάμενη συγκέντρωση αζώτου στον αποδέκτη (Kg N/m<sup>3</sup>)



### **2.3 Συλλογή όμβριων υδάτων**

Ο όρος συλλογή όμβριων υδάτων χρησιμοποιείται συνήθως για να δηλώσει την άμεση συλλογή του βρόχινου νερού από επιφάνειες όπως είναι οι στέγες, οι βραχώδεις και οι εδαφικές επιφάνειες απορροής για την αποθήκευση του νερού αυτού σε δεξαμενές-ομβροδεξαμενές, με σκοπό τη μελλοντική χρήση. Τα συστήματα συλλογής όμβριων υδάτων, μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε μικρά, μεσαία και μεγάλα ανάλογα με το μέγεθος της επιφάνειας συλλογής, καθώς και σε δεξαμενές που προορίζονται για αστική χρήση, γεωργική ή και μεικτή (Gould, 1999). Σήμερα, η συλλογή όμβριων υδάτων για αστική αλλά και για γεωργική χρήση, αποτελεί μια ύψιστης σημασίας πράξη διαχείρισης του νερού. Αυτό μπορεί να το συμπεράνει κανείς αναλύοντας τα πλεονεκτήματα αυτής της διαδικασίας. Αρχικά, αποτελεί μια από τις πιο υποσχόμενες εναλλακτικές λύσεις στο πρόβλημα της λειψυδρίας και της ζήτησης πολλών περιοχών του κόσμου, αλλά και του Ελλαδικού χώρου. Είναι μια σύγχρονη και φθηνή μέθοδος εξοικονόμησης ενός σημαντικού φυσικού πόρου. Τέλος μπορεί να εφαρμοστεί σε ατομικό (ιδιόκτητη ερασιτεχνική ομβροδεξαμενή), αλλά και σε συλλογικό επίπεδο (δημόσια έργα).

Τα δύο κύρια συστήματα συλλογής του βρόχινου νερού, για γεωργική εμπορική η και οικιακή χρήση είναι: α) η συλλογή νερού από επιφάνειες και β) η συλλογή όμβριων υδάτων από λεκάνες απορροής. Όσον αφορά τον δεύτερο τρόπο, η μέθοδος αυτή αναφέρεται στην πρακτική της συλλογής όμβριων υδάτων από χερσαία επιφάνεια λεκάνης απορροής, στην οποία το νερό μπορεί να αποθηκευτεί σε αυλάκια, λίμνες, δεξαμενές και ταμιευτήρες που χρησιμοποιούνται είτε για αρδευτικούς σκοπούς, είτε για επαναφόρτιση των υπογείων υδροφορέων.

Ο πιο συνήθης τρόπος συλλογής ή αλλιώς το πιο σύνηθες αλλά και εύκολο σύστημα συλλογής όμβριων υδάτων, είναι η συλλογή του νερού από επιφάνειες. Με αυτή τη μέθοδο το βρόχινο νερό μπορεί να συλλεχθεί από οποιαδήποτε επιφάνεια όπως οι στέγες, οι ταράτσες κτηρίων, δημόσιοι χώροι όπως parking, δρόμοι, καθώς και από πολλούς άλλους τύπους επιφανειών. Η συγκεκριμένη εργασία, θα επικεντρωθεί στη συλλογή του βρόχινου νερού από επιφάνειες αγροβολταικών πάνελ. Υπάρχουν πολλά πλεονεκτήματα κατά την εφαρμογή αυτής της μεθόδου για την συλλογή του νερού σύμφωνα με την Kenkande-Levario (2007):

- i. Παρέχει ένα είδος αυτάρκειας στην παροχή νερού που βρίσκεται κοντά ο χρήστης.

- ii. Μειώνει την ανάγκη καθώς και το κόστος άντλησης υπογείων υδάτων.
- iii. Παρέχει καλής ποιότητας νερό με χαμηλή συγκέντρωση ορυκτών στοιχείων.
- iv. Μειώνει και μπορεί ακόμη να εξαλείψει άλατα του εδάφους.
- v. Η συλλογή βρόχινου νερού από στέγες ή ταράτσες κτηρίων είναι συνήθως λιγότερο ακριβή μέθοδος σε σχέση με τις υπόλοιπες.
- vi. Τα συστήματα συλλογής του νερού από στέγες ή ταράτσες κτηρίων, μπορούν να εγκατασταθούν κατά την κατασκευή των κτηρίων ή ακόμη και σε ήδη υφιστάμενες εγκαταστάσεις.

### **2.3.1 Σύστημα συλλογής όμβριων υδάτων**

Ανεξάρτητα από το μέγεθος της εγκατάστασης, τα συστήματα ομβροσυλλογής αποτελούνται από έξι βασικά στοιχεία:

- i. Επιφάνεια συλλογής του νερού: Οι στέγες γενικώς, αποτελούν ιδανική επιφάνεια συλλογής καθώς μπορούν να συλλέξουν μεγάλο όγκο νερού. Η συλλογή του νερού μπορεί να γίνει από οποιαδήποτε επιφάνεια στέγης ανεξαρτήτως κλίσης, αλλά και υλικού. Παρόλα αυτά, υπάρχουν παράγοντες που καθορίζουν την ποσότητα του όγκου που μπορεί να συλλεχθεί, καθώς επίσης και την ποιότητα του, η οποία εξαρτάται κυρίως από το υλικό κατασκευής. Για παράδειγμα, στην περίπτωση των φωτοβολταϊκών πάνελ όπου η γυάλινη επιφάνεια είναι σχετικά καθαρή και λεία δεν υπάρχει η περίπτωση ρύπανσης του νερού από σωματίδια της κατασκευής, όπως για παράδειγμα μια παλιά σκουριασμένη λαμαρίνα. Τέλος, η κλίση και η τραχύτητα του υλικού καθορίζει επίσης την ποσότητα του βρόχινου νερού που μπορεί να συλλεχθεί. Μια επιφάνεια με αρκετή κλίση και λείο υλικό κατασκευής όπως τα πάνελ τα οποία σαφώς έχουν μειωμένο συντελεστή τραχύτητας, θα προκαλέσει μια γρήγορη κίνηση του νερού προς το σημείο συλλογής χωρίς να μεταφερθούν τυχόν σωματίδια ή να υποστεί μόλυνση το νερό. Για τον υπολογισμό δε της ποσότητας του νερού που μπορεί να συλλεχθεί, χρησιμοποιείται ο όρος «αποτύπωμα συλλογής» .
- ii. Σύστημα μεταφοράς του νερού: Ως σύστημα μεταφοράς, ορίζεται το δίκτυο εκείνο το οποίο μεταφέρει το βρόχινο νερό και αποτελείται από υδρορροές και σωληνώσεις που

καταλήγουν στο σημείο αποθήκευσης του ύδατος. Το σύστημα μεταφοράς, αποτελεί καθοριστικό παράγοντα στη διαστασιολόγηση, έτσι ώστε να επιτυγχάνεται η συλλογή του όγκου νερού στην δεξαμενή αποθήκευσης χωρίς απώλειες. Αρχικά, το νερό μέσω της απορροής καταλήγει στις υδρορροές οι οποίες έχουν μία σχετική κλίση και συνήθως είναι μεταλλικές ή πλαστικές κατασκευές και στην συνέχεια μέσω επικοινωνίας με σωλήνες, το νερό μεταφέρεται εύκολα στην δεξαμενή.

iii. Δεξαμενή Αποθήκευσης: Ένα από τα πιο σημαντικά μέρη του συστήματος συλλογής όμβριων υδάτων είναι το σημείο συλλογής, δηλαδή η δεξαμενή αποθήκευσης νερού, το μέγεθος της οποίας εξαρτάται από την ποσότητα του διαθέσιμου βρόχινου νερού, την κατανομή των βροχοπτώσεων στο έτος, τη ζήτηση του νερού, καθώς και την επιφάνεια συλλογής. Οι δεξαμενές αποθήκευσης, είναι υδατοστεγείς και ανθεκτικές κατασκευές σε αντίξοες συνθήκες. Είναι συνήθως μεταλλικές, χτιστές με τούβλα, πέτρινες/τοιχοποιία,τσιμεντένιες, γαλβανίζε ή πλαστικές. Οι δεξαμενές από πλαστικό πολυπροπυλένιο, υπερτερούν σε βάρος και διάρκεια ζωής σε σχέση με αυτές από πολυαιθυλένιο. Από την άλλη μεριά, οι μεταλλικές δεξαμενές είναι πιο ελαφριές αλλά το βασικό τους μειονέκτημα είναι ότι χρειάζονται εσωτερική επένδυση-μόνωση, έτσι ώστε να αποφευχθεί η διάβρωσή τους σε βάθος χρόνου. Η κατάλληλη επιλογή του υλικού της δεξαμενής εξαρτάται κυρίως από οικονομικούς λόγους και είναι συνήθως θέμα ανάλυσης κόστους-οφέλους.

Εκτός όμως από το υλικό το οποίο αποτελούνται οι δεξαμενές αποθήκευσης του βρόχινου νερού, άλλο ένα βασικό στοιχείο διάκρισης είναι και η θέση τους. Μια δεξαμενή μπορεί δηλαδή να είναι υπέργεια ή υπόγεια, μερικώς υπέργεια/υπόγεια. Χαρακτηριστικό παράδειγμα, είναι οι δεξαμενές (ιδιοκατασκευές) που κατασκευάζονται στην περιοχή της Κρήτης, οι οποίες ανήκουν στις μερικώς υπέργειες/υπόγειες δεξαμενές και είναι αρκετά λειτουργικές,. Οι περισσότερες δεξαμενές στην πραγματικότητα είναι μεγάλοι λάκκοι οι οποίοι ανοίγονται στο έδαφος και στην συνέχεια καλύπτονται από πλαστικό νάιλον. Αυτές, μπορεί να είναι εκτεθειμένες ή καλυμμένες. Τέλος, οι δεξαμενές χρειάζονται διατάξεις υπερχειλίσης και εκκένωσης, και οπωσδήποτε πρέπει να μπορούν να επιθεωρούνται και να συντηρούνται σχετικά εύκολα. Στην Εικόνα 3.1 που ακολουθεί απεικονίζεται μία ομβροδεξαμενή η οποία τοποθετείται εντός του εδάφους και αποτελείται από PVC.



*Εικόνα 3.1 : Υπόγεια Ομβροδεξαμενή*

*Πηγή: [www.raincollectionsupplies.com](http://www.raincollectionsupplies.com)*

- iv. Σύστημα διανομής του νερού: Αποτελεί το δίκτυο μεταφοράς του συλλεγμένου νερού προς την χρήση, που ορίζει ο κάθε χρήστης. Στην προκειμένη περίπτωση της ερευνητικής εργασίας, αφορά την διανομή του νερού από την δεξαμενή προς το αρδευτικό δίκτυο, έτσι ώστε να χρησιμοποιηθεί για την άρδευση μιας καλλιέργειας. Αυτό μπορεί να γίνει, είτε με την χρήση αντλίας είτε με την μεταφορά του νερού λόγω βαρύτητας ή διαφοράς δυναμικού.
- v. Σύστημα επεξεργασίας/ απολύμανσης του νερού: Οι διατάξεις επεξεργασίας ή απολύμανσης του νερού, πραγματοποιούνται μόνο στην περίπτωση που το νερό προορίζεται για πόσιμη χρήση. Συνεπώς για να μπορεί το νερό να είναι υγιεινό και κατάλληλο για πόση μέσω ειδικών φίλτρων, πρέπει να απολυμαίνεται.

### **2.3.2 Δεδομένα ποσότητας και ποιότητας**

Η ποσότητα συλλογής των όμβριων υδάτων, όπως προαναφέρθηκε, αποτελεί καθοριστικό παράγοντα για την διαστασιολόγηση της δεξαμενής του συστήματος και εξαρτάται κυρίως από το μέγεθος, την υφή, την απορροφητικότητα και την κλίση της επιφάνειας συλλογής.

Ο συντελεστής απορροής  $C$ , είναι ίσως ο πιο καθοριστικός παράγοντας που συντελεί στον υπολογισμό της ποσότητας του βρόχινου νερού που μπορεί να συλλεχθεί. Είναι ο λόγος του όγκου του νερού που ρέει από μία επιφάνεια, προς τον όγκο του νερού που πέφτει σε αυτήν και αντιπροσωπεύει τις απώλειες βροχόπτωσης στην επιφάνεια συλλογής των όμβριων υδάτων (Worm, 2006).

Ανάλογα με τον τύπο στέγης, ο συντελεστής απορροής μεταβάλλεται. Σύμφωνα με τον Farreny (2011), στην περίπτωση του μεσογειακού κλίματος ο συντελεστής απορροής εξαρτάται από την τραχύτητα, καθώς και το ύψος βροχόπτωσης. Συγκεκριμένα, ο μέσος συντελεστής απορροής για στέγη από κεραμίδια, μέταλλο, πλαστικό και χαλίκι είναι 0.84-0.01, 0.92-0.00, 0.91-0.01 και 0.62-0.04, αντίστοιχα. Με βάση την έρευνα που διεξάχθηκε φάνηκε ότι οι μεγαλύτερες διαφορές στον συντελεστή  $C$  μεταξύ του συνόλου των στεγών που εξετάστηκαν, βρέθηκαν όταν το ύψος των βροχοπτώσεων ήταν μικρό (π.χ. αν όλα τα ύψη βροχής ήταν 5 mm), ενώ όταν το ύψος των βροχοπτώσεων αυξανόταν οι διαφορές μεταξύ των συντελεστών απορροής ήταν πολύ μικρότερες.

Επίσης, σημαντικό στοιχείο του νερού που συλλέγεται με τα προαναφερόμενα συστήματα, αποτελεί και η ποιότητά του. Η ποιότητα του νερού εξαρτάται από αρκετούς παράγοντες, όπως η περιοχή συλλογής (τοπογραφία, καιρικές συνθήκες, ατμοσφαιρική ρύπανση κλπ.), το υλικό κατασκευής της επιφάνειας συλλογής αλλά και του συστήματος μεταφοράς και αποθήκευσης. Στις περιπτώσεις που η χρήση του νερού είναι για πόση θα πρέπει να γίνονται τακτικοί έλεγχοι για την ποιότητα του νερού, καθώς μέσω της απορροής δύναται να παρασυρθούν και βλαβερά σωματίδια, καθώς και χημικά στοιχεία ρύπανσης, αλλά και μικρόβια που μπορεί να προκαλέσουν μόλυνση του συλλεγόμενου νερού.

Συγκεκριμένα, για την περίπτωση της χρήσης του νερού για άρδευση, η ποιότητα αξιολογείται με βάση το βαθμό επίδρασης στο έδαφος από τις καλλιεργητικές, καθώς και στις διαχειριστικές πρακτικές, που είναι αναγκαίες για την αντιμετώπιση των προβλημάτων που σχετίζονται με τη

χρήση του νερού. Το νερό μπορεί να ποικίλλει ως προς τη σύνθεσή του και ως προς την ποιότητα του. Δύναται δηλαδή να περιέχει υψηλές συγκεντρώσεις αλάτων ή ειδικών ανιόντων όπως του βορίου και χλωρίου ή κατιόντων όπως του νατρίου. Ακόμη, μπορεί να περιέχει υψηλές συγκεντρώσεις σιδήρου, νικελίου και άλλων βαρέων μετάλλων, ανάλογα με το υλικό κατασκευής της επιφάνειας συλλογής που έρχεται σε επαφή το νερό κατά την διαδρομή του προς την δεξαμενή

### ***3. Η καλλιέργεια της αμπέλου***

#### ***3.1 Ιστορική αναδρομή***

Η καλλιέργεια της αμπέλου αποτελεί μία εκ των σημαντικότερων καλλιεργειών στον Ελλαδικό χώρο. Όχι μόνο στην σημερινή εποχή, αλλά ακόμη και από τα χρόνια της αρχαιότητας οι άνθρωποι ήξεραν να καλλιεργούν το αμπέλι για επιτραπέζια αλλά και οινοποίησή χρήση.

Η καλλιέργεια της αμπέλου εξαπλώθηκε περίπου κατά την διάρκεια της 5<sup>ης</sup> χιλιετίας κυρίως στην από περιοχή της Μεσοποταμίας προς στους πολιτισμούς των Φοινίκων , των Αιγυπτίων, των Μινωιτών και αργότερα των Ελλήνων και των Ρωμαίων. Συγκεκριμένα, όσον αφορά την αμπελουργία στην Ελληνική αρχαιότητα επικρατεί η άποψη ότι οι Αιγύπτιοι διατηρούσαν καλές εμπορικές επαφές με τους Μινωίτες και ίσως για πρώτη φορά η άμπελος να μεταφέρθηκε στην Ελλάδα από την Αίγυπτο. Στην συνέχεια η καλλιέργεια της αμπέλου επεκτάθηκε σε όλη την αρχαία Ελλάδα καθώς και η οινοποίηση η οποία αναφέρεται ευρέως στην Ελληνική μυθολογία, αλλά και σε αρχαίες επιγραφές και αγγεία που αναπαριστάνουν είτε τα Διονύσια όπου ήταν μια σημερινή γιορτή κρασιού είτε τον τρυγητό της αμπέλου και άλλες αμπελουργικές διαδικασίες.

#### ***3.2 Η αμπελουργία στην Ελλάδα***

Γενικότερα, όσον αφορά την παραγωγική αμπελουργία, υπάρχουν κατηγορίες οι οποίες κατατάσσονται με βάση την χρήση του καρπού. Έτσι διαμορφώνονται οι εξής ποικιλίες:

- Οινοποιίας:
- Σταφιδοποιίας
- Επιτραπέζιας κατανάλωσης
- Για την παραγωγή σταφυλοχυμού
- Για την παραγωγή σταφυλιών που προορίζονται για κονσερβοποίηση
- Παραγωγής πολλαπλασιαστικού υλικού (Υποκειμένων)

Στους Ελληνικούς αμπελώνες όπως και στις λοιπές αμπελουργικές χώρες καλλιεργούνται γηγενείς αλλά και ξενικές ποικιλίες. Οι Ελληνικές έγχρωμες ποικιλίες που ξεχωρίζουν είναι: το Αγιωργίτικο, το Μοσχοφίλερο, ο Ροδίτης, το Κοτσιφάλι, η Μαυροδάφνη, το Λιάτικο , το Λημιό, η Μανδηλαριά κ.α. Οι Ελληνικές λευκές ποικιλίες είναι: το Ασύρτικο, η Ρομπόλα, η Ντεμπίνα, η

Μαλαγουζιά, το Αθήρι, το Μοσχάτο, το Σαββατιανό, η Βιάνα κ.α.. Καλλιεργούνται επίσης και επιτραπέζιες ποικιλίες όπως η Σουλτανίνα, η Φράουλα, το Ραζακί και ο Σιδερίτης.

Συγκεκριμένα το Σαββατιανό και ο Ροδίτης αποτελούν τις μεγαλύτερες σε εκτάσεις καλλιέργειες στον Ελλαδικό χώρο. Σύμφωνα με τα στοιχεία του Υπουργείου Αγροτικής Ανάπτυξης για το έτος 2020 οι δύο αυτές ποικιλίες για την κατηγορία τους (Λευκές – Έγχρωμες Ποικιλίες) αποτελούσαν ποσοστά 17% και 13% αντίστοιχα.

Ποικιλία	2020		2015		Μεταβολή (%) 2020/2015	
	Αριθμός Εκμεταλλεύσεων	Εκτάσεις (σε στρέμματα)	Αριθμός Εκμεταλλεύσεων	Εκτάσεις (σε στρέμματα)	Αριθμός Εκμεταλλεύσεων	Εκτάσεις (σε στρέμματα)
Σαββατιανό	18.455	103.699	18.138	103.555	1,7	0,1
Ροδίτης	28.787	90.598	28.436	90.000	1,2	0,7
Αγιωργίτικο	4.287	31.616	4.179	33.654	2,6	-6,1
Λιάτικο	15.376	25.816	14.672	26.200	4,8	-1,5
Μοσχάτο Αμβούργου	8.688	24.395	8.641	23.255	0,5	4,9
Ξινόμαυρο	6.768	21.794	6.698	21.516	1,0	1,3
Καμπερνέ Σοβινιόν (Cabernet sauvignon)	5.717	18.453	5.603	19.554	2,0	-5,6
Ασύρτικο	3.173	21.659	2.656	19.106	19,5	13,4
Μαυρούδι	9.259	16.359	8.937	16.702	3,6	-2,1
Μοσχάτο άσπρο	3.994	17.034	4.068	16.326	-1,8	4,3
Μερλό (Merlot)	3.643	15.973	3.211	14.640	13,5	9,1
Κατσιφάλι	8.451	12.960	8.326	13.458	1,5	-3,7
Ρωμείο	6.820	11.406	6.712	11.416	1,6	-0,1
Φωκιανό	4.556	10.845	4.522	11.126	0,8	-2,5
Μοσχοφύλερο	2.219	11.821	2.105	11.057	5,4	6,9
Συράχ (Syrah)	2.737	11.563	2.425	10.969	12,9	5,4
Ραζακί	5.373	9.059	5.626	9.995	-4,5	-9,4
Μανδηλαριά	4.365	8.960	4.383	9.495	-0,4	-5,6
Μοσχάτο Αλεξανδρείας	2.646	8.877	2.528	8.340	4,7	6,4
Σοβινιόν Μπλάν (Sauvignon blanc)	1.081	9.988	863	7.678	25,3	30,1
Σαρντονέ (Chardonnay)	1.370	7.601	1.273	7.066	7,6	7,6
Φιλέρι	3.223	6.538	3.260	6.757	-1,1	-3,2
Αθήρι	1.222	5.815	1.135	5.945	7,7	-2,2
Βηλάνα	3.740	5.679	3.734	5.887	0,2	-3,5
Μαλαγουζιά	1040	7.534	726	5.341	43,3	41,1
Ασπρούδες	3.349	4.937	3.302	5.306	1,4	-7,0
Μαυροδάφνη	2.347	5.512	2.292	5.101	2,4	8,1
Σκιαδόπουλο	2.343	4.937	2.352	5.074	-0,4	-2,7
Λοιπές Οινοποιήσιμες Ποικιλίες	50.177	122.533	47.850	108.748	13,9	12,7
<b>Σύνολο Οινοποιήσιμων Ποικιλιών</b>	<b>166.492</b>	<b>644.088</b>	<b>162.330</b>	<b>633.262</b>	<b>2,6</b>	<b>1,7</b>

Πίνακας 1 : Εκτάσεις καλλιεργειών ανά ποικιλία

Πηγή: ΕΛΣΤΑΤ Έρευνα Αμπελουργικών Καλλιεργειών, 2020



Η συνολική έκταση των στρεμμάτων αμπέλου στην Ελλάδα είναι περίπου 1 εκατομμύριο. Σχετικά με την περιφερειακή κατανομή των συνολικών εκτάσεων με αμπελώνες, το έτος 2020 οι περισσότερες εκτάσεις καταγράφονται στην περιοχή της Πελοποννήσου με 247.739 στρέμματα. Ακολουθούν η Κρήτη με εκτάσεις αμπελιών που ανέρχονται σε 221.845 στρέμματα το 2020 και η Δυτική Ελλάδα με 164.521 στρέμματα το 2020.

Οινάμπελα και Σταφιδάμπελα									
Περιφέρεια	2020			2015			Μεταβολή (%) 2020/2015		
	Σύνολο	Οινάμπελα	Σταφίδες	Σύνολο	Οινάμπελα	Σταφίδες	Σύνολο	Οινάμπελα	Σταφίδες
<b>ΣΥΝΟΛΟ ΧΩΡΑΣ</b>	<b>1.029.349</b>	<b>644.088</b>	<b>385.261</b>	<b>1.030.821</b>	<b>633.262</b>	<b>397.559</b>	<b>-0,1</b>	<b>1,7</b>	<b>-3,1</b>
Ανατολική Μακεδονία, Θράκη	22.274	22.274		21.133	21.133		5,4	5,4	
Κεντρική Μακεδονία	47.352	47.352		45.839	45.839		3,3	3,3	
Δυτική Μακεδονία	26.364	26.364		24.388	24.388		8,1	8,1	
Ήπειρος	8.669	8.669		7.814	7.814		10,9	10,9	
Θεσσαλία	43.382	43.382		41.215	41.215		5,3	5,3	
Στερεά Ελλάδα	69.576	69.576		68.023	68.023		2,3	2,3	
Ιόνια Νησιά	48.227	31.086	17.141	47.540	30.075	17.465	1,4	3,4	-1,9
Δυτική Ελλάδα	164.521	88.281	76.240	164.446	86.617	77.829	0,05	1,9	-2,0
Πελοπόννησος	247.739	100.087	147.652	255.537	101.317	154.220	-3,1	-1,2	-4,3
Αττική	62.113	62.113		60.700	60.700		2,3	2,3	
Βόρειο Αιγαίο	27.977	27.977		29.065	29.065		-3,7	-3,7	
Νότιο Αιγαίο	39.311	39.311		39.574	39.574		-0,7	-0,7	
Κρήτη	221.845	77.616	144.228	225.548	77.503	148.045	-1,6	0,1	-2,6

Πίνακας 2: Κατανομή καλλιεργειών ανά περιφέρεια

Πηγή: ΕΛΣΤΑΤ Έρευνα Αμπελουργικών Καλλιεργειών, 2020

Περαιτέρω, είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι η καλλιέργεια της αμπέλου στην Ελλάδα ενώ τα τελευταία χρόνια τείνει να έχει μια αισθητή μείωση όσον αφορά την παραγωγή της, επειδή το αμπέλι και τα παράγωγά του όπως ο οίνος το τσίπουρο και το ούζο αποτελούν τα εγχώρια ποτά τα οποία σε σχέση με τα παλαιότερα χρόνια έχουν αποκτήσει μεγαλύτερη αξία όσον αφορά την ποιότητα και αξίζει να δοθεί έμφαση και στήριξη στον συγκεκριμένο κλάδο του πρωτογενή τομέα της χώρα καθώς μπορεί να αποφέρει αρκετά έσοδα ακόμη και στο οικονομικό ισοζύγιο καθώς η

ανάδειξή τους και η αποδοχή τους από τα υπόλοιπα γειτονικά κράτη και μέλη της Ε.Ε μπορεί να οδηγήσει σε αρκετές εξαγωγές των προϊόντων της αμπέλου.

Τέλος, είναι σημαντικό να γίνει αναφορά στην στρεμματική απόδοση της καλλιέργειας της αμπέλου. Γενικά, όσον αφορά τον Ελλαδικό χώρο και για τις οινοποιήσιμες ποικιλίες, για κάθε 1000 κιλά σταφυλιών που συγκομίζονται, μπορούν να παραχθούν από 400 έως 650 κιλά κρασιού (απόδοση 40-65%). Παρόλα αυτά, μπορεί να υπάρχουν σημαντικές αποκλίσεις από αυτά τα όρια αναλόγως την ποικιλία αλλά και τον στόχο του κάθε παραγωγού. Έτσι για ορισμένες διάσιμες ποικιλίες όπως το Cabernet μπορούν να δώσουν παραγωγή έως 600 κιλά σταφυλιών ανά στρέμμα, επειδή μια υψηλότερη απόδοση μειώνει δραματικά την ποιότητα του προϊόντος τους. Οι μεσαίες και χαμηλής ποιότητας οινοποιήσιμες ποικιλίες μπορούν να δώσουν τόνους 3- 4 τόνους ανά στρέμμα ενώ οι επιτραπέζιες ποικιλίες αμπέλου μπορούν να δώσουν απόδοση από 2 έως και 5 τόνους ανά στρέμμα.

### **3.3 Υδατικές Ανάγκες**

Οι υδατικές ανάγκες της καλλιέργειας της αμπέλου ποικίλουν από περιοχή σε περιοχή καθώς και από ποικιλία σε ποικιλία. Επίσης, είναι σημαντικό να αναφερθεί πως τα κρίσιμα στάδια για την άρδευση της αμπέλου είναι κατά τους χρόνους έκπτυξης των οφθαλμών, κατά την καρπόδεση και από την ωρίμανση έως την συγκομιδή. Ιδίως τα οινοποιήσιμα αμπέλια, αντέχουν και σε καθεστώς μειωμένης – ελλειμματικής άρδευσης, γεγονός που σημαίνει την διαφοροποίησή τους από τις επιτραπέζιες ποικιλίες οι οποίες απαιτούν μεγαλύτερες ποσότητες νερού. Υπάρχουν βέβαια και ποικιλίες οι οποίες είναι ξηρικές και αρδεύονται μόνο με την βροχόπτωση. Τέλος, οι μέσες τιμές ορθολογικής άρδευσης κυμαίνονται από 300 έως 400 m<sup>3</sup> ανά στρέμμα ανά έτος για τις επιτραπέζιες ποικιλίες και από 200 έως 300 m<sup>3</sup> για τις οινοποιήσιμες ποικιλίες.

Όπως προαναφέρθηκε, σημαντικό ρόλο στις υδατικές ανάγκες παίζουν οι κλιματικοί παράγοντες της εκάστοτε περιοχής, καθώς επηρεάζουν τη μεταφορά νερού από την καλλιέργεια στην ατμόσφαιρα. Τέτοιοι παράγοντες είναι οι υδρατμοί της ατμόσφαιρας, ο άνεμος η ηλιακή ακτινοβολία καθώς και η εξατμισοδιαπνοή. Για κάθε μεταβολή των παραπάνω παραγόντων, αλλάζουν αυτομάτως τα δεδομένα της καλλιέργειας, ειδικά στην περίπτωση της παρατήρησης των κλιματολογικών παραγόντων σε επίπεδο ημέρας

### 3.3.1 Εξατμισοδιαπνοή (ET)

Ο σκοπός της άρδευσης είναι ο εφοδιασμός μίας καλλιέργειας με την απαραίτητη ποσότητα νερού για την φυσιολογική ανάπτυξη και βέλτιστη απόδοση της, σε συνδυασμό βέβαια με την διατήρηση της υψηλής ποιότητας.

Ένα χωράφι που καλλιεργείται, όπως στην περίπτωση της καλλιέργειας της αμπέλου, χάνει νερό με την διαδικασία της διαπνοής των φυτών και της εξάτμισης από το έδαφος. Επιπροσθέτως, μετά από άρδευση με καταιονισμό ή και βροχόπτωση, το νερό που συγκρατείται στο ανώτερο υπέργειο μέρος των φυτών εξατμίζεται προς την ατμόσφαιρα. Έτσι, το νερό που χάνεται αθροιστικά μέσω της παραπάνω διαδικασίας αναφέρεται ως εξατμισοδιαπνοή (ET) και εξαρτάται από το είδος των φυτών, τα χαρακτηριστικά τους, το έδαφος, την διαθέσιμη ενέργεια, τις ατμοσφαιρικές συνθήκες και άλλους παράγοντες που αναλύονται στην επόμενη παράγραφο.

Υπάρχουν αρκετοί παράγοντες που επηρεάζουν την εξατμισοδιαπνοή μερικοί σημαντικοί εκ των οποίων είναι οι φυτικοί και οι εδαφικοί παράγοντες:

- Φυτικό είδος: «Τα φυτικά είδη διαφέρουν μεταξύ τους σε ότι αφορά την περίοδο ανάπτυξης, την πυκνότητα του φυλλώματος, το ύψος, την πυκνότητα του ριζικού συστήματος και άλλες διαφορές. Οι διαφορές αυτές σε σχέση με την περιβαλλοντική τους αλληλεπίδραση δύναται να διαφοροποιήσουν το μέγεθος και την κατανομή της εξατμισοδιαπνοής».( Ζαφείρης Γ. Παπαζαφειρίου, 1999)
- Ανακλαστικότητα καλλιέργειας: Επίσης η ανακλαστικότητα (albedo) της καλλιέργειας επηρεάζει σημαντικά την εξατμισοδιαπνοή καθώς όσο πιο πυκνή είναι η καλλιέργεια τόσο και πιο εύκολα επηρεάζεται η απορρόφηση της ακτινοβολίας με την σχετική επίπτωση στην εξατμισοδιαπνοή.
- Ποσοστό κάλυψης του εδάφους: Το ποσοστό του εδάφους που δύναται να καλυφθεί από την καλλιέργεια παίζει καθοριστικό ρόλο στην διαδικασία της εξατμισοδιαπνοής και οφείλεται στην ενέργεια που απορροφάται από την καλλιέργεια καθώς και στην αναλογία εξάτμισης από το έδαφος και διαπνοής από τα φυτά.
- Το ύψος της καλλιέργειας και η τραχύτητα των φύλλων: Γενικότερα οι υψηλές καλλιέργειες παρουσιάζουν πιο έντονη εξατμισοδιαπνοή από ότι οι χαμηλού τύπου. Αυτό οφείλεται είτε στην αεροδυναμική είτε στο ποσόν της έμμεσης ανοδικής ακτινοβολίας που δέχονται.

Όσον αφορά την τραχύτητα , το επίπεδο τραχύτητας του φυλλώματος επηρεάζει άμεσα την μεταφορά των υδρατμών.

- Το βάθος και η πυκνότητα του ριζικού συστήματος: Σε σχέση με τις κλιματικές συνθήκες πάντα όσο μεγαλύτερο είναι το ριζικό σύστημα ενός φυτού , τόσο μεγαλύτερη και η ικανότητά του να ανταπεξέλθει καλύτερα στην ζήτηση του νερού.
- Το στάδιο ανάπτυξης της καλλιέργειας: Παίζει καθοριστικό ρόλος στον ρυθμό εξατμισοδιαπνοής καθώς αναλόγως το στάδιο ανάπτυξης καθώς και την φάση που βρίσκεται το φυτό όπως θα αναφερθεί και στην συνέχεια έχει διαφορετικό φυτικό συντελεστή και άρα εξατμισοδιαπνέει διαφορετικά.

Όσον αφορά τον υπολογισμό της εξατμισοδιαπνοής, υπάρχουν αρκετοί τρόποι. Η εξατμισοδιαπνοή μπορεί να μετρηθεί άμεσα με την χρήση ειδικών οργάνων όπως τα λυσιμέτρα , η με μεθόδους ισοζυγίων ενέργειας καθώς και με μεθόδους υδατικών ισοζυγίων εδάφους και καλλιέργειας. Σύμφωνα με τον FAO η εξατμισοδιαπνοή μπορεί να υπολογιστεί με την χρήση της εξίσωσης Penman – Monteith, παρόλα αυτά οι παράμετροι της εξίσωσης αυτής είναι εξαιρετικά δύσκολο να μετρηθούν καθώς χρειάζεται πληθώρα μικροκλιμάτων δεδομένων και χρήση ακριβών οργάνων μέτρησης.

### 3.3.2. Φυτικός Συντελεστής ( $K_c$ )

Ο δεύτερος τρόπος υπολογισμού της εξατμισοδιαπνοής, ο έμμεσος, αποτελεί την μέθοδο υπολογισμού με την χρήση φυτικού συντελεστή  $K_c$ . Οι φυτικοί συντελεστές χρησιμοποιούνται παράλληλα με την εξατμισοδιαπνοή αναφοράς  $ET_r$  για τον υπολογισμό των υδατικών αναγκών μίας καλλιέργειας. Οι ανάγκες εκφράζονται από την εξατμισοδιαπνοή καλλιέργειας  $ET_c$  και η σχέση που χρησιμοποιείται είναι η εξής:

$$K_c = \frac{ET_c}{ET_r} \quad (\text{Σχέση XX})$$

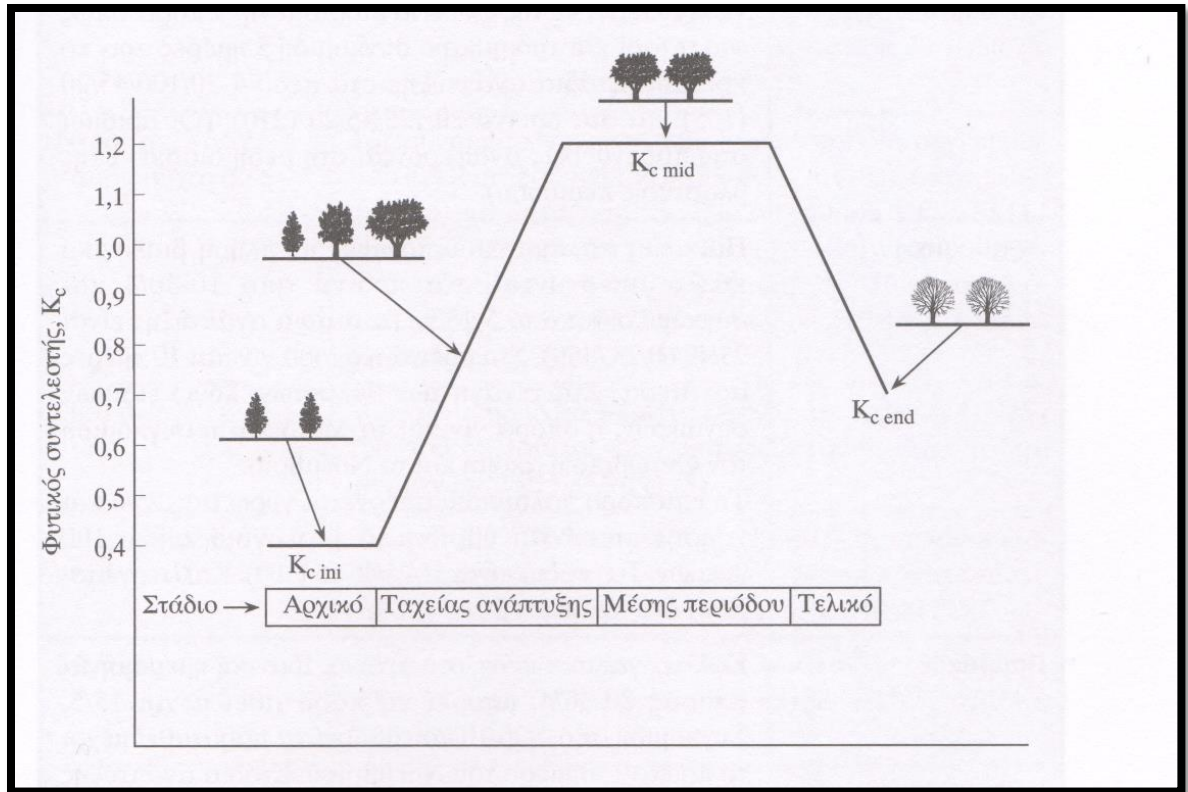
Όπου:

- $K_c$  : Ο αδιάστατος φυτικός συντελεστής μιας συγκεκριμένης καλλιέργειας που βρίσκεται σε ένα συγκεκριμένο στάδιο ανάπτυξης.
- $ET_c$ : Η ημερήσια εξατμισοδιαπνοή καλλιέργειας.
- $ET_r$ : Η ημερήσια εξατμισοδιαπνοή αναφοράς.

Οι βασικοί παράγοντες που επηρεάζουν την τιμή των φυτικών συντελεστών είναι τα χαρακτηριστικά της καλλιέργειας, η εποχής φύτευσης ή σποράς, ο ρυθμός ανάπτυξης , η διάρκεια βλαστικής περιόδου, οι κλιματικές και οι εδαφικές συνθήκες. Επίσης, υπάρχουν τρεις γενικευμένες κατηγορίες φυτικών συντελεστών οι οποίοι προσδιορίζουν το στάδιο ανάπτυξης της καλλιέργειας και είναι οι παρακάτω:

- $K_c$  ini: Αφορά το αρχικό στάδιο ανάπτυξης
- $K_c$  mid: Αφορά το στάδιο μέσης περιόδου
- $K_c$  end: Αφορά το τελικό στάδιο ανάπτυξης

Στην Εικόνα 3.2 που ακολουθεί απεικονίζεται το γράφημα διακύμανσης του φυτικού συντελεστή για τα διαφορετικά στάδια ανάπτυξης μίας καλλιέργειας. Παρατηρείται ότι μία καλλιέργεια εξατμισοδιαπνέει λιγότερο κατά το αρχικό στάδιο, περισσότερο κατά το στάδιο ταχείας ανάπτυξης και μέσης περιόδου και στην συνέχεια φθίνει με το τέλος της καλλιεργητικής περιόδου. Έτσι, με την βοήθεια των φυτικών συντελεστών μπορούν εύκολα να υπολογιστούν οι υδατικές ανάγκες μιας καλλιέργειας για τα διαφορετικά στάδια ανάπτυξης της όπου και υπάρχουν διαφορετικές απαιτήσεις νερού.



*Εικόνα 3.2 : Γράφημα που δείχνει την μεταβολή του φυτικού συντελεστή ετήσιας καλλιέργειας κατά τη διάρκεια της βλαστικής περιόδου*

*Πηγή: Παπαζαφειρίου, 1999*

Έτσι, οι ενδεικτικές τιμές του συντελεστή  $K_c$  για την καλλιέργεια της αμπέλου είναι:

- $K_{c\ ini} = 0.3\ \text{mm/d}$
- $K_{c\ mid} = 0.7\ \text{mm/d}$
- $K_{c\ end} = 0.45\ \text{mm/d}$

Συνεπώς, με την χρήση ιστορικών χρονοσειρών ο υπολογισμός των αρδευτικών αναγκών μέσω φυτικού συντελεστή μπορεί να γίνει με την εξαγωγή στατιστικών στοιχείων της ιστορικής χρονοσειράς, τουλάχιστον 15 ετών δεδομένων για μεγαλύτερη αξιοπιστία και βάσει των δεδομένων ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής ( $ET_c$ ), μπορούν να εξαχθούν ημερήσιες τιμές αρδευτικών αναγκών.

#### ***4 Συνδυασμένη ανάπτυξη γεωργίας και ενέργειας- Αγροβολταϊκά***

Τις τελευταίες δεκαετίες η ανθρωπότητα έχει ξεκινήσει να ανακαλύπτει και να εφαρμόζει νέους τρόπους παραγωγής ενέργειας. Ιδίως από το έτος 1997 όπου πραγματοποιήθηκε η Τρίτη σύνοδος των κρατών όπου επρόκειτο να υπογράψουν την συνθήκη του Κιότο τα συμβαλλόμενα κράτη. Η συνθήκη αυτή σκόπευε μεταξύ άλλων στην μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και άρα στην ανάπτυξη νέων μεθόδων παραγωγής ενέργειας, δηλαδή μίας πράσινης μορφής ενέργειας. Ένα παράδειγμα παραγωγής πράσινης ενέργειας με σχεδόν μηδενικό αποτύπωμα ρύπων είναι η χρήση των φωτοβολταϊκών για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος.

Τα φωτοβολταϊκά μέσω των τεχνητών ημιαγωγών που διαθέτουν δημιουργώντας ένα κύκλωμα απορροφούν την ηλιακή ακτινοβολία και παράγουν ηλεκτρική τάση. Τα φωτοβολταϊκά ανήκουν στην κατηγορία των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ) και τα τελευταία 15 χρόνια, όσον αφορά τον Ελλαδικό χώρο, έχουν χρησιμοποιηθεί όχι μόνο από τους παρόχους ηλεκτρικού ρεύματος αλλά και από ιδιώτες οι οποίοι επενδύουν τις γαίες τους δημιουργώντας φωτοβολταϊκά πάρκα με σκοπό την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος και κατά συνέπια την δημιουργία οικονομικού οφέλους.

Παρόλα αυτά, όταν τα φωτοβολταϊκά πάρκα συνδυάζουν και την φιλοξενία μίας καλλιέργειας εντός της εκμεταλλεόμενης γης, τότε η ορολογία που χρησιμοποιείται είναι τα «Αγροβολταϊκά». Συνεπώς, ο όρος «αγροβολταϊκά» (agrovoltatics/agriphotovoltaics) σημαίνει την εκμετάλλευση μίας γης για γεωργική χρήση, δηλαδή την ανάπτυξη καλλιέργειας, παράλληλα με την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών. Το παραπάνω σύστημα δύναται να επιτύχει στην αύξηση της οικονομικής απόδοσης της γης καθώς κατά τον σχεδιασμό ενός τέτοιου συστήματος λαμβάνεται υπόψιν ταυτοχρόνως και η απόδοση καλλιέργειας αλλά και η απόδοση παραγωγής ενέργειας των φωτοβολταϊκών, με τον πρώτο παράγοντα να παρουσιάζεται περισσότερο ευαίσθητος καθώς αποτελεί έναν ζωντανό οργανισμό.

Η βασική ιδιαιτερότητα αλλά και διαφορά από τα κλασσικά φωτοβολταϊκά πάρκα είναι το ύψος τοποθέτησης το οποίο μεταβάλλεται αναλόγως των απαιτήσεως της καλλιέργειας αλλά και των γεωργικών μηχανημάτων που χρειάζονται έναν δεδομένο χώρο για να χρησιμοποιηθούν. Έτσι, τα περισσότερα φωτοβολταϊκά αφενός σε μεγαλύτερο ύψος λόγω της καλλιέργειας και αφετέρου σε μικρότερης πυκνότητας διάταξη έτσι ώστε να επιτρέπεται η εισαγωγή ηλιακής ακτινοβολίας για τις φωτοσυνθετικές απαιτήσεις των φυτών. Παρόλα αυτά, η διάταξη των φωτοβολταϊκών

μεταβάλλεται εκτός από τις απαιτήσεις μίας καλλιέργειας και από τον στόχο που έχει θέσει ο κάθε ιδιώτης για το ποσόν της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας.

Εκτός από την συνύπαρξη των δύο αυτών συστημάτων η οποία εφαρμόζεται με συγκεκριμένες προδιαγραφές και ιδιαιτερότητες του κάθε χρήστη , προκύπτουν και ακούσια οφέλη όσον αφορά την καλλιέργεια κυρίως αλλά και την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών. Ένα από τα μεγάλα πλεονεκτήματα είναι το γεγονός ότι λόγω της σκίασης από τα πάνελ, οι υδατικές απαιτήσεις των καλλιεργειών μειώνονται καθώς εξατμισοδιαπνέουν λιγότερο. Συνεπώς, υπάρχει σημαντικό κέρδος στην κατανάλωση του νερού, κυρίως τους καλοκαιρινούς μήνες. Από την σκοπιά των πάνελ, ένα βασικό όφελος είναι ότι η απόδοσή τους μπορεί να αυξηθεί καθώς η καλλιέργεια μπορεί να μειώσει την θερμοκρασία κοντά στα πάνελ και εκτός αυτού τα έξοδα συντήρησής και καθαρισμού τους, καλύπτονται από τις καλλιεργητικές διεργασίες.

#### ***4.1 Τεχνικά χαρακτηριστικά φωτοβολταϊκών - αγροβολταϊκών***

Η κατασκευή των αγροβολταϊκών όπως προαναφέρθηκε, δεν βασίζεται σε κάποιο πλαίσιο το οποίο ορίζει την διαρρύθμισή τους στον χώρο του αγροτεμαχίου. Συνεπώς, αναλόγως τον στόχο που έχει θέσει ο χρήστης για το εν λόγω σύστημα, η διαρρύθμιση, το μέγεθος καθώς και το υλικό κατασκευής μεταβάλλονται. Εάν για παράδειγμα ο χρήστης έχει θέσει ως στόχο την βελτιστοποίηση της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, αυτό σημαίνει ότι η απόδοση της καλλιέργειας θα υποστεί μία ενδεχόμενη μείωση καθώς μια τεχνική θα μπορούσε να είναι η πυκνότερη τοποθέτηση των πάνελ.

##### ***4.1.1 Ύψος φωτοβολταϊκών - αγροβολταϊκών***

Το σύνηθες ύψος τοποθέτησης των φωτοβολταϊκών κυμαίνεται από 4 έως 5 μέτρα. Η τιμή αυτή ύψους εξυπηρετεί την εύκολη διάβαση των γεωργικών μηχανημάτων εντός της καλλιέργειας. Παρόλα αυτά εκτός από την διευκόλυνση των γεωργικών διαδικασιών, με την τοποθέτηση των πάνελ σε μεγαλύτερο ύψος , επιτρέπεται στην καλλιέργεια να φτάσει μία ομοιογενής ακτινοβολία με συνέπεια την ομαλή φωτοσυνθετική λειτουργία των φυτών. Επίσης, με τον τρόπο αυτό όσο μεγαλύτερη είναι η απόσταση των πάνελ από την καλλιέργεια τόσο πιο δύσκολα μπορεί να λερωθεί με σκόνη από τις γεωργικές διεργασίες η επιφάνεια των πάνελ. Ωστόσο, μία τέτοια εγκατάσταση παρουσιάζει και βασικά μειονεκτήματα καθώς έχει αυξημένο κόστος και δύναται να υποβαθμίσει το περιβάλλον της περιοχής καθώς έχει επίδραση στο φυσικό τοπίο , με συνέπεια



να εγκαθίσταται με μεγαλύτερη κοινωνική αποδοχή σε γεωργικές περιοχές και όχι κοντά σε αστικές.

#### **4.1.2 Μέθοδος στήριξης των φωτοβολταϊκών - αγροβολταϊκών**

Όπως προαναφέρθηκε η στήριξη των φωτοβολταϊκών γίνεται με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε να διευκολύνονται οι γεωργικές διεργασίες κάτω από τα πάνελ. Παρόλα αυτά ο χειριστής των γεωργικών μηχανημάτων θα πρέπει να έχει μία εμπειρία στο συγκεκριμένο σύστημα καλλιέργειας. Ωστόσο, νέες τεχνολογίες έχουν δώσει λύσει στο πρόβλημα στήριξης των πάνελ. Μία τέτοια τεχνολογία είναι η τεχνολογία των «solar wings». Τα «solar wings» αποτελούν μία εγκατάσταση η οποία αποτελείται από καλώδια τα οποία φέρουν πάνω τους ηλιακά πάνελ. Με αυτόν τον τρόπο δίνεται η δυνατότητα για αραιότερη τοποθέτηση των υποστηρικτικών στύλων, με σκοπό την διευκόλυνση των αγροτικών διαδικασιών.

Εκτός από την παραπάνω μέθοδο οι στύλοι που αποτελούνται συνήθως από σίδηρο μπορούν να θεμελιωθούν με τον κλασσικό τρόπο θεμελίωσης μίας σιδηροκόλωνα με σκυρόδεμα, ή με την μέθοδο εισχώρησης χαλύβδινων ράβδων μεγάλης διαμέτρου σε συγκεκριμένη διάταξη, έτσι ώστε να επιτυγχάνεται η στήριξη . Με τον δεύτερο τρόπο, μειώνεται η υποβάθμιση του καλλιεργούμενου εδάφους και αυξάνεται ο διαθέσιμος χώρος για την καλλιέργεια.



α)



β)

*Εικόνα 4.1 : Στην πρώτη εικόνα παρουσιάζεται η μέθοδος στήριξης solar panel και στην δεύτερη εικόνα η συμβατική μέθοδος στήριξης από σιδερένιους σωλήνες που είτε τοποθετούνται με την συμβατική θεμελίωση σκυροδέματος είτε με την καινοτόμο μέθοδο των ράβδων.*

*Πηγή: Sciencedirect.com*

### **4.1.3 Κλίση και προσανατολισμός**

Η κλίση τοποθέτησης των πάνελ πρέπει να είναι τέτοια έτσι ώστε να βελτιστοποιείται η απόδοσή τους. Για να συμβεί αυτό, οι μοίρες της κλίσης πρέπει να ταυτίζονται με το γεωγραφικό πλάτος της κάθε περιοχής ή να είναι ελαφρώς υψηλότερη. Είναι επίσης σημαντικό να υπάρχει τέτοια κλίση έτσι ώστε να λαμβάνεται η μέγιστη απόδοση κατά τους χειμερινούς μήνες όπου η ηλιακή ακτινοβολία παίρνει τις χαμηλότερες τιμές μέσα στο έτος. Τέλος, στην περίπτωση των αγροβολταϊκών τα δεδομένα είναι διαφορετικά καθώς πρόκειται για ένα σύστημα καλλιέργειας και έτσι οι κλίσεις τείνουν να διαφοροποιούνται από τα συμβατικά

Εκτός από τα πάνελ σταθερής κλίσης, υπάρχουν και πάνελ μεταβαλλόμενης κλίσης τα οποία επιτρέπουν στον χρήστη να εκμεταλλεύεται την ηλιακή ακτινοβολία με μεγαλύτερη αξιοπιστία. Επιπροσθέτως, σύμφωνα με τον Valle et al. (2017b) μελετήθηκαν δύο σενάρια περιπτώσεων μεταβαλλόμενης κλίσης σε αγροβολταϊκά. Το πρώτο αφορούσε το σενάριο της «ηλιακής παρακολούθησης» όπου η κλίση των φωτοβολταϊκών μεταβαλλόταν με την κίνηση του ηλίου κατά την διάρκεια της ημέρας και με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται η μεγαλύτερη ηλεκτροπαραγωγή. Το δεύτερο σενάριο αφορούσε το σενάριο της «παρακολούθησης ελέγχου» όπου στόχος ήταν η αύξηση της ακτινοβολίας που εισέρχεται στην καλλιέργεια, ελαχιστοποιώντας την σκίαση από τα πάνελ τις πρωινές και τις απογευματινές ώρες και ταυτόχρονα μεγιστοποιώντας την σκιά κατά τις μεσημεριανές ώρες όπου οι παράγοντες ηλιακή ακτινοβολία, εξάτμιση, θερμοκρασία λαμβάνουν τις υψηλότερες τιμές.

Όσον αφορά τον προσανατολισμό των φωτοβολταϊκών πάνελ, στόχος είναι η μεγιστοποίηση της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με την τοποθέτησή τους στραμμένα προς τον Νότο. Παρόλα αυτά νέοι τρόποι τοποθέτησης των πάνελ προτείνονται σε ορισμένες περιπτώσεις αγροβολταϊκών καθώς με τον παραπάνω προσανατολισμό παρατηρείται άνιση κατανομή της ηλιακής ακτινοβολίας προς την καλλιέργεια. Έτσι, στην περίπτωση των κάθετων φωτοβολταϊκών ο προσανατολισμός αλλάζει με κατεύθυνση Δύση προς Ανατολή, με αποτέλεσμα της αύξησης της παραγωγής τις πρωινές και τις απογευματινές ώρες.

#### **4.1.4 Τύπος φωτοβολταϊκής μονάδας**

Υπάρχουν αρκετοί τύποι φωτοβολταϊκών μονάδων που χρησιμοποιούνται στα αγροβολταϊκά συστήματα. Τα περισσότερα χρησιμοποιούν κλασσικά αδιάφανα πάνελ πυριτίου τα οποία παρουσιάζουν και χαμηλό κόστος. Παρόλα αυτά άλλου είδους τεχνολογίες οι οποίες ίσως έχουν μεγαλύτερο κόστος, συμβάλλουν περισσότερο στην υψηλότερη απόδοσή της καλλιέργειας η της ηλεκτροπαραγωγής.

Ένα παράδειγμα είναι τα ημιδιάφανα πάνελ τα οποία επιτρέπουν ένα μέρος την ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει στην περιοχή, να περάσει μέσα από τα πάνελ με σκοπό να φτάσει στην καλλιέργεια. Βέβαια, η απόδοση τους είναι χαμηλότερη σε σχέση με τα συμβατικά πάνελ όμως αυξάνουν την απόδοση της καλλιέργειας καθώς επιτρέπουν γρηγορότερη και υγιέστερη ανάπτυξη.

Άλλος ένας τύπος φωτοβολταϊκής μονάδας είναι τα ημιδιαφανή συγκεντρωτικά πάνελ. Λέγονται έτσι καθώς λόγω της γεωμετρίας τους και διαθέτοντας ανακλαστικές ή διαθλαστικές, συγκεντρώνουν την ηλιακή ακτινοβολία σε ένα συγκεκριμένο σημείο. Λόγω της παραπάνω ιδιότητας παρουσιάζουν αυξημένη απόδοση και χρειάζονται λιγότερη επιφάνεια συλλογής. Βέβαια, για να λειτουργήσουν στο ύψιστο της απόδοσής τους θα πρέπει να είναι και εγκατεστημένα με έναν μηχανισμό ηλιακής παρακολούθησης όπως προαναφέρθηκε, έτσι ώστε να ακολουθεί την θέση του ηλίου μέσα στην ημέρα, για μεγαλύτερη ηλεκτροπαραγωγή.

Επιπροσθέτως, τα οργανικά φωτοβολταϊκά, αποτελούν μία καινοτόμα τεχνολογία ημιδιάφανων πάνελ τα οποία επιλέγουν συγκεκριμένα μήκη κύματος της ηλιακής ακτινοβολίας για να παράξουν ηλεκτρική ενέργεια και αφήνουν να διαπεράσει η ηλιακή ακτινοβολία σε διαφορετικά φάσματα, έτσι ώστε να εκμεταλλευθεί από την καλλιέργεια. Είναι συνήθως εύκαμπτα και λεπτά και συνήθως τοποθετούνται στις οροφές των θερμοκηπίων σε αντικατάστασή τους από το νάιλον θερμοκηπίου. Το μειονέκτημα που παρουσιάζουν είναι το υψηλό κόστος.

Τέλος, ένας ακόμη διαδεδομένος τύπος πάνελ, είναι τα φωτοβολταϊκά πάνελ διπλής όψης. Τα συγκεκριμένα πάνελ μπορούν να παράγουν ηλεκτρική ενέργεια και από την όψη που κοιτάει την καλλιέργεια. Με αυτόν τον τρόπο εκμεταλλεύεται και η ανακλώμενη ηλιακή ακτινοβολία η οποία προσπίπτει στην κάτω όψη των πάνελ διπλής όψεως, με σκοπό την αύξηση της ηλεκτροπαραγωγής. Στο συγκεκριμένο σύστημα, τοποθετούνται ειδικά λευκά γαιουφάσματα με

σκοπό την ανάκλαση της ηλιακής ακτινοβολίας στην κάτω όψη των πάνελ. Στην Εικόνα XX που ακολουθεί παρουσιάζεται η εν λόγω μέθοδος.



*Εικόνα 4.2 : Φωτοβολταϊκά πάνελ διπλής όψης σε δενδρώδη καλλιέργεια στο Ισραήλ*

*Πηγή: [pv.magazine.com](http://pv.magazine.com)*

#### **4.2 Καλλιέργειες αγροβολταϊκών**

Τα αγροβολταϊκά μπορούν να φιλοξενήσουν ποικιλία καλλιέργειών. Όπως προαναφέρθηκε αναλόγως με τις απαιτήσεις του κάθε χρήστη, γίνεται και η σωστή επιλογή καλλιέργειας. Συνήθως είναι προτιμότερο να επιλέγονται καλλιέργειες οι οποίες δεν απαιτούν μεγάλη έκθεση στον ήλιο.

Παρόλα αυτά, δεν υπάρχει κάποιος κανόνας καθώς κάθε καλλιέργεια έχει συγκεκριμένα χαρακτηριστικά ανάπτυξης και διαφορετική συμπεριφορά αναλόγως το κλίμα της περιοχής που καλλιεργείται. Αυτό δυνητικά σημαίνει ότι από έτος σε έτος μπορεί να αλλάξει ο τρόπος που αλληλοεπιδρά μία καλλιέργεια με την συνύπαρξη φωτοβολταϊκών πάνελ και βασικός παράγοντας καθίσταται η περιορισμένη ακτινοβολία. Έτσι, σύμφωνα με τον (Curl ,2022) υπάρχει μια σκέψη δοκιμής τα τελευταία έτη για ορισμένες καλλιέργειες που είναι περισσότερο ανθεκτικά σε χαμηλή ένταση ακτινοβολίας όπως:

- Φυλλώδη λαχανικά: μαρούλι, σέσκουλο, ρόκα, σπανάκι, λάχανο, μπρόκολο, κουνουπίδι

- Κόνδυλοι- Βολβοί: Πατάτα, Παντζάρι ,καρότο, ραπάνι, κρεμμύδι, πράσο
- Ψυχανθή : Μπιζέλι, Ποικιλίες φασολιού
- Αρωματικά Φυτά – Βότανα: Ρίγανη, Μέντα, Δύσμος, Μαϊντανός, Κόλιανδρο, μοσχοκάρυδο

Οι παραπάνω καλλιέργειες αποτελούν χαμηλού ύψους καλλιέργειες και με έναν συνδυασμό πάνελ ρυθμιζόμενης κλίσης καθώς και με μία επιτρεπτή απόσταση μεταξύ των πάνελ μπορεί να αξιοποιηθεί το μέγιστο της ηλιακής ακτινοβολίας από τα φυτά με ταυτόχρονη καλή απόδοση ηλεκτροπαραγωγής. Όμως, εκτός από τις χαμηλού τύπου καλλιέργειες οι οποίες είναι και περισσότερο ευέλικτες για την αρμονία του συστήματος, υπάρχουν και αγροβολταϊκά με δενδρώδεις καλλιέργειες οι περισσότερες από τις οποίες βρίσκονται σε πειραματικό στάδιο.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία θα μελετηθεί η καλλιέργεια της αμπέλου ως προς την χρήση αγροβολταϊκών. Επειδή η καλλιέργεια της αμπέλου προσβάλλεται εύκολα από μυκητιάσεις όπως ο περονόσπορος ή το οίδιο, ειδικά σε καθεστώτα υψηλής υγρασίας, χρησιμοποιούνται εγκαταστάσεις σε σχήμα ομπρέλας έτσι ώστε να προφυλάσσουν τα φύλλα από το νερό. Παρόλα αυτά εάν το ύψος το πάνελ είναι το ιδανικό μπορεί η καλλιέργεια να επωφεληθεί ακριβώς γι' αυτόν τον λόγο. Έτσι, σε σύγκριση με αμπέλια τα οποία βρίσκονται σε φυσιολογικές συνθήκες ανάπτυξης παρατηρήθηκε ότι τα αμπέλια των αγροβολταϊκών καθυστέρησαν την βλάστηση τους 1 έως 2 ημέρες καθώς και την καρπόδεσή τους 7 έως 10 ημέρες. Παρόλα αυτά η περιεκτικότητα σε σάκχαρα ήταν σχεδόν η ίδια (Cho et al., 2020). Επίσης, για την περίπτωση της κάθετης τοποθέτησης των πάνελ κάτω από τα αμπέλια, εκτιμήθηκε ότι με το 40 – 60% των πάνελ που θα τοποθετούνταν σε ένα συμβατικό φωτοβολταϊκό πάρκο, η σκίαση που δημιουργούνταν στην καλλιέργεια ήταν αμελητέα. Τέλος, για να επιτευχθεί το βέλτιστο ποσοστό σκίασης, ο λόγος της απόστασης των συστοιχιών προς το ύψος των πάνελ πρέπει να είναι μεγαλύτερος ή ίσος με 1.5 (Padilla et al., 2022). Στις εικόνες που ακολουθούν απεικονίζονται καλλιέργειες αγροβολταϊκών με χρήση της αμπέλου ως καλλιέργεια.



*Εικόνα 4.3 : Καλλιέργεια αμπελιού με χρήση φωτοβολταϊκών στην Ισπανία*

*Πηγή: [www.copejumilla.com](http://www.copejumilla.com)*



*Εικόνα 4.4: Οινοβολταϊκά στην νοτιοδυτική Γαλλία*

*Πηγή: [www.reuters.com](http://www.reuters.com)*

## *5 Μελέτες περίπτωσης*

### *5.1 Περιοχές μελέτης*

Στην παρούσα διπλωματική μελέτη αναπτύσσεται ένα μοντέλο το οποίο εφαρμόζεται σε δύο περιοχές του Ελλαδικού χώρου με έντονο οινολογικό ενδιαφέρον αλλά και με διαφορετικά κλιματολογικά δεδομένα.

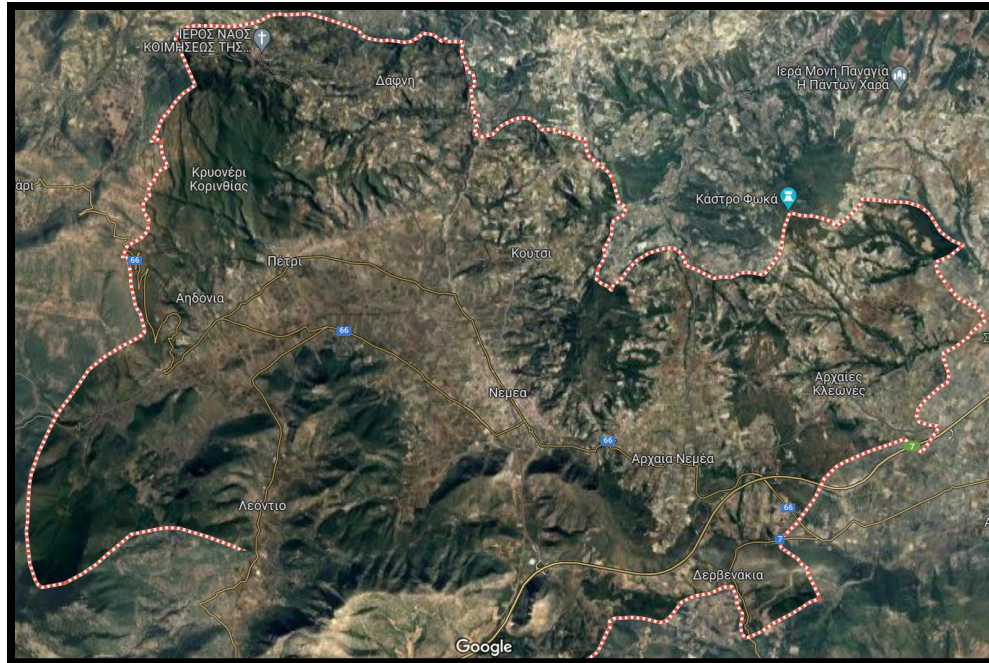
Η περιοχή πάνω στην οποία καταστρώνεται η πρωταρχική μεθοδολογία, είναι η περιοχή της Νεμέας η οποία βρίσκεται στον Νομό Κορινθίας. Έχει έκταση περίπου 250 km<sup>2</sup> και βρίσκεται σε μέσο υψόμετρο 320 μέτρων. Η συγκεκριμένη περιοχή επιλέχθηκε βάσει του μεγάλου οινολογικού ενδιαφέροντος που κατέχει, καθώς σύμφωνα με την ΕΝ.Ο.Α.Π. « η Νεμέα αποτελεί τη μεγαλύτερη αμπελουργική ζώνη στην Ελλάδα, τόσο σε έκταση καλλιεργούμενων αμπελώνων και σε ετήσια παραγωγή κρασιού (220.000 HL), όσο και σε αριθμό οινοποιείων (40). Περιλαμβάνει επίσης αμπελώνες στο Γυμνό και στο Μαλανδρένι του Ν. Αργολίδας ».

Η αμπελουργική ζώνη της Νεμέας είναι εξαιρετικά ανομοιογενής κι αυτό αποτυπώνεται στα οινικά χαρακτηριστικά των παραγόμενων κρασιών από Αγιωργίτικο (ΠΟΠ ΝΕΜΕΑ). Συγκεκριμένα αποτελείται από τρεις υψομετρικές ζώνες:

- Την πεδινή, από 200 έως 350
- Την ημιορεινή, από 300-600 μέτρα
- Την ορεινή, 600-850 μέτρα,

Το κλίμα της περιοχής χαρακτηρίζεται ως μεσογειακό, ήπιο, υπόξηρο έως ύφυγρο με ήπιους χειμώνες, συνήθως αρκετά βροχερούς και μια καλοκαιρινή περίοδο παρατεταμένη, ζεστή και σχετικά ξηρή. Το μεσόκλιμα, όμως επηρεάζεται άμεσα από την τοπογραφία της κοιλάδας στην οποία βρίσκεται και το υψόμετρό της. Στην εν λόγω περιοχή είναι σύνηθες να συναντώνται σημαντικές διαφορετικές καιρικές συνθήκες σε μικρές χιλιομετρικά αποστάσεις.

Εξίσου μεγάλη ποικιλομορφία παρουσιάζει και η εδαφολογική σύσταση των αμπελώνων της Νεμέας. Στην περιοχή υπάρχουν εδάφη αργιλοπηλώδη όπως στην περιοχή της Αρχαίας Νεμέας, ασβεστολιθικά στην περιοχή Κούτσι και αμμώδη στις περιοχές Αχλαδιά και Γυμνό.



*Εικόνα 5.1 : Χάρτης Νεμέας*

*Πηγή : Google maps*

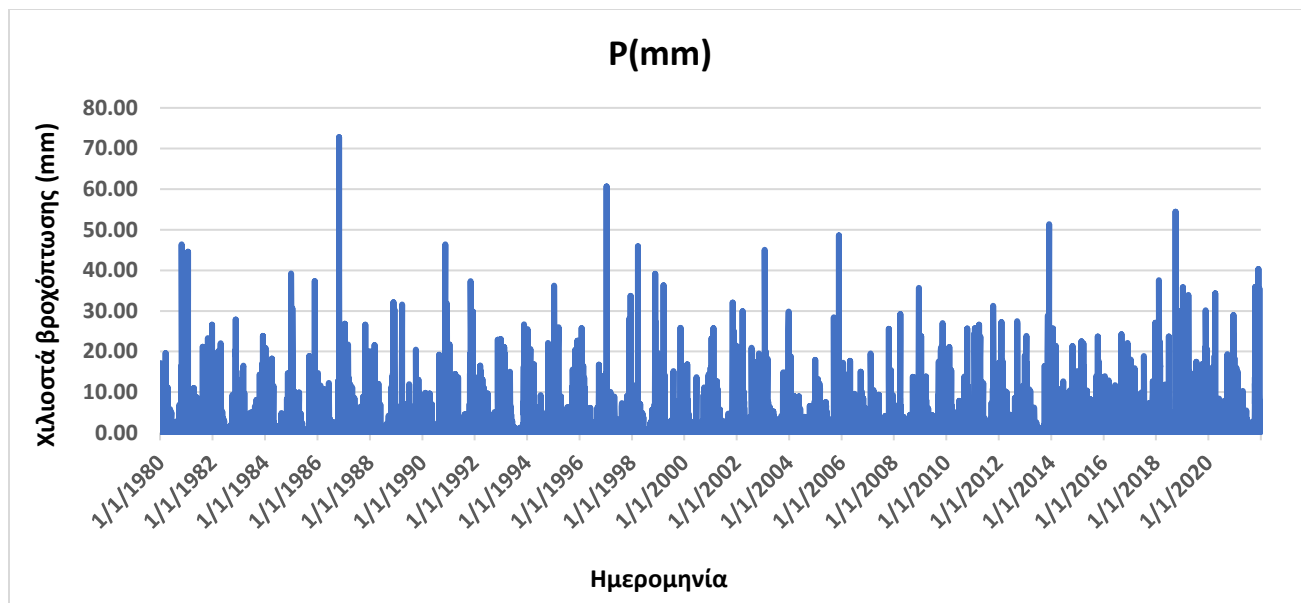
## **5.2 Δεδομένα βροχόπτωσης και Δυνητικής Εξατμισοδιαποής**

Για τον υπολογισμό διάφορων παραμέτρων αλλά και την δημιουργία ενός υδατικού ισοζυγίου το οποίο αναλύεται στην επόμενη ενότητα, χρησιμοποιήθηκε μία χρονοσειρά δεδομένων βροχόπτωσης και δυνητικής εξατμισοδιαποής από το έτος 1980 έως το έτος 2021 (41 έτη) τα οποία αντλήθηκαν από την βάση δεδομένων του μετεωρολογικού σταθμού του Αστεροσκοπείου. Η συγκεκριμένη περίοδος, υπερκαλύπτει τις απαιτήσεις σε βροχομετρικά δεδομένα για την διαστασιολόγηση ομβροδεξαμενής (5 έως 10 έτη, DIN 1989-1, 2002) η οποία θα αναλυθεί σε επόμενη ενότητα.

Βάσει των παραπάνω χρονοσειρών η μέση ετήσια βροχόπτωση των τελευταίων 41 ετών για την περιοχή εκτιμάται σε 674.2 mm/ έτος και η μέση ετήσια δυνητική εξατμισοδιαποή σε 577.4 mm/έτος.

Τέλος, στο γράφημα που ακολουθεί παρουσιάζεται η κατανομή των βροχοπτώσεων στα 40 έτη για την περιοχή της Νεμέας.



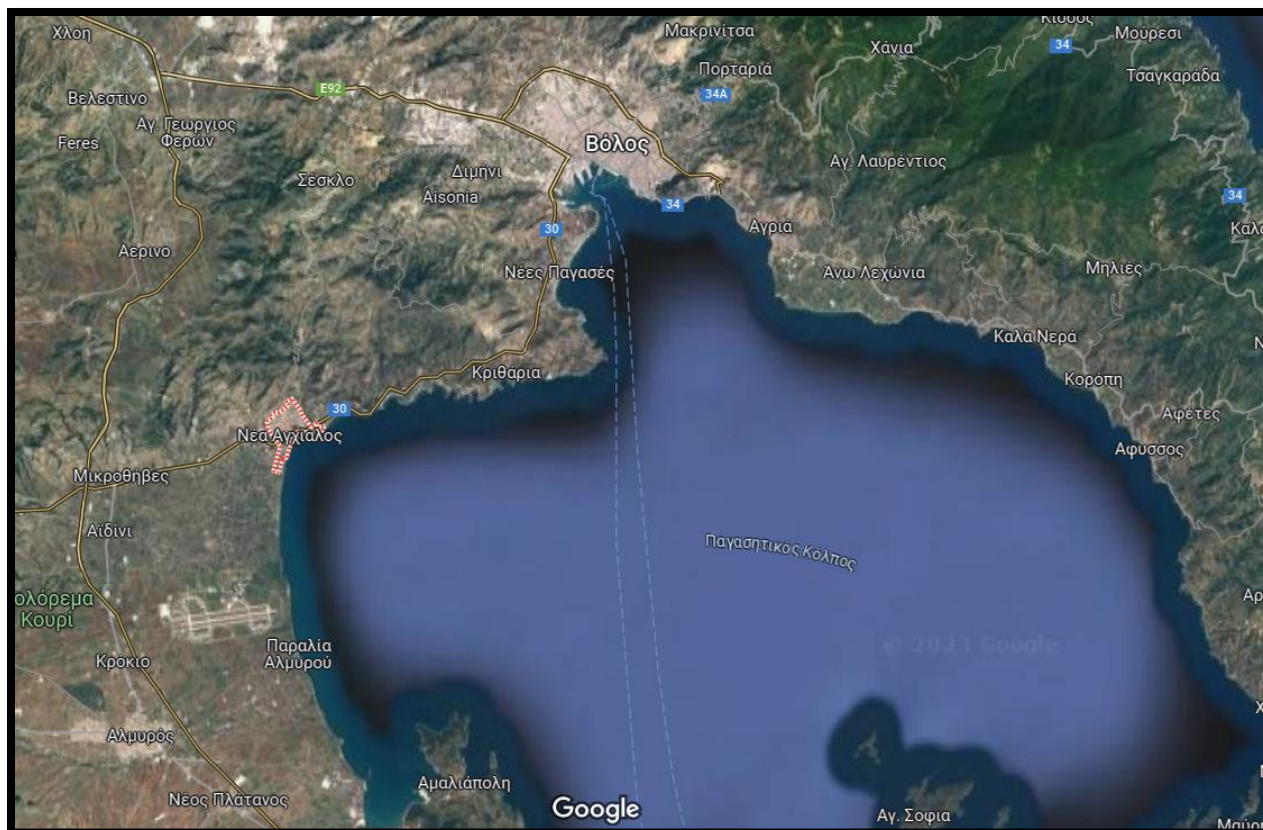


*Εικόνα 5.2.: Γράφημα βροχοπτώσεων της περιόδου 1980-2020 για την περιοχή της Νεμέας*

*Πηγή: Αστεροσκοπείο- Επεξεργασία δεδομένων σε υπολογιστικά φύλλα*

Η δεύτερη περιοχή μελέτης η οποία συγκρίνεται με την περιοχή της Νεμέας είναι η περιοχή της νέας Αγκιάλου της περιφερειακής ενότητας Μαγνησίας. Και η συγκεκριμένη περιοχή αποτελεί ένα μέρος της Ελλάδας όπου καλλιεργούνται πολλά στρέμματα με αμπέλια είτε για παραγωγή οίνου και τσίπουρου είτε για επιτραπέζια χρήση.

Ο αγροτικός οινοποιητικός συνεταιρισμός της Νέας Αγκιάλου με το όνομα «Δήμητρα» είναι γνωστός για τα πολύ ποιοτικά προϊόντα μερικά εκ των οποίων είναι το θεσσαλικό τσίπουρο και το κρασί φυλίρα. Η παραγωγή οίνου και τσίπουρου στην περιοχή έχει παράδοση πάνω από 100 χρόνια και είναι σημαντική πηγή εσόδων για την περιοχή.



*Εικόνα 5.3 : Χάρτης Ν. Αγχιάλου*

*Πηγή : Google maps*

### **5.3 Μοντέλο ημερησίου υδατικού ισοζυγίου**

Στην παρούσα μελέτη αναπτύχθηκε ένα μοντέλο ημερήσιου υδατικού ισοζυγίου με σκοπό κυρίως τη διαστασιολόγηση δεξαμενής συλλογής όμβριων υδάτων αλλά και την βροχομετρική ανάλυση των δεδομένων και άλλων παραμέτρων που θα αναλυθούν παρακάτω, με σκοπό να συγκριθούν και με άλλες περιοχές της Ελλάδας. Επίσης, δίδεται μεγάλη έμφαση στο κομμάτι του μοντέλου εδάφους το οποίο προσπαθεί να προσεγγίσει τις πραγματικές συνθήκες. Έτσι το ημερήσιο υδατικό ισοζύγιο όπως θα αναλυθεί και στην συνέχεια απαρτίζεται από 2 κλάδους. Το ισοζύγιο του εδάφους και το ισοζύγιο της ομβροδεξαμενής

Καθοριστικός παράγοντας για τον υπολογισμό του όγκου μίας ομβροδεξαμενής και κατά συνέπεια του συνολικού όγκου των όμβριων υδάτων που δύναται να αποθηκευτούν σε αυτήν, είναι ο όγκος

του βρόχινου νερού που θα εισέλθει σε αυτήν και ο όγκος του αποθηκευμένου βρόχινου νερού που θα χρησιμοποιηθεί για την κάλυψη των αρδευτικών αναγκών ως μία εναλλακτική παροχή ύδατος από την συμβατική η οποία και καταπονεί το υδατικό δυναμικό της περιοχής ιδίως τους καλοκαιρινούς μήνες. Για τον λόγο αυτό, είναι απαραίτητη η ημερήσια καταγραφή της ποσότητας ύδατος που αποθηκεύεται, η οποία σαφώς εξαρτάται από την ποσότητα αλλά και τη συχνότητα των βροχοπτώσεων, καθώς και από το μέγεθος της ζήτησης της καλλιέργειας η οποία μεταβάλλεται αναλόγως το στάδιο που βρίσκεται.

Επίσης, όσον αφορά το μοντέλο του εδάφους είναι σημαντικό να αναφερθεί πως γίνονται ορισμένες παραδοχές όσον αφορά την μορφολογία και την ογκομετρική σύσταση του εδάφους αλλά και την ομοιογένεια του ως προς το βάθος του ριζοστρώματος της καλλιέργειας.

Συνεπώς, το ημερήσιο υδατικό ισοζύγιο χωρίζεται ως εξής:

#### Ισοζύγιο εδάφους

$$S_{soil(t)} = S_{soil(t-1)} + P_{(t)} - R_{(t)} - ETc_{(t)} - C_{field(t)} - Perc_{(t)} \quad (5.1)$$

Όπου:

- $S_{soil(t)}$  : Η ποσότητα νερού που είναι αποθηκευμένη στο έδαφος έως το βάθος ριζοστρώματος την t ημέρα (mm)
- $S_{soil(t-1)}$  : Η ποσότητα νερού που είναι αποθηκευμένη στο έδαφος έως το βάθος ριζοστρώματος την προηγούμενη ημέρα (mm)
- $P_{(t)}$  : ο όγκος της βροχής που θα πέσει στην καλλιεργήσιμη έκταση του χωραφιού την t ημέρα (mm)
- $R_{(t)}$  : ο όγκος του νερού της που απορρέει στην επιφάνεια των πάνελ και καταλήγει στην δεξαμενή (mm)
- $ETc_{(t)}$  : Η εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας την t ημέρα (mm)
- $C_{field(t)}$  : Η ποσότητα του νερού που απορρέει από το χωράφι (mm)
- $Perc_{(t)}$  : Η ποσότητα του νερού που κατεισδύει σε μεγαλύτερα βάθη κάτω από την περιοχή του ριζοστρώματος (mm)

#### Ισοζύγιο ομβροδεξαμενής

$$S_{(t)} = S_{(t-1)} + R_{(t)} - D_{(t)}, \quad 0 \leq S_{(t-1)} \leq V_{tank} \quad (5.2)$$

Όπου:

- $S_t$  : ο όγκος του νερού που θα αποθηκευτεί στη δεξαμενή την  $t$  ημέρα (mm)
- $S_{t-1}$  : ο όγκος του αποθηκευμένου νερού στη δεξαμενή την προηγούμενη ημέρα (mm)
- $R_t$  : ο όγκος του νερού της βροχής που θα απορρεύσει από την επιφάνεια συλλογής και θα εισέλθει στη δεξαμενή την  $t$  ημέρα (mm)
- $D_t$  : η ζήτηση του νερού από τη δεξαμενή την  $t$  ημέρα (mm)
- $V_{tank}$  : η χωρητικότητα της δεξαμενής (mm)

#### **5.4 Μοντέλο απορροής**

Για τον υπολογισμό της απορροής σε όλες τις διαστάσεις του ισοζυγίου έως την κατώτερη ζώνη του ριζοστρώματος της καλλιέργειας θα δημιουργηθεί ένα μοντέλο απορροής με την μέθοδο Soil Conservation Service CN (SCS - CN). Οι εξισώσεις οι οποίες διέπουν το φαινόμενο της απορροής σε ένα μέσο έδαφος αναλύονται στις παρακάτω υποενότητες.

##### **5.4.1. Υπολογισμός Απορροής των πάνελ – επιφάνειας συλλογής**

$$R_t = C \cdot A_p \cdot P_t \quad (5.3)$$

Όπου:

- $R_t$  : ο όγκος του νερού που θα απορρεύσει από την επιφάνεια συλλογής (πάνελ) (mm)
- $C$  : ο συντελεστής απορροής της επιφάνειας συλλογής
- $A_p$  : το ποσοστό του εμβαδού της επιφάνειας των πάνελ -συλλογής ομβρίων η οποία είναι συνδεδεμένη με τη δεξαμενή
- $P_t$  : Η βροχόπτωση της  $t$  ημέρας (mm)

Η τιμή του συντελεστή απορροής που χρησιμοποιήθηκε στη παρούσα μελέτη με σκοπό την επεξεργασία των βροχομετρικών δεδομένων ήταν για τιμή  $C=0.9$ , καθώς αντιστοιχεί στο υλικό της επιφάνειας των πάνελ.

Περαιτέρω είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι το πρωταρχικό σενάριο της μεθοδολογίας έχει ως βασική υπόθεση την κάλυψη του χωραφιού με επιφάνεια φωτοβολταϊκών πάνελ μονοκρυσταλλικού τύπου μονής όψης σε ποσοστό 30% επί του συνόλου το αγροτεμαχίου. Στην συνέχεια θα ζητηθούν και άλλα περαιτέρω σενάρια διαφορετικών ποσοστών αλλά και σενάρια αγροβολταϊκών.

#### 5.4.2 Υπολογισμός της παραμέτρου $I_a$ (Initial Abstraction)

$$I_a = 0.2 \cdot S \quad (5.4)$$

Όπου:

- $I_a$  : Αρχικό έλλειμα
- $S$  : Πιθανή μέγιστη διατήρηση υγρασίας μετά από βροχόπτωση

Ο παράγοντας  $I_a$  είναι ουσιαστικά οποιαδήποτε ποσότητα απώλειας πριν από την έναρξη της απορροής. Αυτή η ποσότητα περιλαμβάνει το νερό που συγκρατείται σε επιφανειακές κοιλότητες, το νερό που παγιδεύεται και συγκρατείται από τη βλάστηση, την εξάτμιση και τη διήθηση. Η μεταβλητή  $I_a$  είναι σχετικά ευαίσθητη αλλά συσχετίζεται με τις παραμέτρους του εδάφους και της κάλυψης.

Συγκεκριμένα, στο μοντέλο αυτό, η πρώτη εκ των τιμών της μεταβλητής  $S$  αφορά τον παράγοντα της διαθέσιμης υγρασίας εδάφους ( $ASM$ ) πλην την αρχική υγρασία ( $S_{initial}$ ) και η εξίσωση για το χρονικό βήμα ( $t=1$ ) δημιουργείται ως εξής :

$$I_a = 0.2 \cdot (ASM - S_{initial}) \quad (5.5)$$

Όπου:

- ASM: Η τιμή της διαθέσιμης υγρασίας εδάφους (mm)
- $S_{initial}$  : Η τιμή της αρχικής υγρασίας εδάφους (mm)

Η διαθέσιμη υγρασία εδάφους (ASM), ουσιαστικά αντικατοπτρίζει την διαφορά του σημείου υδατοϊκανότητας και του σημείου μάρανσης ( $F_c - W_p$ ). Η τιμή αυτή μπορεί να υπολογιστεί χρησιμοποιώντας σταθερές που έχουν προκύψει από πειράματα στο πεδίο για τους διάφορους τύπους εδαφών οι οποίες πολλαπλασιάζονται με το βάθος του ριζοστρώματος της καλλιέργειας. Συνεπώς, να αναφερθεί ότι για τον υπολογισμό των παραπάνω παραμέτρων έχει γίνει η παραδοχή ότι η καλλιέργεια αναπτύσσεται σε μέσο έδαφος καθώς και ότι το έδαφος είναι ομοιογενές σε όλη την κατατομή του ριζοστρώματος. Για αυτόν τον λόγο έχει χρησιμοποιηθεί και η τιμή της διαθέσιμης υγρασίας εδάφους ( $ASM = 150 \text{ mm}$ ), η οποία αντιστοιχεί στα μέσα εδάφη σύμφωνα με την δημοσίευση του USDA με τίτλο «Estimating Soil Moisture by Feel and Appearance» για το έτος 1998 (Program Aid No 1619). Τέλος, όσον αφορά την τιμή της αρχικής υγρασίας εδάφους έχει γίνει η παραδοχή ότι ισούται με την ανηγμένη τιμή της (ASM).

Στο δεύτερο όμως βήμα υπολογισμού του παράγοντα  $I_a$  χρησιμοποιείται η τιμή του παράγοντα  $S_{final}$ . Ο όρος αυτός αναφέρεται στην διαφορά της τιμής του παράγοντα  $S_{soil}$  ο οποίος δηλώνει το απόθεμα υγρασίας που απομένει στο έδαφος, πλην τον παράγοντα  $Q_{spill}$  ο οποίος αφορά την μέγιστη διαφορά της τιμής του  $S_{soil}$ , πλην την ανηγμένη διαθέσιμη υγρασία, καθώς η τιμή αυτή μεταβάλλεται για διάφορα ποσοστά κάλυψης του χώρου του αγροτεμαχίου με πάνελ.

Έτσι, η εξίσωση για το χρονικό βήμα ( $t=2$ ) καθώς και για τα επόμενα καταστρώνεται ως εξής:

$$I_a = 0.2 \cdot (ASM - S_{final}) \quad (5.6)$$

Ενώ:

$$S_{final} = S_{soil} - Q_{spill} \quad (5.7)$$

Όπου:

- $S_{final}$  : Τελικό απόθεμα υγρασίας εδάφους (mm)
- $S_{soil}$  : Απόθεμα υγρασίας εδάφους (mm)

### 5.4.3 Υπολογισμός του συντελεστή απορροής εδάφους ( $C_s$ )

Για τον υπολογισμό της τιμής του συντελεστή απορροής χρησιμοποιείται η παρακάτω εξίσωση η οποία όπως και οι προηγούμενες λαμβάνουν χώρα στο περιβάλλον του προγράμματος Excel. Έτσι για τον υπολογισμό του συντελεστή για την  $t=0$  η εξίσωση διαμορφώνεται ως εξής:

$$IF ( P_t > I_a, (P_t - I_a) / (P_t - I_a + ASM - S), 0), \quad (5.8)$$

Όπου:

- $P_t$  : Η βροχόπτωση την  $t$  ημέρα (mm)
- $I_a$  : Αρχικό έλλειμα (mm)
- $ASM$  : Διαθέσιμη υγρασία εδάφους (mm)
- $S_{initial}$  : Αρχική υγρασία εδάφους.

Έτσι για  $t > 0$ , η εξίσωση παίρνει την παρακάτω μορφή:

$$IF ( P_t > I_a, (P_t - I_a) / (P_t - I_a + ASM - S_{final}), 0), \quad (5.9)$$

Όπου:

- $S_{final}$  : Τελικό απόθεμα υγρασίας εδάφους (mm)

Περαιτέρω, όσον αφορά την ποσότητα του νερού που χάνεται μέσω της βαθιάς διήθησης η σχέση που χρησιμοποιείται είναι η εξής:

$$Perc = C_{κατ} * P_t, \quad C_{κατ} = 0.005 \quad (5.10)$$

Όπου:

- $Perc$  : Η ποσότητα του νερού που χάνεται μέσω βαθιάς διήθησης
- $C_{κατ}$  : Συντελεστής κατείσδυσης (%)
- $P_t$  : Η βροχόπτωση την  $t$  ημέρα (mm)

#### 5.4.4 Υπολογισμός της απορροής χωραφιού ( $C_{field}$ )

Για τον υπολογισμό της τιμής του συντελεστή απορροής  $C_{field}$  χρησιμοποιείται η παρακάτω εξίσωση και υποδηλώνει την απορροή του χωραφιού όπου είναι εγκατεστημένη η καλλιέργεια:

$$C_{field} = C_s \cdot (1 - A_p) \cdot P_t + (1 - C) \cdot A_p \cdot P_t \quad (5.11)$$

Όπου:

- $C_s$  : Συντελεστής απορροής εδάφους
- $A_p$  : Το ποσοστό κάλυψης της επιφάνειας του χωραφιού με πάνελ
- $P_t$  : Η βροχόπτωση την t ημέρα
- $C$  : Συντελεστής απορροής του υλικού των πάνελ. ( $C=0.9$ )

#### 5.5 Προσδιορισμός των υδατικών αναγκών της καλλιέργειας της αμπέλου

Η ημερήσια ζήτηση ύδατος από την καλλιέργεια της αμπέλου  $D_t$ , θα υπολογιστεί λαμβάνοντας υπόψιν τις ημερήσιες υδατικές ανάγκες της καλλιέργειας της αμπέλου.

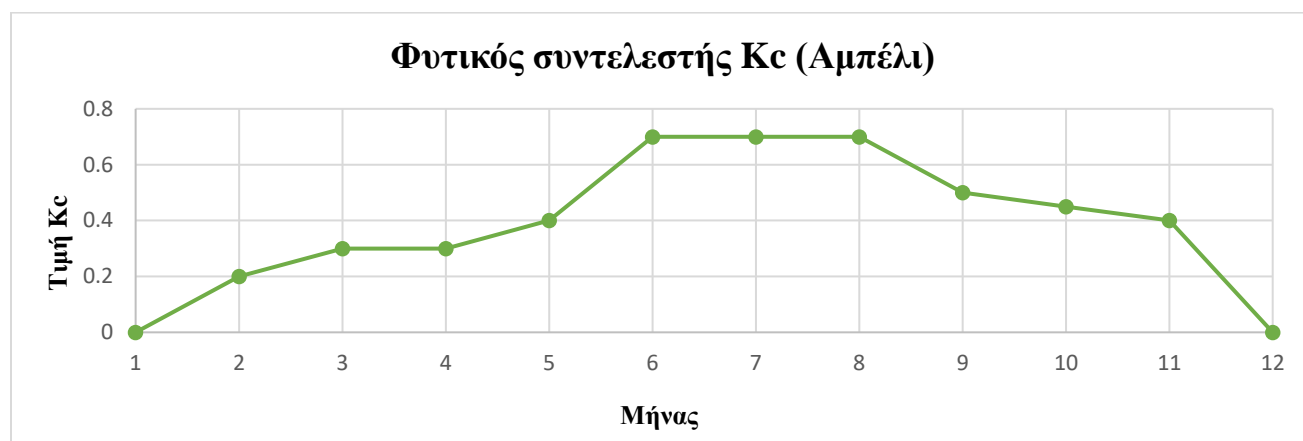
Το αμπέλι θεωρείται φυτό μέσης ανάγκης σε νερό σε σχέση με άλλες καρποφόρες καλλιέργειες, αν και αυτό εξαρτάται από την μετασυλλεκτική του χρήση . Για παράδειγμα διαφορετικές απαιτήσεις σε νερό παρουσιάζουν οι επιτραπέζιες ποικιλίες σε σχέση με τις οινοποιήσιμες. Για τον λόγο αυτό θα υποθέσουμε τις μέσες υδατικές ανάγκες για την καλλιέργεια της αμπέλου, βασισμένοι πάντοτε στις τιμές των φυτικών συντελεστών  $K_c$  οι οποίοι δίδονται από τον Παγκόσμιο Οργανισμό Τροφίμων (F.A.O.) Παρακάτω ακολουθεί ένας πίνακας ο οποίος απεικονίζει την διακύμανση του φυτικού συντελεστή για την εν λόγω καλλιέργεια βασιζόμενος στην μέθοδο Penman - Monteith.

Αμπέλι	$K_c$ ini	$K_c$ mid	$K_c$ end
Ποικιλίες επιτραπέζιες και για σταφίδα	0.3	0.85	0.45
Ποικιλίες κρασιού	0.3	0.7	0.45

Πηγή: Παπαζαφειρίου , 1999



Βάσει του ανωτέρου πίνακα δημιουργήθηκε ένας νέος πίνακας σε μηνιαίο επίπεδο:



*Εικόνα 5.4: Διακύμανση του φυτικού συντελεστή της αμπέλου*

Συνεπώς, με την βοήθεια των τιμών  $K_c$  αλλά και των τιμών της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής (PET) η αλλιώς ( $ET_o$ ) της ιστορικής χρονοσειράς, οι οποίες έχουν υπολογιστεί και αυτές με την μέθοδο Penman- Monteith για την περιοχή της Νεμέας μέσω του μετεωρολογικού σταθμού του Αστεροσκοπείου, μπορεί εύκολα να γίνει ο υπολογισμός της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής καλλιέργειας  $ET_c$ . Η σχέση υπολογισμού της εξατμισοδιαπνοής καλλιέργειας είναι η παρακάτω:

$$ET_c = K_c \cdot ET_o \quad (5.12)$$

Όπου:

- $ET_c$ : Η ημερήσια εξατμισοδιαπνοή καλλιέργειας (mm/day)
- $K_c$ : Ο φυτικός συντελεστής της καλλιέργειας της αμπέλου για τον συγκεκριμένο μήνα
- $ET_o$ : Η υπολογισμένη ημερήσια δυνητική εξατμισοδιαπνοή από τον μετεωρολογικό σταθμό της Νεμέας (mm/day)

Με την εφαρμογή του μέσου όρου στις ημερήσιες τιμές της  $ET_c$ , εκτιμάται ότι η μέση ετήσια ζήτηση για άρδευση όσον αφορά την καλλιέργεια της αμπέλου στην περιοχή της Νεμέας, ανέρχεται σε 577.4 mm ανά έτος.

Έτσι βάσει της παραπάνω εξίσωσης η ημερήσια δόση άρδευσης  $I_r$  αντιστοιχεί στην ποσότητα της τιμής  $ET_c$  που απαιτείται ημερησίως για την κάλυψη των υδατικών αναγκών της καλλιέργειας. Επίσης, γίνεται η παραδοχή ότι το σύστημα άρδευσης που χρησιμοποιείται είναι η στάγδην άρδευση η οποία έχει και μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα με μηδαμινές απώλειες νερού κάτω του 3%.

### 5.6 Διαστασιολόγηση ομβροδεξαμενής

Η διαστασιολόγηση της ομβροδεξαμενής, αφορά στην ποσότητα του νερού που μπορεί να αποθηκευτεί εντός της ομβροδεξαμενής και στηρίζεται στο μοντέλο του υδατικού ισοζυγίου ομβροδεξαμενής όπως περιγράφεται από την εξίσωση (5.2). Συνεπώς, για την διαστασιολόγηση της ομβροδεξαμενής εφαρμόζονται οι παρακάτω σχέσεις:

$$S_{tank(t)} = S_{tank(t-1)} + R_{(t)}, \quad 0 \leq S_{(t-1)} \leq V_{tank} \quad (5.13)$$

Όπου:

- $S_{tank(t)}$  : ο όγκος του νερού που θα αποθηκευτεί στη δεξαμενή την  $t$  ημέρα (mm)
- $S_{tank(t-1)}$  : ο όγκος του αποθηκευμένου νερού στη δεξαμενή την προηγούμενη ημέρα (mm)
- $R_{(t)}$  : ο όγκος του νερού της βροχής που θα απορρευσει από την επιφάνεια συλλογής και θα εισέλθει στη δεξαμενή την  $t$  ημέρα (mm)

Βέβαια για την εφαρμογή της παραπάνω σχέσης έχει ορισθεί η χωρητικότητα της δεξαμενής  $V_{tank}$  ίση με 150mm και για αυτόν τον λόγο υπάρχει ο περιορισμός στην σχέση (5.13).

Στην συνέχεια γίνεται προσδιορισμός του αλγόριθμου ο οποίος θα χρησιμοποιεί νερό της ομβροδεξαμενής μόνο όταν οι ανάγκες δεν καλύπτονται από την βροχόπτωση αλλά και την

αποθηκευμένη υγρασία εδάφους η οποία αναλύθηκε σε προηγούμενη ενότητα. Έτσι, για την δημιουργία του του αλγορίθμου εφαρμόζονται οι παρακάτω σχέσεις:

$$O_{(t)} = MIN ( S_{tank (t)}, S_{deficit (t)} ) \quad (5.14)$$

Όπου:

- $O_{(t)}$ : Η ποσότητα του νερού της δεξαμενής που απαιτείται για την κάλυψη της άρδευσης t ημέρα (mm)
- $S_{tank (t)}$ : Η ποσότητα του νερού που θα αποθηκευτεί την t ημέρα (mm)
- $S_{deficit (t)}$ : Το έλλειμα νερού του εδάφους t ημέρα (mm)

$$S_{deficit (t)} = P_{(t)} - ED_{(t)} - ES_{(t)} \quad (5.15)$$

Όπου:

- $S_{deficit (t)}$ : Το έλλειμα νερού του εδάφους t ημέρα (mm)
- $P_{(t)}$ : Η ποσότητα της βροχής που θα πέσει στην καλλιεργήσιμη έκταση του χωραφιού την t ημέρα (mm)
- $ED_{(t)}$ : Η ελάχιστη εκμεταλλεύσιμη ποσότητα ύδατος t ημέρα (mm)
- $S_{deficit (t)}$ : Το έλλειμα νερού του εδάφους (mm)

$$ED_{(t)} = MIN ( P_{(t)}, DP_{(t)} ) \quad (5.16)$$

Όπου:

- $ED_{(t)}$ : Η ελάχιστη εκμεταλλεύσιμη ποσότητα ύδατος t ημέρα (mm)
- $P_{(t)}$ : Η ποσότητα της βροχής που θα πέσει στην καλλιεργήσιμη έκταση του χωραφιού την t ημέρα (mm)
- $DP_{(t)}$ : Η ποσότητα ύδατος που τελικά είναι διαθέσιμη για την καλλιέργεια την t ημέρα (mm)

$$DP_{(t)} = P_{(t)} - R_{(t)} - C_{field} \quad (5.17)$$

Όπου:

- $DP_{(t)}$ : Η ποσότητα ύδατος που τελικά είναι διαθέσιμη για την καλλιέργεια την t ημέρα (mm)
- $P_{(t)}$ : Η ποσότητα της βροχής που θα πέσει σε όλη την έκταση του χωραφιού την t ημέρα (mm)
- $R_{(t)}$ : Η ποσότητα ύδατος που απορρέει στην επιφάνεια των πάνελ την t ημέρα (mm)
- $C_{field}$ : Η ποσότητα ύδατος που απορρέει από το χωράφι (mm)

Περαιτέρω, εφόσον δημιουργήθηκε ο παραπάνω αλγόριθμος ο οποίος δίνει την δυνατότητα στην δεξαμενή να χρησιμοποιεί νερό όταν η καλλιέργεια αυτή το χρειάζεται, εφαρμόζονται και οι επόμενες εξισώσεις οι οποίες αφορούν την υπερχειλίση της δεξαμενής αλλά και το απόθεμά της:

$$Q_{spill(t)} = MAX( 0, S_{tank(t)} - V_{tank(max)} ) \quad (5.18)$$

Όπου:

- $Q_{spill(t)}$ : Η ποσότητα ύδατος η οποία υπερχειλίζεται από την δεξαμενή την t ημέρα (mm)
- $S_{tank(t)}$ : Η ποσότητα ύδατος που υπάρχει στην δεξαμενή την t ημέρα (mm)
- $V_{tank(max)}$ : Η μέγιστη χωρητικότητα της ομβροδεξαμενής (mm)

$$S_{storage(t)} = S_{tank(t)} - Q_{spill(t)} \quad (5.19)$$

Όπου:

- $S_{storage(t)}$ : Η ποσότητα ύδατος που αποθηκεύεται στην ομβροδεξαμενή την t ημέρα (mm)
- $Q_{spill(t)}$ : Η ποσότητα ύδατος η οποία υπερχειλίζεται από την δεξαμενή την t ημέρα (mm)
- $S_{tank(t)}$ : Η ποσότητα ύδατος που υπάρχει στην δεξαμενή την t ημέρα (mm)

### ***5.7 Προσδιορισμός της παραγωγής ενέργειας από τα πάνελ***

Για τον προσδιορισμό της ενέργειας που παράγεται μέσω των φωτοβολταϊκών πάνελ, γίνεται η παραδοχή ότι τα πάνελ είναι μονοκρυσταλλικά σταθερής κλίσης. Ο προσανατολισμός τους θα έχει τον ίδιο προσανατολισμό με την καλλιέργεια δηλαδή Βορρά – Νότο, έτσι ώστε να εκμεταλλεύεται το μέγιστο της ηλιακής ακτινοβολίας και από τα πάνελ αλλά και από την καλλιέργεια. Στην Εικόνα 5.5 απεικονίζονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά ενός συγκεκριμένου μονοκρυσταλλικού πάνελ του εμπορίου. Έτσι, γίνεται ακόμη η παραδοχή ότι τα πάνελ αυτού του τύπου, μπορούν να παράξουν μέγιστη ισχύ έως 400 W , διαθέτουν έναν ικανοποιητικό βαθμό απόδοσης που ανέρχεται σε 22.6 %, επίσης μπορούν να λειτουργούν σε ένα εύρος θερμοκρασίας από -40 έως +85 βαθμούς Κελσίου και τέλος διαθέτουν έναν θερμοκρασιακό συντελεστή ισχύος του οποίου η τιμή είναι -0,29%/ °C. Σύμφωνα με το τελευταίο τεχνικό χαρακτηριστικό για κάθε έναν βαθμό Κελσίου ο συντελεστής απόδοσης θα υπόκειται μείωση κατά 0,29 %.

MAXEON® 3 | 400 W Residential Solar Panel

Electrical Data			
	SPR-MAX3-400	SPR-MAX3-390	SPR-MAX3-370
Nominal Power (P <sub>nom</sub> ) <sup>7</sup>	400 W	390 W	370 W
Power Tolerance	+5/0%	+5/0%	+5/0%
Panel Efficiency	22.6%	22.1%	20.9%
Rated Voltage (V <sub>mpp</sub> )	65.8 V	64.5 V	61.8 V
Rated Current (I <sub>mpp</sub> )	6.08 A	6.05 A	5.99 A
Open-Circuit Voltage (V <sub>oc</sub> )	75.6 V	75.3 V	74.7 V
Short-Circuit Current (I <sub>sc</sub> )	6.58 A	6.55 A	6.52 A
Max. System Voltage	1000 V IEC		
Maximum Series Fuse	20 A		
Power Temp Coef.	-0.29% / °C		
Voltage Temp Coef.	-176.8 mV / °C		
Current Temp Coef.	2.9 mA / °C		

Operating Condition And Mechanical Data	
Temperature	-40° C to +85° C
Impact Resistance	25 mm diameter hail at 23 m/s
Solar Cells	104 Monocrystalline Maxeon Gen III
Tempered Glass	High-transmission tempered anti-reflective
Junction Box	IP-65, Stäubli (MC4), 3 bypass diodes
Weight	19 kg
Max. Load <sup>10</sup>	Wind: 4000 Pa, 408 kg/m <sup>2</sup> front & back Snow: 6000 Pa, 611 kg/m <sup>2</sup> front
Frame	Class 1 black anodised (highest AAMA rating)

Tests And Certifications	
Standard Tests <sup>8</sup>	IEC 61215, IEC 61730
Quality Management Certs	ISO 9001:2015, ISO 14001:2015
EHS Compliance	RoHS (Pending), OHSAS 18001:2007, lead free, REACH SVHC-163 (Pending)
Sustainability	Cradle to Cradle Certified™ (Pending)
Ammonia Test	IEC 62716
Desert Test	10.1109/PVSC.2013.6744437
Salt Spray Test	IEC 61701 (maximum severity)
PID Test	1000 V: IEC 62804
Available Listings	TUV <sup>9</sup>

FRAME PROFILE

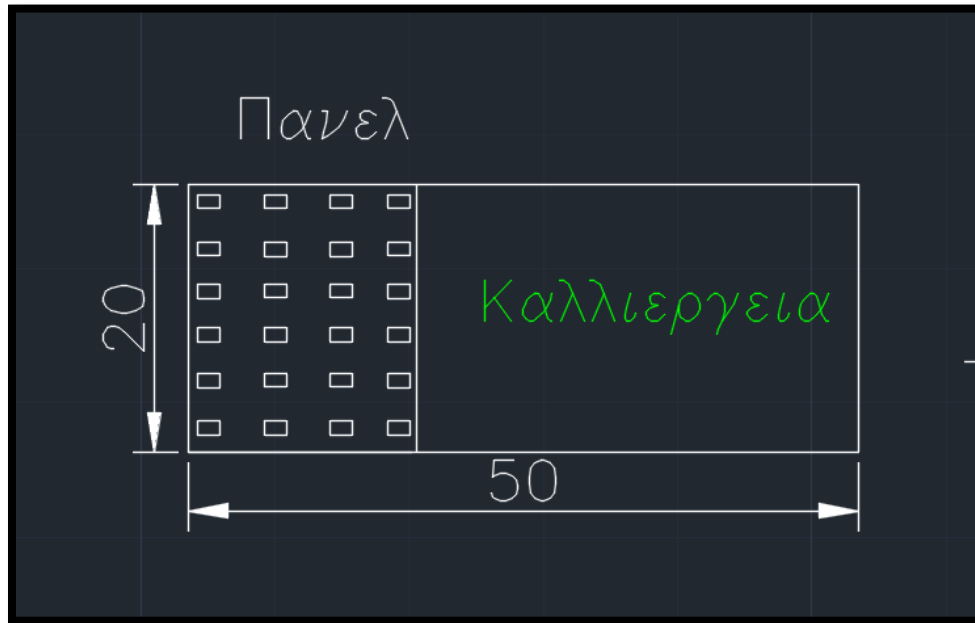
A. Cable Length: 1200 mm +/-10 mm  
 B. LONG SIDE: 32 mm  
 SHORT SIDE: 24 mm

*Εικόνα 5.5 : Τεχνικά χαρακτηριστικά του μονοκρυσταλλικού πάνελ (SunPower Maxeon 3 SPR-MAX3-400),2019*

*Πηγή: [www.sunpower.maxeon.com](http://www.sunpower.maxeon.com)*

Περαιτέρω λαμβάνοντας υπόψιν τις διαστάσεις των εν λόγω φωτοβολταϊκών πάνελ αλλά και του γενικού κανόνα τοποθέτησής τους στο χώρο ο οποίος ορίζει την ισαπόσταση των πάνελ ως το διπλάσιο του μεγέθους τους, γίνεται η παραδοχή ότι τοποθετούνται περίπου 72 πάνελ σε ένα στρέμμα. Έτσι στην περίπτωση του σεναρίου που θα αναλυθεί στην επόμενη ενότητα η οποία αναφέρεται σε ποσοστό κάλυψης με πάνελ 30% επί του συνόλου του αγροτεμαχίου και συγκεκριμένα στην περίπτωση του ενός στρέμματος, μπορούν να τοποθετηθούν 24 φωτοβολταϊκά πάνελ. Στην Εικόνα 5.5 που ακολουθεί, απεικονίζεται το σκαρίφημα της

τοποθέτησης των πάνελ εντός του αγροτεμαχίου σε ποσοστό κάλυψης 30% επί του συνολικού εμβαδού.

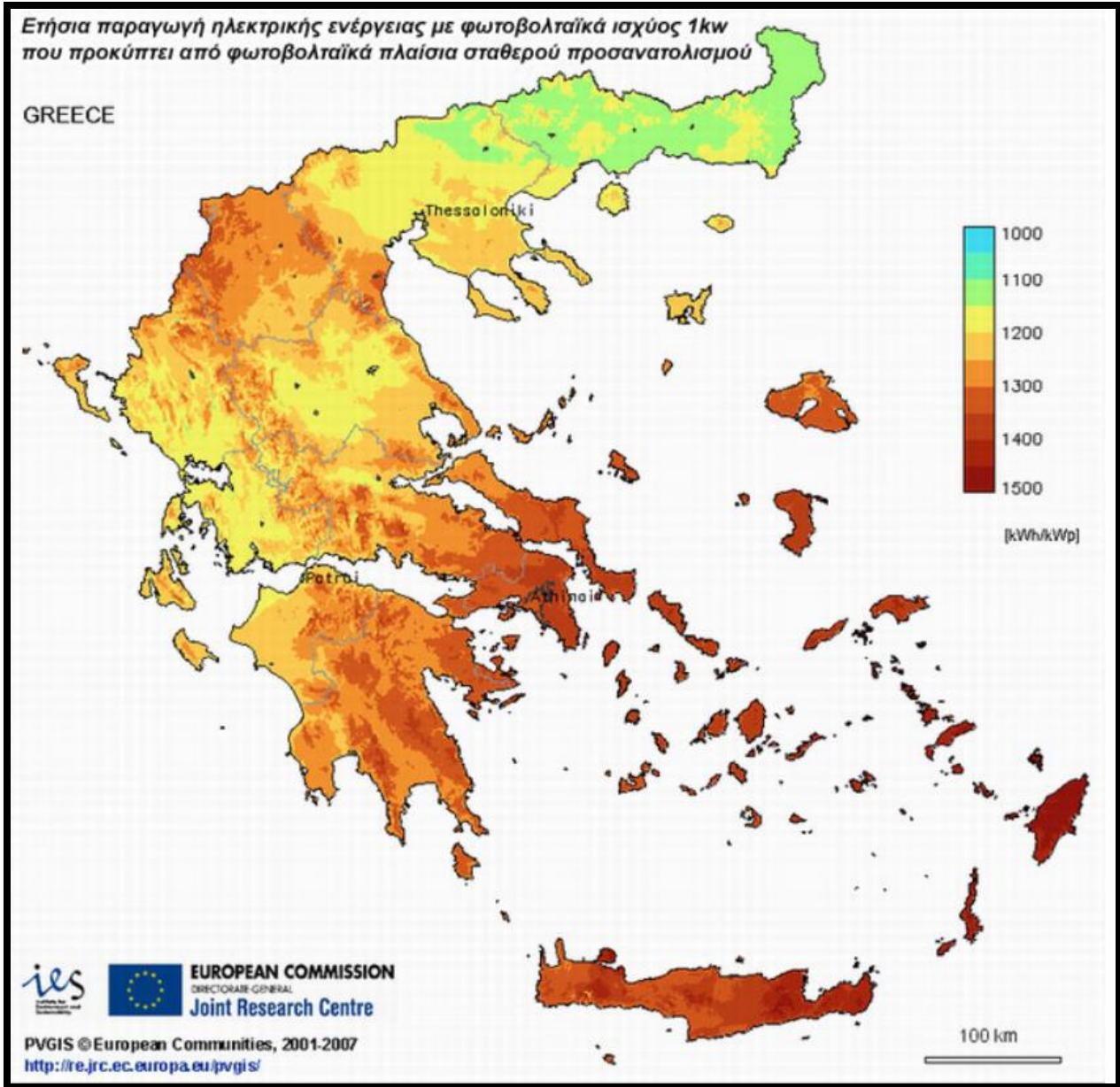


*Εικόνα 5.6: Σκαρίφημα τοποθέτησης των πάνελ σε έκταση ενός στρέμματος*

*Πηγή: Σχεδιασμός στο AutoCAD*

Τέλος, δεδομένων όλων των παραπάνω παραδοχών και χαρακτηριστικών αλλά και βάσει του χάρτη ετήσιας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από φωτοβολταϊκά μπορεί εύκολα να εκτιμηθεί η μέση ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τα πάνελ για την περιοχή μελέτης.

Συγκεκριμένα, όσον αφορά την περιοχή της Νεμέας παρατηρείται ότι η μέση ετήσια παραγωγή ενέργειας για σταθερού τύπου φωτοβολταϊκά ισχύος 1kW κυμαίνεται περίπου σε 1350 kWh/kWp. Άρα στην περίπτωση των φωτοβολταϊκών που θα χρησιμοποιηθούν για την μελέτη περίπτωσης, λόγω της ισχύος των 400 Watt , η μέση ετήσια ενέργεια που μπορεί να παραχθεί ανά πάνελ, εκτιμάται περίπου σε 600 kWh/kWp.



*Εικόνα 5.7: Ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από φωτοβολταϊκά*

*Πηγή: [www.solar-systems.gr/photovoltaic-map-greece-photo.html](http://www.solar-systems.gr/photovoltaic-map-greece-photo.html)*

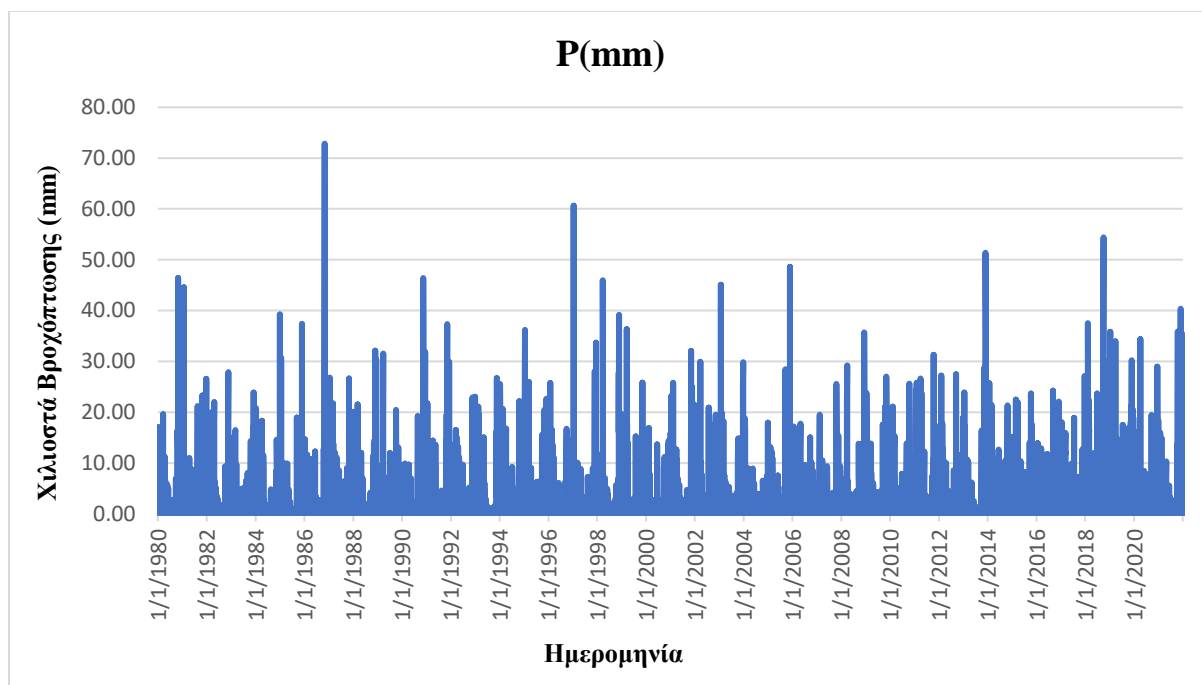


## **6 Αποτελέσματα – Συζήτηση**

### **6.1 Ανάλυση βροχομετρικών δεδομένων**

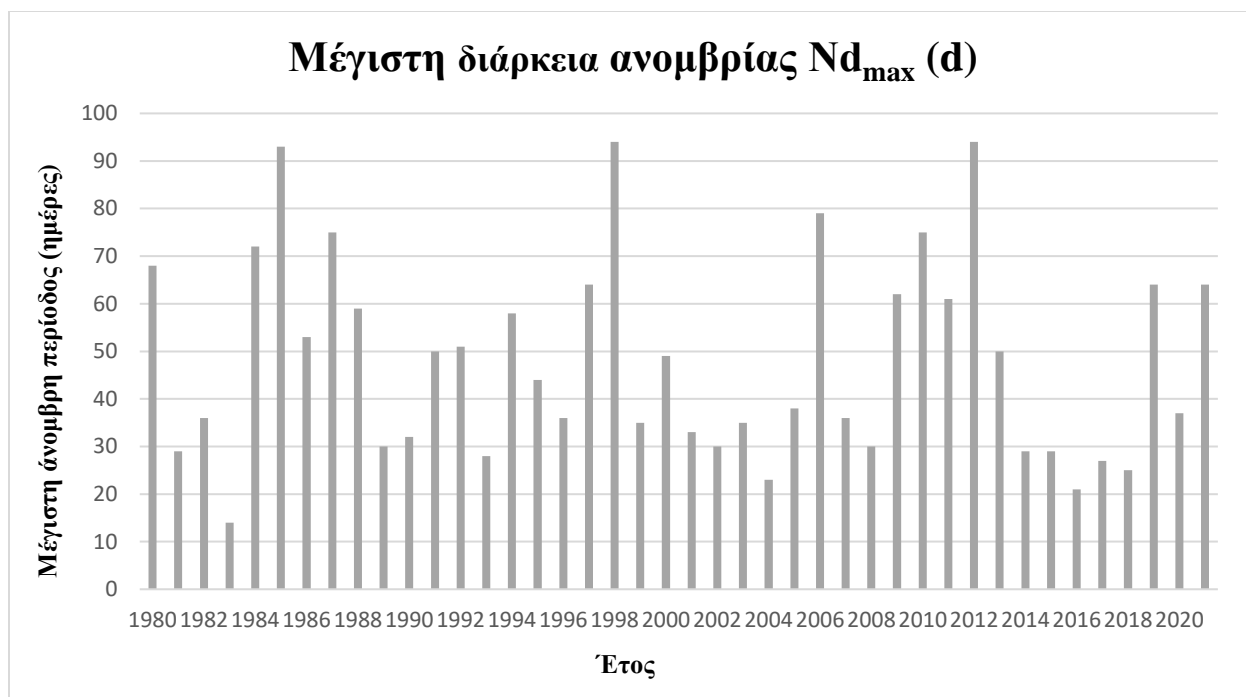
Τα βροχομετρικά δεδομένα της περιοχής μελέτης, αποτελούν τον καθοριστικό παράγοντα για τη διαστασιολόγηση της ομβροδεξαμενής, αλλά και για την κατανόηση και εφαρμογή του υδατικού ισοζυγίου του εδάφους. Όπως προαναφέρθηκε, τα δεδομένα βροχόπτωσης συλλέχθηκαν από τον μετεωρολογικό σταθμό του Αστεροσκοπείου που βρίσκεται στην περιοχή της Νεμέας, ο οποίος είναι ο πιο κοντινός σταθμός και κατά συνέπεια ο πιο αντιπροσωπευτικός σταθμός για τις καλλιεργούμενες εκτάσεις της περιοχής μελέτης

Στην Εικόνα 6.1, δίδεται η κατανομή των βροχοπτώσεων για την περίοδο 1980-2021. Παρατηρείται ότι η μέγιστη τιμή βροχόπτωσης για τη συγκεκριμένη χρονική περίοδο ήταν βροχόπτωση ύψους 72.1 mm, που την καθιστά μία μεγάλη τιμή βροχόπτωσης η οποία ενδέχεται να έδωσε και πλημμυρικά φαινόμενα σε ορισμένες περιοχές. Επίσης, στο γράφημα της Εικόνας 6.1, παρατηρείται ότι περίπου σε κάθε χρόνο, σημειώνεται μία σχετικά υψηλή βροχόπτωση της οποίας η μέση τιμή είναι περίπου 35 mm. Τέλος, η μέση ετήσια βροχόπτωση της περιοχή μελέτης για τη περίοδο των 40 ετών, υπολογίζεται στα 674,2 mm ανά έτος.



*Εικόνα 6.1 : Κατανομή ημερήσιου ύψους βροχής για την χρονική περίοδο 1980 – 2021 από τον μετεωρολογικό σταθμό της Νεμέας*

Παρατηρείται επίσης στην ιστορική χρονοσειρά και μεγάλες άνομβρες περιόδους. Συγκεκριμένα, σύμφωνα με το γράφημα στην Εικόνα 6.2, η μεγαλύτερη άνομβρη περίοδος καταγράφηκε σε αυτά τα 40 έτη έλαβε χώρα το 1998 με 94 ημέρες συνεχόμενης άνομβρίας και ξανά το 2015 με τον ίδιο μέγιστο αριθμό άνομβρης περιόδου. Η κατανομή των μέγιστων άνομβρων περιόδων παρουσιάζεται στην Εικόνα 6.2. Είναι αξιοσημείωτο πως τόσο τα ημερήσια ύψη βροχής, όσο και οι ημέρες άνομβρίας είναι καθοριστικοί παράγοντες για την διαστασιολόγηση της ομβροδεξαμενής.



*Εικόνα 6.2 : Μέγιστη ανομβρη περίοδος  $Nd_{max}$  για κάθε έτος της χρονικής περιόδου 1980-2021*

## **6.2 Ανάλυση αξιοπιστίας ομβροδεξαμενής και κάλυψη της ζήτησης.**

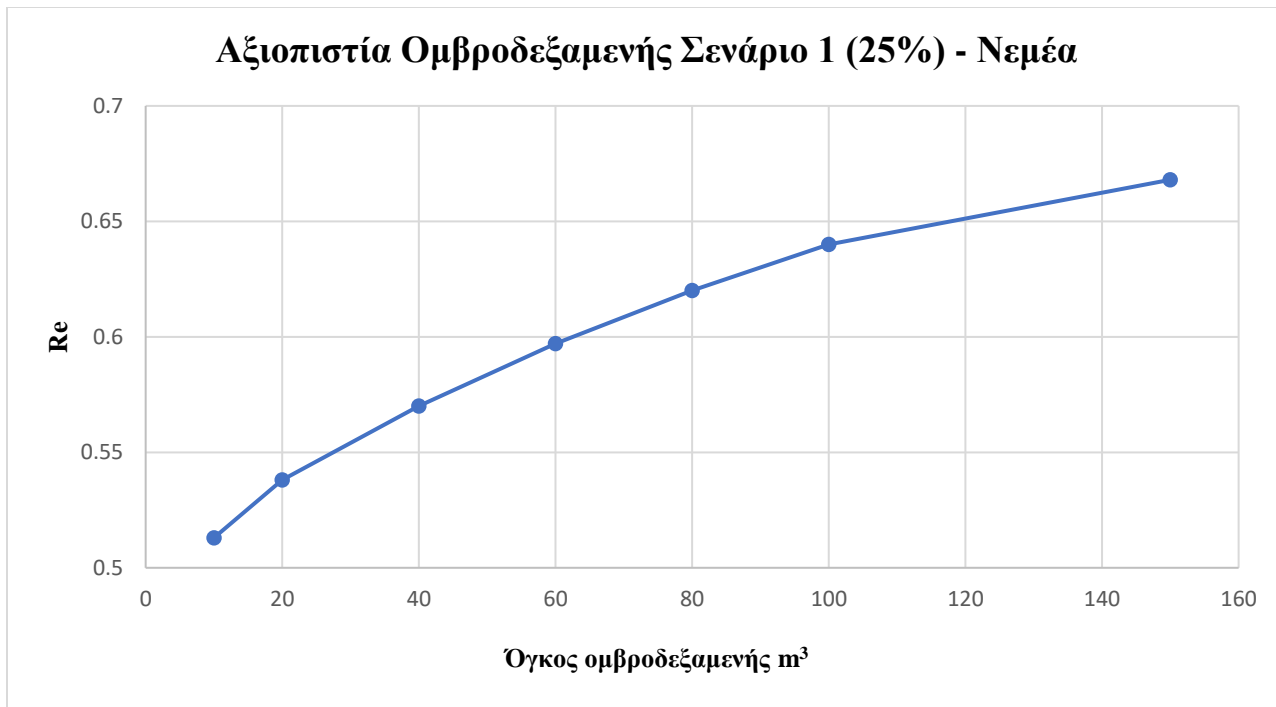
Η ανάλυση και αξιολόγηση των αποτελεσμάτων της διαστασιολόγησης της ομβροδεξαμενής, έγινε καταρχήν με κριτήριο μια μέση τιμή μεγέθους ομβροδεξαμενής. Συνήθως στον Ελλαδικό χώρο οι ομβροδεξαμενές δεν ξεπερνούν τα 500 κυβικά μέτρα , κυρίως λόγω του κόστους κατασκευής.

Επίσης, από το έτος 2021 τρέχει ένα πρόγραμμα επιδότησης το με τίτλο «Επενδύσεις σε υλικά στοιχεία του ενεργητικού» και συγκεκριμένα το «Μέτρο 4.1.2» το οποίο αποσκοπεί στην αποκατάσταση, τη διατήρηση και ενίσχυση των οικοσυστημάτων που συνδέονται με τη γεωργία με σκοπό την εξοικονόμηση ύδατος μέσω της μείωσης της ποσότητας που αντλείται από τα υπόγεια ή επιφανειακά υδατικά συστήματα. Το κόμματι της επιδότησης που αφορά τις ομβροδεξαμενές ορίζει τον επιδοτούμενο όγκο έως 500 κυβικά μέτρα. Συνεπώς, η εφαρμογή του μοντέλου βασίστηκε σε ρεαλιστικές τιμές όγκου ομβροδεξαμενής ανά στρέμμα, όπου τα αποτελέσματά τους να μπορούν να χρησιμοποιηθούν από τον αγροτικό – γεωργικό κοινό για

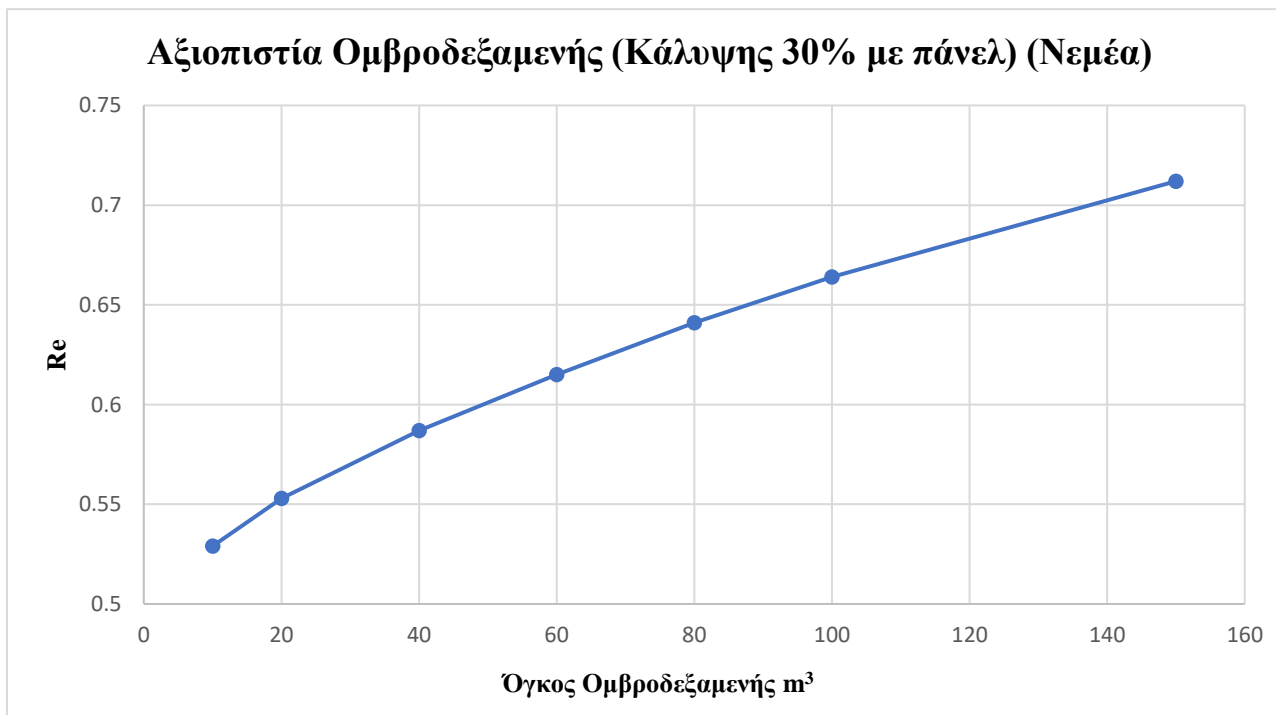
μελέτη. Στα διαγράμματα που ακολουθούν ,γίνεται ανάλυση αξιοπιστίας των διαφόρων όγκων ομβροδεξαμενής ανά στρέμμα για τρία διαφορετικά σενάρια ποσοστών κάλυψης της καλλιέργειας της αμπέλου με φωτοβολταϊκά πάνελ. Αναλυτικότερα, τα σενάρια αυτά αφορούν:

- Σενάριο 1: Κάλυψη της καλλιέργειας της αμπέλου με φωτοβολταϊκά πάνελ με ποσοστό 25% επί της συνολικής έκτασης.
- Σενάριο 2: Κάλυψη της καλλιέργειας της αμπέλου με φωτοβολταϊκά πάνελ με ποσοστό 30% επί της συνολικής έκτασης
- Σενάριο 3: Κάλυψη της καλλιέργειας της αμπέλου με φωτοβολταϊκά πάνελ με ποσοστό 50% επί της συνολικής έκτασης

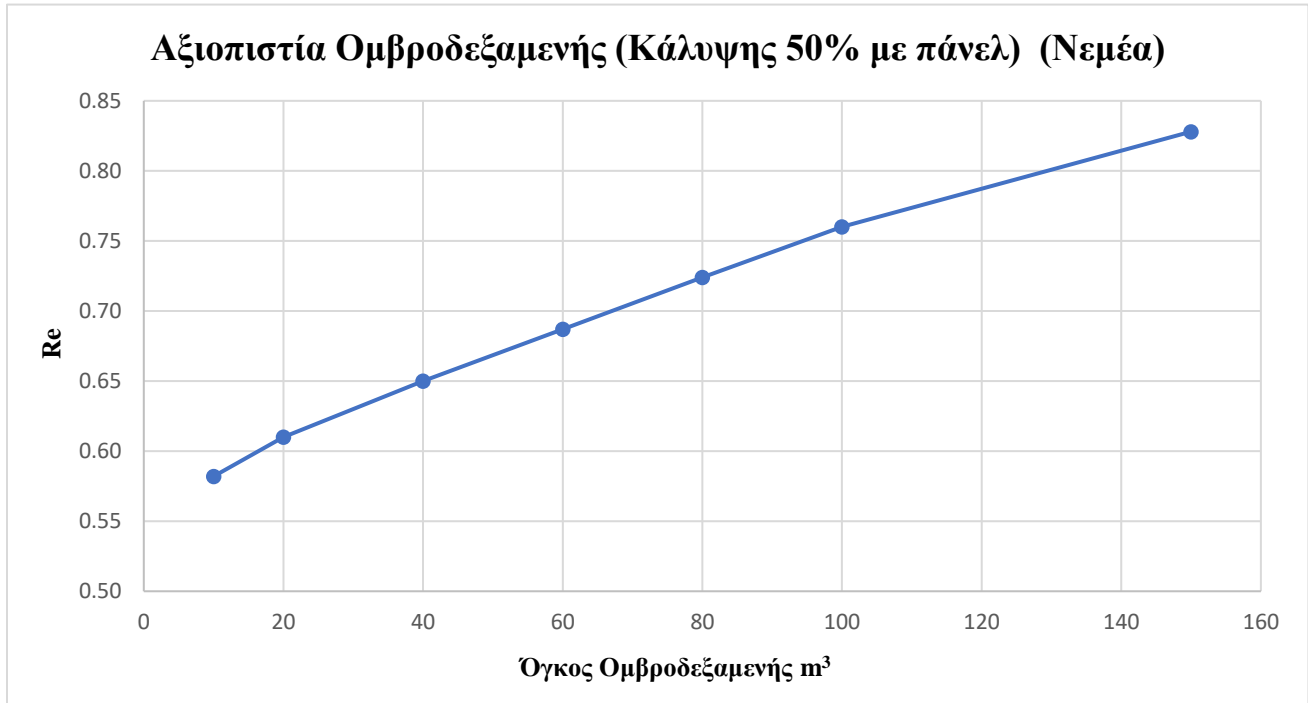
Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι η συνολική έκταση για την εφαρμογή της μεθοδολογίας έχει ορισθεί το ένα στρέμμα έτσι ώστε τα αποτελέσματα να μπορούν να αναχθούν για οποιαδήποτε έκταση σε μεταγενέστερη μελέτη. Επίσης, η ανάλυση αυτή εφαρμόζεται αρχικά για την περιοχή μελέτης και στην συνέχεια γίνεται σύγκριση με άλλες περιοχές της Ελλάδας που διαθέτουν οινολογικό ενδιαφέρον.



*Εικόνα 6.3: Ανάλυση αξιοπιστίας ομβροδεξαμενής για το πρώτο σενάριο κάλυψης για την περιοχή της Νεμέας.*

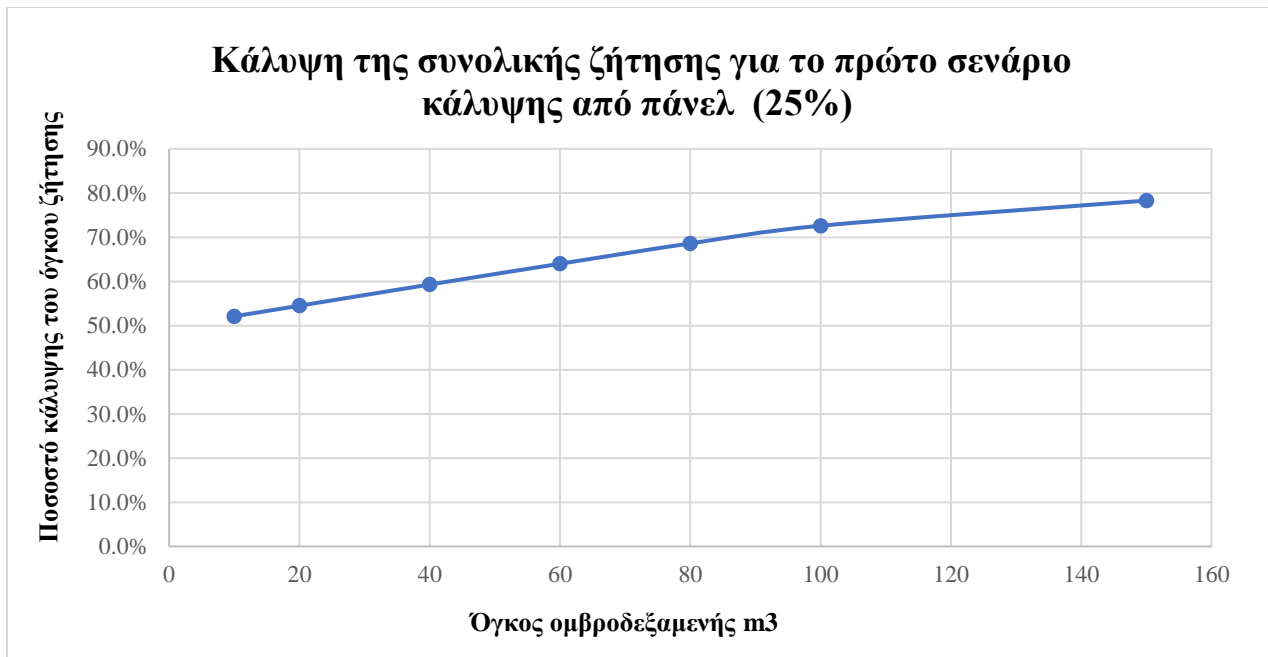


Εικόνα 6.4: Εικόνα 6.3: Ανάλυση αξιοπιστίας ομβροδεξαμενής για το δεύτερο σενάριο κάλυψης για την περιοχή της Νεμέας.

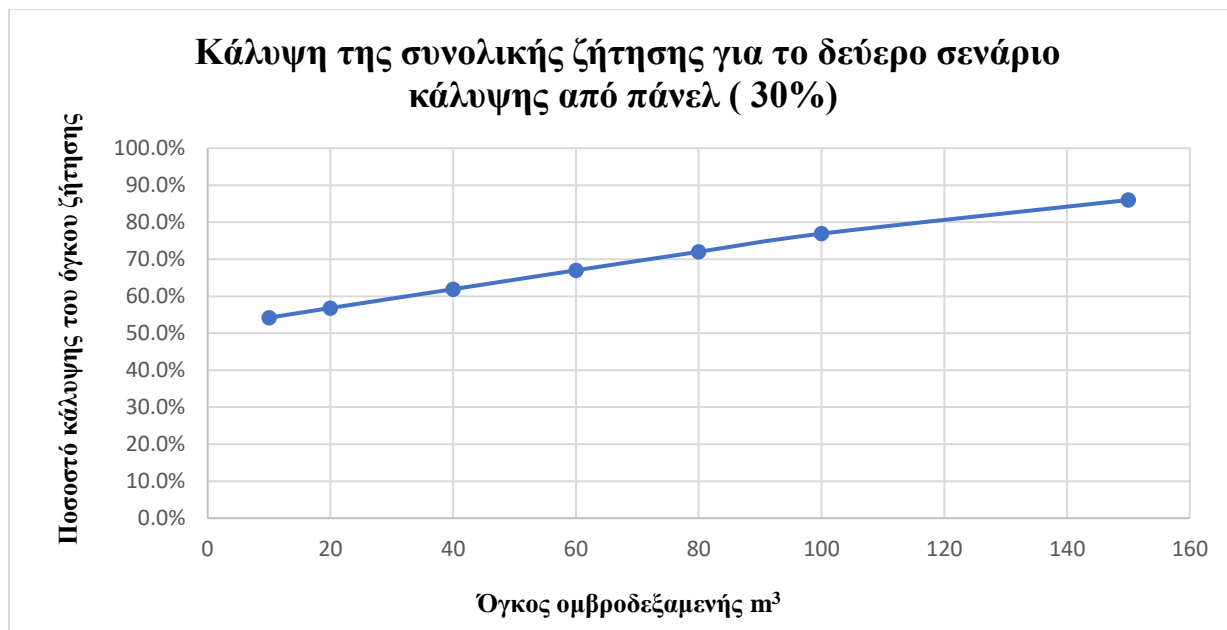


Εικόνα 6.5: Ανάλυση αξιοπιστίας ομβροδεξαμενής με ποσοστό κάλυψης 50% επί της συνολικής έκτασης του αμπελώνα για την περιοχή της Νεμέας.

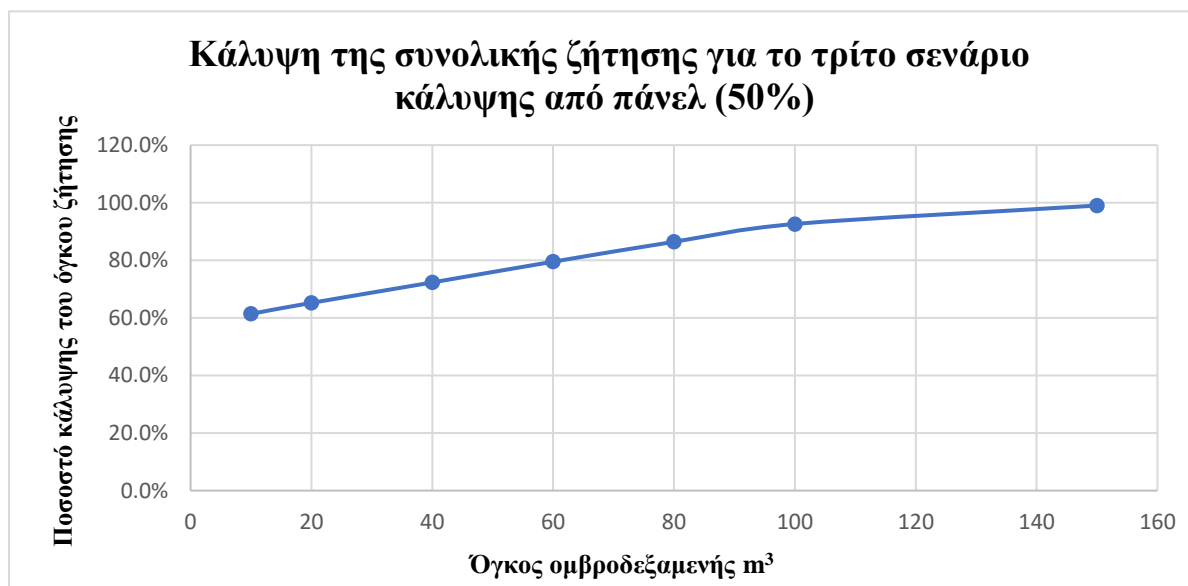
Περαιτέρω, είναι σημαντικό να αναλυθεί το ποσοστό κάλυψης της συνολικής ζήτησης του νερού προς άρδευση από την χρήση των ομβροδεξαμενών. Ομοίως με τα παραπάνω, έχουν κατασκευαστεί 3 διαγράμματα τα οποία απεικονίζουν το ποσοστό κάλυψης του νερού κατά την εφαρμογή του συγκεκριμένου μοντέλου για τους διάφορους όγκους ομβροδεξαμενών, για κάθε ένα από τα σενάρια κάλυψης με φωτοβολταϊκά. Τα διαγράμματα που εξάχθηκαν απεικονίζονται στις Εικόνες 6.6 , 6.7 και 6.8.



*Εικόνα 6.6 : Γράφημα ποσοστού κάλυψης της ζήτησης του νερού από την χρήση ομβροδεξαμενής διαφορετικού όγκου στην περίπτωση του σεναρίου της κάλυψης της καλλιέργειας από πάνελ με ποσοστό κάλυψης 25%*



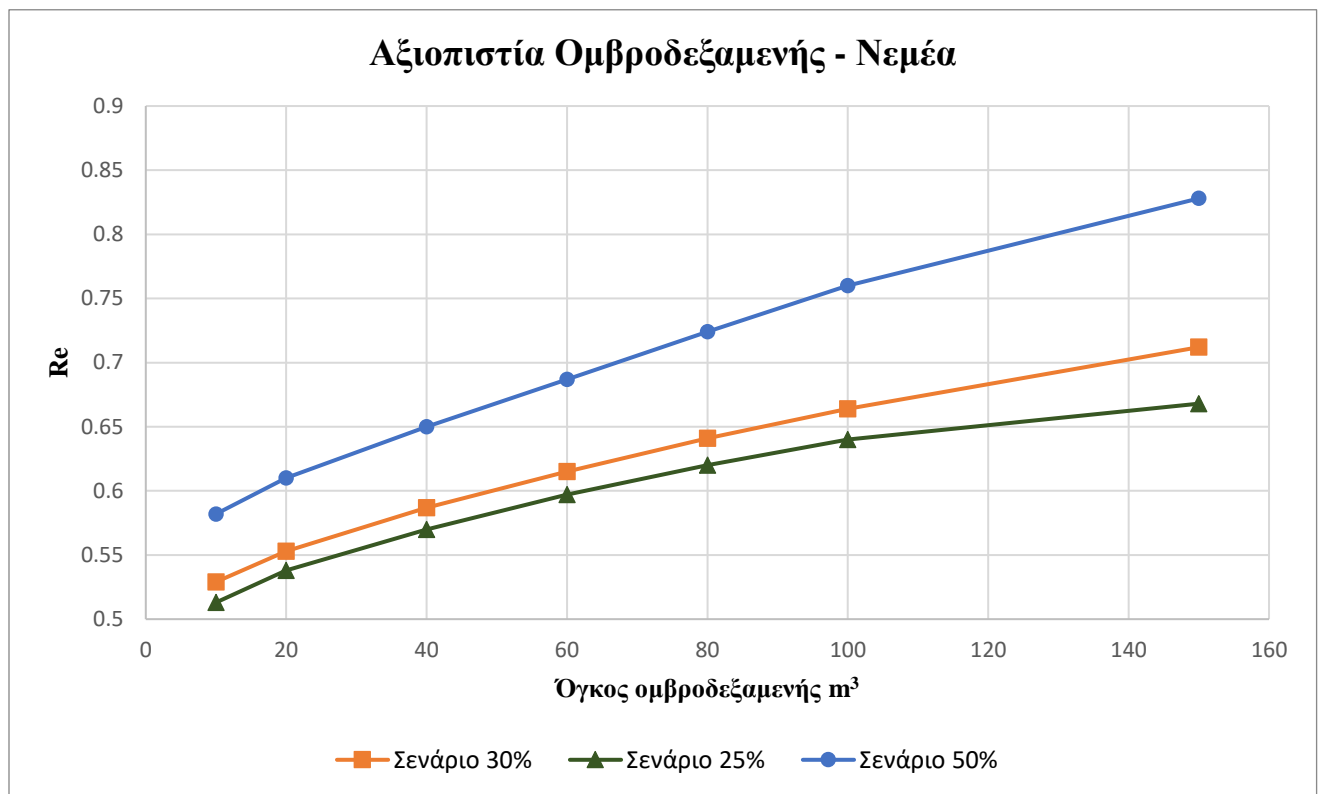
*Εικόνα 6.7 : Γράφημα ποσοστού κάλυψης της ζήτησης του νερού από την χρήση ομβροδεξαμενής διαφορετικού όγκου στην περίπτωση του σεναρίου της κάλυψης της καλλιέργειας από πάνελ με ποσοστό κάλυψης 30%*



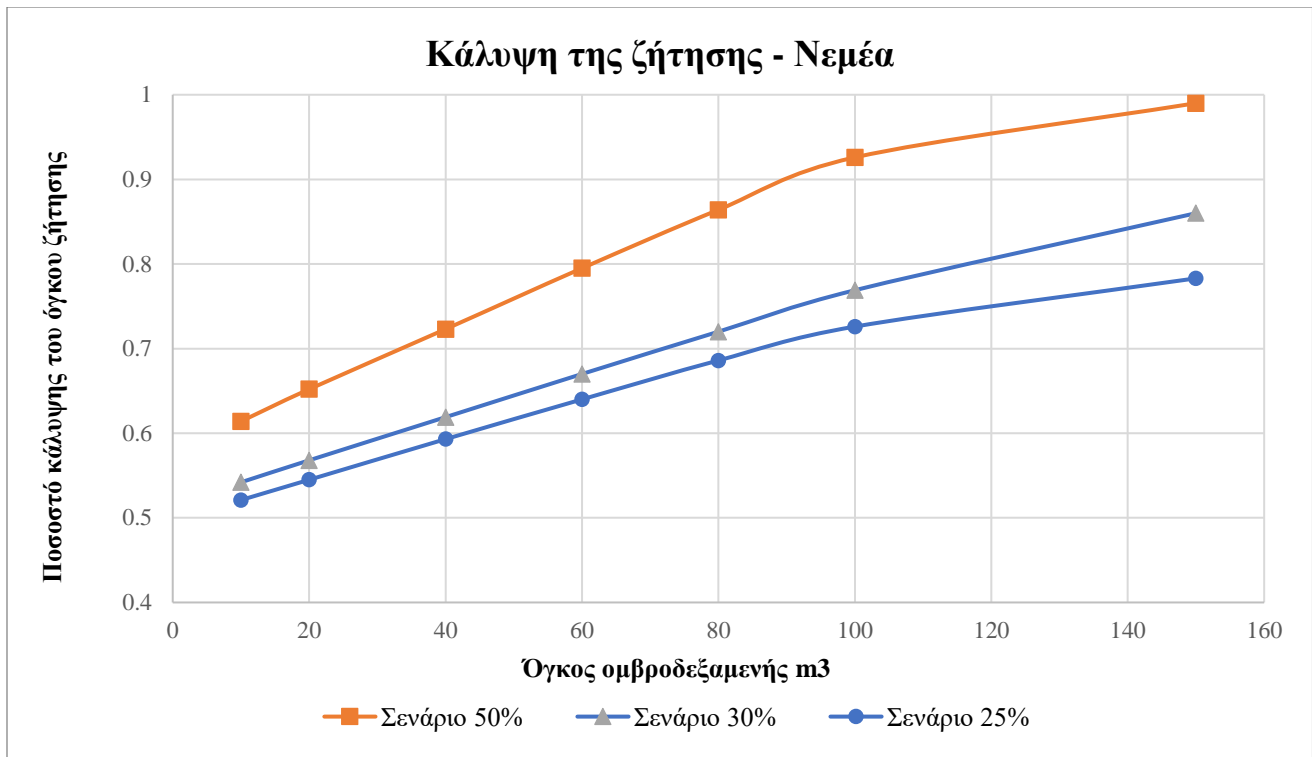
*Εικόνα 6.8 : Γράφημα ποσοστού κάλυψης της ζήτησης του νερού από την χρήση ομβροδεξαμενής διαφορετικού όγκου στην περίπτωση του σεναρίου της κάλυψης της καλλιέργειας από πάνελ με ποσοστό κάλυψης 50%*



Στα δύο γραφήματα που ακολουθούν , απεικονίζονται συγκεντρωτικά τα γραφήματα της συνολικής κάλυψης της ζήτησης αλλά και της αξιοπιστίας της ομβροδεξαμενής:

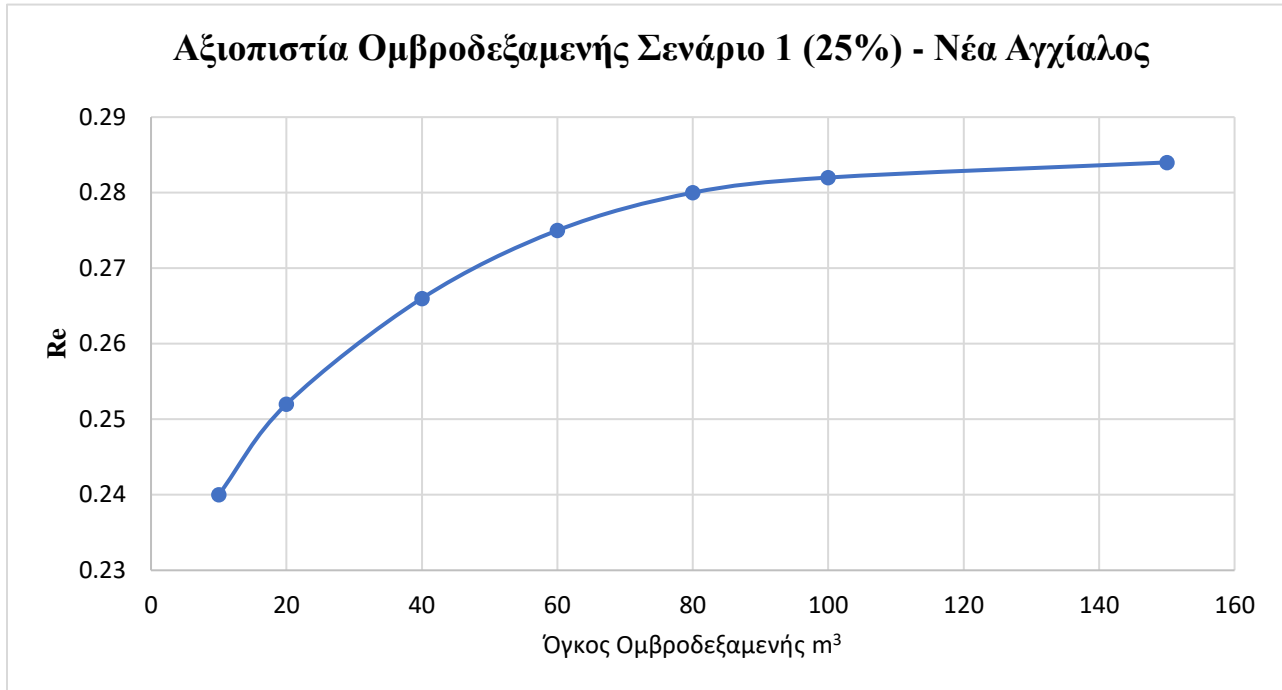


*Εικόνα 6.9 : Συγκεντρωτικό γράφημα των τριών σεναρίων για την κάλυψη της συνολικής ζήτησης για τις διάφορες τιμές όγκους ομβροδεξαμενής, για την περιοχή της Νεμέας.*

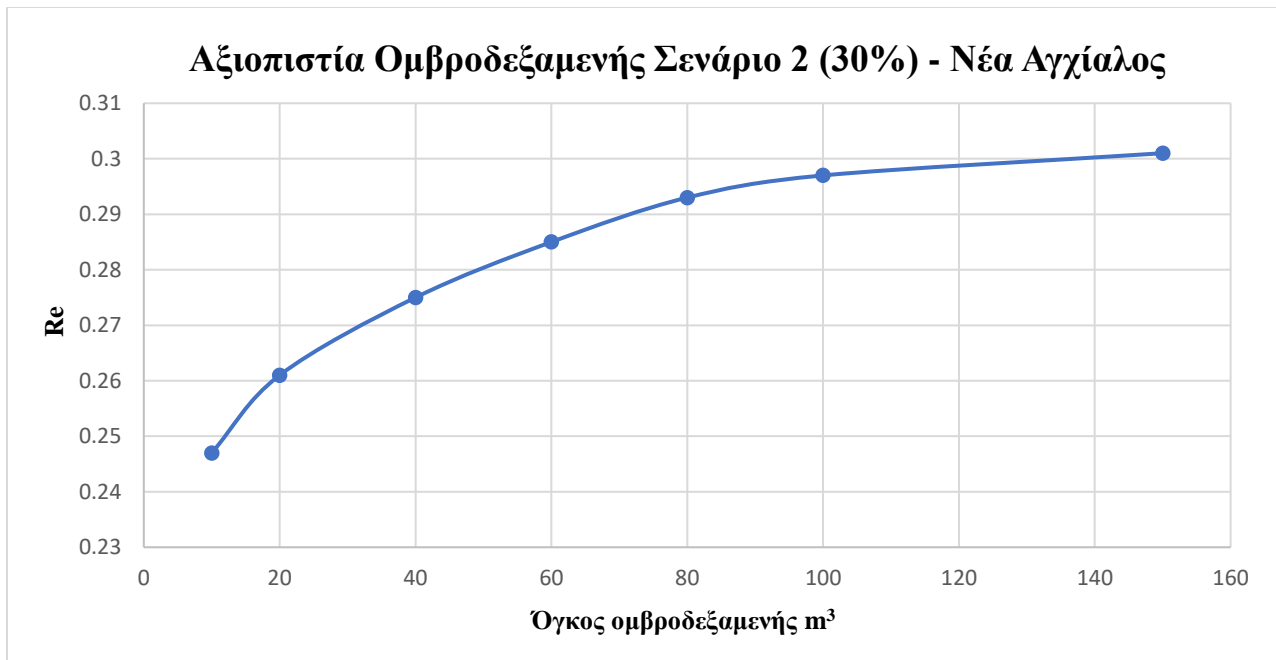


*Εικόνα 6.10: Συγκεντρωτικό γράφημα των τριών σεναρίων για την αξιοπιστία των διαφόρων τιμών όγκου ομβροδεξαμενής για την περιοχή της Νεμέας.*

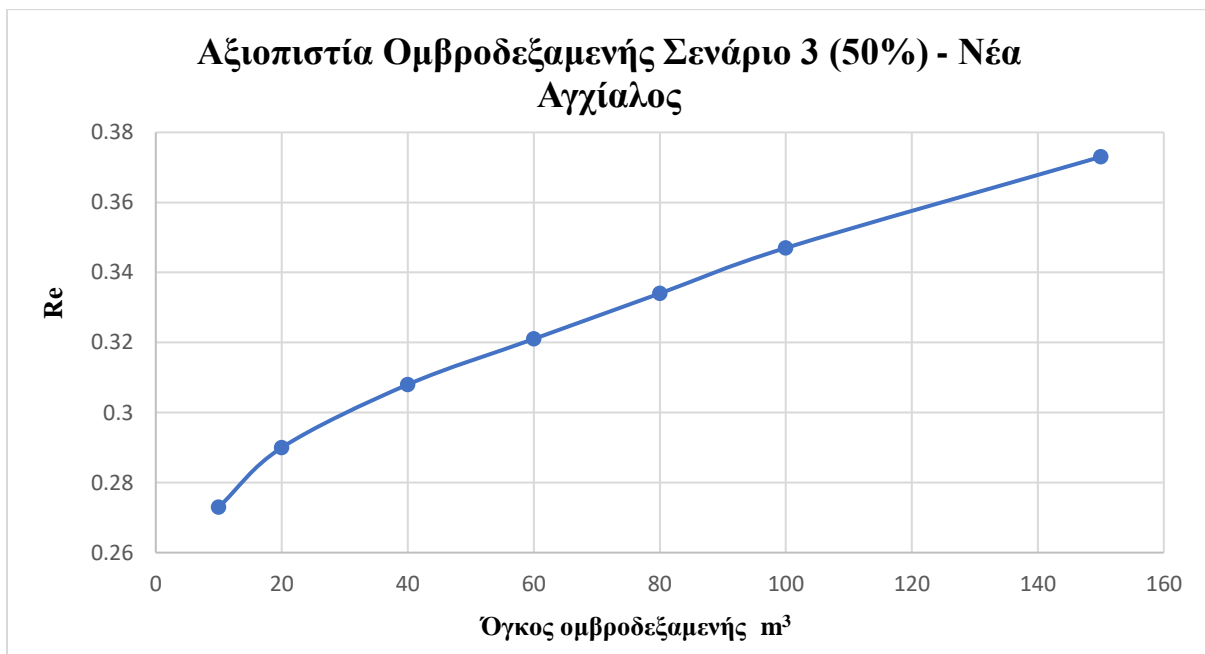
Με την ίδια ακριβώς μεθοδολογία έγινε εξαγωγή των παρακάτω διαγραμμάτων για την περιοχή της Ν. Αγχιάλου της Περιφερειακής Ενότητας Μαγνησίας.



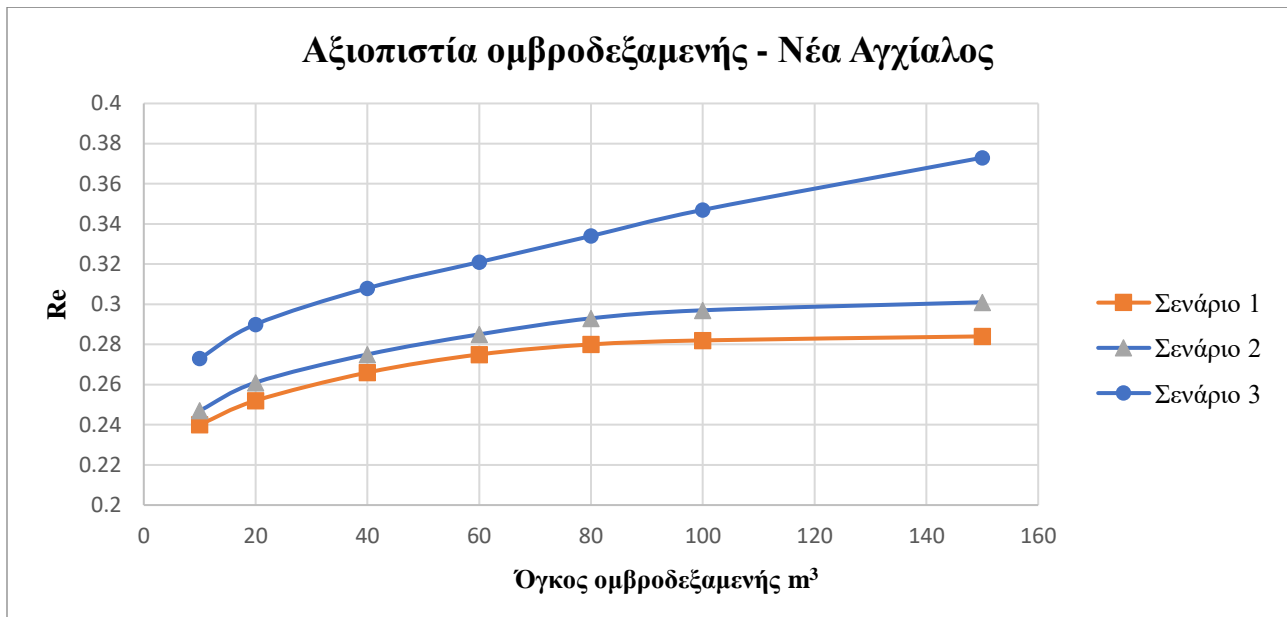
*Εικόνα 6.11 : Ανάλυση αξιοπιστίας ομβροδεξαμενής με ποσοστό κάλυψης 25% επί της συνολικής έκτασης του αμπελώνα για την περιοχή της Ν. Αγχιάλου.*



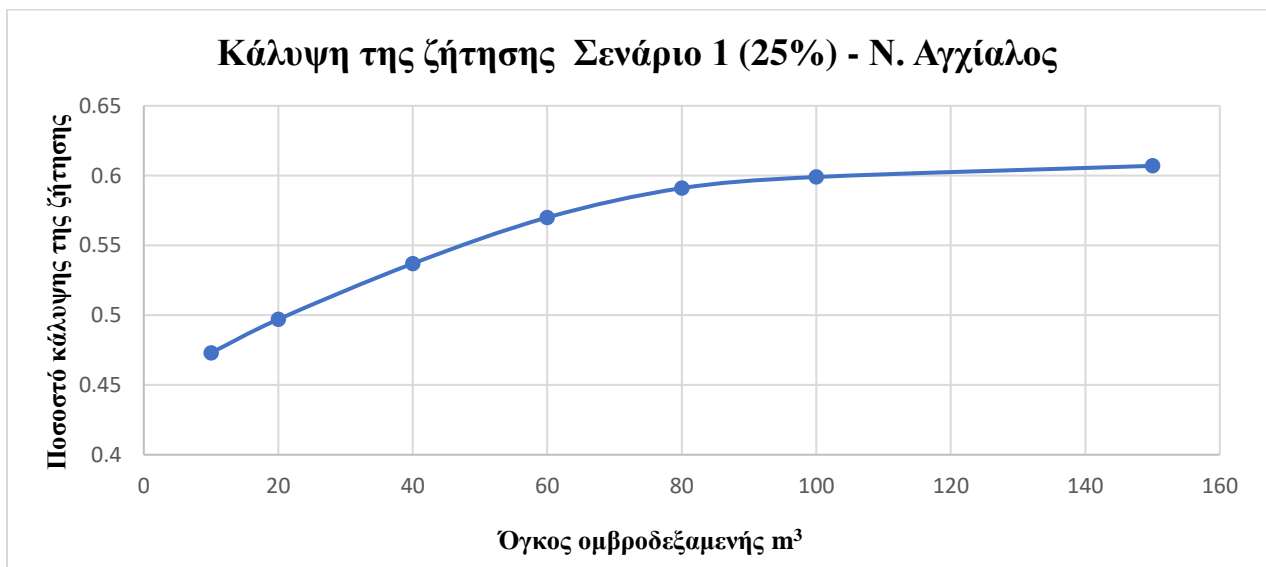
*Εικόνα 6.12 : Γράφημα ανάλυσης αξιοπιστίας ομβροδεξαμενής με ποσοστό κάλυψης 30% επί της συνολικής έκτασης του αμπελώνα για την περιοχή της Ν. Αγχιάλου.*



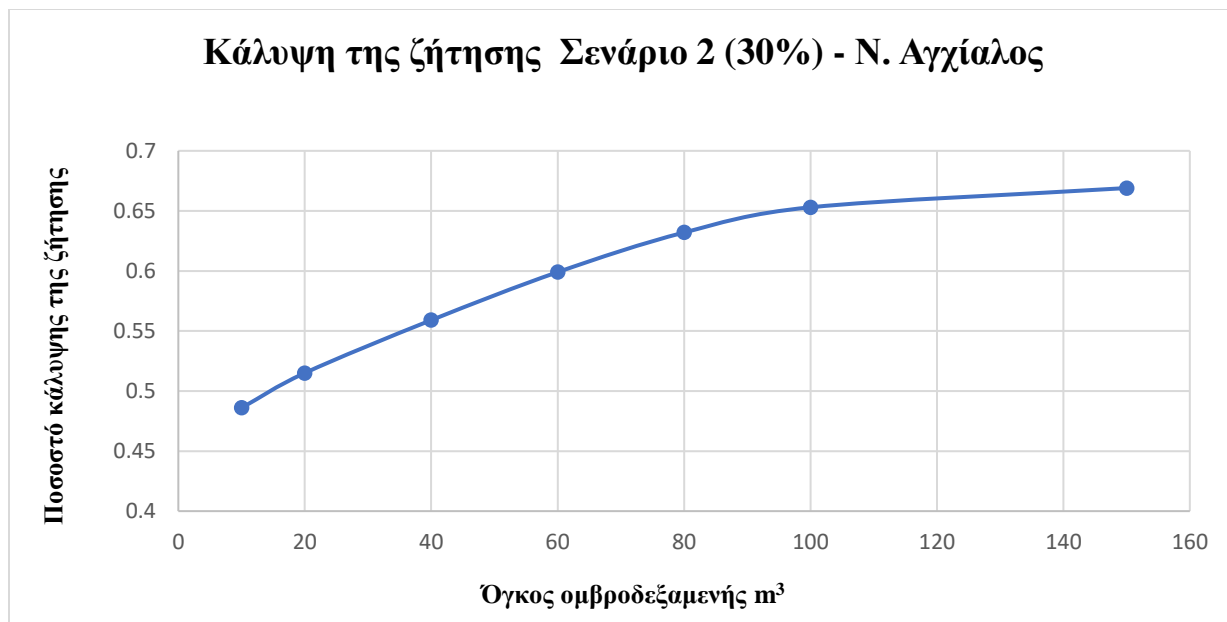
*Εικόνα 6.12 : Γράφημα ανάλυσης αξιοπιστίας ομβροδεξαμενής με ποσοστό κάλυψης 50% επί της συνολικής έκτασης του αμπελώνα για την περιοχή της Ν. Αγχιάλου.*



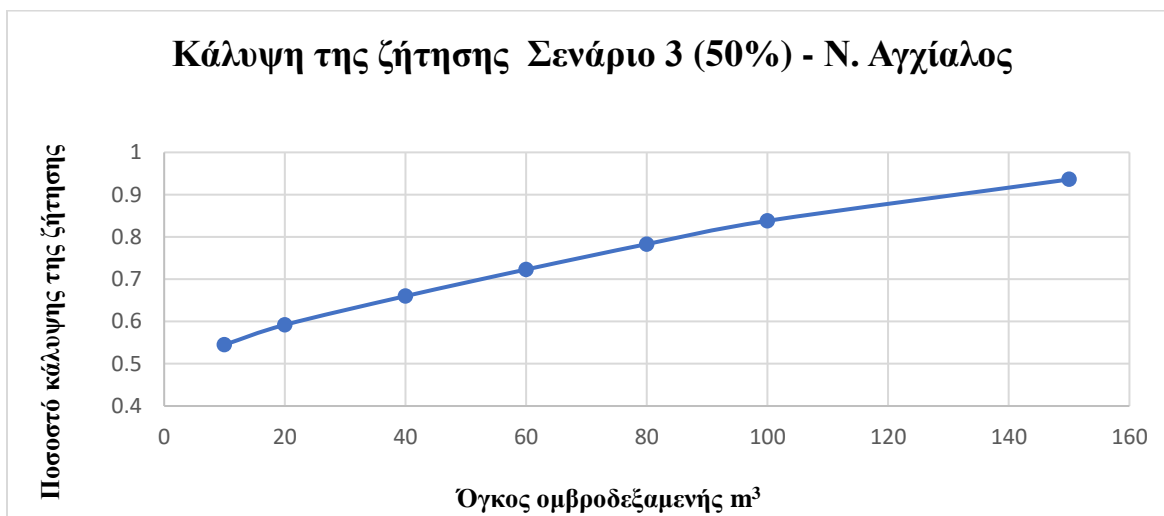
*Εικόνα 6.13 : Συγκεντρωτικό γράφημα των τριών σεναρίων για την αξιοπιστία ομβροδεξαμενής, για την περιοχή της Νέας Αγχιάλου.*



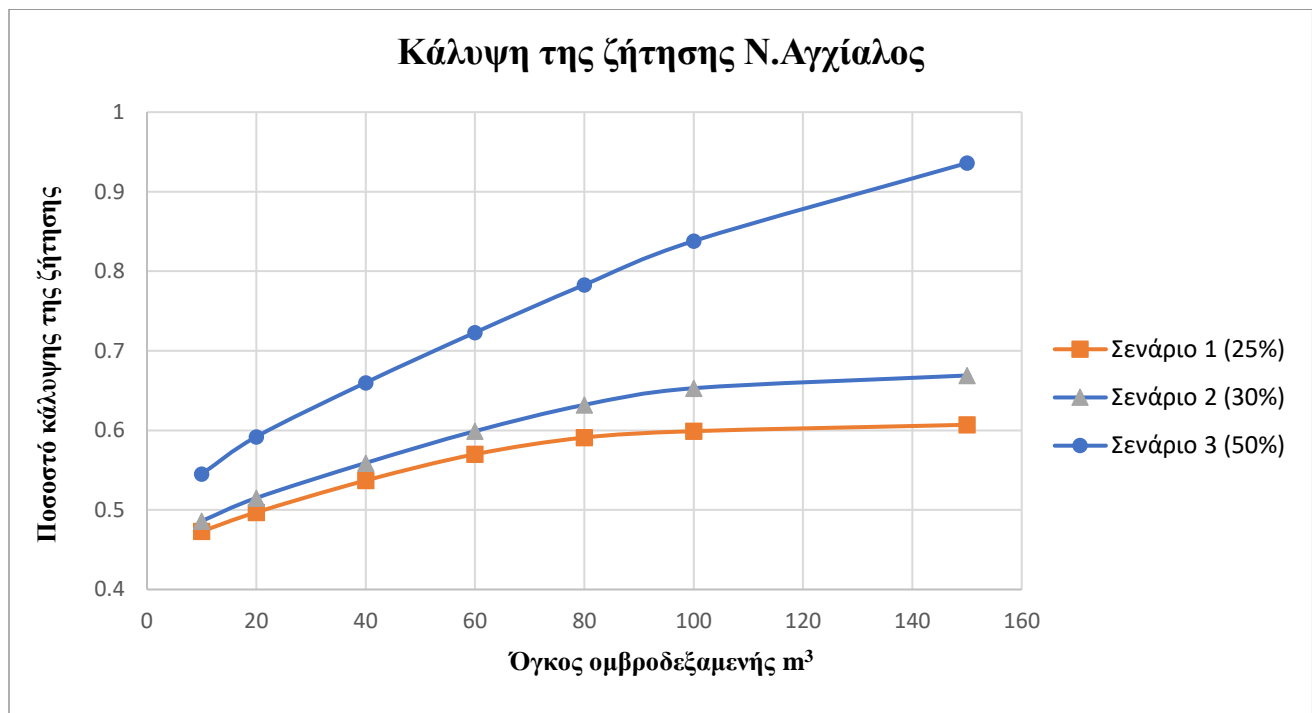
*Εικόνα 6.14 : Γράφημα ποσοστού κάλυψης της ζήτησης του νερού από την χρήση ομβροδεξαμενής διαφορετικού όγκου στην περίπτωση του σεναρίου της κάλυψης της καλλιέργειας από πάνελ με ποσοστό κάλυψης 25% για την περιοχή της Ν. Αγχιάλου.*



*Εικόνα 6.15 : Γράφημα ποσοστού κάλυψης της ζήτησης του νερού από την χρήση ομβροδεξαμενής διαφορετικού όγκου στην περίπτωση του σεναρίου της κάλυψης της καλλιέργειας από πάνελ με ποσοστό κάλυψης 30% για την περιοχή της Ν. Αγχιάλου.*



*Εικόνα 6.16 : Γράφημα ποσοστού κάλυψης της ζήτησης του νερού από την χρήση ομβροδεξαμενής διαφορετικού όγκου στην περίπτωση του σεναρίου της κάλυψης της καλλιέργειας από πάνελ με ποσοστό κάλυψης 50% για την περιοχή της Ν. Αγχιάλου.*



*Εικόνα 6.17: Συγκεντρωτικό γράφημα των τριών σεναρίων για την αξιοπιστία των διαφόρων τιμών όγκου ομβροδεξαμενής για την περιοχή της Ν. Αγχιάλου.*

Με βάση τα παραπάνω, παρατηρούμε αρχικά για την περιοχή της Νεμέας ότι η χρήση ομβροδεξαμενής για την καλλιέργεια αμπελιού και παράλληλη χρήση φωτοβολταϊκών πάνελ δίδει τα εξής αποτελέσματα για τα τρία επιμέρους σεναρία:

- i. Για το πρώτο σενάριο της κάλυψης της καλλιέργειας με φωτοβολταϊκά πάνελ με ποσοστό 25% επί της συνολικής έκτασης, η αξιοπιστία ομβροδεξαμενής για τους διάφορους όγκους που εφαρμόζεται το μοντέλο, κυμαίνεται από 51.3% έως 66.8%. Επίσης, όσον αφορά το κομμάτι της κάλυψης της ζήτησης από την χρήση ομβροδεξαμενής το ποσοστό κυμαίνεται από 52.1% έως 78.3%.
- ii. Για το δεύτερο σενάριο κάλυψης με πάνελ κατά το 30% της συνολικής έκτασης, η αξιοπιστία ομβροδεξαμενής κυμαίνεται από 52.9% έως 71.2%. Τα ποσοστά κάλυψης της ζήτησης κυμαίνονται από 54.2% έως 86%.
- iii. Για το τρίτο σενάριο κάλυψης η αξιοπιστία ομβροδεξαμενής κυμαίνεται από 58.2% έως 82.8% και η κάλυψη της ζήτησης από 61.4% έως 99%.

Όσον αφορά την περιοχή της Ν. Αγχιάλου η οποία προτάσσεται για σύγκριση με την περιοχή μελέτης τα ποσοστά έχουν ως εξής:

- i. Για το πρώτο σενάριο η αξιοπιστία ομβροδεξαμενής κυμαίνεται από 24% έως 28.4% και η κάλυψη της ζήτησης από 47.3% έως 63.7%.
- ii. Για το δεύτερο σενάριο η αξιοπιστία ομβροδεξαμενής κυμαίνεται από 24.7% έως 30.1% και η κάλυψη της ζήτησης από 48.6% έως 66.9%.
- iii. Για το τρίτο σενάριο τα ποσοστά αξιοπιστίας ομβροδεξαμενής κυμαίνονται από 27.3% έως 37.3% και τα ποσοστά κάλυψης της ζήτησης από 54.5 % έως 93.6%.

### **6.3 Ανάλυση του υδατικού αποτυπώματος από την χρήση ομβροδεξαμενών**

Το υδατικό αποτύπωμα και κυρίως το μπλε υδατικό αποτύπωμα είναι ένας από τους παράγοντες ο οποίος θα πρέπει να επισημανθεί στην παρούσα εργασία. Κατά την ολοκλήρωση του μοντέλου και λαμβάνοντας υπόψιν τις εξισώσεις 5.13 , 5.14 , 5.15 , 5.16, 5.17, 5.18 ,5.19 , εξάχθηκαν οι ημερήσιες υδατικές ανάγκες της καλλιέργειας. Η συνολική ποσότητα ύδατος η οποία πρέπει να χρησιμοποιηθεί για άρδευση σε μία καλλιέργεια αμπέλου με κάλυψη φωτοβολταϊκών κατά το 25% της συνολικής έκτασης για την περιοχή της Νεμέας, ανέρχεται σε 560mm/ έτος ή αλλιώς 560 m<sup>3</sup>/ στρέμμα. Βάσει των μετεωρολογικών συνθηκών καθώς και διαφόρων εδαφολογικών παραμέτρων του μοντέλου που σχετίζονται με την υγρασία εδάφους η τελική ζήτηση ανέρχεται σε 239,78 mm/ έτος. Με την χρήση του συστήματος ομβροδεξαμενής και για ομβροδεξαμενή χωρητικότητας 150 κυβικών, τα χιλιοστά άρδευσης τα οποία καλύπτονται είναι 148,56 mm/έτος. Συνεπώς, παρατηρείται μία εξοικονόμηση μπλε ύδατος η οποία εάν προέρχεται από υπόγειους υδάτινους πόρους οδηγεί σε μείωση καταπόνησης του υδροφόρου ορίζοντα κατά 78%. Τέλος, εάν το νερό προέρχεται από κάποιο τοπικό αρδευτικό δίκτυο η ζήτηση από το δίκτυο θα μειωθεί κατά 78%.

Όσον αφορά τη περίπτωση της Ν. Αγχιάλου ,για το ίδιο μέγεθος ομβροδεξαμενής η μείωση χρήσης του νερού από το δίκτυο ή από υπόγεια άντληση υδάτων μειώνεται κατά 54,5%. Για την περιοχή της Θεσσαλίας αυτό είναι αρκετά σημαντικό καθώς οι υπεραντλήσεις των τελευταίων ετών για την κάλυψη των υδατικών αναγκών του κάμπου, οδήγησαν σε μεγάλη πτώση της στάθμης του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα με αποτέλεσμα τα υπόγεια ύδατα να γίνουν



υφάλμυρα. Άρα, μία μείωση της τάξης του 54.5% είναι ζωτικής σημασίας για την επαναφορά του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα στην περιοχή.

#### ***6.4 Ανάλυση του ενεργειακού οφέλους από την χρήση φωτοβολταϊκών πάνελ σε αμπελώνα.***

Για την μελέτη του ενεργειακού αποτυπώματος από παράλληλη χρήση καλλιέργειας αμπελιού και πάνελ, δημιουργήθηκαν και αναλύθηκαν τα παραπάνω τρία σενάρια αναλόγως με την κάλυψη της γεωργικής έκτασης. Τα τρία σενάρια όπως αναφέρθηκαν και παραπάνω, αφορούσαν τη κάλυψη του αμπελώνα ως προς το σύνολο της εκμεταλλεύσιμης γης, για ποσοστά 25% 30% και 50%. Τα αποτελέσματα του μοντέλου εξάχθηκαν για την περιοχή της Νεμέας και είναι τα εξής:

- Σενάριο 1 (25%) : Για κάλυψη του αμπελώνα με φωτοβολταϊκά πάνελ κατά το 25% της συνολικής γεωργικής έκτασης, το ποσόν της ενέργειας που μπορεί να παραχθεί από μονοκρυσταλλικού τύπου πάνελ ονομαστικής ισχύος 400 W ,ανέρχεται σε 12000 KWh ή 12 MWh / έτος/ στρέμμα.
- Σενάριο 2 (30%) : Για κάλυψη του αμπελώνα με φωτοβολταϊκά πάνελ κατά το 30% της συνολικής γεωργικής έκτασης, το ποσόν της ενέργειας που μπορεί να παραχθεί από μονοκρυσταλλικού τύπου πάνελ ονομαστικής ισχύος 400 W ανέρχεται σε 14400 KWh ή 14.4 MWh / έτος/ στρέμμα
- Σενάριο 3 (50%) : Για κάλυψη του αμπελώνα με φωτοβολταϊκά πάνελ κατά το 50% της συνολικής γεωργικής έκτασης, το ποσόν της ενέργειας που μπορεί να παραχθεί από μονοκρυσταλλικού τύπου πάνελ ονομαστικής ισχύος 400 W ,ανέρχεται σε 24000 KWh ή 24MWh / έτος

(m2)	300	<b>Panel Area (m2)</b>	<b>Clean Panel Area (m2)</b>	<b>Space index</b>
Count	24	300	37.40496	0.125
	<b>1 Panel m2</b>	<b>Energy per Panel /year (KWh)</b>	<b>Total Energy (Kwh)</b>	
	1.55854	600	14400	
(m2)	250	<b>Panel Area (m2)</b>	<b>Clean Panel Area (m2)</b>	
Count	20	250	31.1708	
		<b>Energy per Panel /year (KWh)</b>	<b>Total Energy (Kwh)</b>	
		600	12000	
(m2)	500	<b>Panel Area (m2)</b>	<b>Clean Panel Area (m2)</b>	
Count	40	500	62.3416	
		<b>Energy per Panel /year (KWh)</b>	<b>Total Energy (Kwh)</b>	
		600	24000	

*Εικόνα 6.18:* Πίνακες υπολογισμού της παραγόμενης ενέργειας από τα πάνελ για την περιοχή της Νεμέας

Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα του μοντέλου για την παραγωγή των πάνελ στην περιοχή της Νέας Αγχιάλου και με βάση τον χάρτη ετήσιας παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από φωτοβολταϊκά θα παρατηρηθεί μία μικρή μείωση στην παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας κυρίως λόγω της ετήσιας ηλιοφάνειας της περιοχής, αλλά και των γεωγραφικών και κλιματολογικών παραγόντων γενικότερα.

Βάσει των παραπάνω η παραγόμενη ενέργεια έχει σημαντική αξία καθώς ένα μέρος αυτής μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τις ενεργειακές ανάγκες του αμπελώνα αλλά και το μεγαλύτερο μέρος αυτής, μπορεί να αποθηκευτεί σε συσσωρευτές και το παραχθέν ηλεκτρικό ρεύμα να χρησιμοποιηθεί για εμπορικούς σκοπούς στο τοπικό ηλεκτροδοτικό δίκτυο.

Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της παραγόμενης πράσινης ενέργειας σε τοπικό αλλά και σε εθνικό επίπεδο το οποίο οδηγεί στην μετάβαση από την καύση λιγνίτη σε παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με περισσότερο οικολογικούς τρόπους – στόχος ο οποίος πρέπει να επιτευχθεί βάσει οδηγίας της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

## **6.5 Ανάλυση του συνδυαστικού μοντέλου για την περίπτωση των αγροβολταϊκών**

Στην περίπτωση των αγροβολταϊκών, όπως αναφέρθηκε παραπάνω η απόδοση της καλλιέργειας θα είναι σαφώς αρκετά μειωμένη λόγω της σκίασης των φυτών από τα φωτοβολταϊκά πάνελ. Αυτό βέβαια μεταβάλλεται αναλόγως τον τύπο στήριξης αλλά και το είδος των πάνελ. Έτσι, εάν υποθέσουμε ότι η καλλιέργεια της αμπέλου είναι καθ' όλη την έκταση της σε αγροβολταϊκό σύστημα η συλλογή όμβριων υδάτων θα είναι σαφώς μεγαλύτερη, γεγονός το οποίο σχεδόν εκμηδενίζει τις υδατικές απαιτήσεις τις καλλιέργειας. Περαιτέρω, θα αυξηθεί η παραγωγή ενέργειας καθώς θα υπάρχουν περισσότερα πάνελ ανά στρέμμα καλλιέργειας.

Συνεπώς, αρχικά όσον αφορά το μπλε υδατικό αποτύπωμα μια τέτοια περίπτωση αγροβολταϊκών θα συντελούσε στην περαιτέρω εξυγίανση των υπογείων υδάτων από την κάλυψη των υδατικών αναγκών μέσω της ομβροδεξαμενής. Δεύτερον, όσον αφορά τον ενεργειακό παράγοντα του συστήματος, όπως προαναφέρθηκε πραγματοποιείται αύξηση της παραγόμενης πράσινης ηλεκτρικής ενέργειας και ενεργειακή αυτονομία για τις εργασίες του αμπελώνα. Τέλος, το μειονέκτημα του παραπάνω συστήματος είναι η μείωση της απόδοσης της καλλιέργειας της αμπέλου καθώς η σκίαση επηρεάζει την παραγωγή η οποία μπορεί να μειωθεί και πάνω από 50% (Κατερίνα Ρωξάνη Διπλωματική Εργασία με τίτλο : «Προοπτικές ανάπτυξης αγροβολταϊκών συστημάτων και ανάλυση των αλληλεπιδράσεών τους με το πλέγμα νερού-τροφής-ενέργειας», 2022)

## **6.6 Οικονομική ανάλυση**

Όπως προαναφέρθηκε μία καλλιέργεια μέσης ποιότητας κρασοστάφυλων μπορεί να δώσει στον παραγωγό απόδοση από 3 έως 4 τόνους ανά στρέμμα. Αυτό σημαίνει ότι με μία τυπική απόδοση κρασιού της τάξης του 45 έως 60% μπορεί να παράξει από 1,3 έως 2.3 τόνους κρασιού. Εάν υποθέσουμε μία μέση τιμή χονδρικής πώλησης 0.4 ευρώ / Kg, τα έσοδα του παραγωγού ανά στρέμμα κυμαίνονται από 500 έως 960 ευρώ ανά στρέμμα. Το ποσό αυτό, αφορά τα μεικτά έσοδα του παραγωγού καθώς για να φτάσει η καλλιέργεια στο τελικό στάδιο πώλησης του προϊόντος, έχουν ξοδευτεί χρήματα τα οποία αντιστοιχούν στα λειτουργικά κόστη όπως τα εργατικά, τα φάρμακα, οι καλλιεργητικές τεχνικές το νερό κ.α.

Όσον αφορά το νερό για άρδευση, η ανάπτυξη του παραπάνω συστήματος καλλιέργειας προσφέρει εξοικονόμηση ύδατος προς άρδευση με την χρήση ομβροδεξαμενής. Εφόσον μπορεί

να επιτευχθεί έως και 90% κάλυψη της ζήτησης από την χρήση της ομβροδεξαμενής αυτό σημαίνει ότι το κόστος που χρειάζεται για την κάλυψη της άρδευσης σχεδόν μειώνεται σημαντικά και βάσει των αποτελεσμάτων από 30% έως 93%. Έτσι, ένα υποθέσουμε μία τιμή πώλησης του γεωργικού νερού σύμφωνα με τον Τ.Ο.Ε.Β. στα 15 ευρώ ανά στρέμμα, τα έξοδα του νερού μπορούν να μειωθούν σημαντικά.

Τέλος, όσον αφορά την χρήση φωτοβολταϊκών πάνελ θα πρέπει να ληφθεί υπόψιν το αρχικό επενδυτικό κόστος το οποίο ποικίλει αναλόγως την ποιότητα και των αριθμό των πάνελ. Επίσης, είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι για γεωργική χρήση, η μέγιστη επιτρεπόμενη ισχύς σύμφωνα με το ΦΕΚ 5342/Β/17-10-2022 , αναλόγως την περιφερειακή ενότητα καθορίζεται από 1 έως 2MW. Περαιτέρω βάσει του ίδιου ΦΕΚ η μέγιστη επιτρεπόμενη κάλυψη με πάνελ ανέρχεται στο 50% της συνολικής γεωργικής έκτασης. Άρα, εκτός του μηνιαίου παγίου για την αποπληρωμή του επενδυτικού δανείου εγκατάστασης των πάνελ, τα έσοδα τα οποία μπορούν να προκύψουν από ένα φωτοβολταϊκό πάρκο ισχύος 500KW μπορούν να φτάσουν σε βάθος χρόνου έως 65000 ευρώ τον χρόνο. Συνεπώς, για έναν παραγωγό ο οποίος θέλει μακροχρόνια να αυξήσει τα έσοδά του και μπορεί να εισέλθει σε κάποιο επενδυτικό πρόγραμμα με δανειοδότηση και περίπου σε 5 χρόνια αναλόγως το πακέτο δανειοδότησης να αρχίσει να βγάζει ένα σημαντικό κέρδος σε σχέση με την συμβατική καλλιέργεια αμπελιού.

Άρα, η εγκατάσταση μίας τέτοιας τεχνολογίας παρόλο που μπορεί να έχει ακριβό επενδυτικό κόστος, σε βάθος χρόνου η απόσβεση μπορεί να γίνει αρκετά γρήγορα καθώς εάν για ένα στρέμμα καλλιέργειας μπορούν να παραχθούν 24 MW, δηλαδή περίπου 1000 ευρώ κέρδος και ταυτόχρονα μία τυπική απολαβή κερδών από 1 στρέμμα αμπελώνα έως 3000 ευρώ ανά στρέμμα μπορεί να συνεισφέρει σε μακροχρόνια αύξηση κερδών κατά 30%.

## ***7 Γενικά συμπεράσματα – Προτάσεις***

Στο πλαίσιο της παρούσας μελέτης, πραγματοποιήθηκε αξιολόγηση και ανάλυση του υδατικού και ενεργειακού αποτυπώματος σε αμπελώνες με την χρήση πράσινων τεχνολογιών. Η τεχνολογίες αυτές αφορούσαν την παράλληλη χρήση φωτοβολταϊκών πάνελ για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας αλλά και την χρήση ομβροδεξαμενών οι οποίες συλλέγουν το νερό από τις επιφάνειες των πάνελ, για την κάλυψη των υδατικών αναγκών της καλλιέργειας. Για τον σκοπό αυτό αναπτύχθηκε ένα μοντέλο ημερήσιου υδατικού ισοζυγίου με δεδομένα εισόδου τις ημερήσιες τιμές βροχόπτωσης και εξατμισοδιαπνοής

Στην συνέχεια δημιουργήθηκαν 3 σενάρια για δύο περιοχές έντονου οινολογικού ενδιαφέροντος. Το μοντέλο εφαρμόστηκε αρχικά για την περιοχή της Νεμέας και στην συνέχεια για την περιοχή της Ν. Αγχιάλου με σκοπό την σύγκριση των αποτελεσμάτων των δύο περιοχών. Τα σενάρια αυτά αφορούσαν την διαφορετική χρήση γης με φωτοβολταϊκά πάνελ. Η κάλυψη των πάνελ μελετήθηκε για ποσοστά 25% , 30% και 50%.

Με βάση την αξιολόγηση των βροχομετρικών δεδομένων των δύο περιοχών, για τα τρία σενάρια και για τις διάφορες περιπτώσεις σχέσης όγκου ομβροδεξαμενής και αξιοπιστίας, αποδείχθηκε ότι όσο αυξάνεται ο όγκος της ομβροδεξαμενής, τόσο πιο εύκολα επιτυγχάνεται μεγάλο ποσοστό κάλυψης της ζήτησης το οποίο σημαίνει και μεγαλύτερο συντελεστή αξιοπιστίας της ομβροδεξαμενής. Επίσης, όσο μεγαλύτερη είναι επιφάνεια των πάνελ αυξάνεται η κάλυψη της ζήτησης η οποία μπορεί να πάρει τιμές από 52% έως 99% για την περίπτωση της κάλυψης της καλλιέργειας με πάνελ κατά 50%. Επίσης, σαφώς και θα υπάρχει μεγαλύτερη παραγωγή ενέργειας.

Περαιτέρω κατά την σύγκριση των δύο περιοχών παρατηρείται ότι στην Νεμέα η αξιοπιστία της ομβροδεξαμενής είναι έντονα μεγαλύτερη από την αξιοπιστία που δίνει το μοντέλο για την περιοχή της Νέας Αγχιάλου. Το ίδιο συμβαίνει και στα ποσοστά κάλυψης της ζήτησης. Αυτό βέβαια οφείλεται στις κλιματολογικές συνθήκες της κάθε περιοχής, στην διαφορετική μέση ετήσια βροχόπτωση αλλά και στην ανισοκατανομή των βροχοπτώσεων μέσα στο έτος. Στην περιοχή της Νέας Αγχιάλου η μέση ετήσια βροχόπτωση είναι περίπου 480 mm ενώ στην περιοχή της Νεμέας περίπου 670 mm. Η διαφορά αυτή δικαιολογεί και τα ποσοστά αξιοπιστίας ομβροδεξαμενής αλλά και κάλυψης της ζήτησης των δύο περιοχών όχι μόνο για το γεγονός ότι

στην Νέα Αγχιάλο βρέχει λιγότερο, αλλά επειδή υπάρχει μεγάλη ανισοκατανομή των βροχοπτώσεων στο έτος με πολύ ξηρά καλοκαίρια καθώς και μεγάλες άνομβροι περίοδοι.

Όσον αφορά στο μπλε υδατικό αποτύπωμα της καλλιέργειας της αμπέλου, σχεδόν εκμηδενίζεται καθώς το νερό που χρησιμοποιείται για άρδευση παρέχεται σχεδόν εξ ολοκλήρου από την ομβροδεξαμενή. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την μείωση της καταπόνησης των υπογείων υδάτων τους θερινούς μήνες όπου υπάρχει υψηλή ζήτηση. Επομένως, θα μπορούσε να είναι και ένας τρόπος αντιμετώπισης της υφαλμύρινσης των υπογείων υδάτων και επαναφοράς της φυσιολογικής στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα όπως στην περίπτωση της Νέας Αγχιάλου που ανήκει στον Θεσσαλικό κάμπο ο οποίος χαρακτηρίζεται από υφαλμύριση των υπογείων υδάτων της περιοχής.

Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τα φωτοβολταϊκά πάνελ μπορεί να βοηθήσει στην βιωσιμότητα της γεωργίας καθώς μπορούν να παραχθούν από 12 MWh έως 24 MWh. Αυτό μπορεί να προωθήσει την ανάπτυξη τέτοιων τεχνολογιών με σκοπό την παραγωγή πράσινης ενέργειας και σε εθνικό επίπεδο την υπερεπίτευξη του στόχου που έχει θέση η Ευρωπαϊκή Ένωση για την Ελλάδα όσον αφορά την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τεχνολογίες ΑΠΕ.( να συγκρίνω με κέρδη από κρασί ).

Τέλος, το βασικό οικονομικό συμπέρασμα την παρούσας μελέτης είναι ότι η ανάπτυξη μιας τέτοιου είδους τεχνολογία, έχει προοπτική για αύξηση των γεωργικών εσόδων καθώς μία παραγωγή έως 24 MW σε συνδυασμό με την εξοικονόμηση νερού αλλά και μια τυπική τιμή απόδοσης της καλλιέργειας, μπορεί να αυξήσει τα γεωργικά ετήσια έσοδα ενός παραγωγού έως 30% και να δώσει περεταίρω γεωργική ανάπτυξη σε επίπεδο περιφέρειας.

Σε συνέχεια της παρούσας μελέτης προτείνεται:

- Εκτεταμένη οικονομοτεχνική μελέτη του συστήματος φωτοβολταϊκών – ομβροδεξαμενής – καλλιέργειας, καθώς θεωρείται ότι μπορεί να εξοικονομήσει μεγάλες ποσότητες χρημάτων από τους παραγωγούς με την χρήση των προαναφερθέντων τεχνολογιών.
- Εκτεταμένη μελέτη του συστήματος αγροβολταϊκών και ανάλυση των αποτελεσμάτων
- Χρήση διαφορετικών τεχνολογιών φωτοβολταϊκών με σκοπό την αύξηση της παραγωγής ενέργειας
- Μελέτη και εφαρμογή του μοντέλου της παρούσας εργασίας με άλλο είδος καλλιέργειας.
- Σύγκριση των αποτελεσμάτων και με άλλες περιοχές της Ελλάδας.

- Μελέτη και εφαρμογή του μοντέλου για άλλο τύπο καλλιέργειας.

## ***Βιβλιογραφία***

1. Αντωνόπουλος, 2001 Ποιότητα και Ρύπανση Υπόγειων Νερών, Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη, σελ. 355.
2. Έρευνα Αμπελουργικών καλλιεργειών, ΕΛΣΤΑΤ, Δελτίο τύπου, 2013
3. Ζ. Παπαζαφειρίου, Οι ανάγκες σε νερό των καλλιεργειών, Εκδόσεις Ζήτη, Δεκέμβριος 1999, Θεσσαλονίκη
4. Θεοτοκάτος Νικόλαος, Διερεύνηση του μεγέθους ομβροδεξαμενών για αρδευτική χρήση σε καλλιέργεια καλλωπιστικών υπό κάλυψη, Πτυχιακή Εργασία, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Αθήνα 2021.
5. Λόντρα Π., 2014. Διαστασιολόγηση δεξαμενών όμβριων υδάτων στην Ελλάδα για αστική χρήση. Μεταπτυχιακή Εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, 2014.
6. Μακρογιάννης, Γ. και Σαχσαμάνογλου, 2004 Γενική Μετεωρολογία, Εκδόσεις ΧΑΡΙΣ Ε.Π.Ε, Θεσσαλονίκη, 2004.
7. Μανόλης Ν. Σταυρακάκης, 2013 Αμπελουργία, Εκδόσεις Τροπή
8. Μωραΐτης Γεώργιος, Το υδατικό αποτύπωμα του αμπελιού στην Ελλάδα, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Πολυτεχνική Σχολή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Βόλος 2015.
9. Παπαγιάννη Ε., 2015. Διερεύνηση της αποδοτικότητας ομβροδεξαμενών σε νησιά του Αιγαίου. Μεταπτυχιακή Εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, 2015.
10. Παρασκευόπουλος Α. (2016) ΥΠΑΙΘΡΟΣ ΧΩΡΑ ΕΦΗΜΕΡΙΔΑ, ΔΑΟΚ Τριφυλίας
11. Ρωξάνη Κατερίνα, Προοπτικές ανάπτυξης αγροβολταϊκών συστημάτων και ανάλυση των αλληλεπιδράσεών τους με το πλέγμα νερού-τροφής-ενέργειας, Διπλωματική Εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, 2022
12. ΥΠΕΧΩΔΕ, ΕΜΠ, 2008. Εθνικό πρόγραμμα διαχείρισης και προστασίας των υδατικών πόρων, <http://itia.ntua.gr/getfile/782/101/documents/2008-final-report-v2.pdf>.
1. Aladenola O.O., and Adeboye O.B., 2010. Assessing the potential for rainwater harvesting. *Water Resources Management*, 24(10): 2129-2137
2. Andreas Efstratiadis, Katerina Roxani, Athabasios Zisos and Georgia Konstantina Sakki, *Multidimensional Role of Agrovoltatics in Era of EU Green Deal: Current Status and Analysis of Water–Energy–Food–Land Dependencies*, Athens 2023



3. Antoniou G., Xarchakou R. and Angelakis A.N., 2006. Water cistern systems in Greece from Minoan to Hellenistic Period. IWA 1st International Symposium on Water and Wastewater Technologies in Ancient Civilizations, 28-30 October 2006, Iraklio, Greece
4. Campisano A. and Modica C., 2012. Optimal sizing of storage tanks for domestic rainwater harvesting in Sicily. *Resources, Conservation and Recycling*, 63: 9-16.
5. DIN 1989-1, 2002. Rainwater Harvesting Systems-Part 1: Planning, Installation, Operation and Maintenance. German Institute for Standardisation, Berlin, 2002
6. Eroksuz E. and Rahman A., 2010. Rainwater tanks in multi-unit buildings: a case study for three Australian cities. *Resources, Conservation and Recycling*, 54: 1449-52
7. Farreny R., Gabarrella X. and Rieradevalla J., 2011. Cost-efficiency of rainwater harvesting strategies in dense Mediterranean neighbourhoods. *Resources, Conservation and Recycling*, 55: 686-694.
8. Farreny R., Morales-Pinzon T., Guisasola A., Taya C., Rieradevall J. and Gabarrell X., 2011. Roof selection for rainwater harvesting: Quantity and quality assessments in Spain. *Water research*, 45: 3245-3254.
9. Germing, G.H., 1985. GREENHOUSE DESIGN AND CLADDING MATERIALS – A SUMMARIZING REVIEW. *Acta Hort.* 253–257. doi:10.17660/ActaHortic.1985.170.29
10. Gould, J., Nissen-Petersen, E., 1999. Rainwater Catchment Systems for Domestic Supply: Design, Construction and Implementation. Intermediate Technology Publication, London.
11. Handia L., Tembo J.M. and Mwiindwa C., 2003. Potential of Rainwater harvesting in urban Zambia. *Physics and Chemistry of the Earth*, 28: 893-896.
12. Karavitis C.A., 2008. Water Use in Europe. Booklet Series: B, Number: 5, Author In: “Land care in desertification affected areas: from science towards application” (LUCINDA) Specific Support Action. DG-Research-1163. *Global Change and Ecosystems*, 2008.
13. Kinkade-Levario H., 2007. Design for Water Rainwater Harvesting, Stormwater Catchment and Alternate Water Reuse. New Society Publishers, P.O. Box 189, Gabriola Island, BC V0R 1X0, Canada.
14. Koutsoyiannis D., Zarkadoulas N., Angelakis A.N. and Tchobanoglous G., 2008. Urban water management in Ancient Greece: Legacies and lessons. *Journal of Water Resources Planning and Management – ASCE*, 134(1): 45-54.

15. Londra P.A., Theocharis A.T., Baltas E., Tsihrintzis V.A. 2015a. Optimal Sizing of Rainwater Harvesting Tanks for Domestic Use in Greece, *Water Resources Management*, 29(12): 4357- 4377.
16. Londra P.A., Theocharis A.T., Baltas E., Tsihrintzis V.A. 2015b. Effect of dry period on sizing of domestic rainwater harvesting tank, Proc. 14th Int. Conf. on Environmental Science and Technology, Rhodes, Greece, 3-5 September 2015.
17. Ministry of Agriculture, British Columbia, Water conservation factsheet, Soil water storage capacity and available soil moisture, June 2015.
18. Nelson, P. V., 2003. Greenhouse operation & management. Prentice Hall.  
Ritchie H. and Roser M. (2017) - "Water Use and Stress". *Published online at OurWorldInData.org*. Retrieved from: '[https://ourworldindata.org/water-use-stress'](https://ourworldindata.org/water-use-stress) [Online Resource]
19. Nshimiyimana, J. P., 2007b. Ecosystem Health Program Water and Sanitation Project Annual Report 2007. Dian Fossey Gorilla Fund International, Rwanda.
20. Shiklomanov I.A., 1999. World Water Resources: Modern Assessment and Outlook for the 21st Century (Summary of World Water Resources at the Beginning of the 21st Century prepared in the framework of the IHP UNESCO). Federal Service of 137 Russia for Hydrometeorology and Environment Monitoring, State Hydrological Institute, St. Petersburg.
21. Texas Water Development Board, 2005. The Texas Manual on Rainwater Harvesting. Third Edition, Austin, Texas.
22. Tsihrintzis V. and Baltas E., 2013. Sizing of rainwater harvesting tank for in-house water supply. 13th International Conference on Environmental Science and Technology, Athens, Greece, 5-7 September 2013.
23. UNESCO, 2000. Water Use in the World: Present Situation/Future Needs. Viewed at [www.unesco.org/science/waterday2000/water\\_use\\_in\\_the\\_world.htm](http://www.unesco.org/science/waterday2000/water_use_in_the_world.htm)
24. Villareal E.L. and Dixon A., 2005. Analysis of a rainwater collection system for domestic water supply in Ringdansen, Norrköping, Sweden. *Building and Environment*, 40: 1174-1184
25. Ward S., Memon A. and Butler D., 2011. Rainwater harvesting: model-based design evaluation. *Water Science and Technology*, 61(1): 85-96.

26. Winterbottom D., 2000. Rainwater harvesting An ancient technology-cisterns-is reconsidered. *Landscape Architecture*, 90: 40-47
27. Worm J.H., 2006. *Rainwater Harvesting for Domestic Use*. Agromisa Foundation and CTA: Wageningen, Netherlands.
28. Zankowski J., Sun Y., Nassar A., and Mehta K., 2014. Gutter Design and Business Development for Domestic Rainwater Harvesting Systems: A Case Study. *International Journal for Service Learning in Engineering*, No. 1: 64-78