



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ
ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΤΙΛΙΑΣ ΚΑΙ
ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ**

ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ
ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΔΙΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ – ΔΙΑΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΤΕΧΝΟ-ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ»

**ΟΙΚΟΝΟΜΟΤΕΧΝΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ
ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΑΓΡΟΤΙΚΗΣ ΓΗΣ: ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ
ΣΥΓΧΡΟΝΩΝ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΕ
ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΠΡΑΣΙΝΗΣ ΠΙΠΕΡΙΑΣ**

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Ιωάννα Αγγέλου

Επιβλέπων: Ευάγγελος Μαρινάκης

Επίκουρος Καθηγητής, ΕΜΠ

Αθήνα, Οκτώβριος 2025



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ

ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ

ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ

ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ

ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΤΙΑΙΑΣ ΚΑΙ

ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ

ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ

ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΔΙΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ – ΔΙΑΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

«ΤΕΧΝΟ-ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ»

ΟΙΚΟΝΟΜΟΤΕΧΝΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ

ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΑΓΡΟΤΙΚΗΣ ΓΗΣ: ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ

ΣΥΓΧΡΟΝΩΝ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΕ

ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΠΡΑΣΙΝΗΣ ΠΙΠΕΡΙΑΣ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Ιωάννα Αγγέλου

Επιβλέπων: Ευάγγελος Μαρινάκης

Επικουρος Καθηγητής, ΕΜΠ

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 27/10/2025.

.....		
Ευάγγελος Μαρινάκης	Ιωάννης Ψαρράς	Δημήτριος Ασκούνης
Επικουρος Καθηγητής, ΕΜΠ	Καθηγητής, ΕΜΠ	Καθηγητής, ΕΜΠ

Αθήνα, Οκτώβριος 2025

.....
Ιωάννα Αγγέλου

Κάτοχος Μεταπτυχιακού Προγράμματος “Τεχνο-οικονομικά Συστήματα” της
Σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright © **Ιωάννα Αγγέλου, 2025**

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Περίληψη

Η σύγχρονη απαίτηση για ενεργειακή μετάβαση στην «πράσινη» ενέργεια έχει επιφέρει σημαντικές αλλαγές στον τρόπο και στην ποιότητα ζωής των ανθρώπων και έχει επηρεάσει πολλούς κλάδους ένας εκ των οποίων είναι και ο γεωργικός. Η κλιματική αλλαγή, η επιτακτική ανάγκη και η οδηγία της Ευρωπαϊκής Ένωσης για στροφή σε Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, η συνεχής εξέλιξη της τεχνολογίας των φωτοβολταϊκών συστημάτων και η αβεβαιότητα που υπάρχει στη γεωργία οδήγησαν στην αντικατάσταση εκτάσεων καλλιεργήσιμης γης με συστήματα αποτελούμενα από φωτοβολταϊκές μονάδες. Τα τελευταία χρόνια, εργαλείο και τρόπος αντιμετώπισης των εν λόγω συνθηκών αποτελεί η τεχνολογία των αγροφωτοβολταϊκών ή αγροβολταϊκών συστημάτων. Τα συγκεκριμένα συστήματα είναι συστήματα φωτοβολταϊκών συστοιχιών τα οποία επιτρέπουν την ταυτόχρονη διπλή χρήση της γης. Δύναται να τοποθετηθούν είτε επάνω από καλλιέργειες είτε ανάμεσα στην καλλιέργεια, κάθε φορά με τέτοιον τρόπο ώστε να είναι εφικτή η ταυτόχρονη παραγωγή αγροτικών προϊόντων και ηλεκτρικής ενέργειας. Σε αυτό το πλαίσιο, η παρούσα διπλωματική εργασία αποσκοπεί στη μελέτη περίπτωσης εγκατάστασης αγροβολταϊκών συστοιχιών πάνω από καλλιέργεια πράσινης πιπεριάς. Αρχικά, γίνεται μία αναδρομή στον αγροτικό κλάδο στην Ελλάδα, στην εξέλιξή του, στην ανάπτυξη των αγροφωτοβολταϊκών συστημάτων και στην ενσωμάτωσή τους στη γεωργική γη της ελληνικής επικράτειας. Κατόπιν και αφότου αναλυθούν τα χαρακτηριστικά και η τεχνολογία των αγροβολταϊκών συστημάτων, οι παράμετροι σχεδιασμού τους και η υλοποίησή τους σε πρακτικό επίπεδο, περιγράφεται η μεθοδολογία προσομοίωσης ενός τέτοιου συνδυασμού διπλής χρήσης γης. Στη συνέχεια, μελετάται περίπτωση υφιστάμενου αγροτεμαχίου με ταυτόχρονη καλλιέργεια πράσινης πιπεριάς και εγκατάστασης αγροφωτοβολταϊκών πλαισίων πάνω από αυτήν. Συγκεκριμένα διερευνώνται έξι σενάρια. Το πρώτο σενάριο αφορά σε εγκατάσταση σταθερών φωτοβολταϊκών πλαισίων ομοιόμορφα κατανεμημένων σε κάθε καλλιεργήσιμη σειρά του χωραφιού. Το δεύτερο και τρίτο σενάριο έχουν σχεδόν τα ίδια χαρακτηριστικά με το πρώτο με τη διαφορά ότι σε αυτήν την περίπτωση τα φωτοβολταϊκά πάνελ δεν εγκαθίστανται με την ίδια πυκνότητα τοποθέτησης αλλά εγκαθίστανται στη μισή και ενός τετάρτου πυκνότητα. Η τέταρτη κατά σειρά θεώρηση πραγματεύεται την εγκατάσταση κινητών φωτοβολταϊκών πλαισίων τα οποία είναι ομοιόμορφα κατανεμημένα κατά μήκος των καλλιεργούμενων σειρών του χωραφιού. Τέλος, η πέμπτη και έκτη υπόθεση έχουν παρόμοια χαρακτηριστικά με την τέταρτη υπόθεση με τη διαφορά ότι οι αγροβολταϊκές συστοιχίες τοποθετούνται μεν ομοιόμορφα αλλά στη μισή και ενός τετάρτου πυκνότητα. Το κάθε ένα από τα παραπάνω σενάρια αναλύεται τόσο τεχνικά όσο και οικονομικά και διεξάγονται συμπεράσματα για το αν προκύπτει ωφέλεια από τη διπλή χρήση γης καθώς και η ωφέλεια που προκύπτει σε κάθε περίπτωση.

Λέξεις Κλειδιά: Αγροβολταϊκά συστήματα, καλλιέργεια, πράσινη πιπεριά, φωτοβολταϊκές μονάδες, ηλιακή ακτινοβολία, σκίαση, ηλεκτρική ενέργεια

Abstract

The current demand for an energy transition to "green" energy has brought about significant changes in people's way and quality of life and has affected many sectors, one of which is agriculture. The climate change, the imperative need and the European Union directive to shift to renewable energy sources, the continuous development of photovoltaic system technology, and the uncertainty that exists in agriculture have led to the replacement of large areas of arable land with photovoltaic array systems. In recent years, the technology of agrophotovoltaic or agrivoltaic systems has begun to be a tool and a way of addressing these conditions. These systems are photovoltaic array systems that allow the simultaneous dual use of land. They can be installed either above crops or between crops, each time in such a way as to enable the simultaneous production of agricultural products and electrical energy. In this context, this thesis aims to study a case of installing agrivoltaic arrays above a green pepper crop. Initially, a review is made of the agricultural sector in Greece, its evolution, the development of agrophotovoltaic systems, and their integration into the agricultural land of the Greek territory. After analyzing the characteristics and technology of agrivoltaic systems, their design parameters, and their implementation at a practical level, the methodology for simulating such a dual-use land combination is described. Then, a case study of an existing parcel of land with simultaneous cultivation of green peppers and installation of agrophotovoltaic panels above it is examined. Specifically, six scenarios are being investigated. The first scenario concerns the installation of fixed photovoltaic arrays evenly distributed across each cultivated row of the field. The second and third scenarios have almost the same characteristics as the first, with the difference that in this case the photovoltaic panels are not installed with the same density but are installed at half and a quarter of the density. The fourth consideration deals with the installation of tracking photovoltaic panels evenly distributed along the cultivated rows of the field. Finally, the fifth and sixth cases have similar characteristics to the fourth case, with the difference that the agrivoltaic arrays are evenly spaced but at half and a quarter of the density. Each of the above scenarios is analyzed both technically and economically, and conclusions are drawn as to whether there is a benefit from dual land use and what that benefit is in each case.

Keywords: Agrivoltaic systems, cultivation, green pepper, photovoltaic modules, solar radiation, shading, electrical energy

Ευχαριστίες

Η παράγραφος αυτή είναι αφιερωμένη στους ανθρώπους που κατά τη διάρκεια εκπόνησης της παρούσας διπλωματικής μου εργασίας με συνέδραμαν υποστηρικτικά ο καθένας με τον τρόπο του είτε σε επιστημονικό είτε σε ψυχολογικό επίπεδο.

Αρχικά, θα ήθελα να απονείμω τις ευχαριστίες μου στον επιβλέπων καθηγητή μου κο Ευάγγελο Μαρινάκη που μου έδωσε την ευκαιρία να ασχοληθώ και να μελετήσω ένα τόσο επίκαιρο και ενδιαφέρον θέμα και στον κο Γιώργο Κωνσταντόπουλο ο οποίος επέβλεψε την εργασία μου και με συμβούλευε κατά τη διάρκεια της υλοποίησής της. Ευχαριστίες θα ήθελα να απονείμω και στον Mr Rafael Battisti, καθηγητή στο πανεπιστήμιο Σάντα Μαρία της Βραζιλίας, ο οποίος με βοήθησε με τη χρήση του λογισμικού DSSAT, όπως και στα εργαστήρια Geoterra και Ανδρέου τα οποία εκτέλεσαν τις απαιτούμενες αναλύσεις εδάφους. Ιδιαίτερες ευχαριστίες θα ήθελα να δώσω στο Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών το οποίο μου παρείχε όλα τα μετεωρολογικά δεδομένα που χρειάστηκα για την εκπόνησή της, στον κο Νίκο Παπαδόπουλο ο οποίος μεσολάβησε για να συνεργαστώ με τον επιβλέπων καθηγητή μου και στον κο Θάνο Βαζάκα ο οποίος με βοήθησε να εξοικειωθώ με την λογική του σχεδιασμού φωτοβολταϊκών συστημάτων και με την οικονομική ανάλυσή τους.

Τέλος, τις πιο θερμές και από καρδιάς ευχαριστίες μου θα ήθελα να τις αποδώσω στην οικογένειά μου και στους φίλους μου που είναι οι δικοί μου άνθρωποι και οι οποίοι με στήριξαν ψυχολογικά και με υποστήριξαν όλο αυτό το διάστημα.

Τις πιο Εγκάρδιες Ευχαριστίες μου σε όλα τα προαναφερόμενα άτομα.

Ιωάννα Αγγέλου

Περιεχόμενα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 – ΕΙΣΑΓΩΓΗ	18
1.1 Ο αγροτικός κλάδος, η εξέλιξή του και τα αγροβολταϊκά συστήματα	18
1.2 Ιστορική αναδρομή της εξέλιξης των ΑΦΒ συστημάτων.....	19
1.3 Η ανάπτυξη των ΑΦΒ συστημάτων στη σύγχρονη εποχή και στην Ελλάδα	21
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 - Ο ΑΓΡΟΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΣ ΤΟΜΕΑΣ.....	24
2.1 Γενικά χαρακτηριστικά και ενσωμάτωση της τεχνολογίας των φωτοβολταϊκών συστημάτων σε αγροτικές καλλιέργειες.....	24
2.2 Η ηλιακή ακτινοβολία και σημαντικές παράμετροι σχεδιασμού των ΑΦΒ συστημάτων ..	27
2.3 Η υλοποίηση των ΑΦΒ συστημάτων στην πράξη	32
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 - ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΕΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΑΦΒ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ	34
3.1 Προσομοίωση της καλλιέργειας.....	34
3.2 Προσομοίωση συνδυασμού χρήσεων γης αγροτικής καλλιέργειας και φωτοβολταϊκών συστημάτων	35
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 - ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΟΥ ΑΓΡΟΤΕΜΑΧΙΟΥ ΜΕ ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΔΙΠΛΗ ΧΡΗΣΗ ΓΗΣ	37
4.1 Λογισμικά που χρησιμοποιήθηκαν	37
4.1.1 Λογισμικό PVsyst και βασικές παράμετροι εισαγωγής	37
4.1.2 Λογισμικό DSSAT και βασικές παράμετροι εισαγωγής	39
4.2 Χαρακτηριστικά και χρήση αγροτεμαχίου	40
4.3 Χαρακτηριστικά καλλιέργειας.....	43
4.4 Χαρακτηριστικά και προτεινόμενες διατάξεις ΑΦΒ συστήματος	48
4.4.1 Μελέτη περίπτωσης συνδυασμού καλλιέργειας αγροτικής γης και ταυτόχρονης παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με χρήση σταθερών ΑΦΒ συστημάτων	49
4.4.2 Μελέτη περίπτωσης συνδυασμού καλλιέργειας αγροτικής γης και ταυτόχρονης παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με χρήση ΑΦΒ συστημάτων με ιχνηλάτες	60
4.5 Σύνοψη των υπό μελέτη σεναρίων.....	71
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 – ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΤΩΝ ΥΠΟ ΜΕΛΕΤΗ ΣΕΝΑΡΙΩΝ ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	73

5.1 Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.....	73
5.2 Παραγόμενη ποσότητα πράσινης πιπεριάς φλάσκας.....	81
5.3 Οικονομική ανάλυση των υπό μελέτη σεναρίων	84
5.3.1 Οικονομική ανάλυση φωτοβολταϊκών συστημάτων.....	84
5.3.2 Οικονομική ανάλυση ΑΦΒ συστημάτων.....	86
5.4 Επιλογή βέλτιστου συνδυασμού.....	88
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	90
Παράρτημα	93
Βιβλιογραφία	103

Λίστα Πινάκων

Πίνακας 1. Βασικές παράμετροι σχεδιασμού ΑΦΒ συστημάτων.....	30
Πίνακας 2. Μηνιαίες καταναλώσεις ηλεκτρικής ενέργειας για την ύδρευση της καλλιέργειας.....	44
Πίνακας 4. Γεωμετρικά και τεχνικά χαρακτηριστικά φωτοβολταϊκής μονάδας.....	50
Πίνακας 5. Γεωμετρικά και τεχνικά χαρακτηριστικά ΣΑΠΠ	53
Πίνακας 6. Γεωμετρικά και τεχνικά χαρακτηριστικά ΣΑΜΠ.....	56
Πίνακας 7. Γεωμετρικά και τεχνικά χαρακτηριστικά ΣΑΤΠ.....	59
Πίνακας 8. Γεωμετρικά και τεχνικά χαρακτηριστικά φωτοβολταϊκής μονάδας.....	61
Πίνακας 9. Γεωμετρικά και τεχνικά χαρακτηριστικά διάταξης ΚΑΠΠ.....	64
Πίνακας 10. Γεωμετρικά και τεχνικά χαρακτηριστικά διάταξης ΚΑΜΠ	67
Πίνακας 11. Γεωμετρικά και τεχνικά χαρακτηριστικά διάταξης ΚΑΤΠ	70
Πίνακας 12. Σύγκριση των υπό μελέτη περιπτώσεων.....	71
Πίνακας 13. Ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.....	73
Πίνακας 14. Ετήσια απώλεια ενέργειας ανά τετραγωνικό μέτρο λόγω σκίασης των ΑΦΒ πλαισίων ..	77
Πίνακας 15. Συγκριτικός πίνακας μεγεθών ενέργειας	79
Πίνακας 16. Πίνακας μεγεθών ενέργειας για σύγκριση των σταθερών ΑΦΒ διατάξεων με των αντίστοιχων κινητών	79
Πίνακας 17. Πίνακας μεγεθών ενέργειας για σύγκριση των διαφόρων διατάξεων (πλήρους, μισής και τετάρτου πυκνότητας) των ΑΦΒ.....	80
Πίνακας 18. Ηλιακή ακτινοβολία που φτάνει στο έδαφος/καλλιέργεια ως ποσοστό της αρχικής ηλιακής ακτινοβολίας.....	82

Πίνακας 19. Συγκριτικός πίνακας παραγόμενης ποσότητας πράσινης πιπεριάς.....	83
Πίνακας 20. Οικονομικά μεγέθη για κάθε υπό μελέτη περίπτωση χωρίς να λαμβάνεται υπ'όψιν η καλλιέργεια της γης.....	85
Πίνακας 21. Υπολογισμός οικονομικών μεγεθών αξιολόγησης κάθε περίπτωσης ΑΦΒ	86
Πίνακας 22. Συνοπτικός πίνακας αποτελεσμάτων βασικών οικονομοτεχνικών μεγεθών	88
Πίνακας 23. Επιλογή βέλτιστου συνδυασμού ΑΦΒ πάνω από καλλιέργεια πράσινης πιπεριάς φλάσκας	88

Λίστα Εικόνων

Εικόνα 1. ΑΦΒ συστήματα.....	19
Εικόνα 2. Σύλληψη ιδέας ΑΦΒ συστήματος από τους Goetzberger και Zastrow	20
Εικόνα 3. Υλοποιημένο ΑΦΒ σύστημα από τον Nagashima.....	20
Εικόνα 4. 1ο πιλοτικό ΑΦΒ σύστημα, Montpellier-Γαλλία.....	21
Εικόνα 5. Μονοκρυσταλλικές, πολυκρυσταλλικές και ηλιακές λεπτές μεμβράνης φωτοβολταϊκές μονάδες (αντίστοιχα από τα αριστερά προς τα δεξιά).....	26
Εικόνα 6. Άμεση και Διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία που φτάνει σε μία οριζόντια επιφάνεια.....	29
Εικόνα 7. Ηλιακή ακτινοβολία επάνω σε κεκλιμένο επίπεδο	29
Εικόνα 8. (Α) Φάσμα ηλιακής ακτινοβολίας. (Β) Φάσμα απορρόφησης από φωτοβολταϊκό πλαίσιο. (Γ) Φάσμα απορρόφησης από μια καλλιέργεια. (Δ) Σχηματική αναπαράσταση της εισόδου (ηλιακό φως) και των εκροών ΑΦΒ συστήματος (δηλαδή ηλεκτρική ενέργεια και βιομάζα). [18].....	31
Εικόνα 9. Εισαγωγή τοποθεσίας στο PVsyst	38
Εικόνα 10. Χρησιμοποιούμενα μετεωρολογικά δεδομένα.....	38
Εικόνα 11. Προφίλ εδάφους - DSSAT	40
Εικόνα 12. Τοποθεσία υπό μελέτη αγροτεμαχίου	41
Εικόνα 13. Κοκκομετρική ανάλυση εδάφους βάθους (0-30) εκατοστά.....	42
Εικόνα 14. Κοκκομετρική ανάλυση εδάφους βάθους άνω των 30 εκατοστών.....	43
Εικόνα 15. Κάτοψη χωραφιού με καλλιέργεια πιπεριάς χωρίς αγροφωτοβολταϊκά.....	46
Εικόνα 16. Λεπτομέρειες διάταξης των φυτών πιπεριάς στο υπό μελέτη χωράφι χωρίς αγροβολταϊκή εγκατάσταση.....	47
Εικόνα 17. Λεπτομέρεια διάταξης των φυτών πιπεριάς με χρήση αγροβολταϊκών μονάδων	48

Εικόνα 18. Προσανατολισμός και κλίση φωτοβολταϊκών μονάδων.....	50
Εικόνα 19. Τρισδιάστατη απεικόνιση διάταξης ΣΑΠΠ	51
Εικόνα 20. Κάτοψη διάταξης ΣΑΠΠ	52
Εικόνα 21. Τεχνικά χαρακτηριστικά διάταξης ΣΑΠΠ.....	53
Εικόνα 22. Τρισδιάστατη απεικόνιση διάταξης ΣΑΜΠ.....	55
Εικόνα 23. Κάτοψη διάταξης ΣΑΜΠ.....	55
Εικόνα 24. Τεχνικά χαρακτηριστικά διάταξης ΣΑΜΠ	56
Εικόνα 25. Τρισδιάστατη απεικόνιση διάταξης ΣΑΤΠ.....	58
Εικόνα 26. Κάτοψη διάταξης ΣΑΤΠ.....	58
Εικόνα 27. Τεχνικά χαρακτηριστικά διάταξης ΣΑΤΠ	59
Εικόνα 28. Προσανατολισμός και κλίση φωτοβολταϊκών μονάδων.....	61
Εικόνα 29. Τρισδιάστατη απεικόνιση διάταξης ΚΑΠΠ.....	62
Εικόνα 30. Κάτοψη διάταξης ΚΑΠΠ.....	63
Εικόνα 31. Τεχνικά χαρακτηριστικά διάταξης ΚΑΠΠ	64
Εικόνα 32. Τρισδιάστατη απεικόνιση διάταξης ΚΑΜΠ.....	66
Εικόνα 33. Κάτοψη διάταξης ΚΑΜΠ.....	66
Εικόνα 34. Τεχνικά χαρακτηριστικά διάταξης ΚΑΜΠ.....	67
Εικόνα 35. Τρισδιάστατη απεικόνιση διάταξης ΚΑΤΠ	69
Εικόνα 36. Κάτοψη διάταξης ΚΑΤΠ	69
Εικόνα 37. Τεχνικά χαρακτηριστικά διάταξης ΚΑΤΠ.....	70
Εικόνα 39. Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας – ΣΑΠΠ (αριστερά) και ΚΑΠΠ (δεξιά).....	74
Εικόνα 40. Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας - ΣΑΜΠ (αριστερά) και ΚΑΜΠ (δεξιά)	74
Εικόνα 41. Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας - ΣΑΤΠ (αριστερά) και ΚΑΤΠ (δεξιά)	74
Εικόνα 42. Παγκόσμια Οριζόντια και Προσπίπτουσα Ηλιακή Ακτινοβολία.....	76
Εικόνα 43. Απώλειες ενέργειας ανά τετραγωνικό μέτρο λόγω αλληλοσκίασης των ΑΦΒ πλαϊσίων...	77
Εικόνα 44. Αξιοποιούμενη παγκόσμια ηλιακή ακτινοβολία μετά την αφαίρεση των οπτικών απωλειών	78
Εικόνα 45. Ηλιακή ακτινοβολία που φτάνει στην καλλιέργεια	81
Εικόνα 46. Παραγόμενη ποσότητα πράσινης πιπεριάς ανά στρέμμα	83

Ακρωνύμια

ΑΦΒ – Αγροφωτοβολταϊκά, Αγροφωτοβολταϊκός-ή-ό-ές

ΣΑΠΠ – Σταθερά Αγροφωτοβολταϊκά Πλήρους Πυκνότητας

ΣΑΜΠ – Σταθερά Αγροφωτοβολταϊκά Μισής Πυκνότητας

ΣΑΤΠ – Σταθερά Αγροφωτοβολταϊκά Τετάρτου Πυκνότητας

ΚΑΠΠ – Κινητά Αγροφωτοβολταϊκά Πλήρους Πυκνότητας

ΚΑΜΠ – Κινητά Αγροφωτοβολταϊκά Μισής Πυκνότητας

ΚΑΤΠ – Κινητά Αγροφωτοβολταϊκά Τετάρτου Πυκνότητας

Εισαγωγή Εργασίας

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματεύεται την ενσωμάτωση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στις καθημερινές δραστηριότητες των ανθρώπων. Συγκεκριμένα, ερευνά την δυνατότητα αρμονικής συνύπαρξης φωτοβολταϊκών συστημάτων με καλλιέργεια πράσινης πιπεριάς. Η εργασία αποτελείται από έξι κεφάλαια.

Το πρώτο κεφάλαιο είναι εισαγωγικό και κάνει αναφορά στον αγροτικό κλάδο, στην εξέλιξή του στο πέρασμα των χρόνων και στα αγροφωτοβολταϊκά συστήματα και στην ανάπτυξή τους ανά τον κόσμο και στην Ελλάδα.

Το δεύτερο κεφάλαιο αναφέρεται στα γενικά χαρακτηριστικά και την τεχνολογία των αγροφωτοβολταϊκών συστημάτων, στις σημαντικές παραμέτρους σχεδιασμού τους και στην υλοποίησή τους σε πρακτικό επίπεδο.

Στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται λόγος για τους τρόπους προσομοίωσης των καλλιεργειών, των φωτοβολταϊκών και αγροβολταϊκών συστημάτων.

Στο τέταρτο κεφάλαιο μελετάται περίπτωση υφιστάμενου αγροτεμαχίου με ενσωμάτωση φωτοβολταϊκών συστημάτων και διπλή χρήση γης. Αναφέρεται η χρήση του αγροτεμαχίου και ακολούθως τα χαρακτηριστικά του, τα χαρακτηριστικά της καλλιέργειας και των φωτοβολταϊκών συστημάτων και γίνεται η οικονομοτεχνική ανάλυση της εκάστοτε φωτοβολταϊκής εγκατάστασης.

Μετάπειτα, στο πέμπτο κεφάλαιο παρατίθενται τα αποτελέσματα ηλεκτρικής ενέργειας, παραγωγής πράσινης πιπεριάς και άλλων σημαντικών παραμέτρων που προκύπτουν από την παραπάνω ανάλυση, ενώ παρατίθενται και τα αποτελέσματα της οικονομικής αξιολόγησης της κάθε υποπερίπτωσης και γίνεται συνολικά σύγκρισή τους και επιλογή βέλτιστου συνδυασμού καλλιέργειας με φωτοβολταϊκά πλαίσια.

Τέλος, στο έκτο κεφάλαιο συνοψίζονται τα συμπεράσματα που διεξάγονται από τις αναλύσεις και τις μελέτες που έγιναν σε αυτήν τη διπλωματική εργασία.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 – ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Ο αγροτικός κλάδος, η εξέλιξή του και τα αγροβολταϊκά συστήματα

Η παρούσα διπλωματική εργασία εστιάζει σε δύο πολύ σημαντικούς τομείς και στον τρόπο με τον οποίο οι δύο συγκεκριμένοι τομείς μπορούν να συσχετιστούν και να αξιοποιηθούν συνδυαστικά. Ο πρώτος τομέας είναι ο αγροτικός τομέας και ο δεύτερος είναι ο τομέας της ενέργειας.

Ο αγροτικός τομέας στην Ελλάδα είναι ένας από τους πιο σημαντικούς καθότι η χώρα διαθέτει μεγάλες εκτάσεις καλλιεργήσιμης γης και ο ρόλος του είναι αναντικατάστατος και κομβικής σημασίας τόσο για την ελληνική οικονομία αλλά πρωτίστως για την ανθρώπινη επιβίωση. Η σπουδαιότητά του διαφαίνεται ήδη από τα παλαιότερα χρόνια καθώς αυξημένο ποσοστό πληθυσμού της χώρας ασχολούταν με την καλλιέργεια αγροτικής γης και την παραγωγή αγροτικών προϊόντων. Στο πέρασμα των ετών δημιουργήθηκαν ποικίλες συνθήκες, όπως είναι η εξέλιξη της τεχνολογίας και η είσοδος νέας τεχνογνωσίας στον αγροτικό κλάδο, οι αγροτικές και οι οικονομικές πολιτικές που εφαρμόστηκαν από τις εκάστοτε κυβερνήσεις, η κλιματική αλλαγή, η αύξηση των τιμών στην αγορά της ενέργειας, συνθήκες οι οποίες οδήγησαν στη μείωση της ενασχόλησης των ανθρώπων με τη γεωργία.^[1] Η συρρίκνωση αυτή αποδίδεται μεταξύ άλλων και σε έναν πολύ σημαντικό και πρωταρχικό παράγοντα που αξίζει να αναφερθεί και ο οποίος είναι η ευημερία του παραγωγού και γενικότερα του εργατικού δυναμικού η οποία κατέστη υπό αμφισβήτηση.

Σε παράλληλη χρονική τροχιά της φθίνουσας πορείας της γεωργίας ένας άλλος κλάδος λάμβανε και συνεχίζει να λαμβάνει τη δέουσα προσοχή και να διεισδύει ολοένα και περισσότερο στην καθημερινότητα των ανθρώπων. Αυτός δεν είναι άλλος από τον τομέα της ενέργειας και συγκεκριμένα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Η κλιματική αλλαγή και η μείωση των πόρων της γης ανάγκασαν την Ευρώπη να στραφεί στην εκμετάλλευση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.^[1] Επήλθε κατά αυτόν τον τρόπο αύξηση στις εγκαταστάσεις φωτοβολταϊκών και αιολικών πάρκων. Η χωρική αύξηση των εν λόγω κατασκευών σε συνδυασμό με την απόδοση κέρδους στους ιδιοκτήτες τους επηρέασαν βαθύτατα τη γεωργία. Εκτάσεις γης έπαψαν να καλλιεργούνται και μετατράπηκαν σε φωτοβολταϊκά πάρκα.^[1]

Η συνεχής εξέλιξη της τεχνολογίας, η κλιματική αλλαγή και η αυξανόμενη ανάγκη αξιοποίησης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, η ραγδαία αύξηση των φωτοβολταϊκών πάρκων, η αυξανόμενη ζήτηση ενέργειας στη σύγχρονη γεωργία και ταυτόχρονα η επιδίωξη για την κατά το δυνατόν ελάχιστη επέμβαση στη φύση και η επιτακτική ανάγκη να μη μειωθούν οι καλλιεργούμενες εκτάσεις γης αλλά αντίθετα να δημιουργηθεί το κατάλληλο κίνητρο ώστε να συνεχίσουν οι άνθρωποι να ασχολούνται με τη γεωργία οδήγησαν στην εξεύρεση νέων τεχνολογιών όπως είναι τα αγροφωτοβολταϊκά - ΑΦΒ ή αγροβολταϊκά συστήματα.[1][17]

Τα ΑΦΒ ή αγροβολταϊκά είναι συστήματα φωτοβολταϊκών μονάδων τα οποία τοποθετούνται είτε επάνω από τα φυτά είτε ανάμεσά τους με τέτοιον τρόπο που επιτρέπουν την παράλληλη αξιοποίηση της γης.[1] Πρόκειται δηλαδή, για συστήματα που επιτρέπουν τη διπλή χρήση της γης είτε για γεωργικούς είτε για κτηνοτροφικούς σκοπούς. Από τη μία η γη συνεχίζει να καλλιεργείται και να παράγει αγροτικά προϊόντα ή να εκτρέφονται ζώα σε αυτήν και από την άλλη, υπάρχει ταυτόχρονη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Στην οικογένεια των ΑΦΒ συστημάτων ανήκουν επίσης και τα φωτοβολταϊκά συστήματα που εγκαθίστανται στην οροφή ενός θερμοκηπίου.[1][4]



(α) Φωτοβολταϊκά πάνω από καλλιεργούμενη έκταση.



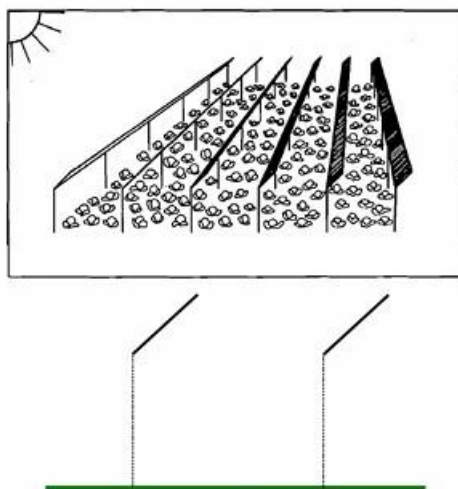
(β) Φωτοβολταϊκά σε οροφή θερμοκηπίου

Εικόνα 1. ΑΦΒ συστήματα.

1.2 Ιστορική αναδρομή της εξέλιξης των ΑΦΒ συστημάτων

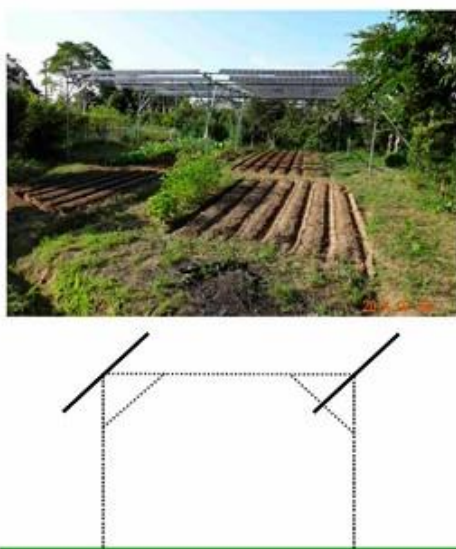
Στην πραγματικότητα, η σύλληψη της ιδέας της διπλής χρήσης της γης, τόσο για τη συλλογή της ηλιακής ενέργειας μέσω φωτοβολταϊκών πανέλων με σκοπό την παραγωγή ενέργειας όσο και για την παραγωγή γεωργικών προϊόντων, έγινε σε θεωρητικό επίπεδο από τους Goetzberger και Zastrow στο Ινστιτούτο Fraunhofer της Γερμανίας το 1981. Εκείνοι είχαν προτείνει την ανύψωση του φωτοβολταϊκού συστήματος περίπου στα 2 μέτρα και την

απόσταση μεταξύ των γραμμών των πανέλων περίπου 3 φορές το ύψος των πανέλων ώστε να επιτευχθεί ομοιόμορφη κατανομή της ηλιακής ακτινοβολίας.[1][5][15]



Εικόνα 2. Σύλληψη ιδέας ΑΦΒ συστήματος από τους Goetzberger και Zastrow

Το 2004, ο Ιάπωνας μηχανικός Akira Nagashima ανέπτυξε το πρώτο ΑΦΒ σύστημα χρησιμοποιώντας σαν δομή του συστήματος τη δομή που έχει μία πέργκολα κήπου. Ο Nagashima σχεδίασε ποικίλα πεδία δοκιμών τέτοιων ΑΦΒ συστημάτων μελετώντας διαφορετικά ποσοστά σκίασης σύμφωνα και με το σημείο κορεσμού του φωτός της κάθε καλλιέργειας ώστε να παρέχει στα φυτά τη μέγιστη ηλιακή ακτινοβολία που χρειάζονται για τη διαδικασία της φωτοσύνθεσης και παράλληλα, την περίσσεια αυτής της ακτινοβολίας να τη χρησιμοποιήσει μέσω των φωτοβολταϊκών συστημάτων ώστε να παράγει ενέργεια.[5]



Εικόνα 3. Υλοποιημένο ΑΦΒ σύστημα από τον Nagashima

Η πρώτη εγκατάσταση πιλοτικού ΑΦΒ συστήματος έγινε στη Γαλλία το 2010 στην πόλη του Montpellier. Οι φωτοβολταϊκές μονάδες τοποθετήθηκαν σε ύψος 4 μέτρων πάνω από το έδαφος και ο χώρος του πιλοτικού συστήματος χωρίστηκε σε δύο μέρη με σκοπό να μελετηθεί η επίδραση της σκίασης που προκαλούσαν οι φωτοβολταϊκές μονάδες στην ανάπτυξη των φυτών. Το πρώτο μέρος το οποίο ονομάστηκε «πλήρης πυκνότητα» σχεδιάστηκε και υλοποιήθηκε με γνώμονα τη χωροθέτηση των φωτοβολταϊκών συστημάτων ώστε να επιτυγχάνεται η βέλτιστη παραγωγή ενέργειας κάτι το οποίο είχε ως αποτέλεσμα την απορρόφηση του 50% της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας από τα φυτά. Το δεύτερο σενάριο το οποίο υλοποιήθηκε ονομάστηκε «μισή πυκνότητα» και η χωροθέτηση των φωτοβολταϊκών πανέλων έγινε αφαιρώντας μία σειρά πανέλων ανά δύο σειρές και επιτρέποντας έτσι το 70% της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας να φθάσει στα φυτά.[5]



Εικόνα 4. 1ο πιλοτικό ΑΦΒ σύστημα, Montpellier-Γαλλία

1.3 Η ανάπτυξη των ΑΦΒ συστημάτων στη σύγχρονη εποχή και στην Ελλάδα

Έκτοτε, έχουν γίνει πολλές έρευνες πάνω στο αντικείμενο και έχουν υλοποιηθεί αρκετές ΑΦΒ εγκαταστάσεις ώστε να βρεθεί η βέλτιστη κλίση και χωροθέτηση τέτοιων φωτοβολταϊκών συστημάτων συνυπολογίζοντας παράλληλα και ελαχιστοποιώντας την αρνητική επίδραση που δύναται να έχει στην ανάπτυξη των φυτών και στην αγροτική παραγωγή και δυναμικότητα ενός χωραφιού. Ενδεικτικά, έχουν δημιουργηθεί ΑΦΒ συστήματα στη Γερμανία, στη Χιλή, στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής, στη Γαλλία, στην Ιταλία, στο Ηνωμένο Βασίλειο, ενώ πρώτη έρχεται η Ιαπωνία, η οποία έχει προέβη στην εγκατάστασή τους από το 2004 και σήμερα διαθέτει σχεδόν 2.000 εγκαταστάσεις καλύπτοντας πάνω από 120 είδη καλλιεργειών.[5][1][24] Στην Κίνα, ένα μεγάλο έργο 640 MW έχει αποδείξει τη θετική του επίδραση στο κλίμα και τη βιοποικιλότητα.[1][24] Επίσης, στην Αριζόνα η ανάπτυξη της

πιπεριάς και της ντομάτας κάτω από ΑΦΒ συστήματα παρουσίασε αυξημένη παραγωγή, ενώ στη Νότια Κορέα, αποδείχθηκε ότι το μπρόκολο αποκτά καλύτερο χρώμα και διατηρεί την ποιότητά του.[24]

Στην Ελλάδα, η αξιοποίηση της τεχνολογίας των ΑΦΒ συστημάτων βρίσκεται σε αρχικό στάδιο και παραμένει περιορισμένη καθότι ακόμη δεν έχουν θεσμοθετηθεί πλήρως σαφή και ευέλικτα ρυθμιστικά πλαίσια. Γίνονται προσπάθειες ολοκλήρωσης θέσπισης του νομοθετικού πλαισίου και η είσοδος της συγκεκριμένης τεχνολογίας στον κλάδο υλοποιείται τη δεδομένη στιγμή. Σύμφωνα με το σχέδιο νόμου που τέθηκε σε δημόσια διαβούλευση τον Ιούνιο του 2024, επιτρέπεται η εγκατάσταση ΑΦΒ συστημάτων σε αγροτεμάχια υψηλής παραγωγικότητας, με στόχο την αειφόρο χρήση της γης.[24] Η νομοθεσία (άρθρο 38, Ν. 5184/2025) προβλέπει την παραγωγή ενέργειας από ΑΦΒ συστήματα μέγιστης εγκατεστημένης ισχύος 1MW και με την προϋπόθεση ότι δεν καλύπτεται κάποιο συγκεκριμένο ποσοστό (το οποίο ορίζεται κατά περίπτωση) από φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις της συνολικής έκτασης κάθε περιφερειακής ενότητας.[25][27]

Ωστόσο, δύο σημαντικά έργα έχουν ήδη αναπτυχθεί. Το πρώτο λαμβάνει χώρα στη Θράκη και αφορά φωτοβολταϊκό έργο εγκατεστημένης ισχύος 3,5MW που συνδυάζει παραγωγή ενέργειας με βοσκή προβάτων, στηρίζοντας την τοπική κοινωνία και οικονομία. Το δεύτερο έργο βρίσκεται στο νομό Ηλείας όπου μελετήθηκε η καλλιέργεια αρωματικών φυτών κάτω από ανυψωμένα φωτοβολταϊκά πλαίσια με σκοπό τη βελτίωση των αγροτικών καλλιεργειών σε συνδυασμό με την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.[24]

Επίσης, το Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης έχει μελετήσει οργανικά φωτοβολταϊκά τοποθετημένα στη στέγη θερμοκηπίου μέσα στο οποίο καλλιεργούνταν πιπεριές και τα αποτελέσματα ήταν εντυπωσιακά. Η μάζα των πιπεριών αυξήθηκε κατά 20,2% συγκριτικά με πιπεριές θερμοκηπίου στο οποίο δεν είχαν εγκατασταθεί ΑΦΒ, και το ύψος τους κατά 21,8% σε σχέση με το ύψος των πιπεριών θερμοκηπίου στο οποίο δεν είχαν εγκατασταθεί ΑΦΒ.[24]

Εκτός των παραπάνω, ήδη λειτουργεί στην Ελλάδα το πρώτο εργοστάσιο παραγωγής ΑΦΒ μονάδων στην Πάτρα. Το εργοστάσιο έχει αρχική παραγωγική ικανότητα 150MWp ετησίως και σχεδιάζει να την αυξήσει σε πάνω από 300MWp μέσα στους επόμενους μήνες.[26]

Σκοπός όλων των σχετικών ερευνών είναι η μελέτη των οφελών που δύναται να έχουν τα ΑΦΒ συστήματα για τη γεωργική παραγωγή (προστασία από ακραία καιρικά φαινόμενα, μείωση των αναγκών για άρδευση της καλλιέργειας κ.ά.), για την ενεργειακή απόδοση (καλύτερη ενεργειακή απόδοση των φωτοβολταϊκών μονάδων μειώνοντας τη θερμοκρασία γύρω από τα πάνελ, κάλυψη των ενεργειακών αναγκών της καλλιέργειας), για την κτηνοτροφία (προστασία των ζώων από καιρικά φαινόμενα), για την τοπική κοινωνία και οικονομία και για τη βιοποικιλότητα και τη μελισσοκομία (η απουσία συχνής κατεργασίας του εδάφους και η περιορισμένη ανθρώπινη δραστηριότητα στο εσωτερικό των ΑΦΒ πάρκων ευνοούν την ανάπτυξη άγριας βλάστησης, δημιουργώντας βιότοπους για έντομα επικονιαστές και οι κυψέλες για τις μέλισσες μπορούν να τοποθετούνται εντός ή/και εκτός του ΦΒ πάρκου).[24] Μελλοντικές προτάσεις ερευνών περιλαμβάνουν και εστιάζουν στην οικονομική ανάλυση ενός τέτοιου συστήματος, στη μελέτη επίδρασης των ΑΦΒ σε παραμέτρους πέρα από την ηλιακή ακτινοβολία που φτάνει στην καλλιέργεια, και στη δοκιμή τους σε καλλιέργειες με ιδιαίτερο ενδιαφέρον για την Ελλάδα, όπως είναι η ελιά.[24]

Προς την κατεύθυνση αυτήν κινείται και η συγκεκριμένη εργασία η οποία ερευνά από τεχνοοικονομικής απόψεως τη χρήση ΑΦΒ συστημάτων πάνω από καλλιέργεια πράσινης πιπεριάς. Το αγροτεμάχιο που μελετάται βρίσκεται στην περιφερειακή ενότητα Βοιωτίας και ως μετεωρολογικά δεδομένα λαμβάνονται υπ' όψιν τα κλιματικά δεδομένα του έτους 2023 που λόγω κλιματικής αλλαγής και του γεγονότος ότι αναφέρονται σε πρόσφατο έτος θεωρούνται και αντιπροσωπευτικά των επερχόμενων ετών. Τεχνικά, διερευνώνται διάφορες πυκνότητες τοποθέτησης και διατάξεις ΑΦΒ συστημάτων. Κατά σειρά, το τρίτο κεφάλαιο κάνει λόγο για τους τρόπους προσομοίωσης των καλλιεργειών, των φωτοβολταϊκών και ΑΦΒ συστημάτων. Στο τέταρτο κεφάλαιο μελετάται περίπτωση υφιστάμενου αγροτεμαχίου με ενσωμάτωση φωτοβολταϊκών συστημάτων και διπλή χρήση γης. Αναφέρεται η χρήση του αγροτεμαχίου και ακολούθως τα χαρακτηριστικά του, τα χαρακτηριστικά της καλλιέργειας και των φωτοβολταϊκών συστημάτων και γίνεται η οικονομοτεχνική ανάλυση της εκάστοτε φωτοβολταϊκής εγκατάστασης. Τέλος, στο πέμπτο κεφάλαιο παρατίθενται τα αποτελέσματα ηλεκτρικής ενέργειας, παραγωγής πράσινης πιπεριάς και άλλων σημαντικών παραμέτρων που προκύπτουν από τις παραπάνω αναλύσεις, ενώ παρατίθενται και τα αποτελέσματα της οικονομικής αξιολόγησης της κάθε υποπερίπτωσης και γίνεται συνολικά σύγκρισή τους και επιλογή βέλτιστου συνδυασμού καλλιέργειας με φωτοβολταϊκά πλαίσια.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 - Ο ΑΓΡΟΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΣ ΤΟΜΕΑΣ

2.1 Γενικά χαρακτηριστικά και ενσωμάτωση της τεχνολογίας των φωτοβολταϊκών συστημάτων σε αγροτικές καλλιέργειες

Η ολοένα αυξανόμενη ενεργειακή ζήτηση που αποτελεί χαρακτηριστικό όλων των κλάδων της σύγχρονης εποχής, ένας εκ των οποίων είναι και η σύγχρονη γεωργία, καθιστά επιτακτική την ανάγκη ενσωμάτωσης σε αυτούς ανανεώσιμων πηγών ενέργειας με τα φωτοβολταϊκά συστήματα να παρουσιάζουν εξαιρετικές προοπτικές.[1]

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα τα οποία είναι μία ευρέως διαδεδομένη τεχνολογία χαίρουν αναγνώρισης αφενός διότι είναι μία ανανεώσιμη και συνάμα κερδοφόρα πηγή ενέργειας και αφετέρου, διότι ο αγροτικός κλάδος ο οποίος έχει σημαντικές απαιτήσεις σε ενέργεια για την κάλυψη των αναγκών και τη δημιουργία των κατάλληλων συνθηκών ανάπτυξης των φυτών, εξαιτίας του υψηλού κόστους ενέργειας συρρικνώνεται αφήνοντας έτσι μεγάλες εκτάσεις γης ακαλλιέργητες και διαθέσιμες για την τοποθέτηση φωτοβολταϊκών συστημάτων.[24]

Παράλληλα, η επένδυση σε φωτοβολταϊκά συστήματα προτιμάται πλέον και από τους ίδιους τους παραγωγούς καθώς ενέχει μειωμένο έως και ελάχιστο ρίσκο ζημίας, σε αντίθεση με τις επενδύσεις στην καλλιέργεια των εκτάσεων γης με αγροτικά προϊόντα οι οποίες λόγω των καιρικών συνθηκών και των αγορών προσφοράς και ζήτησης εμπεριέχουν μεγάλο ρίσκο και πολλές φορές η κερδοφορία από αυτές μπορεί όχι μόνο να είναι μηδενική αλλά και αρνητική, δηλαδή επιζήμια για τους παραγωγούς.[1]

Προκειμένου να αποφευχθούν φαινόμενα εγκατάλειψης καλλιεργήσιμων εκτάσεων γης αλλά και με σκοπό την ενίσχυση της αγροτικής οικονομίας και γενικότερα του αγροτικού κλάδου ο οποίος είναι ύψιστης σημασίας, είναι αναγκαία η ενεργειακή μετάβαση και η θεσμοθέτηση βιώσιμων λύσεων στον κλάδο. Μία τέτοια λύση είναι η ενσωμάτωση ΑΦΒ συστημάτων.[1]

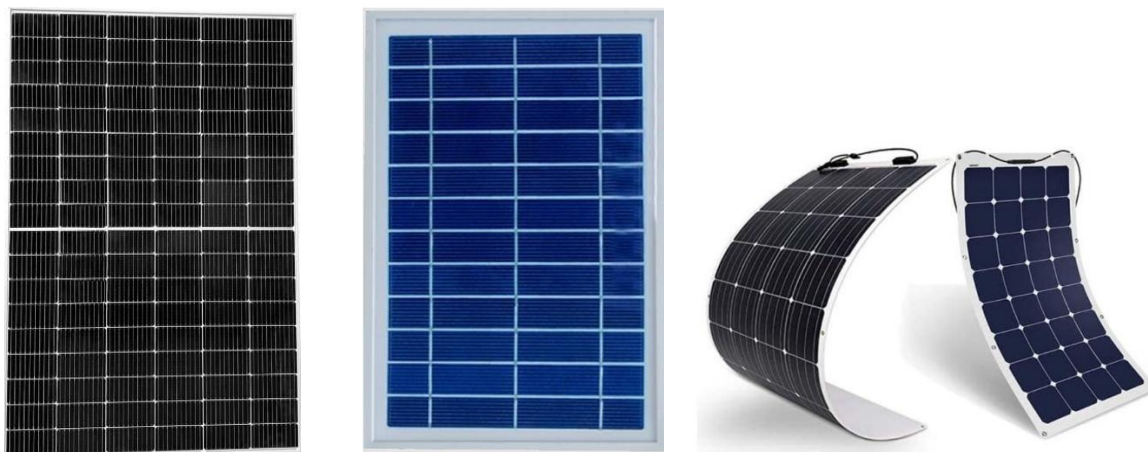
ΑΦΒ θεωρείται ένα σύστημα το οποίο επιτρέπει τη διπλή χρήση γης και συγκεκριμένα την ταυτόχρονη αξιοποίησή της τόσο για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από την ηλιακή ακτινοβολία όσο και για παραγωγή αγροτικών προϊόντων και/ή εκτέλεσης κτηνοτροφικών δραστηριοτήτων.[1]

Τα ΑΦΒ συστήματα μπορούν να είναι είτε επάνω από καλλιέργειες, είτε ανάμεσα σε καλλιέργειες ή ακόμα και επάνω από εγκαταστάσεις θερμοκηπίων.

Τα πανέλα των ΑΦΒ συστημάτων μπορούν να είναι σταθερά, κινητά γύρω από έναν άξονα (προσανατολισμός Ανατολή → Δύση) και κινητά γύρω από δύο άξονες (προσανατολισμός Ανατολή → Δύση και Βορράς → Νότος).[1]

Πέραν του προσανατολισμού τους, οι μονάδες των φωτοβολταϊκών διακρίνονται σύμφωνα και με την τεχνολογία που χρησιμοποιείται κατά τη διαδικασία παραγωγής τους. Οι πιο συνηθισμένοι τύποι φωτοβολταϊκών μονάδων είναι οι μονοκρυσταλλικές, οι πολυκρυσταλλικές και οι ηλιακές μονάδες λεπτής μεμβράνης:[1][34]

- **Μονοκρυσταλλικές μονάδες:** Προσφέρουν υψηλή απόδοση αφού είναι κατασκευασμένες από πυρίτιο υψηλής καθαρότητας. Το χρώμα τους είναι μαύρο και έχουν μικρότερη χωρική απαίτηση συγκριτικά με άλλους τύπους μονάδων.[1][34]
- **Πολυκρυσταλλικές μονάδες:** Είναι ελαφρώς λιγότερο αποδοτικές από τις μονοκρυσταλλικές μονάδες και είναι κατασκευασμένες από πολλαπλά θραύσματα πυριτίου λιωμένα μαζί. Το χρώμα τους είναι μπλε και είναι λιγότερο κοστοβόρες σε σχέση με τις μονοκρυσταλλικές.[1][34]
- **Μονάδες λεπτής μεμβράνης:** Είναι λιγότερο αποτελεσματικές από τις κρυσταλλικές μονάδες αλλά αποδίδουν καλύτερα σε συνθήκες χαμηλού φωτισμού. Επίσης, είναι ελαφριές και εύκαμπτες και εγκαθίστανται εύκολα σε ακανόνιστες επιφάνειες και σε εγκαταστάσεις θερμοκηπίων.[1][34]



Εικόνα 5. Μονοκρυσταλλικές, πολυκρυσταλλικές και ηλιακές λεπτής μεμβράνης φωτοβολταϊκές μονάδες (αντίστοιχα από τα αριστερά προς τα δεξιά)

Μία ακόμη κατηγοριοποίηση στις φωτοβολταϊκές μονάδες είναι οι μονής και οι διπλής όψης ηλιακές μονάδες οι τελευταίες οι οποίες είναι ικανές να απορροφούν την ηλιακή ενέργεια και από τις δύο πλευρές. Επίσης, εκτός από τις αδιαφανείς υπάρχουν και οι ημιδιαφανείς μονάδες οι οποίες επιτρέπουν να τις διαπερνά μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας.[14] Το γεγονός αυτό τις καθιστά ιδιαίτερα ελκυστικές για εγκαταστάσεις πάνω από θερμοκήπια.

Επιπρόσθετα, σε ότι έχει να κάνει με τη σύνδεση και λειτουργία των φωτοβολταϊκών συστημάτων, αυτά μπορούν να είναι είτε διασυνδεδεμένα στο δίκτυο, είτε αυτόνομα, είτε ακόμα να είναι διασυνδεδεμένα στο δίκτυο και ταυτόχρονα να χρησιμοποιούνται για την παραγωγή και την παροχή της απαιτούμενης ενέργειας για την άντληση νερού ικανοποιώντας τις ανάγκες ύδρευσης των καλλιεργειών.[34]

Με αυτόν τον τρόπο και με όλα τα προαναφερόμενα χαρακτηριστικά, τα φωτοβολταϊκά συστήματα σε συνδυασμό με τις επικρατούσες οικονομιοπολιτικές συνθήκες τόσο σε ευρωπαϊκό όσο και σε παγκόσμιο επίπεδο συνθέτουν μία επιλογή ανανεώσιμης πηγής ενέργειας, ιδιαίτερα ελκυστική και κομβική για τη βιωσιμότητα της γεωργίας και καταφέρνουν να ενσωματώνονται σταδιακά και ποικιλοτρόπως στον αγροτικό κλάδο.

2.2 Η ηλιακή ακτινοβολία και σημαντικές παράμετροι σχεδιασμού των ΑΦΒ συστημάτων

Η μέθοδος σχεδιασμού ενός φωτοβολταϊκού συστήματος μπορεί να γίνει με πολλούς και διαφορετικούς τρόπους και είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με τον σκοπό της εγκατάστασης. Υπάρχουν φωτοβολταϊκά συστήματα τα οποία συνυπάρχουν με τις αγροτικές καλλιέργειες και αποσκοπούν στη διπλή χρήση γης, υπάρχουν φωτοβολταϊκά συστήματα τα οποία συνδυάζονται με αντλητικά συστήματα και χρησιμοποιούνται στην άρδευση των καλλιεργειών ώστε να υπάρχει ενεργειακή αυτονομία με τη χρήση της ηλιακής ενέργειας ενώ παράλληλα η πιθανή περίσσεια ενέργειας διοχετεύεται στο δίκτυο, και υπάρχουν και φωτοβολταϊκά συστήματα που χρησιμοποιούνται σε υποδομές αγροκτημάτων όπως είναι για παράδειγμα θερμοκήπια, ψυγεία και αγροτικές αποθήκες. Στην υποενότητα αυτή γίνεται λόγος για τη μία εκ των παραπάνω κατηγοριών, η οποία είναι τα ΑΦΒ συστήματα και συγκεκριμένα αναφέρονται οι παράμετροι που είναι πολύ σημαντικές για τον σχεδιασμό τους.

Μιας και τα ΑΦΒ συστήματα αξιοποιούν την ηλιακή ενέργεια, δύο πολύ σημαντικές παράμετροι σχεδιασμού τους είναι η γωνία κλίσης των φωτοβολταϊκών πανέλων[15][17] και το σημείο κορεσμού του φωτός που είναι απαραίτητο για την ανάπτυξη κάθε καλλιέργειας[18], ώστε να διασφαλίζεται ότι κάθε στιγμή τα ΑΦΒ συστήματα αξιοποιούν τη μέγιστη δυνατή ηλιακή ακτινοβολία σε συνδυασμό με την απρόσκοπτη ανάπτυξη της καλλιέργειας.

Αναφορικά με την αξιοποίηση της ηλιακής ακτινοβολίας, αυτή μπορεί να φτάσει στη φωτοβολταϊκή μονάδα είτε απευθείας είτε μέσω της διάχυσης και αντανάκλασής της από άλλες μονάδες.[13] Σημαντικό είναι επίσης, ότι η ηλιακή ακτινοβολία περιλαμβάνει ένα φάσμα μηκών κύματος κάποια εκ των οποίων είναι πιο εύκολα και άμεσα απορροφούμενα από τις φωτοβολταϊκές μονάδες.

Υπάρχουν τρία κύρια είδη ηλιακής ακτινοβολίας τα οποία λαμβάνονται υπόψη κατά τη μοντελοποίηση και βελτιστοποίηση των φωτοβολταϊκών μονάδων. Το πρώτο είναι η Άμεση Κανονική Ακτινοβολία (Direct Normal Irradiance – DNI) η οποία αναφέρεται στην ακτινοβολία που δέχεται μία επιφάνεια που είναι κάθετη στις ακτίνες του ήλιου και δε διασπείρεται ή αντανάκλαται από την ατμόσφαιρα.[13]

Το δεύτερο είδος είναι η Διάχυτη Οριζόντια Ακτινοβολία (Diffuse Horizontal Irradiance – DHI) η οποία αντιπροσωπεύει την ηλιακή ακτινοβολία που φτάνει σε μία οριζόντια επιφάνεια

και η οποία ηλιακή ακτινοβολία έχει πρώτα διασκορπιστεί και διαχυθεί από τα μόρια της ατμόσφαιρας, από τα σύννεφα αν υπάρχουν, από το έδαφος ή από άλλες κοντινές επιφάνειες. Η Διάχυτη Οριζόντια Ακτινοβολία περιλαμβάνει επίσης την οπισθοσκεδαζόμενη ακτινοβολία που αντανακλάται πρώτα από μια επιφάνεια και μετά αντανακλάται εκ νέου από την ατμόσφαιρα ή τα σύννεφα.[13]

Το τρίτο είδος ηλιακής ακτινοβολίας είναι η Παγκόσμια ή Ολική Οριζόντια Ακτινοβολία (Global Horizontal Irradiance – GHI) η οποία αναφέρεται στη συνολική ηλιακή ακτινοβολία που φτάνει σε μία οριζόντια επιφάνεια αφού περάσει μέσα από την ατμόσφαιρα. Περιλαμβάνει τον συνδυασμό της άμεσης ακτινοβολίας από τον ήλιο και της διάχυτης ακτινοβολίας που έχει ανακλαστεί και σκεδαστεί από τον ουρανό. Η Παγκόσμια Οριζόντια Ακτινοβολία μπορεί κατά προσέγγιση να υπολογιστεί από την παρακάτω σχέση: [1][4][13]

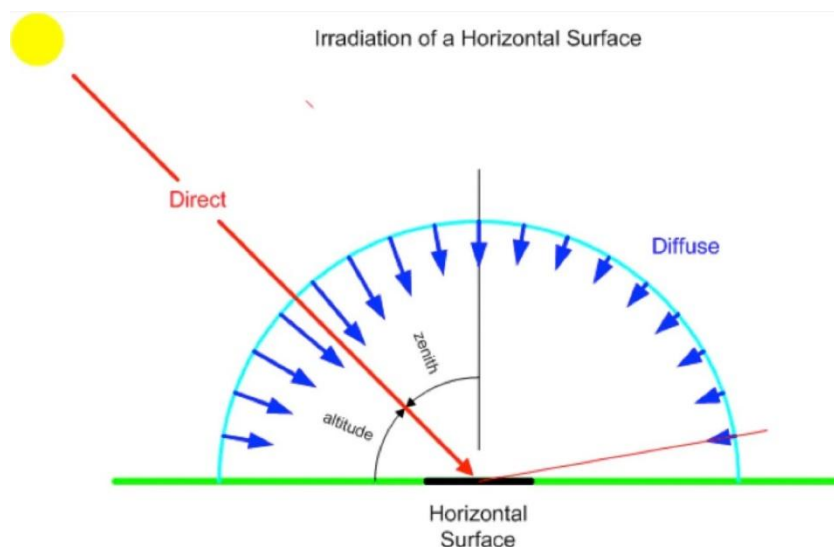
$$GHI = DNI \times \cos(SZA) + DHI$$

όπου:

- GHI είναι η Παγκόσμια Οριζόντια Ακτινοβολία (W/m^2)
- DNI είναι η Άμεση Ηλιακή Ακτινοβολία (W/m^2)
- SZA είναι η Ηλιακή Ζενιτική Γωνία (σε μοίρες)

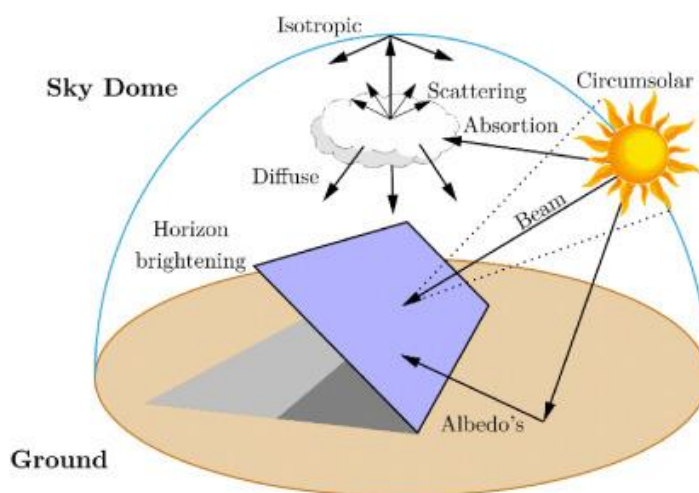
Ηλιακή Ζενιτική Γωνία (Solar Zenith Angle – SZA) είναι η γωνία μεταξύ των ηλιακών ακτίνων και της κατακόρυφης διεύθυνσης.

- DHI είναι η Διάχυτη Οριζόντια Ακτινοβολία (W/m^2)



Εικόνα 6. Άμεση και Διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία που φτάνει σε μία οριζόντια επιφάνεια

Από τα παραπάνω γίνεται αντιληπτό ότι για τη μεγαλύτερη αξιοποίηση της ηλιακής ακτινοβολίας σπουδαίο ρόλο έχει η γωνία πρόσπτωσης των ηλιακών ακτίνων στη φωτοβολταϊκή μονάδα. Το μέγεθος αυτό εξαρτάται άμεσα από τη γωνία κλίσης της φωτοβολταϊκής μονάδας.[13]



Εικόνα 7. Ηλιακή ακτινοβολία επάνω σε κεκλιμένο επίπεδο

Ένα επιπλέον κρίσιμο ζήτημα στην αξιοποίηση της ηλιακής ακτινοβολίας είναι η κατανόηση της φασματικής συμπεριφοράς της καθώς διαφορετικές τεχνολογίες φωτοβολταϊκών παρουσιάζουν διαφορετικές φασματικές αποκρίσεις και κατ' επέκταση διαφορετικούς ρυθμούς απορρόφησης φωτονίων ανάλογα με τα μήκη κύματος του φωτός. Διαφορετικές ποσότητες ενέργειας σε διαφορετικά μήκη κύματος φτάνουν στο φωτοβολταϊκό

κελί. Στη συνέχεια, το φωτοβολταϊκό κελί απορροφά μια ορισμένη ποσότητα από αυτά τα μήκη κύματος και την ανάλογη ενέργεια με βάση τη σύσταση και τα εγγενή χαρακτηριστικά του. [1]

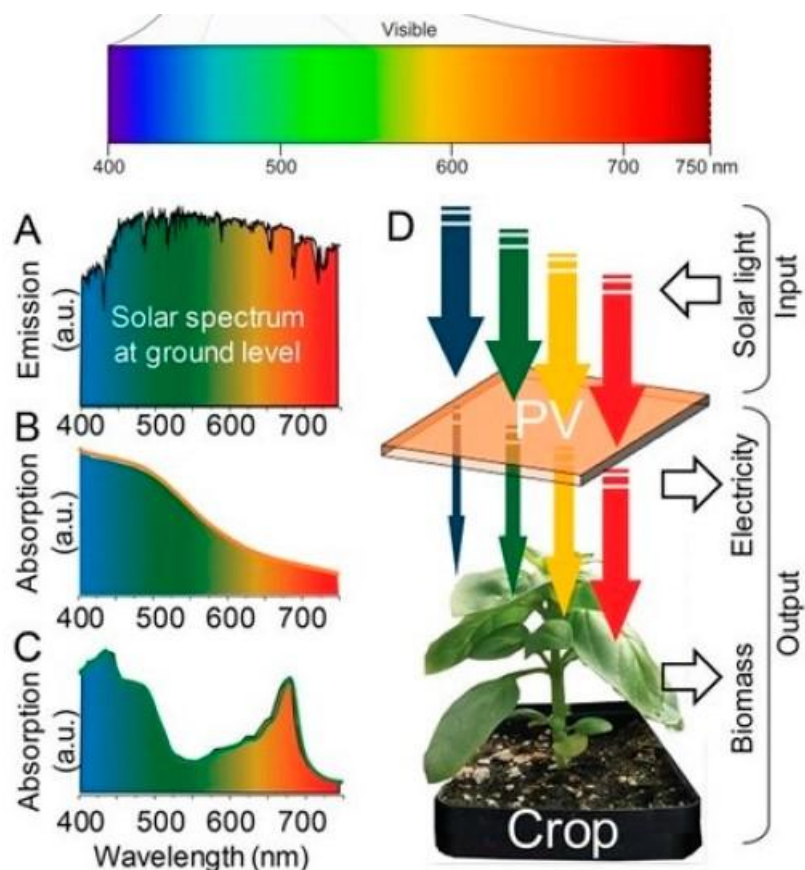
Η κατανόηση της φασματικής συμπεριφοράς της ηλιακής ακτινοβολίας είναι επίσης σημαντική και για την ανάπτυξη των φυτών κάτω από ΑΦΒ συστήματα, καθώς υπάρχουν ΑΦΒ πανέλα τα οποία αποτελούνται από ημιδιάφανες μονάδες που αφήνουν μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας να τις διαπερνά και να φτάνει στο φυτό.[18] Σε αυτήν την περίπτωση πρέπει να μελετηθούν οι ποσότητες από τα διάφορα μήκη κύματος της ηλιακής ακτινοβολίας τα οποία επηρεάζουν διάφορες διαδικασίες ανάπτυξης του φυτού όπως είναι η φωτοσύνθεση, η ανάπτυξη των φύλλων, ο σχηματισμός χλωροφύλλης, η ανθοφορία και η καρποφορία ώστε να μην επιβραδύνονται ή να μην επιβραδύνονται σημαντικά από τον τύπο των μονάδων.[18] Επίσης, σημαντικός παράγοντας για τον σχεδιασμό των ΑΦΒ συστημάτων, ειδικά στις περιπτώσεις των πανέλων που αποτελούνται από αδιαφανείς μονάδες, είναι το σημείο κορεσμού του φωτός για την ανάπτυξη της εκάστοτε καλλιέργειας προκειμένου αυτή να μην παρεμποδίζεται από την σκίαση που δημιουργούν τα φωτοβολταϊκά πανέλα.[7][18]

Ακολουθούν ονομαστικά, συνοπτικά και συγκεντρωτικά οι βασικές παράμετροι σχεδιασμού ενός ΑΦΒ συστήματος.

Πίνακας 1. Βασικές παράμετροι σχεδιασμού ΑΦΒ συστημάτων

Βασικές παράμετροι σχεδιασμού ενός ΑΦΒ συστήματος	Γεωγραφικό μήκος και πλάτος τοποθεσίας εγκατάστασης
	Φασματική απόκριση ΑΦΒ μονάδας – υλικό κατασκευής
	Σημείο κορεσμού του φωτός για την ανάπτυξη της καλλιέργειας
	Προσανατολισμός ΑΦΒ πλαισίων
	Γωνία κλίσης ΑΦΒ πλαισίων
	Διαστάσεις ΑΦΒ πλαισίων
	Αποστάσεις ΑΦΒ πλαισίων

	Εγκατεστημένη ισχύς φωτοβολταϊκής μονάδας
	Κόστος εγκατάστασης
	Τιμή πώλησης παραγόμενης ενέργειας



Εικόνα 8. (Α) Φάσμα ηλιακής ακτινοβολίας. (Β) Φάσμα απορρόφησης από φωτοβολταϊκό πλαίσιο. (Γ) Φάσμα απορρόφησης από μια καλλιέργεια. (Δ) Σχηματική αναπαράσταση της εισόδου (ηλιακό φως) και των εκροών ΑΦΒ συστήματος (δηλαδή ηλεκτρική ενέργεια και βιομάζα). [18]

Φυσικά, για τον βέλτιστο σχεδιασμό των ΑΦΒ συστημάτων υπάρχουν και άλλοι παράγοντες, πέραν των ανωτέρω, εξαιρετικής σημασίας που έχουν τοπικό, τεχνικό και οικονομικό χαρακτήρα. Τέτοιοι παράγοντες είναι η ανύψωση του ήλιου, το μήκος και πλάτος της τοποθεσίας εγκατάστασης των ΑΦΒ μονάδων, οι κλιματολογικές και περιβαλλοντικές συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή, οι ώρες ηλιοφάνειας, οι διαστάσεις των ΑΦΒ μονάδων (μήκος, πλάτος, ύψος) και οι μεταξύ τους αποστάσεις, η τοποθέτηση και ο προσανατολισμός

των αγροβολταϊκών πανέλων, η ισχύς τους, το κόστος εγκατάστασης και η τιμή πώλησης της ενέργειας. [12][14]

2.3 Η υλοποίηση των ΑΦΒ συστημάτων στην πράξη

Η υλοποίηση των ΑΦΒ συστημάτων εξαρτάται από όλα τα μεγέθη που αναφέρθηκαν στην προηγούμενη ενότητα και αποτελούν παραμέτρους κατά τον σχεδιασμό τους.

Πιο αναλυτικά, όσον αφορά τις παραμέτρους που έχουν γεωμετρικό χαρακτήρα, εκείνες στην πράξη διαμορφώνονται ως ακολούθως για τα ΑΦΒ συστήματα.

- **Διαστάσεις ΑΦΒ μονάδας:** Συνήθως οι διαστάσεις για μεμονωμένη ΑΦΒ μονάδα είναι 2 μέτρα (μήκος ή πλάτος) επί 1 μέτρο (πλάτος ή μήκος).[1][10][17]
- **Ύψος ΑΦΒ πανέλου:** Το ύψος ενός αγροβολταϊκού πανέλου εξαρτάται σημαντικά από το είδος της καλλιέργειας και από τον εξοπλισμό που χρησιμοποιείται στην παραγωγή. Μπορεί να κυμανθεί από 0,5 έως και 6 μέτρα με τις πιο συνήθεις τιμές ανάμεσα σε 2 έως 5 μέτρα.[1][4][5][8][9][10][11][12][13][15][16][17][18][19]
- **Απόσταση μεταξύ των σειρών** πάνω στις οποίες τοποθετούνται τα ΑΦΒ πανέλα: Το μέγεθος αυτό εξαρτάται επίσης από το είδος της καλλιέργειας και τις ανάγκες σε φως που έχει, αλλά είναι εξαρτημένο σε εξαίρετο βαθμό και από τον εξοπλισμό που χρησιμοποιείται από τους αγρότες τόσο κατά την περίοδο της ανάπτυξης μιας καλλιέργειας όσο και κατά την περίοδο που το χωράφι είναι σε αγρανάπαυση και ακαλλιέργητο, αφού τα ΑΦΒ συστήματα δεν είναι μία προσωρινή κατασκευή και πρέπει να διασφαλίζεται κάθε στιγμή η ασφαλής και άνετη πρόσβαση του γεωργικού εξοπλισμού στο χωράφι για την εκτέλεση των απαιτούμενων γεωργικών δραστηριοτήτων. Για το λόγο αυτό η τιμή του εν λόγω μεγέθους ποικίλλει και μπορεί να κυμανθεί από μικρές αποστάσεις (1,6 μέτρα) έως και πολύ μεγάλες (45 μέτρα), αλλά συνήθως με γνώμονα τη βέλτιστη ανάπτυξη των καλλιεργειών και την ταυτόχρονη παραγωγή ενέργειας η τιμή κυμαίνεται από 5 έως 20 μέτρα.[1][4][10][12][13][15][17][19]
- **Γωνία κλίσης των ΑΦΒ μονάδων:** Η γωνία κλίσης μιας ΑΦΒ μονάδας εξαρτάται από το είδος του συστήματος των φωτοβολταϊκών πανέλων και τον προσανατολισμό τους, δηλαδή αν αυτά είναι σταθερά, κινητά γύρω από 1 άξονα (προσανατολισμός Ανατολή-Δύση) ή κινητά γύρω από 2 άξονες (προσανατολισμός Ανατολή-Δύση και Βορρά – Νότο),

και από τις γεωγραφικές συντεταγμένες (μήκος, πλάτος) της περιοχής που τοποθετούνται.[1] Σύμφωνα με μελέτες η βέλτιστη γωνία κλίσης για σταθερά συστήματα θα πρέπει να είναι κοντά στο γεωγραφικό πλάτος της τοποθεσίας, αλλά αυτό δεν ισχύει για μια κάθετα τοποθετημένη φωτοβολταϊκή εγκατάσταση λόγω της σταθερής κλίσης τους στις 90 μοίρες. Για τα στατικά συστήματα οι πιο συνήθεις τιμές γωνιών κλίσης για τις ΑΦΒ μονάδες είναι από 17 έως 35 μοίρες.[1][4][8][10][11][12][13][15][16][17][19]

- **Τύπος ΑΦΒ εγκατάστασης:** Στην κατηγορία αυτή εντάσσονται τόσο το σύστημα κίνησης της ΑΦΒ μονάδας, δηλαδή αν πρόκειται για σταθερό ή για κινητό σύστημα όσο και η τεχνολογία που χρησιμοποιείται για την απορρόφηση της ηλιακής ενέργειας, δηλαδή εάν η μονάδα είναι μονής όψης ή διπλής όψης, αδιαφανής ή ημιδιαφανής (στην περίπτωση που η μονάδα αφήνει μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας να τη διαπερνά), και επίσης από το υλικό που επιλέγεται για την κατασκευή του καθρέφτη, δηλαδή αν είναι μονοκρυσταλλικές μονάδες, πολυκρυσταλλικές ή μονάδες λεπτής μεμβράνης. Ιδιαίτερη απήχηση στον ΑΦΒ τομέα έχουν οι αδιαφανείς μονοκρυσταλλικές μονάδες διπλής όψης (σταθερά και κινητά συστήματα) και σταδιακά με την εξέλιξη της τεχνολογίας γίνονται ολοένα και πιο εμπορικά στον συγκεκριμένο τομέα οι ημιδιαφανείς μονάδες που αφήνουν μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας να τις διαπεράσει και να φτάσει στο φυτό.[1][4][8][10][12][14][16][17][18][19]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 - ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΕΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΑΦΘ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

3.1 Προσομοίωση της καλλιέργειας

Στο πέραςμα του χρόνου έχουν δημιουργηθεί πολλά μοντέλα για την προσομοίωση διαφόρων καλλιεργειών, την πρόβλεψη της απόδοσής τους, τη βελτιστοποίηση των πρακτικών διαχείρισής τους και την επίδραση της κλιματικής αλλαγής σε αυτές. Τα μοντέλα αυτά μπορούν να διακριθούν σε 3 κατηγορίες.

Η πρώτη κατηγορία είναι τα **στατιστικά μοντέλα**. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν τα μοντέλα αυτά τα οποία χρησιμοποιούν ιστορικά δεδομένα και μεθόδους στατιστικής ανάλυσης προκειμένου να αναλύσουν και να προβλέψουν την απόδοση της καλλιέργειας και βασίζονται σε παράγοντες όπως είναι οι κλιματικές συνθήκες, η ποιότητα του εδάφους και οι πρακτικές διαχείρισης της καλλιέργειας. Στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνονται μοντέλα γραμμικής παλινδρόμησης και ανάλυσης χρονοσειρών.[29]

Η δεύτερη κατηγορία είναι τα **βασιζόμενα στη διαδικασία μοντέλα**. Όπως διαφαίνεται και από την ονομασία της κατηγορίας αυτής, τα συγκεκριμένα μοντέλα προσομοιάζουν τις φυσιολογικές διαδικασίες της ανάπτυξης των καρπών λαμβάνοντας υπ' όψιν παράγοντες όπως είναι η φωτοσύνθεση, η αναπνοή και η πρόσληψη θρεπτικών συστατικών. Στην εν λόγω κατηγορία ανήκουν μοντέλα ανάπτυξης καλλιεργειών και μοντέλα χρήσης νερού σε καλλιέργειες.[29]

Η τρίτη κατηγορία περιλαμβάνει **μοντέλα μηχανικής μάθησης** και χρησιμοποιεί αλγόριθμους και υπολογιστικές μεθόδους προκειμένου να αναλύσει μεγάλο όγκο δεδομένων και να κάνει προβλέψεις σύμφωνα με μοτίβα και σχέσεις. Στη συγκεκριμένη κατηγορία περιλαμβάνονται τα μοντέλα του τυχαίου δάσους, των δέντρων αποφάσεων και τα νευρωνικά δίκτυα.[29]

Τα συνήθη δεδομένα που χρειάζονται τα παραπάνω μοντέλα είναι δεδομένα καιρού, δεδομένα εδάφους και απομακρυσμένα δεδομένα από αισθητήρες.[29]

Τα πιο συχνά ζητούμενα μετεωρολογικά δεδομένα είναι η θερμοκρασία, η βροχόπτωση, η υγρασία και ο άνεμος. Σύμφωνα με αυτά, τα μοντέλα προσπαθούν να κάνουν πρόβλεψη του

κλίματος και των περιβαλλοντικών συνθηκών που είναι παράγοντες οι οποίοι επηρεάζουν την απόδοση μιας καλλιέργειας.[29]

Αναφορικά με τα δεδομένα εδάφους, εκείνα που ζητούνται συνήθως είναι η σύσταση του εδάφους, η περιεκτικότητά του σε θρεπτικά συστατικά και η υγρασία του (οι πληροφορίες αυτές πιθανότατα ζητούνται και σε διάφορα βάθη). Αυτά τα δεδομένα χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό των αναγκών των καλλιεργειών σε άρδευση και λίπανση και τη βελτιστοποίηση γεωπονικών μεθόδων και πρακτικών για την υγιή και αποδοτική ανάπτυξη των φυτών.

Στις τεχνικές για την παραγωγή των δεδομένων που λαμβάνονται μέσω απομακρυσμένου ελέγχου και αφορούν την ανάπτυξη των φυτών συγκαταλέγονται οι δορυφορικές εικόνες και οι αεροφωτογραφίες μέσω των οποίων εξάγονται σημαντικές πληροφορίες για τους δείκτες βλάστησης, την κάλυψη γης και την απόδοση των καρπών.[29]

Μερικά από τα πιο γνωστά λογισμικά για την προσομοίωση μιας καλλιέργειας είναι το DSSAT (Decision Support System for Agrotechnology Transfer), το APSIM (Agricultural Production System sIMulator) και το CropSyst.[8][9][11][28] Το λογισμικό DSSAT διαθέτει μεγάλο εύρος καλλιεργειών και προσομοιώνει την ανάπτυξη των φυτών, τις αποδόσεις τους, τον κύκλο των θρεπτικών συστατικών των καλλιεργειών και του απαιτούμενου νερού.[20][28][35] Το λογισμικό APSIM προσφέρει επίσης πληθώρα επιλογών σε φυτά και δίνει τη δυνατότητα προσομοίωσης καλλιεργειών, διαδικασιών εδάφους και διαχείρισης αγροσυστημάτων.[11] Παρόμοιες λειτουργίες διαθέτει και το λογισμικό CropSyst δίνοντας έμφαση στις επιπτώσεις και μεταβολές των περιβαλλοντικών συνθηκών.[4]

3.2 Προσομοίωση συνδυασμού χρήσεων γης αγροτικής καλλιέργειας και φωτοβολταϊκών συστημάτων

Η προσομοίωση των ΑΦΒ συστημάτων μπορεί να γίνει με 2 τρόπους. Ο πρώτος είναι η προσομοίωση των καλλιεργειών σε κατάλληλο λογισμικό προσομοίωσης (παραδείγματος χάριν τα αναφερόμενα στην ενότητα 3.1 – DSSAT, APSIM, CropSyst) και παράλληλα, η προσομοίωση των φωτοβολταϊκών συστημάτων σε επίσης κατάλληλο λογισμικό προσομοίωσης (για παράδειγμα PVsyst, PV*SOL, HelioScope).[9][13] Τα αποτελέσματα που εξάγονται και αφορούν στην ηλιακή ακτινοβολία που φτάνει στο έδαφος μέσα από τα

φωτοβολταϊκά συστήματα χρησιμοποιούνται από τα λογισμικά προσομοίωσης των καλλιεργειών ώστε να γίνει μία επιπλέον ανάλυση στην εκάστοτε καλλιέργεια έχοντας ως δεδομένα εισόδου ηλιακής ακτινοβολίας την απομένουσα/μειωμένη ηλιακή ακτινοβολία εξαιτίας της χρήσης των ΑΦΒ συστημάτων, και κατά αυτόν τον τρόπο να υπολογιστεί η απόδοση παραγωγής της καλλιέργειας υπό αυτές τις συνθήκες.

Ο δεύτερος τρόπος προσομοίωσης μιας ΑΦΒ εγκατάστασης είναι μέσω λογισμικών τα οποία έχουν δημιουργηθεί για αυτόν τον σκοπό. Τα δύο βασικά μειονεκτήματα των λογισμικών αυτών είναι ότι έχουν αναπτυχθεί τα τελευταία χρόνια, οπότε και χρήζουν αρκετών βελτιώσεων ακόμα, και ο γεωγραφικός περιορισμός που συνήθως έχουν τα συγκεκριμένα λογισμικά.

Για παράδειγμα η εφαρμογή «My Agrivoltaic Farm»[30] περιορίζεται γεωγραφικά στις πολιτείες της Αριζόνας, του Κολοράντο και του Ιλινόι. Επίσης, στο πλαίσιο του προγράμματος «HYPERFARM» που χρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση έχει αναπτυχθεί ένα διαδικτυακό εργαλείο για ΑΦΒ συστήματα αλλά τα αποτελέσματα που εξάγονται προορίζονται αποκλειστικά για ενημερωτικούς σκοπούς και οι υπολογισμοί, οι συστάσεις και οι πληροφορίες που παράγονται από αυτό το εργαλείο είναι εκτιμήσεις και δεν πρέπει να θεωρούνται ακριβείς ή οριστικές.[31] Ένα αξιόλογο λογισμικό-εφαρμογή που έχει αναπτυχθεί από την Sandbox Solar είναι το «Spade Agrivoltaics»[32], με σκοπό τη μοντελοποίηση ΑΦΒ συστημάτων και είναι ικανό να προσφέρει μία ολοκληρωμένη ανάλυση λαμβάνοντας υπ'όψιν διάφορους παράγοντες, όπως την τοποθεσία του έργου, την έκθεση στον ήλιο, τους τύπους καλλιεργειών και την απόδοση των φωτοβολταϊκών μονάδων. Στη συνέχεια και σύμφωνα με αυτά τα δεδομένα, τα μοντέλα προσομοίωσης που χρησιμοποιεί το λογισμικό είναι σε θέση να εκτιμήσουν με ακρίβεια την πιθανή απόδοση της καλλιέργειας και του φωτοβολταϊκού συστήματος. Παρόλα αυτά και σε αυτήν την περίπτωση, η εφαρμογή περιορίζεται γεωγραφικά έως και σήμερα σε περιπτώσεις που λαμβάνουν χώρα στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής και σε μερικές (λίγες) περιοχές της Ευρώπης και της Αφρικής.

Καταληκτικά, υπάρχουν κάποια προγράμματα τα οποία μπορούν να μοντελοποιήσουν και να αναλύσουν ΑΦΒ εγκαταστάσεις, αλλά τα αποτελέσματα από τα προγράμματα αυτά είτε χρειάζονται περαιτέρω αξιολόγηση και επαλήθευση είτε οι περιπτώσεις για τις οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν τα συγκεκριμένα λογισμικά είναι περιορισμένες όσον αφορά τη γεωγραφία τους.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 - ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΟΥ ΑΓΡΟΤΕΜΑΧΙΟΥ ΜΕ ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΔΙΠΛΗ ΧΡΗΣΗ ΓΗΣ

Η συγκεκριμένη διπλωματική εργασία πραγματεύεται τη διπλή χρήση ενός αγροτεμαχίου στην ελληνική επικράτεια. Μελετάται, η τοποθέτηση ΑΦΒ συστοιχιών πάνω από τα φυτά, ώστε να είναι εφικτή η ταυτόχρονη καλλιέργεια της γης και η παραγωγή ενέργειας.

4.1 Λογισμικά που χρησιμοποιήθηκαν

Κατά τη διάρκεια της μελέτης χρησιμοποιήθηκαν δύο λογισμικά. Το ένα είναι το PVsyst το οποίο είναι λογισμικό ανάλυσης φωτοβολταϊκών συστημάτων και το άλλο είναι το DSSAT το οποίο είναι λογισμικό υποστήριξης αποφάσεων για τη γεωργία.

4.1.1 Λογισμικό PVsyst και βασικές παράμετροι εισαγωγής

Το PVsyst είναι ένα εξειδικευμένο λογισμικό για μελέτη, προσομοίωση και ανάλυση φωτοβολταϊκών συστημάτων.[36] Οι κύριες λειτουργίες του είναι:

- Σχεδιασμός φωτοβολταϊκών εγκαταστάσεων.
- Προσομοίωση ενεργειακής απόδοσης ενός συστήματος με βάση:
 - Τοποθεσία (γεωγραφικά δεδομένα).
 - Κλιματολογικά στοιχεία.
 - Εξοπλισμό (τύπος πάνελ, inverter, καλώδια, σκίαση κλπ.).
- Ανάλυση απωλειών.
- Υπολογισμός παραγόμενης ενέργειας (kWh) και λόγου απόδοσης.
- Οικονομική αξιολόγηση του έργου.
- Αναφορά έργου με γραφήματα και πίνακες αποτελεσμάτων.

Για την εκτέλεση των απαιτούμενων αναλύσεων χρησιμοποιήθηκαν και εισήχθησαν στο λογισμικό η τοποθεσία και τα αντίστοιχα μηνιαία μετεωρολογικά δεδομένα, τα οποία παρασχέθηκαν από το Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών[37], για την ολική ηλιακή ακτινοβολία, τη θερμοκρασία περιβάλλοντος, την ταχύτητα ανέμου και τη σχετική υγρασία ενώ υπολογίστηκαν από το λογισμικό η διάχυτη οριζόντια ακτινοβολία και ο συντελεστής

θολότητας ο οποίος εκφράζει τη σχετική απορρόφηση και σκέδαση της ηλιακής ακτινοβολίας από την ατμόσφαιρα λόγω υδρατμών, σκόνης και ρύπων. Τα προαναφερόμενα φαίνονται στις ακόλουθες εικόνες:

Location

Site name

Árma

Get from coordinates

Country

Greece

Region

Europe

Show map

Geographical Coordinates

Sun paths

Decimal
Deg. Min. Sec.

Latitude

38.3677

[°]

38

22

3

(+ = North, - = South hemisph.)

Longitude

23.5028

[°]

23

30

10

(+ = East, - = West of Greenwich)

Altitude

192

M above sea level

Time zone

2.0

Corresponding to an average difference

Legal Time - Solar Time = 0h 26m

?

Get from name

Εικόνα 9. Εισαγωγή τοποθεσίας στο PVsyst

	Global horizontal irradiation	Horizontal diffuse irradiation	Temperature	Wind Velocity	Linke turbidity	Relative humidity
	kWh/m ² /mth	kWh/m ² /mth	°C	m/s	[-]	%
January	63.2	30.0	9.2	2.80	2.850	69.9
February	77.2	39.5	9.7	2.90	3.135	69.5
March	124.9	60.5	12.5	2.80	3.582	64.2
April	166.2	65.0	15.6	2.70	4.255	59.9
May	212.0	77.0	20.9	2.79	3.849	52.6
June	231.1	68.0	25.5	2.99	3.455	47.4
July	229.0	68.6	29.0	3.40	3.458	41.6
August	206.1	67.7	29.0	3.59	3.462	41.5
September	147.6	55.7	23.7	2.90	3.524	54.5
October	97.5	47.7	19.1	2.79	3.277	62.5
November	63.2	33.1	14.6	2.40	3.117	70.4
December	52.1	27.6	10.6	2.70	2.968	70.3

Εικόνα 10. Χρησιμοποιούμενα μετεωρολογικά δεδομένα

Οι τεχνικές παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν αποτυπώνονται αναλυτικά παρακάτω (υποενότητα 4.4).

4.1.2 Λογισμικό DSSAT και βασικές παράμετροι εισαγωγής

Το DSSAT είναι ένα σύστημα υποστήριξης αποφάσεων για τη γεωργία, που χρησιμοποιεί μοντέλα καλλιεργειών για να προσομοιώσει την ανάπτυξη φυτών, την απόδοση και τις επιπτώσεις των κλιματικών συνθηκών του περιβάλλοντος ή των αγρονομικών πρακτικών.[28] Οι κύριες λειτουργίες του είναι:[20]

- Προσομοίωση καλλιεργειών με βάση:
 - Κλιματικά δεδομένα (θερμοκρασία, βροχόπτωση, ηλιακή ακτινοβολία, ταχύτητα ανέμου - είναι τα ελάχιστα απαιτούμενα κλιματικά δεδομένα).
 - Εδαφικές ιδιότητες.
 - Διαχείριση καλλιέργειας (άρδευση, λίπανση, ημερομηνίες σποράς).
 - Γενετικά χαρακτηριστικά καλλιεργούμενης ποικιλίας.
- Αξιολόγηση απόδοσης καλλιέργειας υπό διαφορετικά σενάρια (παραδείγματος χάρη αλλαγή κλίματος, νέες πρακτικές καλλιέργειας).
- Προσομοίωση πρακτικών διαχείρισης νερού, λίπανσης και άλλων.
- Σύγκριση σεναρίων προς υποστήριξη γεωργικών αποφάσεων και εφαρμοστέων πολιτικών διαχείρισης καλλιέργειας.

Για την προσομοίωση και ανάλυση της καλλιέργειας δημιουργήθηκαν κατάλληλα αρχεία μετεωρολογικών δεδομένων τα οποία περιλαμβάνουν μετρήσεις θερμοκρασίας, βροχόπτωσης, παγκόσμιας οριζόντιας ακτινοβολίας και ταχύτητας ανέμου σε ημερήσια βάση. Τα πρωτογενή δεδομένα για τη δημιουργία αυτών των αρχείων δόθηκαν από το Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών.[37]

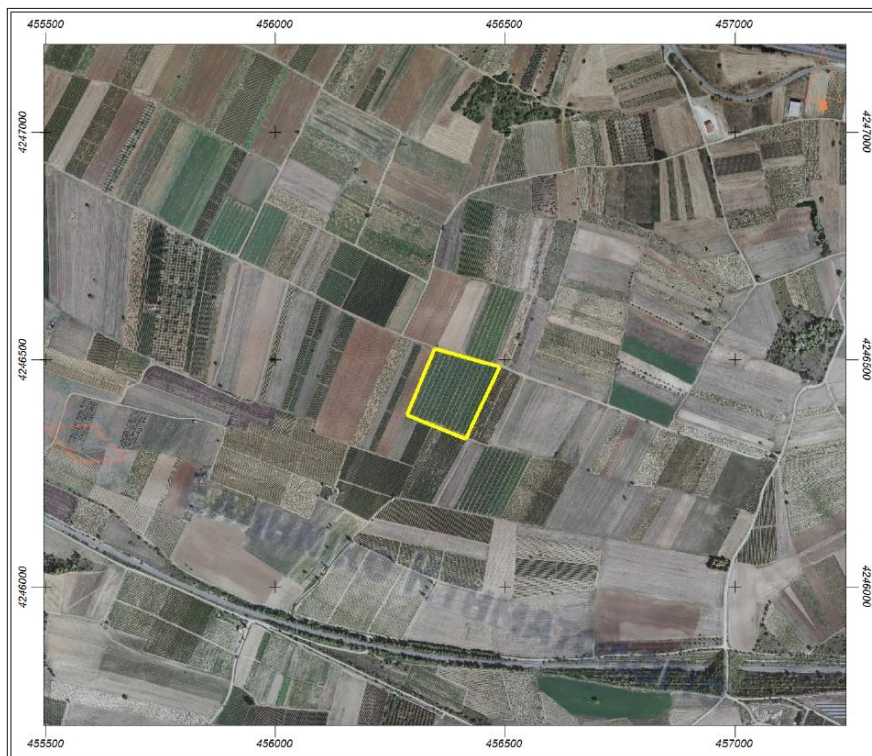
Έπειτα δημιουργήθηκε το προφίλ εδάφους σύμφωνα με αναλύσεις που έγιναν στην επιφάνεια του εδάφους και σε βάθος μεγαλύτερο των 30 εκατοστών.[38] Τα αποτελέσματα των αναλύσεων του εδάφους παρουσιάζονται στην υποενότητα 4.2 ενώ ακολούθως παρουσιάζεται η εισαγωγή τους στο λογισμικό και ο μετέπειτα υπολογισμός άλλων σημαντικών στοιχείων εδάφους από το ίδιο το πρόγραμμα.

Depth (bottom), cm	Clay, %	Silt, %	Stones, %	Lower limit	Drained Upper limit	Saturated Water Content	Bulk density, g/cm ³	Sat. hydraulic conduct, cm/h	Root growth factor, 0.0 to 1.0
5	38.1	37.3	14.6	0.244	0.405	0.491	1.09	0.23	1
15	38.1	37.3	14.6	0.244	0.405	0.491	1.09	0.23	1
30	38.1	37.3	14.6	0.244	0.405	0.491	1.09	0.23	0.638
40	39.7	37.9	7.4	0.295	0.49	0.527	1.11	0.23	0.497
50	39.7	37.9	7.4	0.295	0.49	0.527	1.11	0.23	0.407
60	39.7	37.9	7.4	0.295	0.49	0.527	1.11	0.23	0.333
70	39.7	37.9	7.4	0.295	0.49	0.527	1.11	0.23	0.273
90	39.7	37.9	7.4	0.295	0.49	0.527	1.11	0.23	0.202
105	39.7	37.9	7.4	0.295	0.49	0.527	1.11	0.23	0.142
120	39.7	37.9	7.4	0.295	0.49	0.527	1.11	0.23	0.105

Εικόνα 11. Προφίλ εδάφους - DSSAT

4.2 Χαρακτηριστικά και χρήση αγροτεμαχίου

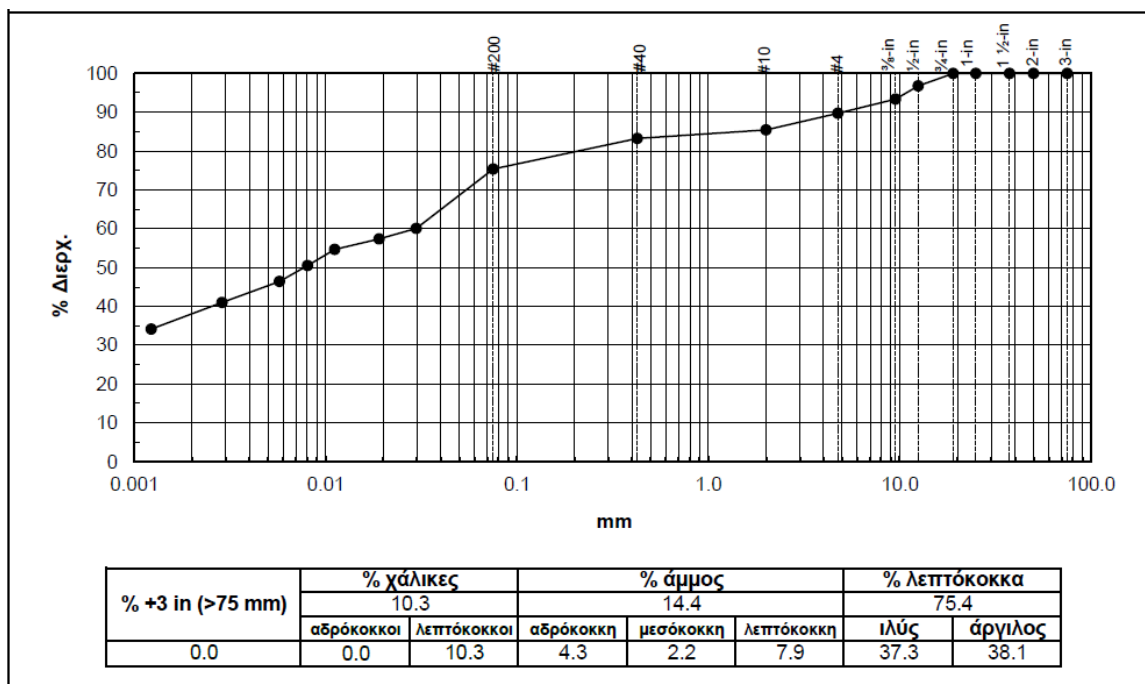
Το υπό μελέτη αγροτεμάχιο βρίσκεται στην περιοχή με το τοπωνύμιο «ΤΥΜΠΙΑΝΟΚΑΜΠΟΣ» του Δήμου Τανάγρας, της Δημοτικής Ενότητας Τανάγρας, της Τοπικής Κοινότητας Άρματος και εκτός σχεδίου οικισμού και οι γεωγραφικές συντεταγμένες του είναι 38.37° (N) (γεωγραφικό πλάτος) και 23.50° (E) (γεωγραφικό μήκος), ενώ βρίσκεται σε υψόμετρο 201 μέτρα. Έχει μήκος περίπου 170 μέτρα και πλάτος 141 μέτρα, ως εκ τούτου το εμβαδόν του ανέρχεται σε 23.970 τετραγωνικά μέτρα, δηλαδή σχεδόν 24 στρέμματα. Το αγροτεμάχιο εμφανίζεται στο παρακάτω απόσπασμα κτηματολογικού διαγράμματος.



Εικόνα 12. Τοποθεσία υπό μελέτη αγροτεμαχίου

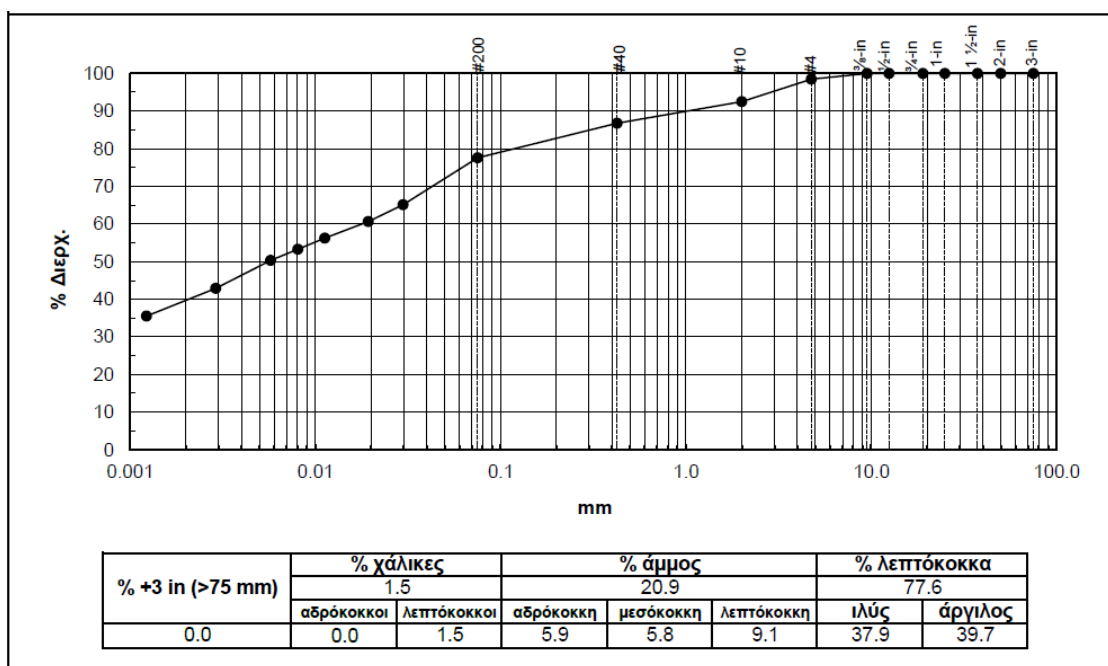
Το έδαφος του γεωτεμαχίου χαρακτηρίζεται ως ασβεστούχο και η σύστασή του σύμφωνα με τα δείγματα που ελήφθησαν από το χωράφι και με τις εδαφικές αναλύσεις που έγιναν από το εργαστήριο Geoterra[38] έχουν ως εξής:

- Βάθος (0-30) εκατοστά:
 - Κοκκομετρική ανάλυση:



Εικόνα 13. Κοκκομετρική ανάλυση εδάφους βάθους (0-30) εκατοστά

- Πυκνότητα: 1.086 g/cm³
 - Ολικός Οργανικός Άνθρακας: 2.05 % C w/w
 - Ολικό Άζωτο: Μη Ανιχνεύσιμο
- Βάθος μεγαλύτερο από 30 εκατοστά:
- Κοκκομετρική Ανάλυση:



Εικόνα 14. Κοκκομετρική ανάλυση εδάφους βάθους άνω των 30 εκατοστών

- Πυκνότητα: 1.107 g/cm³
- Ολικός Οργανικός Άνθρακας: 2.74 % C w/w
- Ολικό Άζωτο: Μη Ανιχνεύσιμο

Η σημερινή χρήση του γεωτεμαχίου είναι καθαρά αγροτική και δεν βρίσκεται κάποια κατασκευή εντός αυτού. Το χωράφι χρησιμοποιείται συνήθως είτε για καλλιέργεια σιταριών είτε για καλλιέργεια πιπεριάς. Στην υπό μελέτη περίπτωση θεωρείται ότι το χωράφι καλλιεργείται με πιπεριά.

4.3 Χαρακτηριστικά καλλιέργειας

Το είδος της πιπεριάς που καλλιεργείται και μελετάται είναι η πράσινη πιπεριά φλάσκα. Η καλλιεργούμενη πιπεριά ανήκει στην οικογένεια Solanaceae ενώ η επιστημονική ονομασία της είναι *Capsicum annuum* var *annuum* L. Κατάγεται από τις τροπικές περιοχές της Ν. Αμερικής και στην Ευρώπη εισήχθη τον 15^ο αιώνα από τον Κολόμβο.[21][22][23]

Είναι φυτό μονοετές ή διετές. Τα φύλλα του είναι λεπτά, ελλειπτικά με βαθύ πράσινο χρώμα. Αρχικά το φυτό αναπτύσσεται μονοστέλεχο, σχηματίζει δηλαδή έναν κύριο βλαστό ο οποίος στη συνέχεια διακλαδίζεται σχηματίζοντας δύο ή και τρεις βλαστούς (βλαστοί 1^{ης}

τάξης). Στη διακλάδωση αυτή σχηματίζεται ο πρώτος οφθαλμός-άνθος. Κάθε νέος βλαστός μετά την παραγωγή ενός ή δύο φύλλων διακλαδίζεται και δίνει νέους βλαστούς που στη διακλάδωσή τους φέρουν ανθοφόρους οφθαλμούς. Τα άνθη της πιπεριάς είναι ερμαφρόδιτα, αυτογονιμοποιούμενα και μερικώς σταυρογονιμοποιούμενα. Το φυτό της πιπεριάς έχει την τάση να αναπτύσσεται προς τα πάνω, πρόκειται δηλαδή για ορθόκλαδη ανάπτυξη και το τελικό ύψος του φυτού μπορεί να φτάσει και τα 150 εκατοστά. Το ριζικό σύστημα της πιπεριάς μπορεί να φτάσει σε βάθος 60-120 εκατοστά. Ο καρπός της έχει χρώμα αρχικά πράσινο και μετέπειτα, κατά την ωρίμανση και ανάλογα με την ποικιλία, μπορεί να πάρει χρώμα κόκκινο, κίτρινο, πορτοκαλί ή ιώδες.[21][22][23] Στην παρούσα διπλωματική εργασία, όπως έχει ήδη αναφερθεί, μελετάται η πράσινη πιπεριά φλάσκα.

Αναφορικά με τις κλιματικές απαιτήσεις της πιπεριάς και προκειμένου αυτές να ικανοποιούνται, το κλίμα θα πρέπει να είναι εύκρατο. Για την ακρίβεια η πιπεριά αναπτύσσεται άριστα όταν οι θερμοκρασίες ημέρας κυμαίνονται από 22°C έως 28°C και οι θερμοκρασίες νύχτας από 16°C έως 20°C. Ακόμη, η καρπόδεση περιορίζεται όταν η θερμοκρασία είναι χαμηλότερη από 16°C και υψηλότερη από 32°C. Παράλληλα, η πιπεριά είναι ένα φυτό ιδιαίτερα ευπαθές στην έλλειψη υγρασίας κατά την περίοδο ανθοφορίας και καρπόδεσης ειδικά όταν η έλλειψη αυτή συνδυάζεται με υψηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος. Έχει υπολογιστεί πως οι συνολικές ανάγκες σε νερό μιας καλλιέργειας πιπεριάς κυμαίνονται από 500 έως 800mm ανάλογα με τις κλιματολογικές συνθήκες περιβάλλοντος και τον γενότυπο της πιπεριάς.[21][22][23] Στην περίπτωση που διερευνάται, η ύδρευση της καλλιέργειας γίνεται με άντληση νερού μέσω γεώτρησης βάθους μεγαλύτερου των 300 μέτρων και η κατανάλωση νερού που κάνει ο παραγωγός μεταφρασμένη σε όρους ηλεκτρικής ενέργειας εμφανίζεται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 2. Μηνιαίες καταναλώσεις ηλεκτρικής ενέργειας για την ύδρευση της καλλιέργειας

Μήνας	Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας (kWh)
Μάιος	6.000
Ιούνιος	14.000
Ιούλιος	14.000
Αύγουστος	14.000
Σεπτέμβριος	14.000
Οκτώβριος	10.000

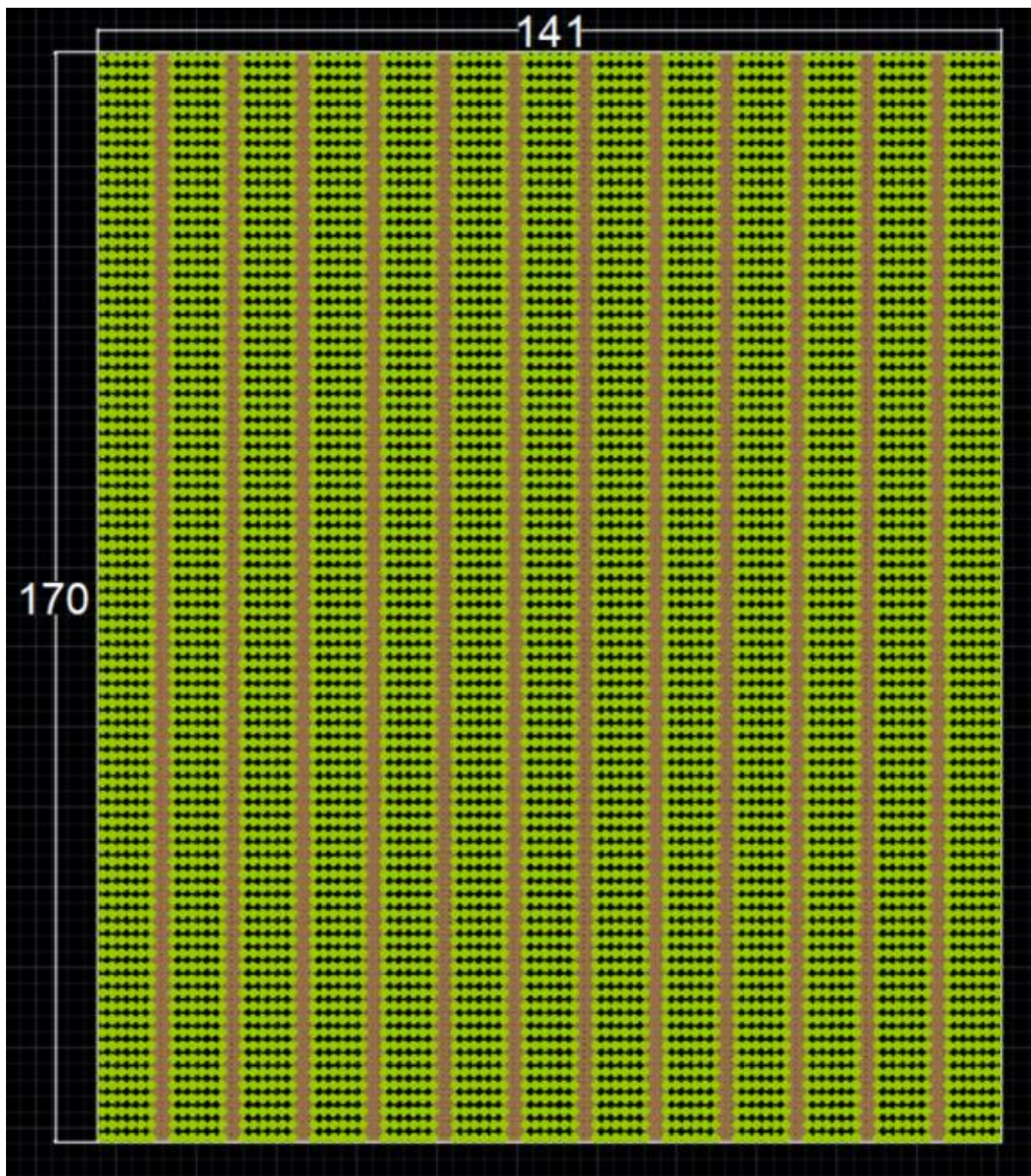
Σύνολο	72.000
---------------	---------------

Ένας ακόμη σημαντικός παράγοντας για την ομαλή ανάπτυξη των φυτών της πιπεριάς είναι το έδαφος. Η πιπεριά ευδοκίμει σε ελαφρά, καλά στραγγιζόμενα και πλούσια σε οργανική ουσία εδάφη. Το επιθυμητό pH του εδάφους είναι 5,5-6,8.[21][22][23]

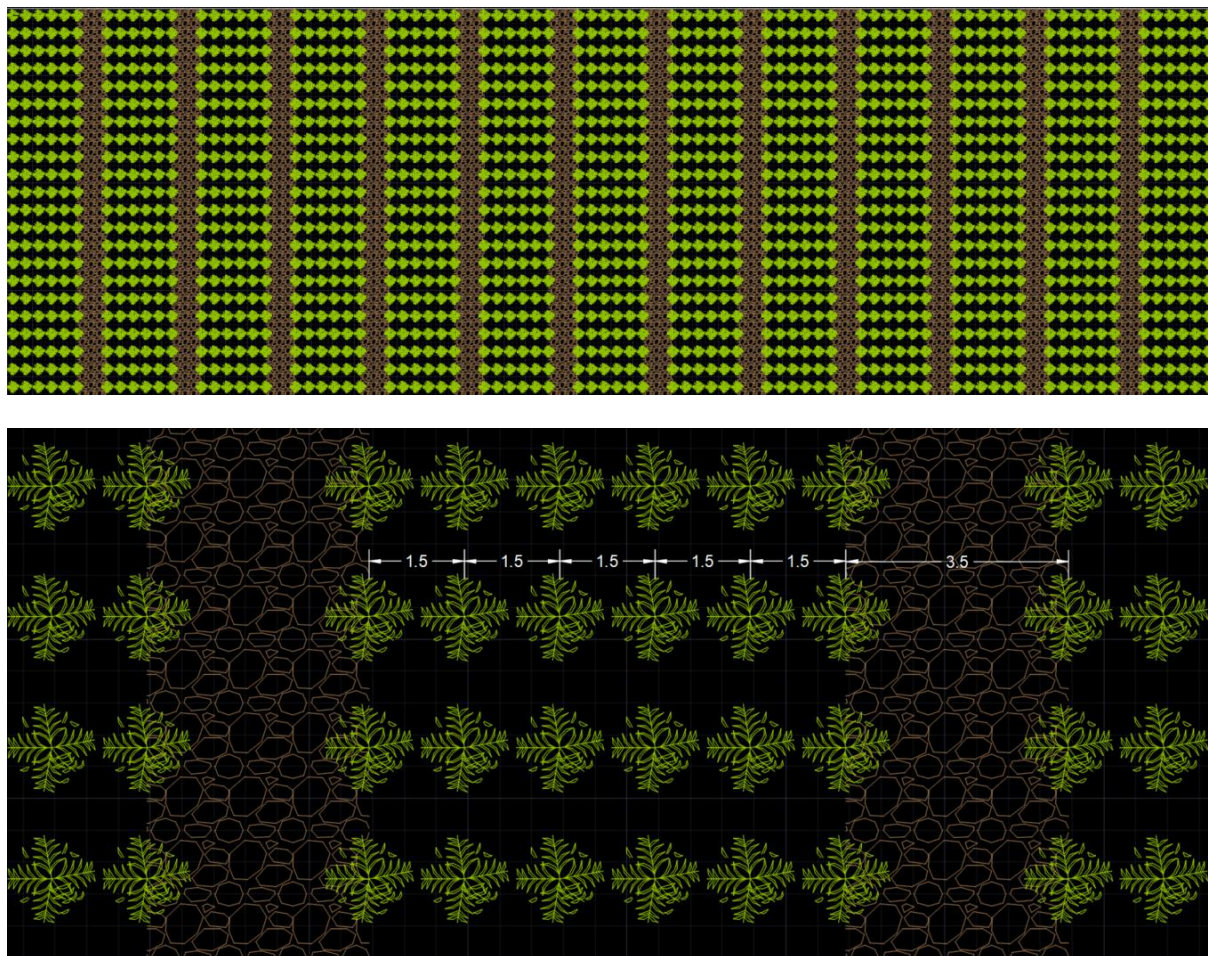
Συναρτήσεις του εδάφους καλλιέργειας είναι και οι απαιτήσεις σε λίπανση της πιπεριάς. Η βασική λίπανση της πιπεριάς, η οποία είναι εκείνη που λαμβάνει χώρα πριν την σπορά ή τη μεταφύτευση των νεαρών φυτών απαιτεί την παροχή οργανικής ύλης, φωσφόρου, καλίου και αζώτου σε αμμωνιακή μορφή, ενώ η επιφανειακή λίπανση της πιπεριάς, η οποία λαμβάνει χώρα μετά την έναρξη της καρπώδεσης, απαιτεί την παροχή οργανικής ύλης, αζώτου σε νιτρική μορφή και πιθανότατα και καλίου.[21][22][23]

Οι περίοδοι σποράς, μεταφυτεύσεως και συγκομιδής της πιπεριάς εξαρτώνται από το είδος της καλλιέργειας, δηλαδή από το γεγονός αν πρόκειται για πρώιμη, κανονική ή όψιμη καλλιέργεια. Για την υπό μελέτη περίπτωση η καλλιέργεια της πιπεριάς είναι κανονική και η περίοδος μεταφυτεύσεως της πιπεριάς είναι Μάιος.[21][22][23]

Επιπλέον, στο υπό εξέταση χωράφι και χωρίς τη χρήση ΑΦΒ εγκατάστασης, τα φυτά της πιπεριάς φυτεύονται ανά 50 εκατοστά απόσταση επί της ίδιας γραμμής, ενώ από τον άξονα της μίας γραμμής μέχρι τον άξονα της επόμενης γραμμής η απόσταση είναι 1,5 μέτρα. Τέλος, ανά 6 (συνεχόμενες) γραμμές αφήνεται δρόμος πλάτους 3,5 μέτρων για τη διέλευση των γεωργικών μηχανημάτων. Εφεξής 6 συνεχόμενες γραμμές θα αποτελούν 1 συστάδα.

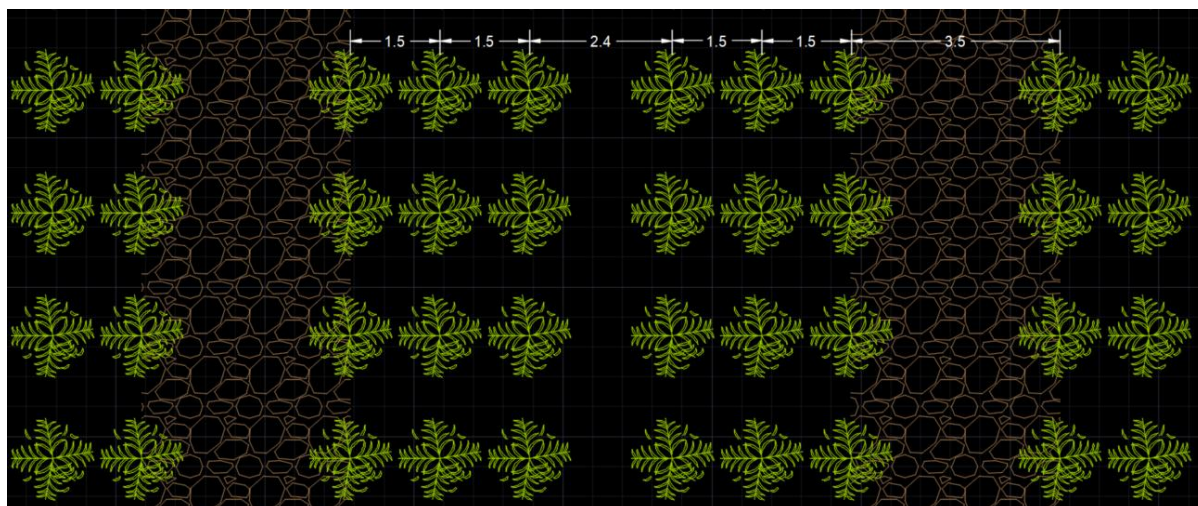


Εικόνα 15. Κάτοψη χωραφίου με καλλιέργεια πιπεριάς χωρίς αγροφωτοβολταϊκά



Εικόνα 16. Λεπτομέρειες διάταξης των φυτών πιπεριάς στο υπό μελέτη χωράφι χωρίς αγροβολταϊκή εγκατάσταση

Στο σενάριο που υπάρχει ΑΦΒ εγκατάσταση στο χωράφι η απόσταση των φυτών επί της ίδιας γραμμής δε μεταβάλλεται, παραμένει 50 εκατοστά, και οι γραμμές της ίδιας συστάδας απέχουν μεταξύ τους 1,5 μέτρο (από άξονα σε άξονα) με εξαίρεση την απόσταση μεταξύ της τρίτης και της τέταρτης γραμμής που αυξάνεται σε 2,4 μέτρα με σκοπό να υπάρχει επαρκής χώρος για τη βάση θεμελίωσης του ΑΦΒ πάνελ, την ανάπτυξη του ριζικού συστήματος της πιπεριάς και την μη παρεμπόδιση κατά τη διάρκεια της συγκομιδής των καρπών. Το πλάτος του διαδρόμου διέλευσης του γεωργικού εξοπλισμού παραμένει σταθερό στα 3,5 μέτρα. Κατ' επέκταση των ανωτέρω, οι καλλιεργήσιμες γραμμές/σειρές μειώνονται από 78 σε 72 και οι συστάδες από 13 σε 12.



Εικόνα 17. Λεπτομέρεια διάταξης των φυτών πιπεριάς με χρήση αγροβολταϊκών μονάδων

4.4 Χαρακτηριστικά και προτεινόμενες διατάξεις ΑΦΒ συστήματος

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, όπως έχει ήδη αναφερθεί, ερευνάται ο συνδυασμός της καλλιέργειας ενός αγροτεμαχίου με την εγκατάσταση ΑΦΒ εξοπλισμού πάνω από την καλλιέργεια.

Σύμφωνα με έρευνες που έχουν γίνει για τη συνύπαρξη φωτοβολταϊκών εγκαταστάσεων και καλλιεργήσιμης γης, το ποσοστό κάλυψης του αγροτεμαχίου από την σκίαση που προκαλούν τα φωτοβολταϊκά πανέλα δεν πρέπει (στην πλειονότητα των περιπτώσεων) να υπερβαίνει το 50% προκειμένου να μην επηρεάζεται αρνητικά σε σημαντικό βαθμό η απόδοση της καλλιέργειας.^{[1][3][4][5][6][7][9][10][11][12][13][14][15][16]} Ένα ποσοστό που θεωρείται βέλτιστο και προτείνεται από μελέτες που έχουν γίνει, και από ότι φαίνεται στις περισσότερες περιπτώσεις δεν επηρεάζει σημαντικά την απόδοση μιας καλλιέργειας, τόσο ποσοτικά όσο και ποιοτικά, είναι περίπου 20% - 30%.^{[1][3][4][5][6][7][9][10][11][12][13][14][15][16]} Παρά ταύτα το ποσοστό αυτό μπορεί να αυξομειωθεί ανάλογα με το είδος της καλλιέργειας. Για το λόγο αυτό στη συγκεκριμένη εργασία μελετώνται 3 διαφορετικές διατάξεις των φωτοβολταϊκών πανέλων. Η πρώτη διάταξη είναι η διάταξη πλήρους πυκνότητας, η δεύτερη διάταξη είναι η διάταξη μισής πυκνότητας και η τρίτη διάταξη είναι η διάταξη ενός τετάρτου πυκνότητας οι οποίες όλες περιγράφονται αναλυτικά παρακάτω.

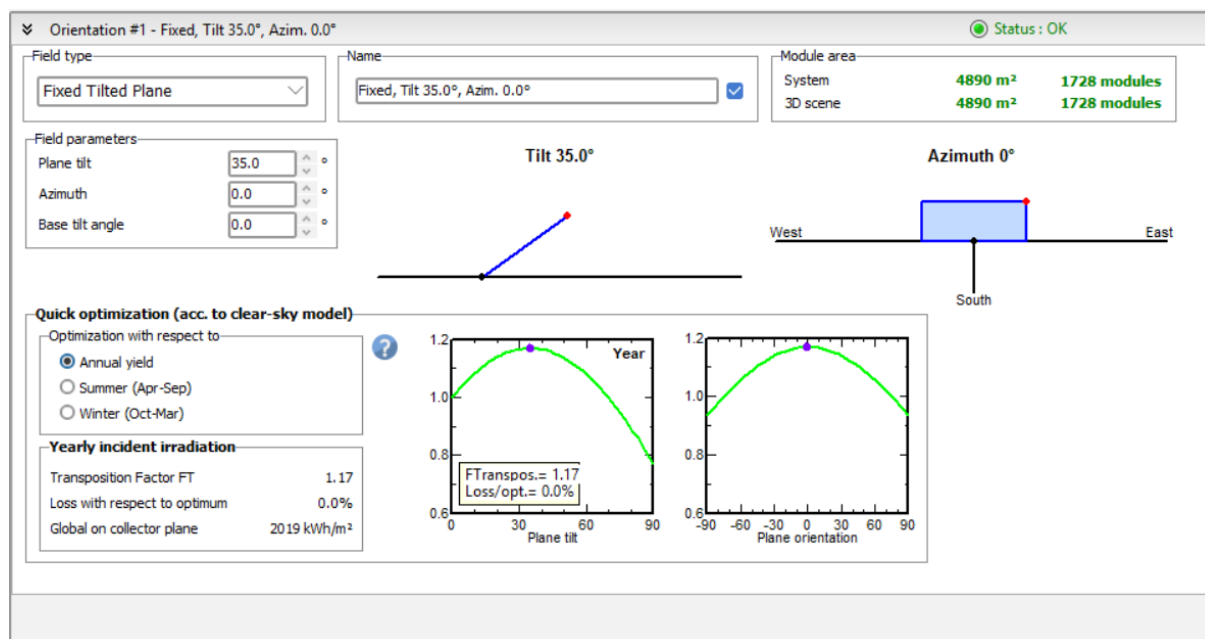
Συνδυάζοντας επίσης, την εμπειρική και ερευνητική[1] προσέγγιση ότι για εγκατεστημένη ισχύ 1MW απαιτείται έκταση περίπου ίση με 12 στρέμματα, και λαμβάνοντας υπ'όψιν ότι με τα ΑΦΒ συστήματα επιδιώκεται παράλληλα και ταυτόχρονη παραγωγή γεωργικών προϊόντων επομένως είναι επιθυμητή λιγότερη σκίαση, η μέγιστη εγκατεστημένη ισχύς που θεωρείται ότι μπορεί να παραχθεί από τις παραπάνω υποθέσεις ισούται περίπου με 1MW.

4.4.1 Μελέτη περίπτωσης συνδυασμού καλλιέργειας αγροτικής γης και ταυτόχρονης παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με χρήση σταθερών ΑΦΒ συστημάτων

Τρία από τα σενάρια που ερευνώνται με την παρούσα εργασία είναι η τοποθέτηση σταθερών φωτοβολταϊκών συστημάτων πάνω από καλλιέργεια πράσινης πιπεριάς φλάσκας. Η προσομοίωση των φωτοβολταϊκών συστημάτων γίνεται με χρήση του λογισμικού PVsyst. Και στα τρία σενάρια η φωτοβολταϊκή εγκατάσταση είναι συνδεδεμένη με το δίκτυο ηλεκτρισμού και ένα μέρος της ενέργειας που παράγεται καταναλώνεται από τον ίδιο τον παραγωγό για τις ανάγκες άντλησης του νερού με σκοπό την ύδρευση της καλλιέργειας ενώ η περίσσεια ενέργειας διοχετεύεται στο δίκτυο.

Τα κλιματικά δεδομένα που έχουν χρησιμοποιηθεί κατά την ανάλυση που γίνεται μέσω του λογισμικού PVsyst έχουν παρασχεθεί από το Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών από τον σταθμό που διαθέτει στην Τανάγρα (τοποθεσία πολύ κοντινή στο σημείο εξέτασης) και έχουν αποτυπωθεί στην υποενότητα 4.1.

Τα σταθερά φωτοβολταϊκά συστήματα έχουν ύψος 4 μέτρα (απόσταση χαμηλότερου σημείου του πανέλου από το έδαφος), σταθερή κλίση ίση με 35° και προσανατολισμό προς το Νότο. Το ύψος των 4 μέτρων αποφασίστηκε με γνώμονα την ανεμπόδιση εκτέλεση των γεωργικών δραστηριοτήτων, το ύψος που δύναται η καλλιέργεια να φτάσει και την μεγαλύτερη πρόσπτωση ηλιακής ακτινοβολίας σε εκείνη και στο έδαφος. Η κλίση των φωτοβολταϊκών μονάδων αποφασίστηκε να είναι 35°, διότι αυτή η κλίση είναι η βέλτιστη για αυτήν την τοποθεσία όπως υπολογίζεται από το PVsyst, δηλαδή σε αυτήν την κλίση η ποσοστιαία απώλεια στην ετήσια παραγόμενη ενέργεια σε σχέση με την ιδανική (βέλτιστη) κλίση του πάνελ για τη συγκεκριμένη τοποθεσία είναι 0% όπως εμφανίζεται και στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 18. Προσανατολισμός και κλίση φωτοβολταϊκών μονάδων

Το υλικό κατασκευής κάθε φωτοβολταϊκής μονάδας είναι μονοκρυσταλλικό πυρίτιο (Si-mono), η φωτοβολταϊκή μονάδα είναι διπλής όψης, δηλαδή λαμβάνει την ηλιακή ακτινοβολία και από τις 2 πλευρές, η απόδοση της πίσω προς την εμπρόσθια όψη του πανέλου είναι ίση με 0,7 και η ονομαστική ισχύς της μονάδας ισούται με 600Wr. Κάθε μονάδα έχει διαστάσεις 2,172m×1,303m και κάθε 9 μονάδες συνθέτουν ένα φωτοβολταϊκό πλαίσιο. Ανάμεσα στις φωτοβολταϊκές μονάδες του ίδιου πλαισίου υπάρχει κενό 0,02m όπως και 0,02m είναι το πλάτος του περιγράμματος του πλαισίου, επομένως οι διαστάσεις εκάστου ΑΦΒ πλαισίου είναι 6,596m×3,989m.

Πίνακας 3. Γεωμετρικά και τεχνικά χαρακτηριστικά φωτοβολταϊκής μονάδας

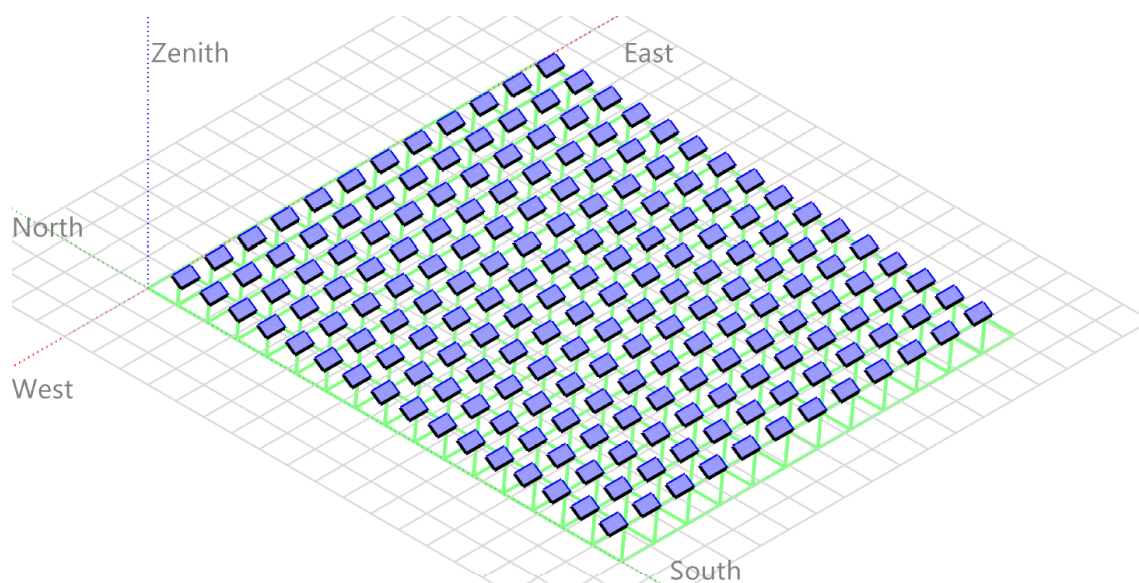
Γεωμετρικά και τεχνικά χαρακτηριστικά φωτοβολταϊκής μονάδας	
Υλικό κατασκευής	Μονοκρυσταλλικό πυρίτιο (Si-mono)
Διαστάσεις (m)	2,172 × 1,303
Διπλής όψης	Ναι
Απόδοση πίσω προς εμπρόσθια όψη	0,7

Ονομαστική ισχύς (W_p)

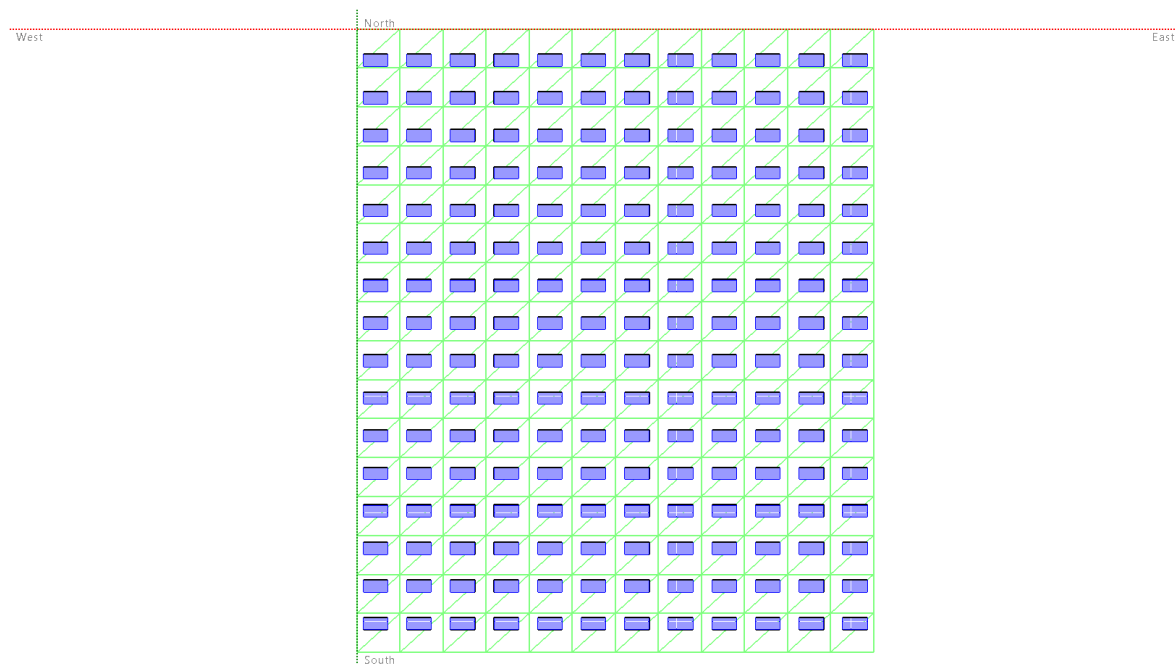
600

4.4.1.1 Μελέτη σταθερών ΑΦΒ συστημάτων διάταξης πλήρους πυκνότητας

Η συνολική ονομαστική (εγκατεστημένη) ισχύς των ΑΦΒ μονάδων ισούται με 1037kWp και ο αριθμός τους ανέρχεται σε 1728, συνεπώς στο χωράφι τοποθετούνται 192 φωτοβολταϊκά πλαίσια. Το συνολικό καθαρό εμβαδόν όλων των φωτοβολταϊκών μονάδων ανέρχεται σε 4.890 m². Τα 192 ΑΦΒ πάνελα είναι ομοιόμορφα κατανεμημένα σε κάθε συστάδα του χωραφιού. Όπως έχει ήδη αναφερθεί παραπάνω, στην περίπτωση εγκατάστασης ΑΦΒ μονάδων στο χωράφι, οι καλλιεργήσιμες συστάδες στο χωράφι είναι 12. Επομένως, στον συμμετρικό άξονα κατά μήκος κάθε συστάδας τοποθετούνται 16 ΑΦΒ πλαίσια με αποστάσεις μεταξύ τους 10,24m από κέντρο πάνελου σε κέντρο πάνελου και κενό διάστημα μεταξύ τους 6,25m. Τα φωτοβολταϊκά πάνελα έχουν απόσταση μεταξύ τους ίση με 11,90m μετρούμενη από τον άξονα κατά μήκος της μίας συστάδας μέχρι τον άξονα κατά μήκος της γειτονικής συστάδας. Η παραπάνω υπόθεση θα ονομάζεται εφεξής «Σταθερά ΑΦΒ Πλήρους Πυκνότητας» - ΣΑΠΠ.



Εικόνα 19. Τρισδιάστατη απεικόνιση διάταξης ΣΑΠΠ



Εικόνα 20. Κάτοψη διάταξης ΣΑΠΠ

Ο μετατροπέας ισχύος – inverter έχει ονομαστική ισχύ 275kWAC και 6 ανεξάρτητους ανιχνευτές σημείου μέγιστης ισχύος – 6 MPPT (Maximum Power Point Tracker). Στην περίπτωση της διάταξης πλήρους πυκνότητας σταθερών ΑΦΒ συστημάτων απαιτείται η χρήση τριών τέτοιων μετατροπέων ισχύος με συνολική ονομαστική ισχύ εξόδου 825kWAC. Ο λόγος της ισχύος εισόδου σταθερού ρεύματος προς την ισχύ εξόδου εναλλασσόμενου ρεύματος (DC/AC) ισούται με 1,257 και οι απώλειες λόγω υπερφόρτωσης είναι 0%. Τα γεωμετρικά και τεχνικά χαρακτηριστικά του συστήματος εμφανίζονται συνοπτικά παρακάτω:

The screenshot displays a PV system design software interface. On the left, a 'List of subarrays' shows a table with columns for Name, #Mod, #Inv., #String, and #MPPT. The main area is titled 'Sub-array' and includes sections for 'Select the orientation' (Fixed, Tilt 35.0°, Azim. 0.0°), 'Select the PV module' (Trina Solar, 600 Wp, Si-mono), 'Select the inverter' (Huawei Technologies, 275 kW), and 'Design the array' (Number of modules and strings). A 'Global system summary' table is also visible, showing 1728 modules, 4890 m² area, 3 inverters, 1037 kWp nominal PV power, 825 kWAC nominal AC power, and a 1.257 Pnom ratio. The bottom right shows operating conditions and plane irradiance data.

Εικόνα 21. Τεχνικά χαρακτηριστικά διάταξης ΣΑΠΠ

Πίνακας 4. Γεωμετρικά και τεχνικά χαρακτηριστικά ΣΑΠΠ

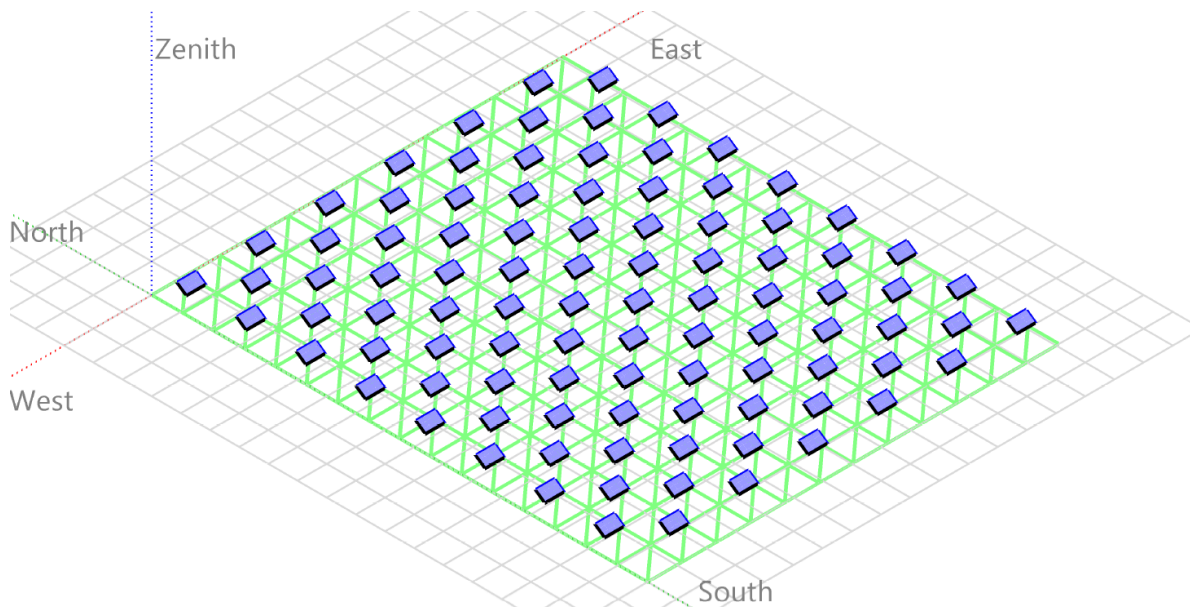
Γεωμετρικά και τεχνικά χαρακτηριστικά ΣΑΠΠ	
Ύψος ΑΦΒ πλαισίων (m)	4,00
Διαστάσεις ΑΦΒ πλαισίων (m)	6,60 × 3,99
Προσανατολισμός	Νότος
Κλίση (°)	35
Αριθμός ΑΦΒ πλαισίων συνολικά και ανά συστάδα χωραφιού	192 και 16
Απόσταση από κέντρο σε κέντρο πλαισίου που βρίσκονται επί της ίδιας συστάδας (m)	10,24
Απόσταση από κέντρο σε κέντρο πλαισίου που βρίσκονται σε διαφορετικές συστάδες αλλά επί του ίδιου «οριζόντιου» άξονα (m)	11,90
Μέγιστη Εγκατεστημένη Ισχύς (kWp)	1.037

Συνολική ονομαστική ισχύς εξόδου μετατροπέων ισχύος (kW)

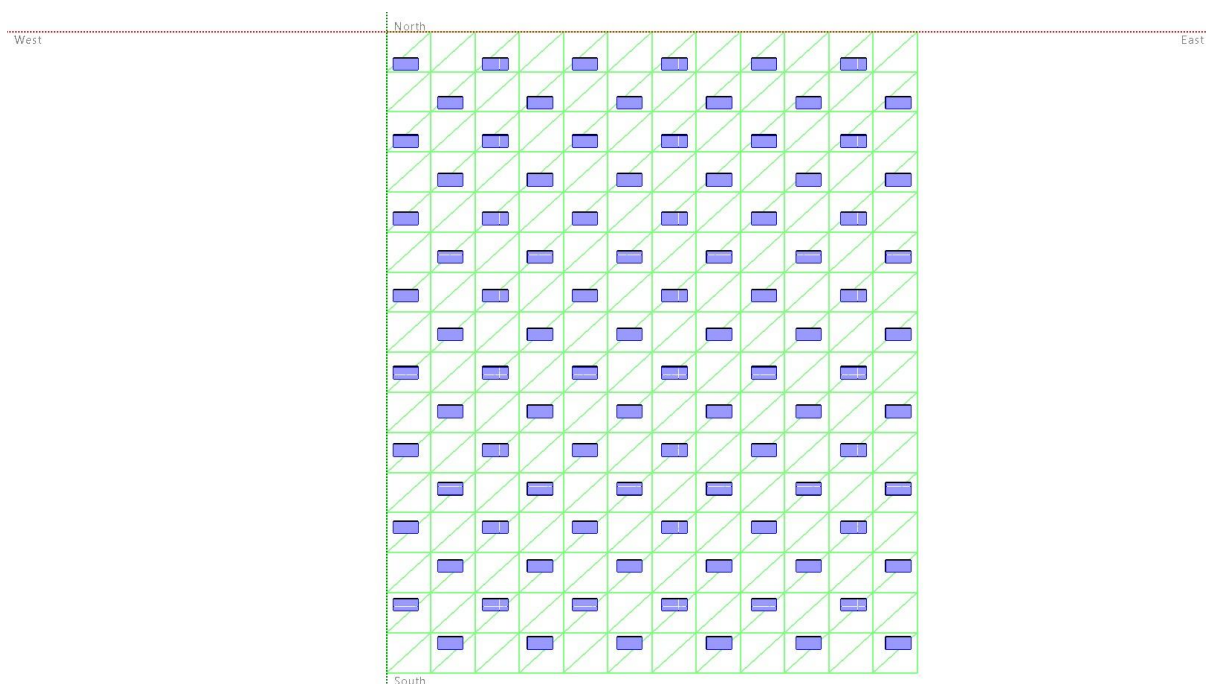
825

4.3.1.2 Μελέτη σταθερών ΑΦΒ συστημάτων διάταξης μισής πυκνότητας

Η δεύτερη υπόθεση που αφορά επίσης σε εγκατάσταση σταθερών φωτοβολταϊκών πανέλων έχει τα ίδια χαρακτηριστικά σε ότι αφορά τις γεωμετρικές διαστάσεις τόσο των μονάδων όσο και των πανέλων, το υλικό κατασκευής των μονάδων, την κλίση, τον προσανατολισμό τους και την ονομαστική ισχύ τους. Αυτό που διαφέρει σε αυτήν την περίπτωση είναι η πυκνότητα τοποθέτησής τους η οποία είναι η μισή από την πυκνότητα της περίπτωσης ΣΑΠΠ που περιεγράφηκε παραπάνω και για αυτόν το λόγο η συνολική ονομαστική εγκατεστημένη ισχύς του συστήματος ανέρχεται σε 518kWp. Συγκεκριμένα, ο συνολικός αριθμός των φωτοβολταϊκών πλαισίων ανέρχεται σε 96 και κάθε φωτοβολταϊκό πλαίσιο διατηρεί τα ίδια γεωμετρικά χαρακτηριστικά που αναφέρθηκαν πρωτύτερα. Η διάταξη εξακολουθεί να είναι ομοιόμορφη αλλά στη μισή πυκνότητα. Για το λόγο αυτό στον συμμετρικό άξονα κατά μήκος κάθε συστάδας τοποθετούνται 8 ΑΦΒ πλαίσια με αποστάσεις μεταξύ τους από κέντρο πλαισίου σε κέντρο πλαισίου 20,48m (διπλάσια απόσταση συγκριτικά με την υπόθεση ΣΑΠΠ) και κενό διάστημα μεταξύ τους 16,49m. Επιπλέον, για να υπάρχει ομοιομορφία στην σκίαση οι φωτοβολταϊκές συστοιχίες δεν τοποθετούνται σε κάθε συστάδα από το ίδιο σημείο εκκίνησης αλλά τοποθετούνται ζιγκζαγκωτά, δηλαδή οι φωτοβολταϊκές συστοιχίες που τοποθετούνται επάνω σε μία συστάδα απέχουν από τις φωτοβολταϊκές συστοιχίες που επίσης είναι τοποθετημένες επάνω σε άλλη συστάδα και ξεκινούν από το ίδιο σημείο, απόσταση μεταξύ τους ίση με 23,80m (διπλάσια απόσταση συγκριτικά με το σενάριο ΣΑΠΠ). Το σύστημα που ικανοποιεί τις παραπάνω θεωρήσεις θα ονομάζεται εφεξής «Σταθερά ΑΦΒ Μισής Πυκνότητας» - ΣΑΜΠ.



Εικόνα 22. Τρισδιάστατη απεικόνιση διάταξης ΣΑΜΠ



Εικόνα 23. Κάτοψη διάταξης ΣΑΜΠ

Ο μετατροπέας ισχύος – inverter έχει ονομαστική ισχύ 225kWAC και 6 ανεξάρτητους ανιχνευτές σημείου μέγιστης ισχύος – 6 MPPT (Maximum Power Point Tracker), ενώ απαιτείται η χρήση δύο τέτοιων μετατροπέων ισχύος με συνολική ονομαστική ισχύ εξόδου 450kWAC. Ο λόγος της ισχύος εισόδου σταθερού ρεύματος προς την ισχύ εξόδου εναλλασσόμενου ρεύματος (DC/AC) ισούται με 1,152 και οι απώλειες λόγω υπερφόρτωσης

είναι 0%. Τα γεωμετρικά και τεχνικά χαρακτηριστικά του συστήματος παρουσιάζονται συγκεντρωτικά παρακάτω:

List of subarrays

Name	#Mod #Inv.	#String #MPPT
Fixed APV System 35 degrees_half...	32	27
Trina solar - TSM-DEG-20C-20...	2	1
Goodwe - GW225KIN-HT	2	1

Global system summary

Nb. of modules	864
Module area	2445 m ²
Nb. of inverters	2
Nominal PV Power	518 kWp
Nominal AC Power	450 kWAC
Prom ratio	1.152

Sub-array: Fixed APV System 35 degrees_half

Select the orientation: Fixed, Tilt 35.0°, Azim. 0.0°

Select the PV module: Trina Solar, 600 Wp 29V, Si-mono, TSM-DEG-20C-20-600 Vertex, Since 2024

Select the inverter: Goodwe, 225 kW, 500 - 1500 V TL, 50/60 Hz, GW225KIN-HT, Since 2021

Design the array: Number of modules and strings: Mod. in series 32, Nb. strings 27

Operating conditions: Vmpp (60°C) 966 V, Vmpp (20°C) 1119 V, Voc (-10°C) 1461 V

Plane irradiance: 1000 W/m²

Max. operating power (at 1000 W/m² and 50°C): 474 kW

Array nom. Power (STC): 518 kWp

Εικόνα 24. Τεχνικά χαρακτηριστικά διάταξης ΣΑΜΠ

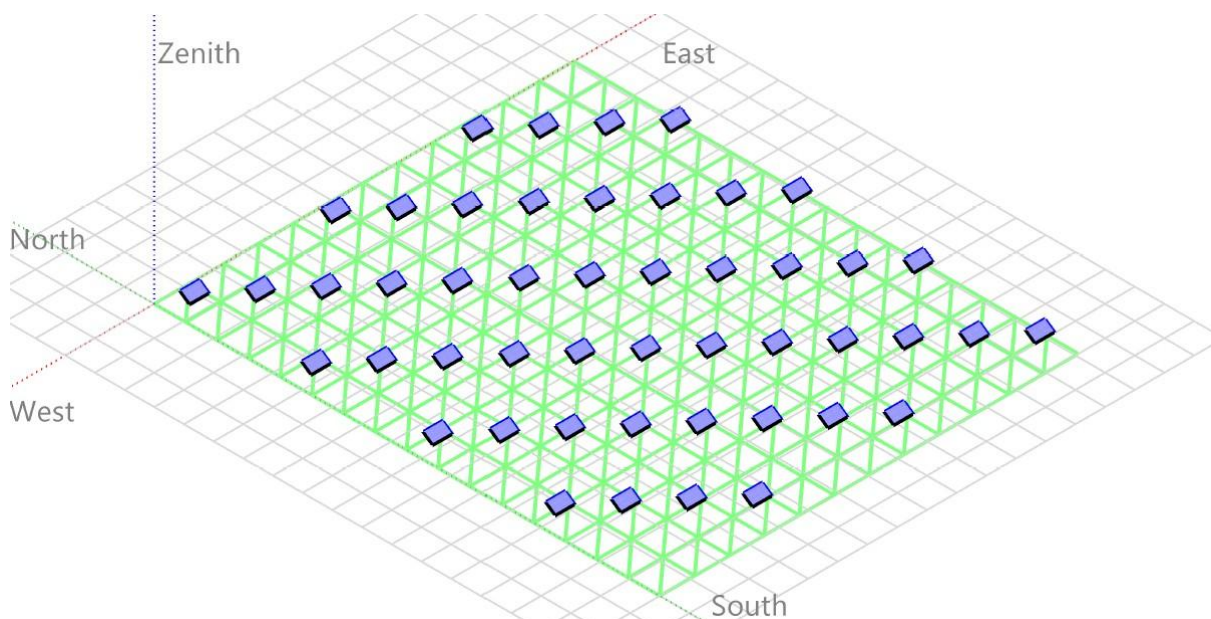
Πίνακας 5. Γεωμετρικά και τεχνικά χαρακτηριστικά ΣΑΜΠ

Γεωμετρικά και τεχνικά χαρακτηριστικά ΣΑΜΠ	
Ύψος ΑΦΒ πλαισίων (m)	4,00
Διαστάσεις ΑΦΒ πλαισίων (m)	6,60 × 3,99
Προσανατολισμός	Νότος
Κλίση (°)	35
Αριθμός ΑΦΒ πλαισίων συνολικά και ανά συστάδα χωραφιού	96 και 8
Απόσταση από κέντρο σε κέντρο πλαισίου που βρίσκονται επί της ίδιας συστάδας (m)	20,48
Απόσταση από κέντρο σε κέντρο πλαισίου που βρίσκονται σε διαφορετικές συστάδες αλλά επί του ίδιου «οριζόντιου» άξονα (m)	23,80

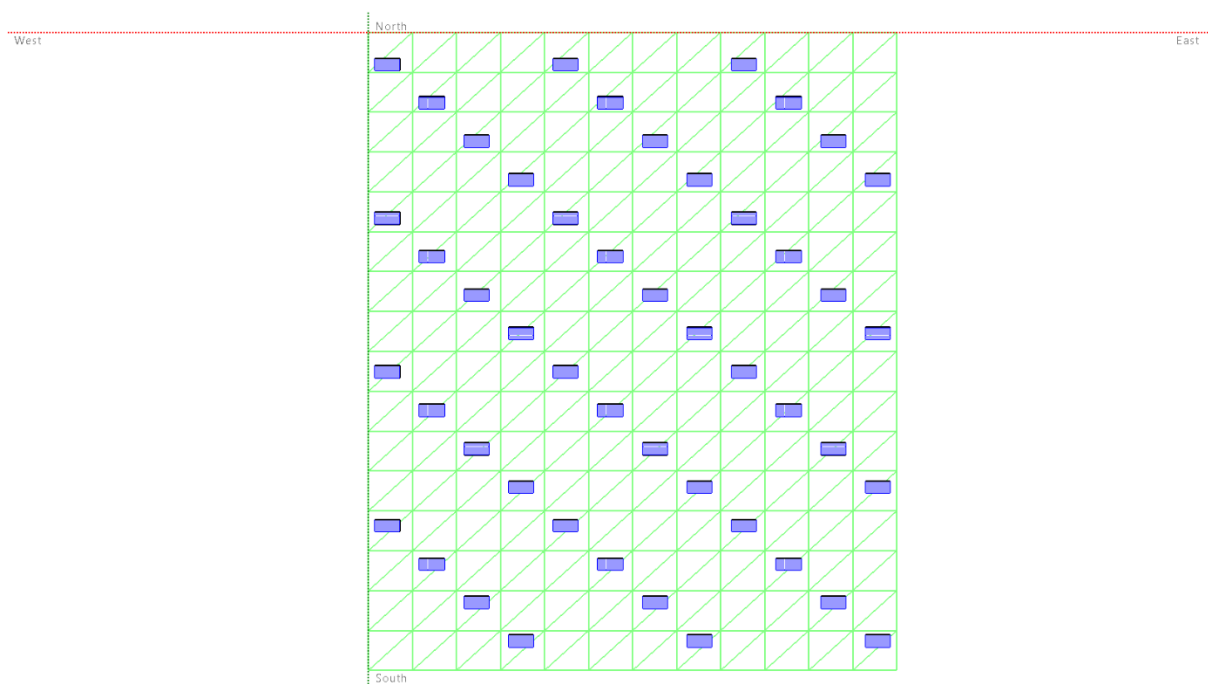
Μέγιστη Εγκατεστημένη Ισχύς (kWp)	518
Συνολική ονομαστική ισχύς εξόδου μετατροπέων ισχύος (kW)	450

4.3.1.3 Μελέτη σταθερών ΑΦΒ συστημάτων διάταξης ενός τετάρτου πυκνότητας

Η τρίτη περίπτωση εγκατάστασης σταθερών φωτοβολταϊκών μονάδων έχει τα ίδια χαρακτηριστικά με την πρώτη και συνεπώς και με τη δεύτερη περίπτωση σε ότι αφορά τις γεωμετρικές διαστάσεις τόσο των μονάδων όσο και των πλαισίων, το υλικό κατασκευής των μονάδων, την κλίση, τον προσανατολισμό τους και την ονομαστική ισχύ τους. Αυτό που διαφέρει σε αυτήν την υπόθεση είναι επίσης η πυκνότητα τοποθέτησης των πλαισίων η οποία είναι το ένα τέταρτο από την πυκνότητα της περίπτωσης ΣΑΠΠ (η μισή δηλαδή της περίπτωσης ΣΑΜΠ) που περιεγράφηκε παραπάνω και για αυτόν το λόγο η συνολική ονομαστική εγκατεστημένη ισχύς του συστήματος ανέρχεται σε 259kWp. Συγκεκριμένα, ο συνολικός αριθμός των φωτοβολταϊκών πλαισίων ανέρχεται σε 48 και κάθε φωτοβολταϊκό πλαίσιο διατηρεί τα ίδια γεωμετρικά χαρακτηριστικά που έχουν αναφερθεί λεπτομερώς πρωτύτερα στην περίπτωση ΣΑΠΠ. Η διάταξη εξακολουθεί να είναι ομοιόμορφη αλλά στο ένα τέταρτο της πλήρους πυκνότητας. Για το λόγο αυτό στον συμμετρικό άξονα κατά μήκος κάθε συστάδας τοποθετούνται 4 αγροβολταϊκά πλαίσια με αποστάσεις μεταξύ τους από κέντρο πλαισίου σε κέντρο πλαισίου 40,96m (τετραπλάσια απόσταση συγκριτικά με την υπόθεση ΣΑΠΠ και διπλάσια συγκριτικά με την υπόθεση ΣΑΜΠ) και κενό διάστημα/καθαρή απόσταση μεταξύ τους 36,97m. Επιπλέον, για να υπάρχει ομοιομορφία στην σκίαση οι φωτοβολταϊκές συστοιχίες τοποθετούνται όπως απεικονίζεται παρακάτω. Κατά συνέπεια, οι φωτοβολταϊκές συστοιχίες που τοποθετούνται επάνω σε μία συστάδα απέχουν από τις φωτοβολταϊκές συστοιχίες που επίσης είναι τοποθετημένες επάνω σε άλλη συστάδα και ξεκινούν από το ίδιο σημείο, απόσταση μεταξύ τους ίση με 47,60m (τετραπλάσια απόσταση συγκριτικά με το σενάριο ΣΑΠΠ και διπλάσια συγκριτικά με το σενάριο ΣΑΜΠ). Το σύστημα που ικανοποιεί τις παραπάνω θεωρήσεις θα ονομάζεται εφεξής «Σταθερά ΑΦΒ Τετάρτου Πυκνότητας» - ΣΑΤΠ.



Εικόνα 25. Τρισδιάστατη απεικόνιση διάταξης ΣΑΤΠ



Εικόνα 26. Κάτοψη διάταξης ΣΑΤΠ

Ο μετατροπέας ισχύος - inverter που χρησιμοποιείται είναι ακριβώς ο ίδιος με την περίπτωση ΣΑΜΠ με μία και μοναδική διαφορά ότι στο συγκεκριμένο σύστημα χρειάζεται και χρησιμοποιείται μονάχα ένας μετατροπέας. Ακολούθως εμφανίζονται συγκεντρωτικά τα γεωμετρικά και τεχνικά χαρακτηριστικά του συστήματος ΣΑΤΠ.

List of subarrays

Name	#Mod #Inv.	#String #MPPT
Fixed APV System 35 degrees_quai...	24	18
Trina solar - TSM-DEG-20C-20-...	1	6
Goodwe - GW225KIN-HT		

Sub-array Fixed APV System 35 degrees_quai

Select the orientation
Orientation: Fixed, Tilt 35.0°, Azim. 0.0°

Pre-sizing Help
No sizing (selected)
Planned power: 0.0 kWp
or available area: 0 m²

Select the PV module
Available Now: Trina Solar
Filter: All PV modules
600 Wp 29V Si-mono TSM-DEG-20C-20-600 Vertex Since 2024 Datasheets 2024
Use optimizer: ☐
Sizing voltages: Vmpp (60°C) 30.2 V, Voc (-10°C) 45.6 V

Select the inverter
Available Now: Goodwe
Output voltage 800 V Tri 50Hz
225 kW 500 - 1500 V TL 50/60 Hz GW225KIN-HT Since 2021
Nb of MPPT inputs: 6
Operating voltage: 500-1500 V Inverter power used: 225 kWac
Input maximum voltage: 1500 V inverter with 6 MPPT
No power sharing between MPPTs

Design the array
Number of modules and strings
Mod. in series: 24 (between 17 and 32)
Nb. strings: 18
Overload loss: 0.0 %
Prom ratio: 1.15
Nb. modules: 432 Area: 1223 m²

Operating conditions
Vmpp (60°C) 724 V
Vmpp (20°C) 839 V
Voc (-10°C) 1096 V
Plane irradiance: 1000 W/m²
Imp (STC) 312 A
Isc (STC) 332 A
Isc (at STC) 332 A
Max. operating power (at 1000 W/m² and 50°C): 237 kW
Array nom. Power (STC): 259 kWp

Global system summary

Nb. of modules	432
Module area	1223 m²
Nb. of inverters	1
Nominal PV Power	259 kWp
Nominal AC Power	225 kWAC
Prom ratio	1.152

Εικόνα 27. Τεχνικά χαρακτηριστικά διάταξης ΣΑΠΠ

Πίνακας 6. Γεωμετρικά και τεχνικά χαρακτηριστικά ΣΑΠΠ

Γεωμετρικά και τεχνικά χαρακτηριστικά ΣΑΠΠ	
Ύψος ΑΦΒ πλαισίων (m)	4,00
Διαστάσεις ΑΦΒ πλαισίων (m)	6,60 × 3,99
Προσανατολισμός	Νότος
Κλίση (°)	35
Αριθμός ΑΦΒ πλαισίων συνολικά και ανά συστάδα χωραφιού	48 και 4
Απόσταση από κέντρο σε κέντρο πλαισίου που βρίσκονται επί της ίδιας συστάδας (m)	40,96
Απόσταση από κέντρο σε κέντρο πλαισίου που βρίσκονται σε διαφορετικές συστάδες αλλά επί του ίδιου «οριζόντιου» άξονα (m)	47,60
Μέγιστη Εγκατεστημένη Ισχύς (kWp)	259

Συνολική ονομαστική ισχύς εξόδου μετατροπών ισχύος (kW)

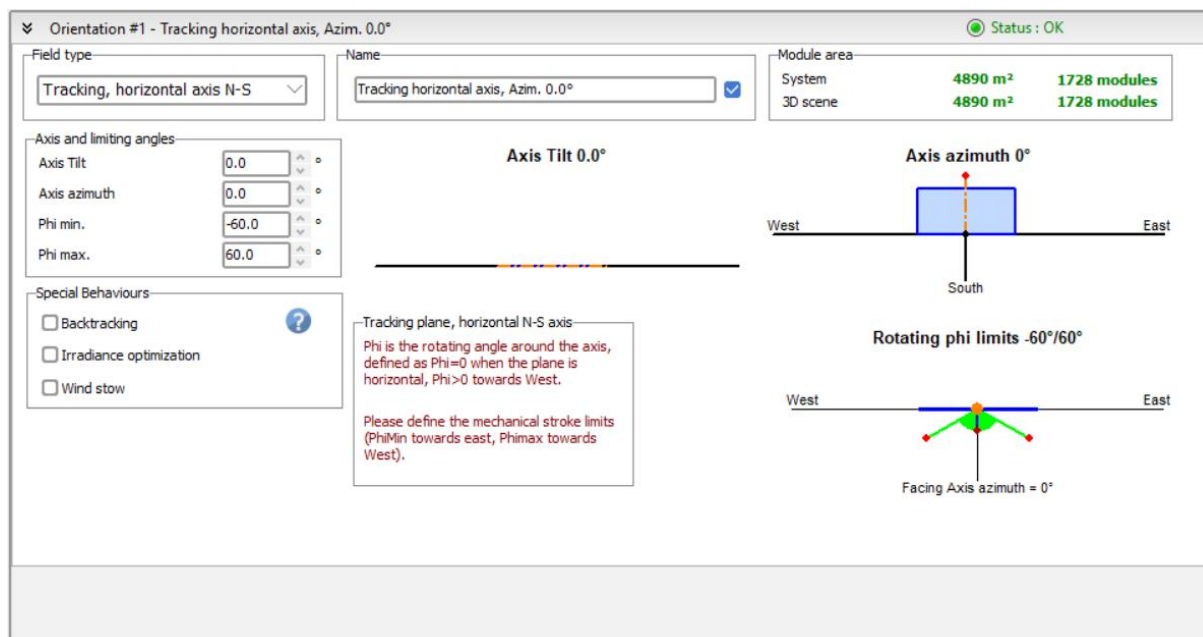
225

4.4.2 Μελέτη περίπτωσης συνδυασμού καλλιέργειας αγροτικής γης και ταυτόχρονης παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με χρήση ΑΦΒ συστημάτων με ιχνηλάτες

Ακόμη τρεις υποθέσεις που γίνονται για την αξιοποίηση του υπό μελέτη αγροτεμαχίου είναι η χρήση ΑΦΒ συστημάτων με ενσωματωμένους ιχνηλάτες για την παρακολούθηση της πορείας του πάνω από καλλιέργεια πράσινης πιπεριάς φλάσκας. Η προσομοίωση των κινητών φωτοβολταϊκών συστημάτων γίνεται και σε αυτές τις περιπτώσεις με χρήση του λογισμικού PVsyst. Και στις τρεις υποθέσεις η φωτοβολταϊκή εγκατάσταση είναι συνδεδεμένη με το δίκτυο ηλεκτρισμού και ένα μέρος της ενέργειας που παράγεται καταναλώνεται από τον ίδιο τον παραγωγό για τις ανάγκες άντλησης νερού με σκοπό την ύδρευση της καλλιέργειας ενώ η περίσσεια ενέργειας διοχετεύεται στο δίκτυο.

Τα κλιματικά δεδομένα είναι τα ίδια που έχουν χρησιμοποιηθεί και στις προηγούμενες αναλύσεις (έχουν παρασχεθεί από τον μετεωρολογικό σταθμό που διαθέτει το Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών στην περιοχή της Τανάγρας).

Τα ΑΦΒ πανέλα φέρουν ιχνηλάτες για την παρακολούθηση κάθε στιγμή της πορείας του ήλιου και περιστρέφονται γύρω από τον άξονα που συνδέει τον Βορρά με το Νότο και ο οποίος έχει κλίση 0° , επομένως κατά τη διάρκεια της ημέρας έχουν προσανατολισμό Ανατολή – Δύση με μηχανικό περιορισμό περιστροφής των πανέλων από -60° έως $+60^\circ$. Το ύψος τους είναι 4 μέτρα και αποφασίστηκε με γνώμονα την ανεμπόδιστη εκτέλεση των γεωργικών δραστηριοτήτων, το ύψος που δύναται η καλλιέργεια να φτάσει και την μεγαλύτερη πρόσπτωση ηλιακής ακτινοβολίας σε εκείνη και στο έδαφος.



Εικόνα 28. Προσανατολισμός και κλίση φωτοβολταϊκών μονάδων

Το υλικό κατασκευής κάθε φωτοβολταϊκής μονάδας είναι μονοκρυσταλλικό πυρίτιο (Si-mono), η φωτοβολταϊκή μονάδα είναι διπλής όψης, δηλαδή λαμβάνει την ηλιακή ακτινοβολία και από τις 2 πλευρές, η απόδοση της πίσω προς την εμπρόσθια όψη του πανέλου είναι ίση με 0,7 και η ονομαστική ισχύς της μονάδας ισούται με 600Wr. Κάθε μονάδα έχει διαστάσεις 2,172m×1,303m και κάθε 9 μονάδες συνθέτουν ένα φωτοβολταϊκό πλαίσιο. Ανάμεσα στις φωτοβολταϊκές μονάδες του ίδιου πλαισίου υπάρχει κενό 0,02m όπως και 0,02m είναι το πλάτος του περιγράμματος του πλαισίου, επομένως οι διαστάσεις εκάστου ΑΦΒ πλαισίου είναι 6,596m×3,989m.

Πίνακας 7. Γεωμετρικά και τεχνικά χαρακτηριστικά φωτοβολταϊκής μονάδας

Γεωμετρικά και τεχνικά χαρακτηριστικά φωτοβολταϊκής μονάδας	
Υλικό κατασκευής	Μονοκρυσταλλικό πυρίτιο (Si-mono)
Διαστάσεις (m)	2,172 × 1,303
Διπλής όψης	Ναι
Απόδοση πίσω προς εμπρόσθια όψη	0,7

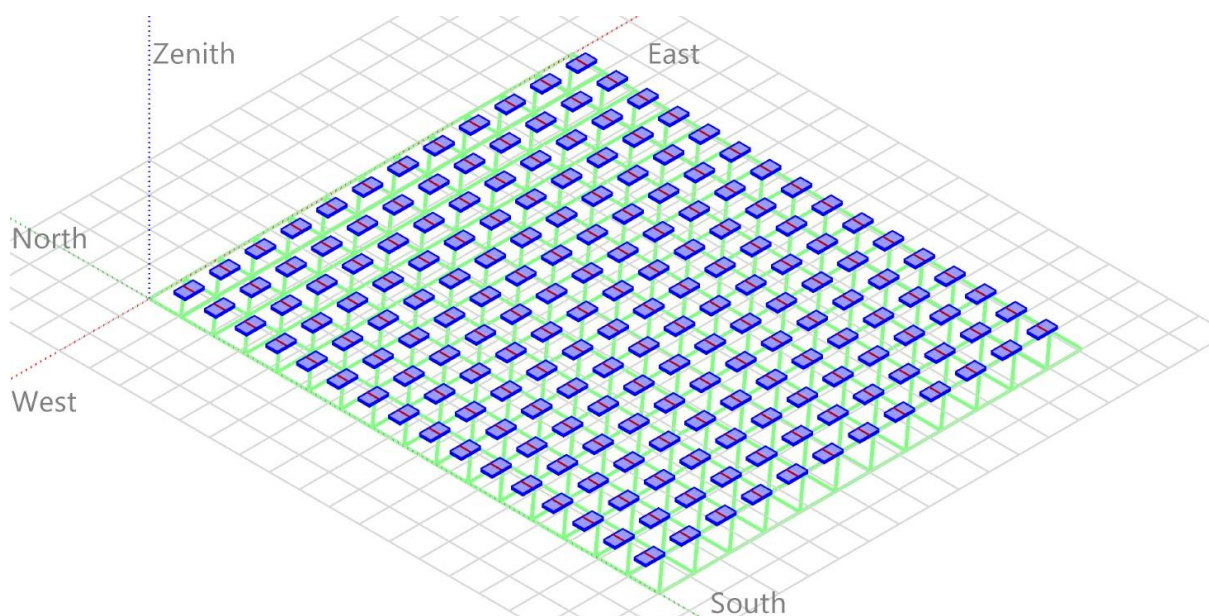
Ονομαστική ισχύς (W_p)

600

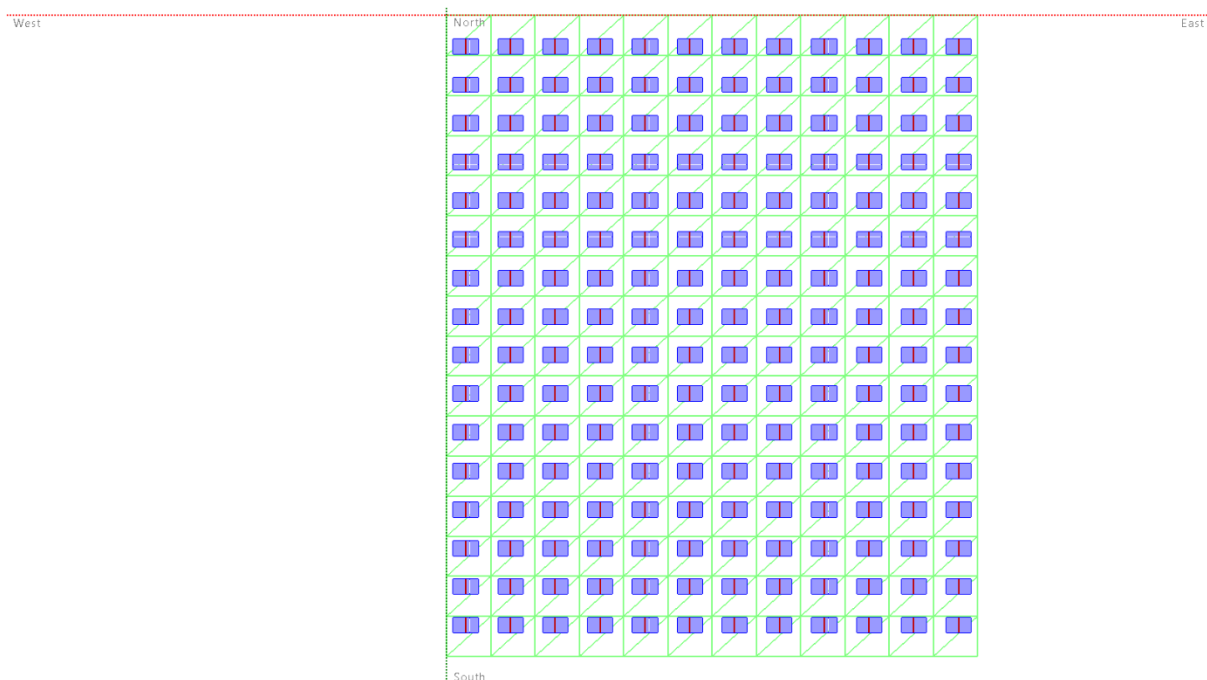
Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι δεν εφαρμόζεται σε καμία υπόθεση από τις τρεις σε αυτήν την ενότητα, η στρατηγική της αναδρομικής παρακολούθησης (Backtracking Strategy) που σημαίνει ότι όταν αρχίζουν οι αμοιβαίες σκιάσεις μεταξύ των φωτοβολταϊκών πανέλων εκείνα εξακολουθούν να κινούνται όλα το ίδιο παρακολουθώντας την πορεία του ήλιου και δεν προσαρμόζονται έτσι ώστε να μην υπάρχει σκίαση μεταξύ τους. Η αιτία που δεν εφαρμόστηκε στις προσομοιώσεις αυτή η στρατηγική είναι διότι το επιδιωκόμενο αποτέλεσμα δεν είναι να επιτευχθεί όσο μεγαλύτερη απορρόφηση ηλιακής ακτινοβολίας είναι δυνατόν, αλλά να υπάρχει μία αρμονική συνύπαρξη φωτοβολταϊκών εγκαταστάσεων και καλλιεργειών.

4.4.2.1 Μελέτη κινητών ΑΦΒ συστημάτων διάταξης πλήρους πυκνότητας

Στην πρώτη θεώρηση, τα γεωμετρικά και κατασκευαστικά χαρακτηριστικά κάθε φωτοβολταϊκής μονάδας (διαστάσεις, υλικό κατασκευής, ονομαστική ισχύς), φωτοβολταϊκού πλαισίου (ύψος, διαστάσεις, συνολικός αριθμός) αλλά και της συνολικής αγροβολταϊκής εγκατάστασης (διάταξη φωτοβολταϊκών πλαισίων, συνολική εγκατεστημένη ισχύς) είναι ακριβώς τα ίδια με την περίπτωση ΣΑΠΠ με μοναδική διαφορά την κλίση και τον προσανατολισμό των ΑΦΒ πανέλων.



Εικόνα 29. Τρισδιάστατη απεικόνιση διάταξης ΚΑΠΠ



Εικόνα 30. Κάτοψη διάταξης ΚΑΠΠ

Όπως αναφέρθηκε και γίνεται φανερό και από την εικόνα παραπάνω, η διάταξη των φωτοβολταϊκών πλαισίων, δηλαδή οι αποστάσεις μεταξύ των φωτοβολταϊκών πλαισίων επί της ίδιας συστάδας και επί γειτονικών συστάδων, είναι η ίδια με την περίπτωση ΣΑΠΠ. Το σενάριο των υποθέσεων αυτών (4ο κατά σειρά στο σύνολο) θα ονομάζεται εφεξής «Κινητά ΑΦΒ Πλήρους Πυκνότητας» - ΚΑΠΠ.

Ίδια είναι επίσης με την περίπτωση ΚΑΠΠ και τα χαρακτηριστικά και ο αριθμός των μετατροπέων ισχύος που χρησιμοποιούνται. Δηλαδή, χρησιμοποιούνται τρεις μετατροπείς ισχύος – inverter με ονομαστική ισχύ 275kWAC ο καθένας και 6 ανεξάρτητους ανιχνευτές σημείου μέγιστης ισχύος – 6 MPPT (Maximum Power Point Tracker). Η συνολική ονομαστική ισχύ εξόδου ισούται με 825kWAC. Ο λόγος της ισχύος εισόδου σταθερού ρεύματος προς την ισχύ εξόδου εναλλασσόμενου ρεύματος (DC/AC) ισούται με 1,257 και οι απώλειες λόγω υπερφόρτωσης είναι 0%.

Ακολουθεί συγκεντρωτική αναφορά στα βασικά χαρακτηριστικά του συστήματος.

List of subarrays

Name	#Mod #Inv.	#String #MPPT
Tracking APVs_full density	32	54
Trina solar - TSM-DEG-20C-20-...	3	18
Huawei Technologies - SUN200...	3	18

Sub-array Tracking APVs_full density

Select the orientation
Orientation: Tracking horizontal axis, Azim. 0.0°

Pre-sizing Help
No sizing
Planned power: 0.0 kWp
or available area: 0 m²

Select the PV module
Available Now: Filter: All PV modules
Trina Solar: 600 Wp 29V Si-mono TSM-DEG-20C-20-600 Vertex Since 2024 Datasheets 2024
Use optimizer: ☐ Bifacial module: ☒ Bifacial system

Sizing voltages: Vmpp (60°C): 30.2 V
Voc (-10°C): 45.6 V

Select the inverter
Available Now: Output voltage 800 V Tri 50Hz
Huawei Technologies: 275 kW 500 - 1500 V TL 50 Hz SUN2000-330KTL-H2 Since 2022
Nb of MPPT inputs: 18
Operating voltage: 500-1500 V Inverter power used: 825 kWac
Input maximum voltage: 1500 V inverter with 6 MPPT
No power sharing between MPPTs

Design the array
Number of modules and strings
Mod. in series: 32 between 17 and 32
Nb. strings: 54
Overload loss: 0.0 %
Pnom ratio: 1.26
Nb. modules: 1728 Area: 4890 m²

Operating conditions
Vmpp (60°C): 966 V
Vmpp (20°C): 1119 V
Voc (-10°C): 1461 V
Plane irradiance: 1000 W/m²
Imp (STC): 936 A
Isc (STC): 995 A
Max. operating power (at 1000 W/m² and 50°C): 948 kW
Array nom. Power (STC): 1037 kWp

Global system summary

Nb. of modules	1728
Module area	4890 m²
Nb. of inverters	3
Nominal PV Power	1037 kWp
Nominal AC Power	825 kWAC
Pnom ratio	1.257

Εικόνα 31. Τεχνικά χαρακτηριστικά διάταξης ΚΑΠΠ

Πίνακας 8. Γεωμετρικά και τεχνικά χαρακτηριστικά διάταξης ΚΑΠΠ

Γεωμετρικά και τεχνικά χαρακτηριστικά ΚΑΠΠ	
Ύψος ΑΦΒ πλαισίων (m)	4,00
Διαστάσεις ΑΦΒ πλαισίων (m)	6,60 × 3,99
Προσανατολισμός	Ανατολή – Δύση με περιορισμό περιστροφής γύρω από τον άξονα Βορρά – Νότου από -60° έως +60°
Αριθμός ΑΦΒ πλαισίων συνολικά και ανά συστάδα χωραφιού	192 και 16
Απόσταση από κέντρο σε κέντρο πλαισίου που βρίσκονται επί της ίδιας συστάδας (m)	10,24

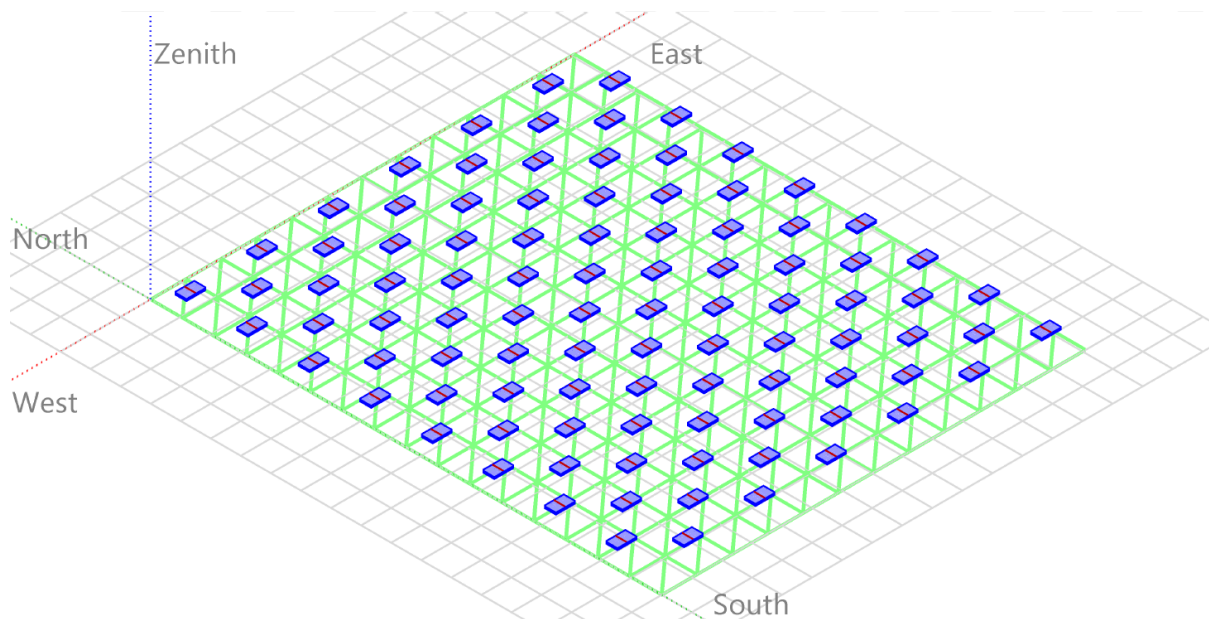
Απόσταση από κέντρο σε κέντρο πλαισίου που βρίσκονται σε διαφορετικές συστάδες αλλά επί του ίδιου «οριζόντιου» άξονα (m)	11,90
Μέγιστη Εγκατεστημένη Ισχύς (kWp)	1.037
Συνολική ονομαστική ισχύς εξόδου μετατροπών ισχύος (kW)	825

4.4.2.2 Μελέτη κινητών ΑΦΒ συστημάτων διάταξης μισής πυκνότητας

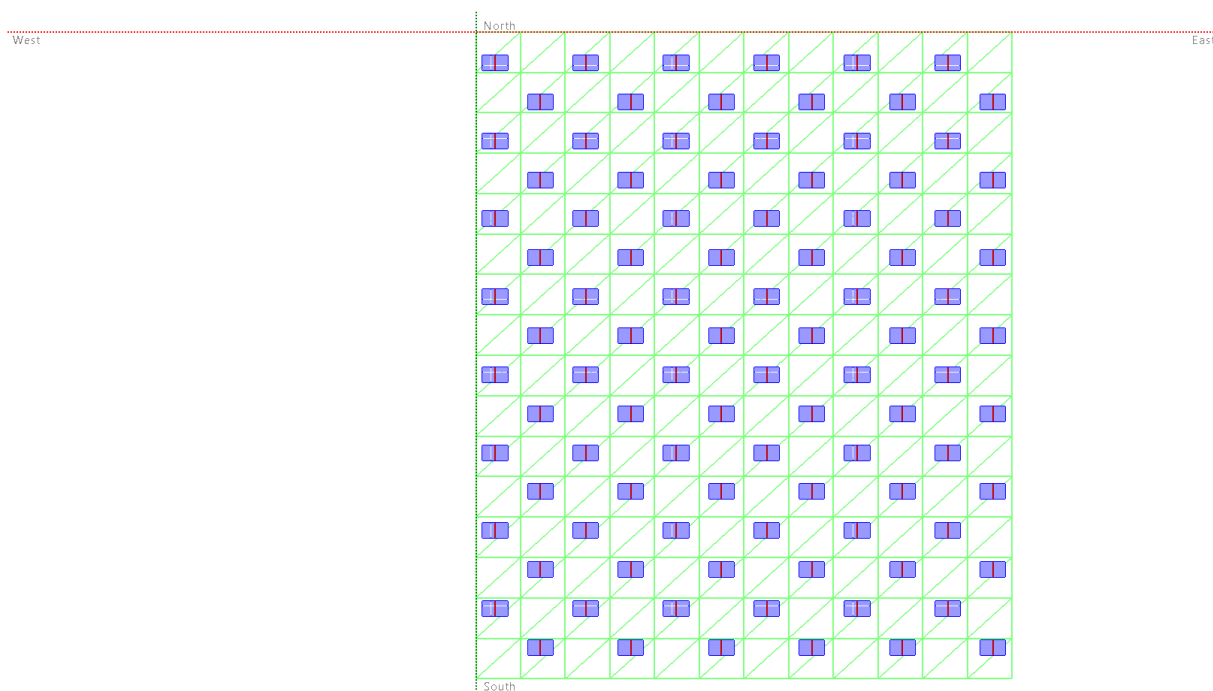
Η δεύτερη (κατά σειρά πέμπτη) θεώρηση με εγκατάσταση ΑΦΒ πλαισίων με δυνατότητα κίνησης γύρω από τον άξονα Βορρά – Νότου, δηλαδή με προσανατολισμό Ανατολή – Δύση, έχει τα ίδια χαρακτηριστικά με το προηγούμενο σενάριο (ΚΑΠΠ) σε ότι αφορά τις γεωμετρικές διαστάσεις τόσο των μονάδων όσο και των πανέλων, το υλικό κατασκευής των μονάδων, την ονομαστική ισχύς τους, τον προσανατολισμό, την κλίση τους κάθε στιγμή και τους περιορισμούς στη γωνία περιστροφής γύρω από τον άξονα Βορρά - Νότου.

Αυτό που διαφέρει σε αυτήν την περίπτωση είναι η πυκνότητα τοποθέτησής τους η οποία είναι η μισή από την θεώρηση ΚΑΠΠ και για αυτόν το λόγο η συνολική ονομαστική εγκατεστημένη ισχύς του συστήματος ανέρχεται σε 518kWp. Ο συνολικός αριθμός των φωτοβολταϊκών πλαισίων ανέρχεται σε 96 και κάθε φωτοβολταϊκό πλαίσιο διατηρεί τα ίδια γεωμετρικά χαρακτηριστικά που αναφέρθηκαν πρωύτερα. Για την ακρίβεια η διάταξη των ΑΦΒ συστοιχιών είναι ταυτόσημη με τη διάταξη της ΣΑΜΠ, δηλαδή τα φωτοβολταϊκά πανέλα τοποθετούνται ζιγκζαγκωτά. Προς υπενθύμιση, στον συμμετρικό άξονα κατά μήκος κάθε συστάδας τοποθετούνται 8 ΑΦΒ πλαίσια με αποστάσεις μεταξύ τους από κέντρο πλαισίου σε κέντρο πλαισίου 20,48m (διπλάσια απόσταση συγκριτικά με την υπόθεση ΚΑΠΠ) και κενό διάστημα μεταξύ τους 16,49m. Επιπλέον, για να υπάρχει ομοιομορφία στην σκίαση οι φωτοβολταϊκές συστοιχίες δεν τοποθετούνται σε κάθε συστάδα από το ίδιο σημείο εκκίνησης αλλά τοποθετούνται ζιγκζαγκωτά, δηλαδή οι φωτοβολταϊκές συστοιχίες που τοποθετούνται επάνω σε μία συστάδα απέχουν από τις φωτοβολταϊκές συστοιχίες που επίσης είναι τοποθετημένες επάνω σε άλλη συστάδα και ξεκινούν από το ίδιο σημείο, απόσταση μεταξύ τους ίση με 23,80m (διπλάσια απόσταση συγκριτικά με το σενάριο ΚΑΠΠ). Το σύστημα που

ικανοποιεί τις παραπάνω θεωρήσεις θα καλείται εφεξής «Κινητά ΑΦΒ Μισής Πυκνότητας» - ΚΑΜΠ.



Εικόνα 32. Τρισδιάστατη απεικόνιση διάταξης ΚΑΜΠ



Εικόνα 33. Κάτοψη διάταξης ΚΑΜΠ

Οι μετατροπείς ισχύος που χρησιμοποιούνται είναι 2, έχουν ονομαστική ισχύ 225kWAC και 6 ανεξάρτητους ανιχνευτές σημείου μέγιστης ισχύος – 6 MPPT (Maximum Power Point

Tracker) ο καθένας και συνολική ονομαστική ισχύ εξόδου 450kWAC. Ο λόγος της ισχύος εισόδου σταθερού ρεύματος προς την ισχύ εξόδου εναλλασσόμενου ρεύματος (DC/AC) ισούται με 1,152 και οι απώλειες λόγω υπερφόρτωσης είναι 0%. Επομένως, το κομμάτι των χρησιμοποιούμενων μετατροπέων ισχύος σε αυτήν την θεώρηση ταυτίζεται με της περίπτωσης ΣΑΜΠ.

Παρουσιάζονται συγκεντρωτικά τα τεχνικά και γεωμετρικά χαρακτηριστικά της διάταξης ΚΑΜΠ.

Εικόνα 34. Τεχνικά χαρακτηριστικά διάταξης ΚΑΜΠ

Πίνακας 9. Γεωμετρικά και τεχνικά χαρακτηριστικά διάταξης ΚΑΜΠ

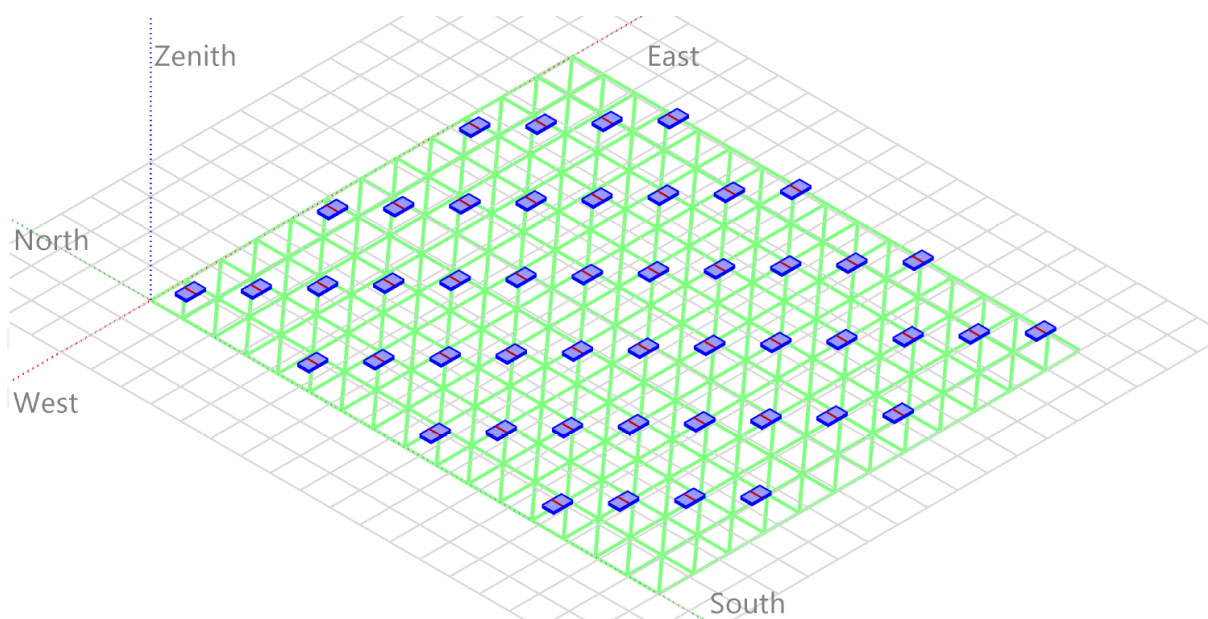
Γεωμετρικά και τεχνικά χαρακτηριστικά ΚΑΜΠ	
Ύψος ΑΦΒ πλαισίων (m)	4,00
Διαστάσεις ΑΦΒ πλαισίων (m)	6,60 × 3,99
Προσανατολισμός	Ανατολή – Δύση με περιορισμό περιστροφής γύρω από τον άξονα Βορρά – Νότου από -60° έως +60°

Αριθμός ΑΦΒ πλαισίων συνολικά και ανά συστάδα χωραφίου	96 και 8
Απόσταση από κέντρο σε κέντρο πλαισίου που βρίσκονται επί της ίδιας συστάδας (m)	20,48
Απόσταση από κέντρο σε κέντρο πλαισίου που βρίσκονται σε διαφορετικές συστάδες αλλά επί του ίδιου «οριζόντιου» άξονα (m)	23,80
Μέγιστη Εγκατεστημένη Ισχύς (kWp)	518
Συνολική ονομαστική ισχύς εξόδου μετατροπέων ισχύος (kW)	450

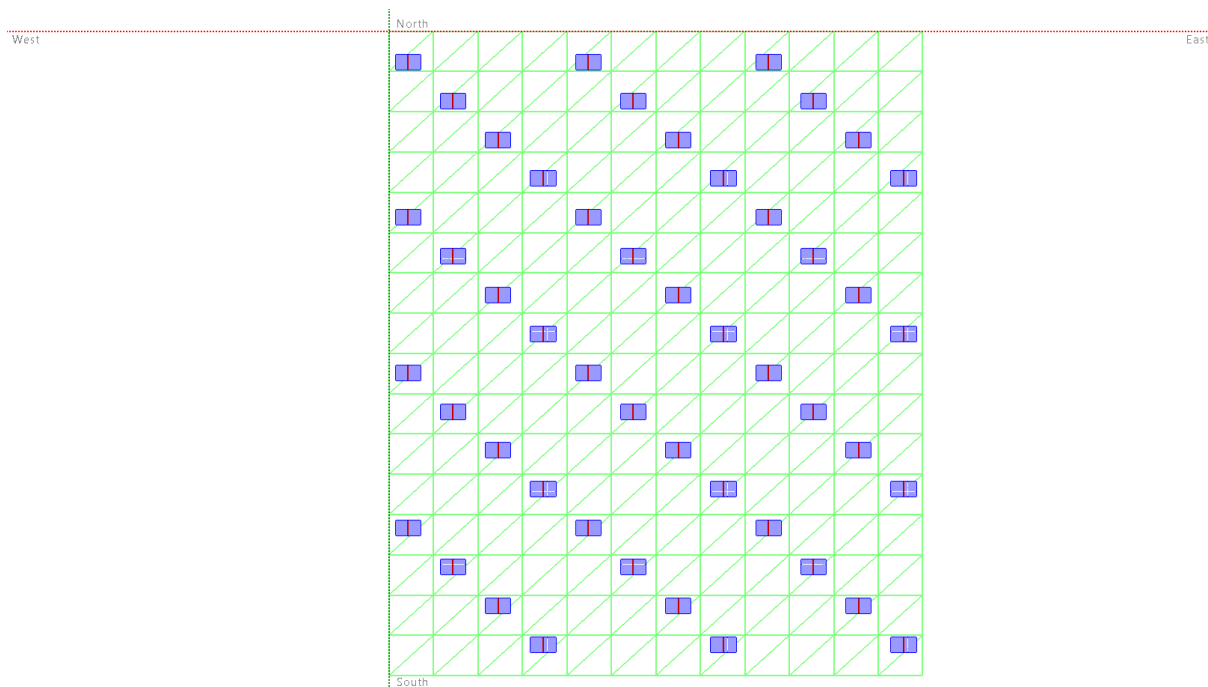
4.4.2.3 Μελέτη κινητών ΑΦΒ συστημάτων διάταξης ενός τέταρτου πυκνότητας

Η τρίτη περίπτωση μελέτης ΑΦΒ μονάδων με ιχνηλάτες (κατά σειρά στο σύνολο έκτη) έχει τα ίδια χαρακτηριστικά με τις περιπτώσεις ΚΑΠΠ και ΚΑΜΠ σε ότι αφορά τις γεωμετρικές διαστάσεις τόσο των μονάδων όσο και των πλαισίων, το υλικό κατασκευής των μονάδων, την κλίση, τον προσανατολισμό τους και την ονομαστική ισχύ τους. Αυτό που διαφέρει είναι η πυκνότητα τοποθέτησης των πλαισίων η οποία είναι το ένα τέταρτο από την πυκνότητα της περίπτωσης ΚΑΠΠ (η μισή δηλαδή της περίπτωσης ΚΑΜΠ) που περιεγράφηκε παραπάνω και για αυτόν το λόγο η συνολική ονομαστική εγκατεστημένη ισχύς του συστήματος ανέρχεται σε 259kWp. Ο συνολικός αριθμός των φωτοβολταϊκών πλαισίων ανέρχεται σε 48 και κάθε φωτοβολταϊκό πλαίσιο διατηρεί τα ίδια γεωμετρικά χαρακτηριστικά που έχουν αναφερθεί λεπτομερώς πρωτύτερα στην περίπτωση ΣΑΠΠ. Η διάταξη εξακολουθεί να είναι ομοιόμορφη αλλά στο ένα τέταρτο της πλήρους πυκνότητας. Για το λόγο αυτό στον συμμετρικό άξονα κατά μήκος κάθε συστάδας τοποθετούνται 4 ΑΦΒ πλαίσια με αποστάσεις μεταξύ τους από κέντρο πλαισίου σε κέντρο πλαισίου 40,96m (τετραπλάσια απόσταση συγκριτικά με την υπόθεση ΚΑΠΠ και διπλάσια συγκριτικά με την υπόθεση ΚΑΜΠ) και κενό διάστημα/καθαρή απόσταση μεταξύ τους 36,97m. Επιπλέον, για να υπάρχει ομοιομορφία στην σκίαση οι φωτοβολταϊκές συστοιχίες τοποθετούνται όπως απεικονίζεται παρακάτω. Κατά συνέπεια, οι φωτοβολταϊκές συστοιχίες που τοποθετούνται επάνω σε μία συστάδα απέχουν από τις

φωτοβολταϊκές συστοιχίες που επίσης είναι τοποθετημένες επάνω σε άλλη συστάδα και ξεκινούν από το ίδιο σημείο, απόσταση μεταξύ τους ίση με 47,60m (τετραπλάσια απόσταση συγκριτικά με το σενάριο ΚΑΠΠ και διπλάσια συγκριτικά με το σενάριο ΚΑΜΠ). Το σύστημα που ικανοποιεί τις παραπάνω θεωρήσεις θα ονομάζεται εφεξής «Κινητά ΑΦΒ Τετάρτου Πυκνότητας» - ΚΑΤΠ.



Εικόνα 35. Τρισδιάστατη απεικόνιση διάταξης ΚΑΤΠ



Εικόνα 36. Κάτοψη διάταξης ΚΑΤΠ

Ο μετατροπέας ισχύος - inverter που χρησιμοποιείται είναι ακριβώς ο ίδιος με την περίπτωση ΣΑΜΠ με μία και μοναδική διαφορά ότι στο συγκεκριμένο σύστημα χρειάζεται και χρησιμοποιείται μονάχα ένας μετατροπέας.

Παρατίθενται ακολούθως συγκεντρωτικά τα γεωμετρικά και τεχνικά χαρακτηριστικά της διάταξης.

The screenshot displays the PVsyst software interface for configuring a solar system. Key sections include:

- List of subarrays:** Shows 'Tracking APVs_quarter density' with 24 modules and 18 strings.
- Select the orientation:** Tracking horizontal axis, Azim. 0.0°.
- Select the PV module:** Trina Solar, 600 Wp 29V, Si-mono, TSM-DEG-20C-20-600 Vertex. Sizing voltages: V_{mpp} (60°C) 30.2 V, Voc (-10°C) 45.6 V.
- Select the inverter:** Goodwe, 225 kW, 500 - 1500 V TL, 50/60 Hz, GW225KN-HT. Operating voltage: 500-1500 V, Input maximum voltage: 1500 V. Global Inverter's power: 225 kWac. Inverter with 6 MPPT.
- Design the array:** Number of modules and strings. Mod. in series: 24, Nb. strings: 18. Overload loss: 0.0%, Pratio: 1.15.
- Global system summary:**
 - Nb. of modules: 432
 - Module area: 1223 m²
 - Nb. of inverters: 1
 - Nominal PV Power: 259 kWp
 - Nominal AC Power: 225 kWAC
 - Pratio: 1.152
- Operating conditions:** V_{mpp} (60°C) 724 V, V_{mpp} (20°C) 839 V, Voc (-10°C) 1096 V. Plane irradiance: 1000 W/m². Impp (STC) 312 A, Isc (STC) 332 A. Max. operating power (at 1000 W/m² and 50°C) 237 kW. Array nom. Power (STC) 259 kWp.

Εικόνα 37. Τεχνικά χαρακτηριστικά διάταξης ΚΑΤΠ

Πίνακας 10. Γεωμετρικά και τεχνικά χαρακτηριστικά διάταξης ΚΑΤΠ

Γεωμετρικά και τεχνικά χαρακτηριστικά ΚΑΤΠ	
Ύψος ΑΦΒ πλαισίων (m)	4,00
Διαστάσεις ΑΦΒ πλαισίων (m)	6,60 × 3,99
Προσανατολισμός	Ανατολή – Δύση με περιορισμό περιστροφής γύρω από τον άξονα Βορρά – Νότου από -60° έως +60°

Αριθμός ΑΦΒ πλαισίων συνολικά και ανά συστάδα χωραφίου	48 και 4
Απόσταση από κέντρο σε κέντρο πλαισίου που βρίσκονται επί της ίδιας συστάδας (m)	40,96
Απόσταση από κέντρο σε κέντρο πλαισίου που βρίσκονται σε διαφορετικές συστάδες αλλά επί του ίδιου «οριζόντιου» άξονα (m)	47,60
Μέγιστη Εγκατεστημένη Ισχύς (kWp)	259
Συνολική ονομαστική ισχύς εξόδου μετατροπέων ισχύος (kW)	225

4.5 Σύνοψη των υπό μελέτη σεναρίων

Σύμφωνα λοιπόν με όλα τα παραπάνω και συνοψίζοντας, στην εν λόγω διπλωματική εργασία μελετώνται τα κάτωθι σενάρια:

Πίνακας 11. Σύγκριση των υπό μελέτη περιπτώσεων

Χαρακτηριστικά/Υπό μελέτη σενάρια	ΣΑΠΠ	ΣΑΜΠ	ΣΑΤΠ	ΚΑΠΠ	ΚΑΜΠ	ΚΑΤΠ
Ύψος ΑΦΒ πλαισίων (m)	4,00					
Διαστάσεις ΑΦΒ πλαισίων (m)	6,60 × 3,99					
Προσανατολισμός	Νότος με κλίση ΑΦΒ πλαισίων 35°			Ανατολή – Δύση με περιορισμό περιστροφής γύρω από τον άξονα Βορρά – Νότου από -60° έως +60°		

Αριθμός ΑΦΒ πλαισίων συνολικά και ανά συστάδα χωραφιού	192 και 16	96 και 8	48 και 4	192 και 16	96 και 8	48 και 4
Απόσταση από κέντρο σε κέντρο πλαισίου που βρίσκονται επί της ίδιας συστάδας (m)	10,24	20,48	40,96	10,24	20,48	40,96
Απόσταση από κέντρο σε κέντρο πλαισίου που βρίσκονται σε διαφορετικές συστάδες αλλά επί του ίδιου «οριζόντιου» άξονα (m)	11,90	23,80	47,60	11,90	23,80	47,60
Μέγιστη Εγκατεστημένη Ισχύς (kWp)	1.037	518	259	1.037	518	259
Συνολική ονομαστική ισχύς εξόδου μετατροπών ισχύος (kW)	825	450	225	825	450	225

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 – ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΤΩΝ ΥΠΟ ΜΕΛΕΤΗ ΣΕΝΑΡΙΩΝ ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

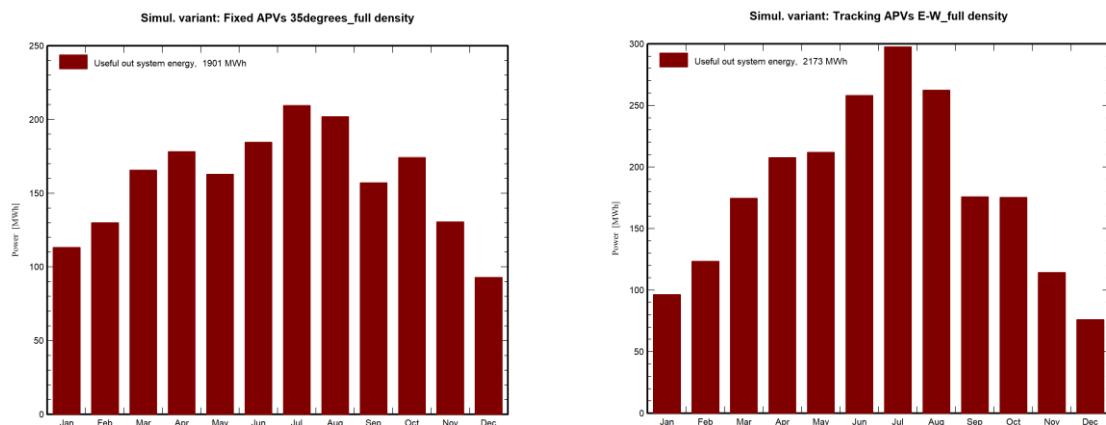
5.1 Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας

Από την ανάλυση των παραπάνω σεναρίων προέκυψαν τα κάτωθι αποτελέσματα ως προς την παραγωγή ετήσιας ηλεκτρικής ενέργειας.

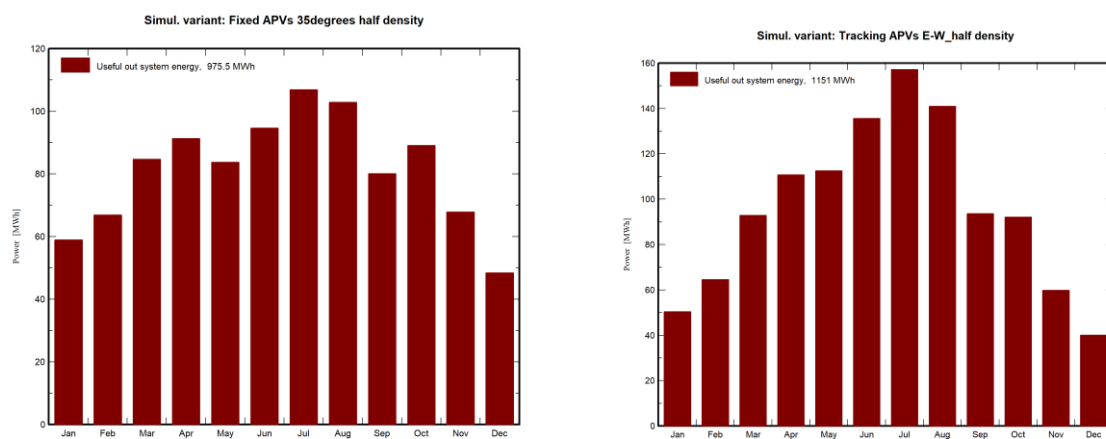
Πίνακας 12. Ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας

Σενάριο	Συνολική Ονομαστική Ισχύς Εγκατάστασης (kWp)	Ετήσια διοχετευόμενη ηλεκτρική ενέργεια στο δίκτυο (MWh/έτος)	Ετήσια ηλεκτρική ενέργεια διοχετευόμενη από τα ΑΦΒ στον παραγωγό (MWh/έτος)	Ετήσια παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια (MWh/έτος)
ΣΑΠΠ	1037	1.865,20	35,39	1.900,59
ΣΑΜΠ	518	940,97	34,49	975,46
ΣΑΤΠ	259	459,92	33,24	493,16
ΚΑΠΠ	1037	2.138,80	34,56	2.173,36
ΚΑΜΠ	518	1.116,3	34,26	1.150,56
ΚΑΤΠ	259	549,21	34,08	583,29

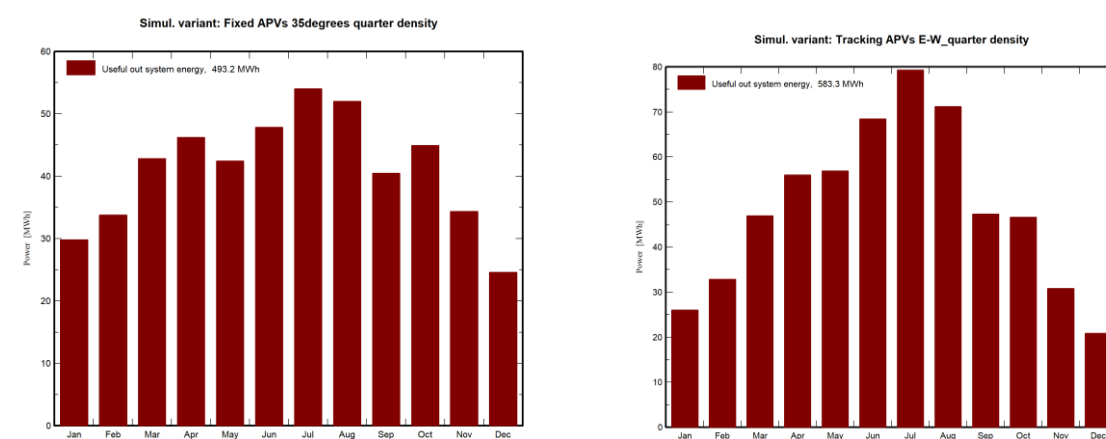
Η παραπάνω ετήσια παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια για κάθε περίπτωση αναλύεται σε μηνιαίες τιμές οι οποίες αποτυπώνονται στα παρακάτω διαγράμματα.



Εικόνα 38. Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας – ΣΑΠΠ (αριστερά) και ΚΑΠΠ (δεξιά)



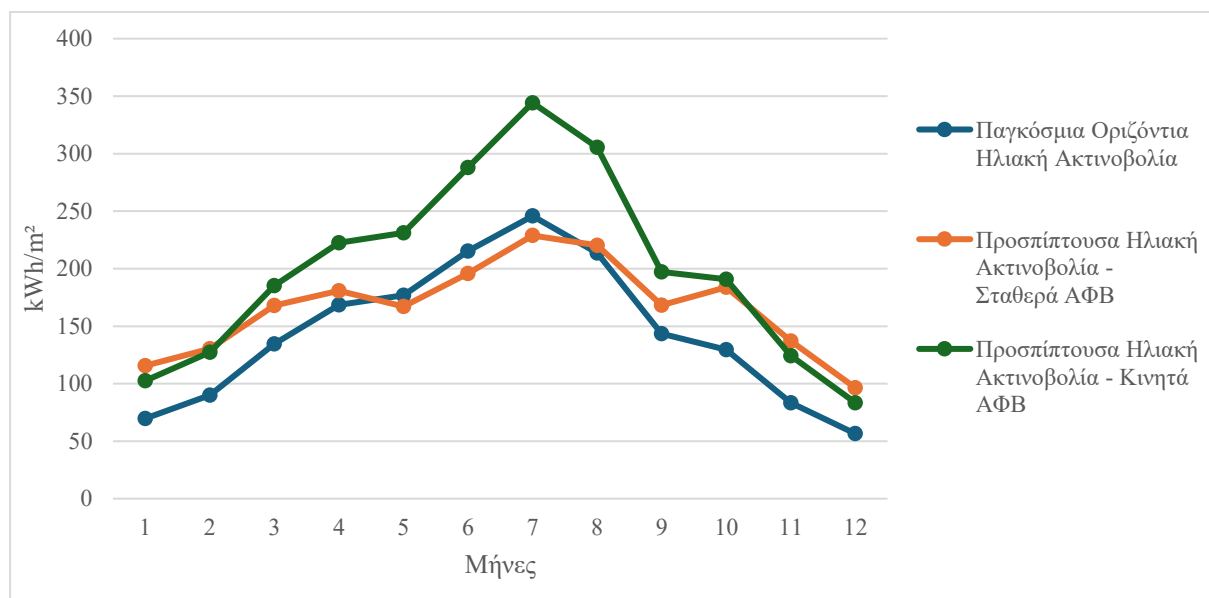
Εικόνα 39. Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας - ΣΑΜΠ (αριστερά) και ΚΑΜΠ (δεξιά)



Εικόνα 40. Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας - ΣΑΠΠ (αριστερά) και ΚΑΠΠ (δεξιά)

Από τα παραπάνω διαγράμματα γίνεται αντιληπτό ότι τα σταθερά ΑΦΒ πλαίσια παράγουν περισσότερη ηλεκτρική ενέργεια από εκείνα που διαθέτουν ιχνηλάτες τους μήνες Ιανουάριο, Νοέμβριο, Δεκέμβριο ενώ το αντίθετο συμβαίνει τους μήνες Μάρτιο έως Σεπτέμβριο. Τους μήνες Φεβρουάριο και Οκτώβριο τα δύο συστήματα έχουν περίπου ίδια παραγωγή ενέργειας. Αυτό μπορεί να εξηγηθεί από το γεγονός ότι τους χειμερινούς μήνες (Νοέμβριο, Δεκέμβριο, Ιανουάριο) η γωνία ανύψωσης του ήλιου είναι μικρή, δηλαδή ο ήλιος βρίσκεται χαμηλά σε σχέση με τον ορίζοντα. Επίσης, λόγω της κλίσης του άξονα της γης, τον χειμώνα ο ήλιος διαγράφει χαμηλή τροχιά και η μέρα διαρκεί λιγότερο. Το αντίθετο συμβαίνει τους καλοκαιρινούς μήνες όπου η γωνία ανύψωσης του ήλιου είναι μεγάλη, δηλαδή ο ήλιος βρίσκεται ψηλότερα και (λόγω του άξονα της γης) διαγράφει υψηλή τροχιά κάνοντας έτσι τη μέρα να διαρκεί περισσότερο. Τα σταθερά ΑΦΒ πάνελ με προσανατολισμό προς το Νότο δέχονται την ηλιακή ακτινοβολία τους χειμερινούς μήνες με καλύτερη γωνία πρόσπτωσης από ότι τα κινητά ΑΦΒ πάνελ με προσανατολισμό Ανατολή – Δύση και κλίση άξονα Βορρά – Νότου 0° τα οποία τη δέχονται πλάγια. Για τους μεταβατικούς μήνες (Φεβρουάριο και Οκτώβριο) η θέση του ήλιου βρίσκεται σε ενδιάμεση γωνία, ο ήλιος δε βρίσκεται ούτε πολύ ψηλά ούτε πολύ χαμηλά, οπότε η συμπεριφορά των σταθερών και κινητών ΑΦΒ πινελων είναι παρόμοια.

Επίσης, από τα παραπάνω διαγράμματα φαίνεται ότι οι σταθερές ΑΦΒ μονάδες τους μήνες Μάιο και Σεπτέμβριο παρουσιάζουν μία μείωση στην παραγωγή ενέργειας σε σχέση με τους μήνες που προηγούνται και έπονται (Απρίλιος, Ιούνιος και Αύγουστος, Οκτώβριος αντίστοιχα). Το γεγονός αυτό εξηγείται φυσικά σύμφωνα με τα προαναφερθέντα για τη γωνία πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας στις ΑΦΒ μονάδες κατά τη διάρκεια του έτους. Ακολουθεί σχετικό διάγραμμα το οποίο δείχνει την παγκόσμια οριζόντια ηλιακή ακτινοβολία και την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία στα σταθερά και κινητά ΑΦΒ συστήματα. Πρέπει να σημειωθεί ότι τα μεγέθη της ηλιακής ακτινοβολίας που αναφέρονται είναι εκφρασμένα σε όρους ενέργειας.



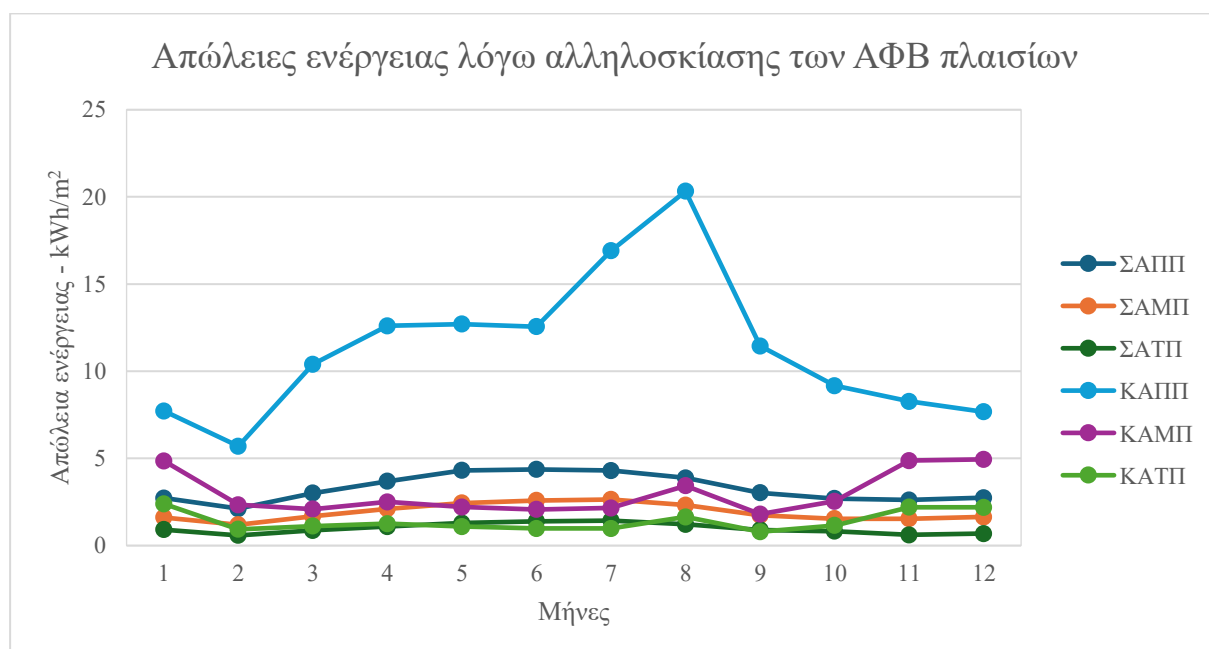
Εικόνα 41. Παγκόσμια Οριζόντια και Προσπίπτουσα Ηλιακή Ακτινοβολία

Από το παραπάνω διάγραμμα φαίνεται ξεκάθαρα η επίδραση και η σημασία του προσανατολισμού και της γωνίας κλίσης των ΑΦΒ πλαισίων σε σχέση με την καλύτερη δυνατή απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας. Επαληθεύεται η παρατήρηση ότι η γωνία κλίσης και ο προσανατολισμός των ΑΦΒ πανέλων είναι οι λόγοι που τα κινητά ΑΦΒ συστήματα δεν απορροφούν την ηλιακή ακτινοβολία τόσο καλά όσο τα σταθερά ΑΦΒ συστήματα τους χειμερινούς μήνες και το αντίστροφο.

Επίσης, διαφαίνεται ότι τα ίδια αίτια είναι εκείνα που προκαλούν την πτώση στην ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από τα σταθερά ΑΦΒ συστήματα τους μήνες Μάιο και Σεπτέμβριο. Τον Μάιο ο ήλιος ανεβαίνει ψηλότερα και οι ακτίνες του πέφτουν πιο πλάγια στα πανέλα από ότι σε σχέση με τον Απρίλιο. Σε συνδυασμό με τη μικρή αύξηση που παρατηρείται στην παγκόσμια οριζόντια ακτινοβολία από Απρίλιο μέχρι Μάιο οδηγεί σε μείωση της παραγόμενης ενέργειας στις περιπτώσεις των σταθερών ΑΦΒ. Τον Ιούνιο ο ήλιος είναι ακόμα ψηλότερα και οι ακτίνες του πέφτουν ακόμη πιο πλάγια στα πανέλα σε σχέση με τον Μάιο αλλά η παγκόσμια οριζόντια ακτινοβολία τον Ιούνιο είναι αρκετά αυξημένη σε σχέση με τον Μάιο και η μέρα είναι ακόμη μεγαλύτερη και ο συνδυασμός αυτός έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας στα πανέλα. Τον Σεπτέμβριο συμβαίνει το αντίθετο. Ο ήλιος χαμηλώνει, η γωνία ανύψωσης του ήλιου δεν είναι ακόμη η βέλτιστη για την καλύτερη απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας από τα σταθερά ΑΦΒ συστήματα, η διάρκεια της ημέρας μικραίνει και η παγκόσμια οριζόντια ακτινοβολία μειώνεται εντυπωσιακά. Αυτό

οδηγεί σε μείωση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας στα ΑΦΒ πανέλα τον Σεπτέμβριο ενώ τον Οκτώβριο ακολουθεί αύξηση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας διότι η μείωση της παγκόσμιας οριζόντιας ακτινοβολίας από τον Σεπτέμβριο έως τον Οκτώβριο δεν είναι τόσο μεγάλη και παρ'όλο που η διάρκεια της μέρας μικραίνει συντρέχει το γεγονός ότι η γωνία ανύψωσής του είναι καλύτερη για την απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας από τα σταθερά ΑΦΒ συστήματα με προσανατολισμό το Νότο.

Ένα άλλο σημαντικό σημείο που πρέπει να εξεταστεί είναι το ποσοστό της σκίασης που προκαλείται στα πανέλα εξαιτίας του τύπου, της διάταξης και της πυκνότητας τοποθέτησής τους. Ακολουθεί το γράφημα και ο πίνακας που αντιπροσωπεύουν την απώλεια ενέργειας λόγω σκιάσεων μεταξύ των ΑΦΒ πλαισίων.



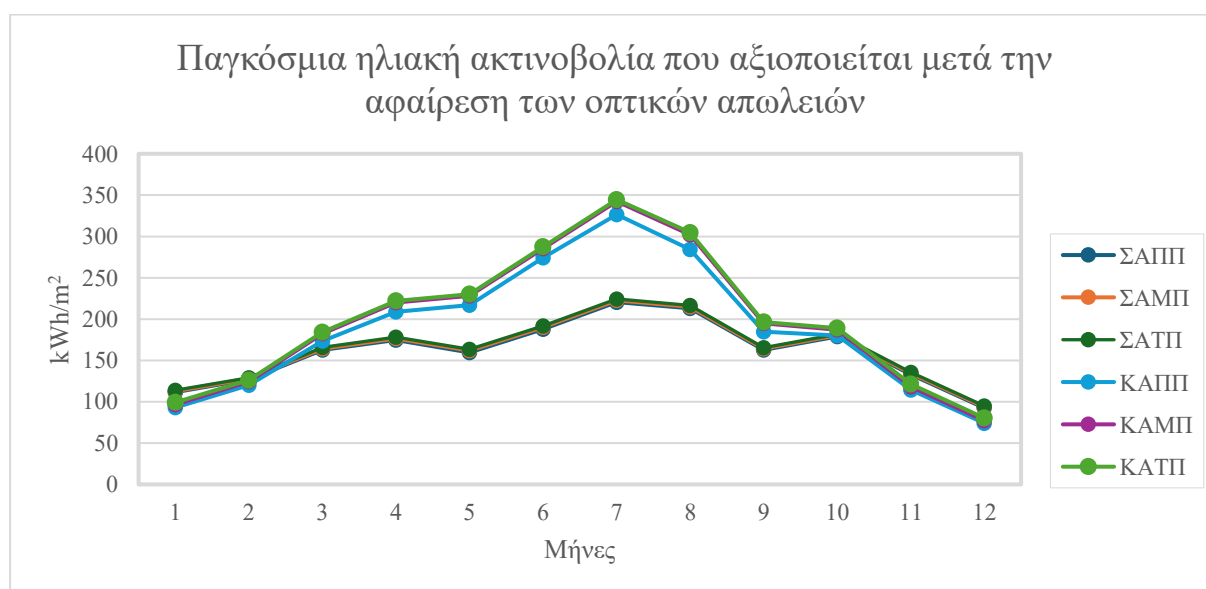
Εικόνα 42. Απώλειες ενέργειας ανά τετραγωνικό μέτρο λόγω αλληλοσκίασης των ΑΦΒ πλαισίων

Πίνακας 13. Ετήσια απώλεια ενέργειας ανά τετραγωνικό μέτρο λόγω σκίασης των ΑΦΒ πλαισίων

Ετήσια απώλεια ενέργειας ανά τετραγωνικό μέτρο λόγω σκίασης των ΑΦΒ πλαισίων						
Υποθέσεις	ΣΑΠΠ	ΣΑΜΠ	ΣΑΤΠ	ΚΑΠΠ	ΚΑΜΠ	ΚΑΤΠ
kWh/m ²	39.496	23.069	11.825	135.480	35.833	16.743

Από τα παραπάνω γίνεται αντιληπτό ότι στα ΚΑΠΠ η σκίαση είναι σημαντική και αποτρεπτική ως προς την αποδοχή της πρότασης τοποθέτησης των πλαισίων κατά αυτόν τον τρόπο. Είναι χαρακτηριστικό ότι η υπόθεση ΚΑΠΠ χάνει σχεδόν 2,5 φορές παραπάνω ενέργεια ανά τετραγωνικό μέτρο λόγω σκίασης συγκριτικά με εκείνη που χάνουν τα ΣΑΠΠ. Επίσης, παρατηρείται ότι σε κάθε περίπτωση διάταξης τα κινητά ΑΦΒ συστήματα απολλύουν περισσότερη ενέργεια από ότι τα αντίστοιχα σταθερά με τη διαφορά τους να γίνεται αισθητά μικρότερη στις περιπτώσεις της μισής και τετάρτου πυκνότητας (σχεδόν 0,5 φορά παραπάνω ενέργεια ανά τετραγωνικό μέτρο χάνουν τα ΚΑΜΠ και ΚΑΤΠ από τα ΣΑΜΠ και ΣΑΤΠ αντιστοίχως).

Τελικά, η παγκόσμια ηλιακή ακτινοβολία η οποία πραγματικά αξιοποιείται από τις ΑΦΒ μονάδες μετά την αφαίρεση όλων των οπτικών απωλειών (σκίαση, ρύπανση, γωνία πρόσπτωσης) παρατίθεται ευθύς αμέσως.



Εικόνα 43. Αξιοποιούμενη παγκόσμια ηλιακή ακτινοβολία μετά την αφαίρεση των οπτικών απωλειών

Καταληκτικά, η ηλιακή ακτινοβολία που αξιοποιείται από τα κινητά ΑΦΒ μετά την αφαίρεση όλων των οπτικών απωλειών είναι εμφανώς μεγαλύτερη τους καλοκαιρινούς μήνες σε σχέση με εκείνη των σταθερών ΑΦΒ, ενώ για τους μεταβατικούς και χειμερινούς μήνες είναι ίση ή ελαφρώς μικρότερη. Παρατίθενται ακολούθως συγκεντρωτικά και προς σύγκριση

τα παραπάνω αποτελέσματα. Υπενθυμίζεται ξανά ότι τα μεγέθη της ηλιακής ακτινοβολίας είναι εκφρασμένα σε όρους ενέργειας.

Πίνακας 14. Συγκριτικός πίνακας μεγεθών ενέργειας

Υπό μελέτη σενάριο	Συνολική προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία (kWh/m ² /έτος)	Απώλεια ενέργειας λόγω σκίασης των ΑΦΒ μονάδων (kWh/m ² /έτος)	Συνολική αξιοποιούμενη ηλιακή ακτινοβολία (kWh/m ² /έτος)	Παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια (MWh/έτος)
ΣΑΠΠ	1.992,10	39,50	1.924,30	1.900,59
ΣΑΜΠ	1.992,10	23,07	1.945,00	975,46
ΣΑΤΠ	1.992,10	11,83	1.960,30	493,16
ΚΑΠΠ	2.401,60	135,48	2.250,50	2.173,36
ΚΑΜΠ	2.401,60	35,83	2.359,30	1.150,56
ΚΑΤΠ	2.401,60	16,74	2.386,40	583,29

Τα παραπάνω εκφράζονται ακολούθως σε ποσοστά με σκοπό την πιο εύκολη σύγκριση τόσο μεταξύ των σταθερών ΑΦΒ διατάξεων με των αντίστοιχων κινητών έχοντας ως παρονομαστή πάντα τις τιμές που αφορούν σε σταθερές ΑΦΒ διατάξεις όσο και μεταξύ των διατάξεων πλήρους, μισής και τετάρτου πυκνότητας έχοντας ως παρονομαστή πάντα την τιμή που αντιστοιχεί στην πλήρη πυκνότητα.

Πίνακας 15. Πίνακας μεγεθών ενέργειας για σύγκριση των σταθερών ΑΦΒ διατάξεων με των αντίστοιχων κινητών

Υπό μελέτη σενάριο	Συνολική προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία (kWh/m ² /έτος, %)	Απώλεια ενέργειας λόγω σκίασης των ΑΦΒ μονάδων (kWh/m ² /έτος, %)	Συνολική αξιοποιούμενη ηλιακή ακτινοβολία (kWh/m ² /έτος, %)	Παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια (MWh/έτος, %)
--------------------------	--	--	---	--

ΣΑΠΠ	100,00	100,00	100,00	100,00
ΣΑΜΠ	100,00	100,00	100,00	100,00
ΣΑΤΠ	100,00	100,00	100,00	100,00
ΚΑΠΠ	120,56	343,02	116,95	114,35
ΚΑΜΠ	120,56	155,33	121,30	117,95
ΚΑΤΠ	120,56	141,59	121,74	118,28

Από τον ανωτέρω πίνακα παρατηρείται ότι η συνολική προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία των κινητών διατάξεων (εκφρασμένη σε όρους ενέργειας) είναι αυξημένη κατά περίπου 20% συγκριτικά με των σταθερών διατάξεων και παρά το γεγονός ότι παρουσιάζει μεγαλύτερες απώλειες λόγω σκίασης των ΑΦΒ μονάδων της τάξεως του 40% έως 240% σε σχέση με τα σταθερά ΑΦΒ, η τελικά αξιοποιούμενη ηλιακή ακτινοβολία και κατ'έκταση η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια εμφανίζεται αυξημένη σε ποσοστό κατά μέσο όρο 20% (τελικά αξιοποιούμενη ηλιακή ακτινοβολία) και 17% (παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια) αντιστοίχως.

Πίνακας 16. Πίνακας μεγεθών ενέργειας για σύγκριση των διαφόρων διατάξεων (πλήρους, μισής και τετάρτου πυκνότητας) των ΑΦΒ

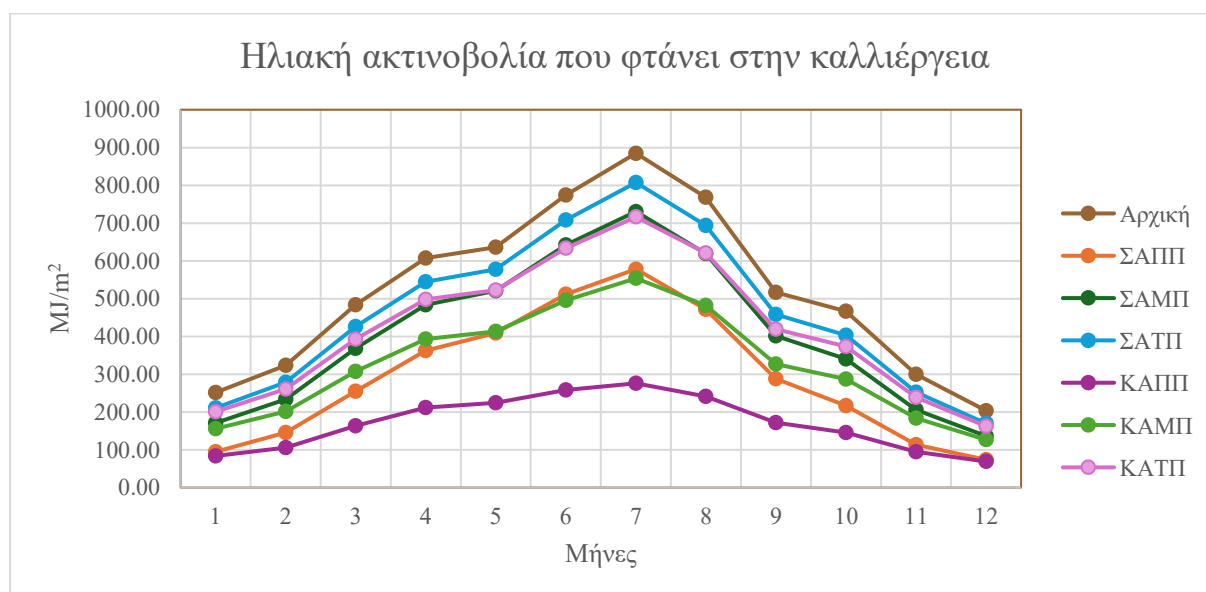
Υπό μελέτη σενάριο	Συνολική προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία (kWh/m²/έτος, %)	Απώλεια ενέργειας λόγω σκίασης των ΑΦΒ μονάδων (kWh/m²/έτος, %)	Συνολική αξιοποιούμενη ηλιακή ακτινοβολία (kWh/m²/έτος, %)	Παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια (MWh/έτος, %)
ΣΑΠΠ	100,00	100,00	100,00	100,00
ΣΑΜΠ	100,00	58,41	101,08	51,32
ΣΑΤΠ	100,00	29,95	101,87	25,95
ΚΑΠΠ	100,00	100,00	100,00	100,00
ΚΑΜΠ	100,00	26,47	104,83	52,94

ΚΑΤΠ	100,00	12,36	106,04	26,84
-------------	--------	-------	--------	-------

Από ότι συμπεραίνεται από τον παραπάνω πίνακα, η απώλεια λόγω σκίασης των ΑΦΒ μονάδων δεν είναι αναλογική με την πυκνότητα τοποθέτησής τους και διαφέρει αρκετά ανάλογα με τον προσανατολισμό των ΑΦΒ ενώ η συνολική αξιοποιούμενη ηλιακή ακτινοβολία δε διαφέρει σημαντικά ανάλογα με την πυκνότητα τοποθέτησης των ΑΦΒ μονάδων. Αναλογικά με την πυκνότητα τοποθέτησης είναι η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια κάτι το οποίο βέβαια συσχετίζεται άμεσα με την μέγιστη εγκατεστημένη ισχύς του συστήματος.

5.2 Παραγόμενη ποσότητα πράσινης πιπεριάς φλάσκας

Από την έρευνα του ποσοστού ηλιακής ακτινοβολίας που φτάνει στα φυτά πριν και μετά την εγκατάσταση των ΑΦΒ συστημάτων προκύπτει το παρακάτω διάγραμμα.



Εικόνα 44. Ηλιακή ακτινοβολία που φτάνει στην καλλιέργεια

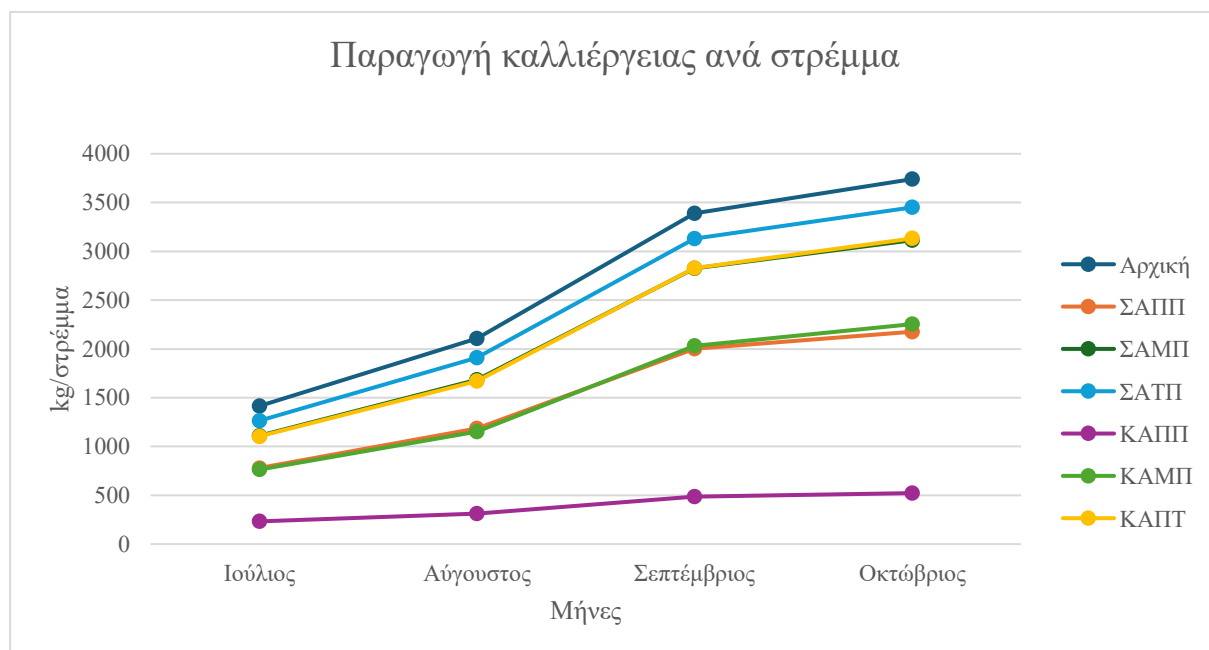
Το παραπάνω διάγραμμα καταδεικνύει τη σημασία της σωστής τοποθέτησης των ΑΦΒ πλαισίων με τέτοιον τρόπο που όχι μόνο να επιτυγχάνεται μέγιστη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, αλλά και μέγιστη ηλιακή ακτινοβολία στην καλλιέργεια. Όπως είναι αναμενόμενο, όσο πιο πυκνή είναι η διάταξη των ΑΦΒ συστημάτων τόσο λιγότερη είναι η ηλιακή ακτινοβολία που φτάνει στο έδαφος. Το αξιοσημείωτο είναι ότι για τους καλλιεργητικούς μήνες

Μάιο έως Οκτώβριο η ηλιακή ακτινοβολία που φτάνει στα φυτά στο σενάριο ΣΑΠΠ είναι ίση περίπου με του σεναρίου ΚΑΜΠ και η ηλιακή ακτινοβολία που φτάνει στα φυτά στο σενάριο ΣΑΜΠ είναι περίπου ίση με του σεναρίου ΚΑΤΠ. Πιο συγκεκριμένα, ακολουθεί πίνακας που δείχνει την ηλιακή ακτινοβολία ως ποσοστό της αρχικής ακτινοβολίας που φτάνει στα φυτά τους παραγωγικούς μήνες από Μάιο έως και Οκτώβριο.

Πίνακας 17. Ηλιακή ακτινοβολία που φτάνει στο έδαφος/καλλιέργεια ως ποσοστό της αρχικής ηλιακής ακτινοβολίας

Υπό μελέτη σενάριο	Ηλιακή ακτινοβολία που φτάνει στην καλλιέργεια ως ποσοστό της αρχικής κατά τους καλλιεργητικούς μήνες (%)					
	Μάιος	Ιούνιος	Ιούλιος	Αύγουστος	Σεπτέμβριος	Οκτώβριος
ΣΑΠΠ	64,21	66,04	65,33	61,43	55,68	46,39
ΣΑΜΠ	81,82	82,87	82,57	80,60	77,62	73,01
ΣΑΤΠ	90,82	91,39	91,24	90,26	88,73	86,43
ΚΑΠΠ	35,24	33,30	31,19	31,44	33,19	31,15
ΚΑΜΠ	64,93	63,94	62,59	62,66	63,18	61,51
ΚΑΤΠ	82,04	81,78	80,96	80,73	81,16	80,05

Η διάταξη ΣΑΤΠ είναι εκείνη που αφήνει την περισσότερη ηλιακή ακτινοβολία να φτάνει στην καλλιέργεια σε ποσοστό περίπου 90% της αρχικής, έπονται οι διατάξεις ΣΑΜΠ και ΚΑΤΠ σε ποσοστό περί το 80%, ακολουθούν οι διατάξεις ΣΑΠΠ και ΚΑΜΠ με ποσοστό περί το 62% και στο τέλος είναι η διάταξη ΚΑΠΠ η οποία επιτρέπει μόλις το 33% της αρχικής ηλιακής ακτινοβολίας να φτάσει στην καλλιέργεια. Ο αντίκτυπος αυτής της μείωσης της ηλιακής ακτινοβολίας που φτάνει στα φυτά εμφανίζεται στο παρακάτω διάγραμμα.



Εικόνα 45. Παραγόμενη ποσότητα πράσινης πιπεριάς ανά στρέμμα

Όπως φαίνεται από το παραπάνω διάγραμμα, η σειρά με την οποία τα υπό μελέτη σενάρια επιδρούν αρνητικά στην απόδοση της καλλιέργειας είναι η ίδια με τη σειρά με την οποία κατετάγησαν στη μείωση της ηλιακής ακτινοβολίας που φτάνει στο έδαφος ξεκινώντας από το καλύτερο σενάριο. Πιο αναλυτικά, παρατίθεται πίνακας με τις ποσότητες του παραγόμενου προϊόντος σε κάθε περίπτωση.

Πίνακας 18. Συγκριτικός πίνακας παραγόμενης ποσότητας πράσινης πιπεριάς

Υπό μελέτη περίπτωση	Μέσος όρος παραγωγής kg/στρέμμα	Ποσοστό επί της αρχικής παραγωγής %
Αρχική – χωρίς ΑΦΒ	3.740	100,00
ΣΑΠΠ	2.176	58,18
ΣΑΜΠ	3.114	83,26
ΣΑΤΠ	3.451	92,27
ΚΑΠΠ	523	13,98
ΚΑΜΠ	2.254	60,27

ΚΑΤΠ	3.133	83,77
-------------	--------------	--------------

Από τον παραπάνω πίνακα συμπεραίνεται ότι η υπόθεση ΣΑΤΠ έχει τη μικρότερη επίδραση στην παραγόμενη ποσότητα πράσινης πιπεριάς φλάσκας με μείωση περί το 8%, ακολουθούν οι υποθέσεις ΣΑΜΠ και ΚΑΠΤ με μείωση περίπου 17%, έπονται τα συστήματα ΣΑΠΠ και ΚΑΜΠ με μείωση 41% της αρχικής παραγωγής και τελευταία έρχεται η θεώρηση ΚΑΠΠ η οποία μειώνει την παραγωγή σε ποσοστό 86%, ποσοστό που αποτρέπει έναν παραγωγό πράσινης πιπεριάς φλάσκας από τη χρήση τέτοιας διάταξης ΑΦΒ συστημάτων στο χωράφι του.

5.3 Οικονομική ανάλυση των υπό μελέτη σεναρίων

5.3.1 Οικονομική ανάλυση φωτοβολταϊκών συστημάτων

Για κάθε υπό μελέτη σενάριο έγινε οικονομική ανάλυση και αξιολόγηση. Για τις περιπτώσεις των ΑΦΒ συστημάτων και έπειτα από έρευνα αγοράς έγιναν οι παρακάτω θεωρήσεις που ισχύουν για κάθε υπόθεση:

- Κεφαλαιουχικό κόστος : 0,57 €/Wp.

Συνοπτικά περιλαμβάνει τα κόστη εγκατάστασης, δηλαδή τα κόστη προμήθειας και εγκατάστασης του εξοπλισμού (φωτοβολταϊκές μονάδες, μετατροπείς ισχύος και άλλα), τα έξοδα για μελέτες, τα διοικητικά τέλη και όποιο άλλο κόστος συνδέεται με το αρχικό επενδυτικό κόστος για την κατασκευή και απόκτηση του ΑΦΒ συστήματος.

- Λειτουργικό κόστος: 0,01 €/Wp/έτος.

Περιλαμβάνει, το κόστος που απαιτείται για τη συνεχή λειτουργία και συντήρηση του ΑΦΒ συστήματος και τα έξοδα μίσθωσης του χωραφιού τα οποία ανέρχονται ετησίως σε 1.200€.

- Η διάρκεια ζωής του έργου ισούται με 20 χρόνια.
- Το επιτόκιο προεξόφλησης ισούται με 8 %/έτος.
- Ο πληθωρισμός ισούται με 1,5 %/έτος.

- Το κόστος επένδυσης χρηματοδοτείται αποκλειστικά με ίδια κεφάλαια.
- Ο ετήσιος ρυθμός μείωσης της απόδοσης των φωτοβολταϊκών μονάδων με την πάροδο του χρόνου ισούται με 0,45 %/έτος.
- Η παραγόμενη ενέργεια πωλείται σε σταθερή τιμή ίση με 0,06500 €/kWh.
- Ο παραγωγός θεωρείται ότι αγοράζει την ενέργεια που χρειάζεται σε σταθερή τιμή ίση με 0,14000 €/kWh.

Τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την οικονομική ανάλυση που γίνεται από το ίδιο το PVsyst για κάθε υπό μελέτη σενάριο και χωρίς να λαμβάνεται υπ'όψιν ότι το γήπεδο εγκατάστασης των ΑΦΒ καλλιεργείται παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 19. Οικονομικά μεγέθη για κάθε υπό μελέτη περίπτωση χωρίς να λαμβάνεται υπ'όψιν η καλλιέργεια της γης

Τύπος και διάταξη ΑΦΒ συστημάτων	Αρχικό κόστος Επένδυσης, €	Περίοδος Αποπληρωμής, έτη	Καθαρή Παρούσα Αξία, €	Απόδοση Επένδυσης, %
ΣΑΠΠ	580.608,00	6,6	538.874,01	92,80
ΣΑΜΠ	295.488,00	6,9	251.202,86	85,00
ΣΑΤΠ	147.744,00	6,8	128.137,31	86,70
ΚΑΠΠ	590.976,00	5,9	651.239,03	110,20
ΚΑΜΠ	295.488,00	5,4	370.664,73	125,4
ΚΑΤΠ	147.744,00	5,1	195.822,56	132,5

Από τα παραπάνω γίνεται αντιληπτό ότι:

- ❖ Σύμφωνα με την καθαρή παρούσα αξία, το μεγαλύτερο όφελος το έχει η περίπτωση ΚΑΠΠ και ακολουθούν κατά σειρά οι περιπτώσεις ΣΑΠΠ, ΚΑΜΠ, ΣΑΜΠ, ΚΑΤΠ και ΣΑΤΠ.

- ❖ Σύμφωνα με την απόδοση της επένδυσης, η ΚΑΤΠ κατέχει το υψηλότερο ποσοστό και έπονται κατά σειρά οι ΚΑΜΠ, ΚΑΠΠ, ΣΑΠΠ, ΣΑΤΠ, ΣΑΜΠ. Αυτό σημαίνει ότι η περίπτωση ΚΑΤΠ έχει μεγαλύτερο ποσοστό κέρδους επί του επενδυμένου κεφαλαίου.
- ❖ Επομένως, τα κινητά ΑΦΒ συστήματα έχουν καλύτερη απόδοση της επένδυσης από τα σταθερά.

5.3.2 Οικονομική ανάλυση ΑΦΒ συστημάτων

Για την οικονομική αξιολόγηση των υπό μελέτη υποθέσεων εκτός από την οικονομική ανάλυση των φωτοβολταϊκών συστημάτων μεμονωμένα, πρέπει να γίνει και οικονομική αξιολόγηση της καλλιέργειας σε κάθε περίπτωση. Κατά την υλοποίησή της θεωρήθηκαν τα εξής δεδομένα:

- Η τιμή εμπορίου της πράσινης πιπεριάς φλάσκας παραμένει σταθερή όλα τα χρόνια και ίση με 0,75 €/kg.
- Τα έξοδα καλλιέργειας της πιπεριάς σε χωράφι χωρίς ΑΦΒ ανέρχονται σε 1.800 €/στρέμμα.
- Τα έξοδα καλλιέργειας της πιπεριάς σε χωράφι με ΑΦΒ ανέρχονται περίπου σε 1.660 €/στρέμμα.
- Η τιμή αγοράς ενέργειας από το δίκτυο για την κάλυψη των αναγκών ύδρευσης είναι σταθερή όλα τα χρόνια και ίση με 140 €/MWh.
- Το επιτόκιο προεξόφλησης ισούται με 8%.
- Ο πληθωρισμός θεωρείται 1,5%.

Από τα παραπάνω προκύπτει ο παρακάτω πίνακας.

Πίνακας 20. Υπολογισμός οικονομικών μεγεθών αξιολόγησης κάθε περίπτωσης ΑΦΒ

Υπό μελέτη σενάριο	Καθαρή Παρούσα Αξία	Καθαρή Παρούσα Αξία	Τελική Καθαρή Παρούσα Αξία, €	Τελική Απόδοση Επένδυσης	Ποσοστό Καθαρής Παρούσας Αξίας σεναρίου/Καθαρή	%
--------------------------	---------------------------	---------------------------	--	--------------------------------	--	---

	Καλλιέργειας, €				Παρούσα χωρίς ΑΦΒ	Αξία
ΣΑΠΠ	538.874,01	-23.079,59	515.794,42	88,84	332,94	
ΣΑΜΠ	251.202,86	133.158,24	384.361,10	130,08	248,10	
ΣΑΤΠ	128.137,31	190.855,14	318.992,45	215,91	205,91	
ΚΑΠΠ	651.239,03	-294332,12	356.906,91	60,39	230,38	
ΚΑΜΠ	370.664,73	-8.306,03	362.358,70	122,63	233,90	
ΚΑΤΠ	195.822,56	136.984,43	332.806,99	225,26	214,82	

Η Καθαρή Παρούσα Αξία της καλλιέργειας πιπεριάς χωρίς την εγκατάσταση ΑΦΒ συστημάτων ισούται με 154.921,26 €. Από τον παραπάνω πίνακα διαπιστώνεται ότι λαμβάνοντας υπ'όψιν την ταυτόχρονη καλλιέργεια της αγροτικής γης και την παραγωγή ενέργειας από τα ΑΦΒ:

- ❖ Σύμφωνα με τη μέθοδο της καθαρής παρούσας αξίας, η σειρά κατάταξης των διαφόρων περιπτώσεων από το καλύτερο στο χειρότερο είναι ΣΑΠΠ, ΣΑΜΠ, ΚΑΜΠ, ΚΑΠΠ, ΚΑΤΠ και ΣΑΤΠ, διαφέρει δηλαδή η σειρά κατάταξης από την περίπτωση της χρήσης γης μόνο για παραγωγή ενέργειας.
- ❖ Σύμφωνα με τη μέθοδο της τελικής απόδοσης επένδυσης, η σειρά κατάταξης από το καλύτερο σενάριο προς το χειρότερο διαμορφώνεται ως: ΚΑΤΠ, ΣΑΤΠ, ΣΑΜΠ, ΚΑΜΠ, ΣΑΠΠ, ΚΑΠΠ, διαφέρει επίσης δηλαδή από τη σειρά που κατατάχθηκαν προηγουμένως λαμβάνοντας υπ'όψιν μόνο την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών μονάδων στο χωράφι.

5.4 Επιλογή βέλτιστου συνδυασμού

Έπειτα από την τεchnο-οικονομική ανάλυση που έγινε για όλες τις υπό μελέτη περιπτώσεις η επιλογή της βέλτιστης διάταξης ΑΦΒ επάνω από την καλλιέργεια πράσινης πιπεριάς φλάσκας εξαρτάται ανάλογα με το κριτήριο που θέλει να ικανοποιήσει ο παραγωγός. Προς αποσαφήνιση αυτών των επιλογών συντάχθηκαν οι παρακάτω πίνακες.

Πίνακας 21. Συνοπτικός πίνακας αποτελεσμάτων βασικών οικονομοτεχνικών μεγεθών

Υπό μελέτη σενάριο	Μέγιστη Εγκατεστημένη Ισχύς (kWp)	Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (MWh/έτος)	Παραγωγή πράσινης πιπεριάς (kg/στρέμμα)	Καθαρή Παρούσα Αξία (€)	Απόδοση Επένδυσης (%)	Περίοδος Αποπληρωμής (έτη)
ΣΑΠΠ	1.037	1.900,59	2.176	515.794,42	88,84	6,6
ΣΑΜΠ	518	975,46	3.114	384.361,10	130,08	6,9
ΣΑΤΠ	259	493,16	3.451	318.992,45	215,91	6,8
ΚΑΠΠ	1.037	2.173,36	523	356.906,91	60,39	5,9
ΚΑΜΠ	518	1.150,56	2.254	362.358,70	122,63	5,4
ΚΑΤΠ	259	583,29	3.133	332.806,99	225,26	5,1

Πίνακας 22. Επιλογή βέλτιστου συνδυασμού ΑΦΒ πάνω από καλλιέργεια πράσινης πιπεριάς φλάσκας

Κριτήριο επιλογής βέλτιστου συνδυασμού ΑΦΒ	Βέλτιστος συνδυασμός ΑΦΒ με καλλιέργεια πράσινης πιπεριάς φλάσκας
Μέγιστη δυνατή παραγωγής πιπεριάς	ΣΑΤΠ
Μέγιστη Καθαρή Παρούσα Αξία	ΣΑΠΠ
Μέγιστη Απόδοση Επένδυσης	ΚΑΤΠ
Ελάχιστη Περίοδος Αποπληρωμής	ΚΑΤΠ

Ελάχιστο Αρχικό Κόστος Επένδυσης

ΣΑΤΠ, ΚΑΤΠ

Επομένως, από τους παραπάνω πίνακες προκύπτει ότι:

- ❖ Εάν ο παραγωγός ενδιαφέρεται για την κατά το δυνατόν λιγότερη μείωση της παραγόμενης ποσότητας από την καλλιέργειά του, τότε θα προτιμήσει το σύστημα ΣΑΤΠ, το οποίο παρότι αποφέρει την μικρότερη παρούσα αξία επιτρέπει τη μέγιστη δυνατή παραγωγή πράσινης πιπεριάς, γεγονός πολύ σημαντικό εάν σκεφτεί κανείς ότι τα ΑΦΒ έχουν περιορισμό 20 χρόνια διάρκεια ζωής ενώ οι καλλιέργειες όχι. Το αρχικό κόστος επένδυσης για τον συνδυασμό αυτόν είναι 147.744,00 € και το κέρδος που θα έχει είναι 318.992,45€ σε όρους παρούσας αξίας με απόδοση επένδυσης 215,91%.
- ❖ Εάν ο παραγωγός επιθυμεί να μεγιστοποιήσει τα κέρδη του από το ΑΦΒ σύστημα χωρίς να τον ενδιαφέρει η παραγόμενη ποσότητα πιπεριάς που θα συνεχίσει να έχει, τότε θα επιλέξει τον συνδυασμό ΣΑΠΠ με επενδυτικό κόστος 538.874,01 € και κέρδος 515.794,42 € σε όρους παρούσας αξίας με απόδοση επένδυσης 88,84 %, αλλά θα έχει αρνητική καθαρή παρούσα αξία για την καλλιέργεια.
- ❖ Εάν ο παραγωγός επιδιώκει να έχει τη μέγιστη απόδοση ανά επενδυμένο ευρώ, τότε θα επιλέξει την περίπτωση ΚΑΤΠ η οποία απαιτεί επενδυτικό κεφάλαιο αξίας 147.744,00 €, αποφέρει κέρδος 332.806,99 € και έχει απόδοση επένδυσης 225,26 %. Τον ίδιο συνδυασμό θα επιλέξει και σε περίπτωση που επιδιώκει την ελάχιστη περίοδο αποπληρωμής και το ελάχιστο αρχικό κόστος επένδυσης. Το ελάχιστο αρχικό κόστος επένδυσης τον επιτυγχάνει και με την περίπτωση ΣΑΤΠ.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκε την υλοποίηση φωτοβολταϊκών συστημάτων επάνω από αγροτική καλλιέργεια αποσκοπώντας στην ανάδειξη της αρμονικής συνύπαρξης και των δύο χρήσεων γης.

Μελετήθηκαν οι περιπτώσεις:

- Σταθερών φωτοβολταϊκών συστημάτων με προσανατολισμό Νότο, πλήρους πυκνότητας – Σενάριο ΣΑΠΠ
- Σταθερών φωτοβολταϊκών συστημάτων με προσανατολισμό Νότο, μισής πυκνότητας – Σενάριο ΣΑΜΠ
- Σταθερών φωτοβολταϊκών συστημάτων με προσανατολισμό Νότο, τετάρτου πυκνότητας – Σενάριο ΣΑΤΠ
- Κινητών φωτοβολταϊκών συστημάτων με προσανατολισμό Ανατολή – Δύση και κλίση άξονα Βορρά – Νότου 0° , πλήρους πυκνότητας – Σενάριο ΚΑΠΠ
- Κινητών φωτοβολταϊκών συστημάτων με προσανατολισμό Ανατολή – Δύση και κλίση άξονα Βορρά – Νότου 0° , μισής πυκνότητας – Σενάριο ΚΑΜΠ
- Κινητών φωτοβολταϊκών συστημάτων με προσανατολισμό Ανατολή – Δύση και κλίση άξονα Βορρά – Νότου 0° , τετάρτου πυκνότητας – Σενάριο ΚΑΤΠ

Έγινε τόσο τεχνική όσο και οικονομική ανάλυση κάθε θεώρησης και διεξήχθησαν τα εξής συμπεράσματα:

- Η παραγωγή ενέργειας μειώνεται όσο μειώνεται η μέγιστη εγκατεστημένη ισχύς του συστήματος. Η μείωση που παρατηρείται είναι περίπου αναλογική με την πυκνότητα τοποθέτησης των πλαισίων.
- Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από τα κινητά ΑΦΒ και αξιοποιείται από τον γεωργό είναι σχεδόν η ίδια και ίση περίπου με 34 MWh/χρόνο σε όλες τις περιπτώσεις, ενώ στην περίπτωση των σταθερών ΑΦΒ οι διαφορές μεταξύ των ΣΑΠΠ, ΣΑΜΠ και ΣΑΤΠ είναι της τάξεως του 1% - 2% με τον γεωργό να αξιοποιεί περίπου 35 MWh/χρόνο, 34 MWh/χρόνο και 33 MWh/χρόνο αντίστοιχα από την συνολική παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια.
- Οι διατάξεις με σταθερά ΑΦΒ πλαίσια παρουσιάζουν μεγαλύτερη παραγωγή ενέργειας από εκείνες με κινητά ΑΦΒ πλαίσια κατά τους χειμερινούς μήνες

(Νοέμβριο, Δεκέμβριο, Ιανουάριο), ενώ το αντίθετο συμβαίνει τους μήνες Μάρτιο έως Σεπτέμβριο. Το γεγονός αυτό οφείλεται στη γωνία κλίσης, στον προσανατολισμό και κατά επέκταση στη γωνία πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας στην επιφάνεια των ΑΦΒ μονάδων.

- Η σκίαση μεταξύ των ΚΑΠΠ πλαισίων είναι σημαντική και περίπου 2,5 φορές αυξημένη μεταφράζοντάς την σε όρους απώλειας ενέργειας ανά τετραγωνικό μέτρο σε σύγκριση με τις υπόλοιπες υποθέσεις οι οποίες δεν παρουσιάζουν μεγάλες διαφορές μεταξύ τους.
- Οι διατάξεις κινητών ΑΦΒ συστημάτων χάνουν περισσότερη ενέργεια λόγω σκίασης από τις αντίστοιχες με εγκατάσταση σταθερών ΑΦΒ μονάδων.
- Οι διατάξεις με κινητά ΑΦΒ πλαίσια αξιοποιούν μεγαλύτερο μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας μετά και την αφαίρεση όλων των οπτικών απωλειών χάρη στην ικανότητά τους να ακολουθούν την πορεία του ήλιου.
- Καταληκτικά, η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται με χρήση κινητών ΑΦΒ συστημάτων και διοχετεύεται στο δίκτυο είναι μεγαλύτερη από την αντίστοιχη με χρήση σταθερών ΑΦΒ μονάδων.
- Οι ΑΦΒ διατάξεις με σταθερές φωτοβολταϊκές μονάδες αφήνουν μεγαλύτερο μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας να φτάσει στο έδαφος. Είναι χαρακτηριστικό ότι η περίπτωση ΣΑΜΠ αφήνει περίπου το ίδιο ποσοστό ηλιακής ακτινοβολίας με την περίπτωση ΚΑΤΠ να φτάσει στο έδαφος, και το ίδιο συμβαίνει και με τις περιπτώσεις ΣΑΠΠ και ΚΑΜΠ.
- Συνεπώς, τη μεγαλύτερη παραγωγή πιπεριάς την επιτρέπει η υπόθεση ΣΑΤΠ συγκριτικά με τις υπόλοιπες θεωρήσεις.
- Οικονομικά και λαμβάνοντας υπ' όψιν το κριτήριο της μέγιστης δυνατής παραγωγής πιπεριάς, η θεώρηση ΣΑΤΠ υπερτερεί.
- Αν ο γεωργός επιλέξει με το κριτήριο της καθαρής παρούσας αξίας και χωρίς κάποιον κεφαλαιουχικό περιορισμό, τότε θα επιλέξει την περίπτωση ΣΑΠΠ.
- Αν ο γεωργός επιλέξει με τη μέθοδο του ελαχίστου αρχικού κόστους επένδυσης θα επιλέξει την περίπτωση ΣΑΤΠ ή ΚΑΤΠ.
- Αν ο γεωργός επιλέξει με κριτήρια είτε τη μέγιστη απόδοση επένδυσης είτε την ελάχιστη περίοδο αποπληρωμής, τότε θα επιλέξει την περίπτωση ΣΑΤΠ.

- Οι καθαρές παρούσες αξίες της καλλιέργειας (όχι όλου του ΑΦΒ συστήματος) στις υπό μελέτη περιπτώσεις ΣΑΠΠ, ΚΑΠΠ και ΚΑΜΠ παρουσιάζουν αρνητικές τιμές.
- Λαμβάνοντας υπόψη ότι ο παραγωγός δε θέλει να χάσει την καλλιέργειά του η οποία έχει απεριόριστη διάρκεια ζωής (μπορεί να καλλιεργεί κάθε χρόνο για απεριόριστα έτη) σε αντίθεση με τα ΑΦΒ τα οποία έχουν 20 έτη διάρκεια ζωής και έχοντας κατά νου τα παραπάνω συμπεράσματα θα επέλεγε είτε την περίπτωση ΣΑΤΠ δίνοντας έμφαση στην καλλιέργεια είτε την περίπτωση ΚΑΤΠ η οποία του δίνει μεν λίγο μικρότερη παραγωγή πιπεριάς ανά στρέμμα (3.133 kg/στρέμμα έναντι 3.451 kg/στρέμμα), αλλά του δίνει παράλληλα και καλύτερη περίοδο αποπληρωμής (5,1 έτη έναντι 6,8 έτη), μεγαλύτερη τελική απόδοση επένδυσης (225,26% έναντι 215,91%) και μεγαλύτερη τελική καθαρή παρούσα αξία (332.806,99 € έναντι 318.992,45 €).
- Εάν λάβουμε υπ' όψιν και το ρίσκο που υπάρχει στην απόδοση μιας καλλιέργειας λόγω καιρικών συνθηκών, αγοράς προσφοράς και ζήτησης και ασθενειών στα φυτά, τότε η επιλογή της περίπτωσης ΚΑΤΠ είναι εμφανέστερη.

Παράρτημα

Κλιματικά δεδομένα:

@DATE	SRAD	TMAX	TMIN	RAIN	DEWP	WIND	PAR	EVAP	RHUM
1/1/2023	10.1298	16.3	2.8	0.2		76.8			58
2/1/2023	10.4286	16.5	1.9	0		62.4			45
3/1/2023	10.62	16.4	1.5	0.2		72			38
4/1/2023	10.3008	17.1	2.4	0		86.4			44
5/1/2023	8.9256	15.3	3.6	0		50.4			56
6/1/2023	10.4904	17.1	1.9	0.2		98.4			32
7/1/2023	10.539	15.9	2.6	0		64.8			40
8/1/2023	10.515	15.7	1.8	0		60			50
9/1/2023	10.3992	17.3	1.4	0		96			41
10/1/2023	3.8682	15.9	5.7	2.2		237.6			48
11/1/2023	7.0056	13.2	3.6	0		81.6			52
12/1/2023	5.7114	12.1	6	0.8		84			48
13/1/2023	7.4628	12.4	3.9	0		134.4			47
14/1/2023	8.9544	13.9	1.3	0		76.8			47
15/1/2023	2.0124	10.7	3.1	0		60			61
16/1/2023	11.0052	15.9	-0.8	0		146.4			36
17/1/2023	5.7972	19	11.2	0		295.2			39
18/1/2023	9.8274	20	15.5	0		444			40
19/1/2023	10.6014	19.2	13.9	0		417.6			45
20/1/2023	8.1948	15.8	5.6	8		302.4			44
21/1/2023	11.5308	17.8	3.8	0		180			42
22/1/2023	11.5128	17.8	4.2	0		110.4			40
23/1/2023	9.8952	17.7	7.3	0.4		103.2			37
24/1/2023	10.0398	17.2	5.8	0		110.4			45
25/1/2023	1.8906	11.1	8.3	0		110.4			58
26/1/2023	0.4476	10.6	4.4	59.4		168			64
27/1/2023	6.1566	10.6	4.4	4		88.8			68
28/1/2023	9.6996	12.8	3.9	0		81.6			49
29/1/2023	6.399	10.6	6.4	0		230.4			50
30/1/2023	6.783	9.5	1.2	0.2		81.6			56
31/1/2023	4.107	9.6	0.6	0.2		139.2			50
1/2/2023	12.4608	10.4	0.4	0		187.2			26
2/2/2023	13.8846	15.1	-1.3	0		91.2			22
3/2/2023	7.8678	11.1	-1.1	0		153.6			39
4/2/2023	6.6828	14.2	-1	4.2		76.8			36
5/2/2023	1.4922	5.4	0.3	27		256.8			58
6/2/2023	2.9622	2	-1	15.8		96			66
7/2/2023	4.998	1.7	-0.8	17		127.2			74
8/2/2023	9.6798	1.9	-0.9	17		88.8			72
9/2/2023	9.7038	4.6	-2.8	2.4		144			68

ΟΙΚΟΝΟΜΟΤΕΧΝΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΑΓΡΟΤΙΚΗΣ ΓΗΣ: ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ ΣΥΓΧΡΟΝΩΝ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΕ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΠΡΑΣΙΝΗΣ ΠΙΠΕΡΙΑΣ

10/2/2023	6.4968	5.7	1.3	0.8		146.4		60
11/2/2023	10.3044	7.8	-1.2	0		136.8		51
12/2/2023	15.7698	10.1	-3.2	0		88.8		42
13/2/2023	16.1154	10	1.6	0		283.2		37
14/2/2023	15.3168	11.7	0.7	0		132		33
15/2/2023	2.1102	7.7	-0.2	0		79.2		61
16/2/2023	15.9732	13.6	-2.2	0		67.2		37
17/2/2023	16.4028	17.1	-0.3	0		91.2		29
18/2/2023	16.9266	19.3	0.9	0		79.2		27
19/2/2023	16.7406	19.9	3.8	0		110.4		31
20/2/2023	16.575	17.9	4.4	0		216		27
21/2/2023	17.052	20.1	2.2	0		144		29
22/2/2023	16.7928	18.9	4.9	0		72		37
23/2/2023	15.9084	17.8	3.8	0		108		59
24/2/2023	11.4582	18.2	8.3	0		64.8		61
25/2/2023	16.884	20.8	4.3	0		151.2		39
26/2/2023	11.8302	19.1	10.6	0		338.4		39
27/2/2023	11.6724	20.3	12.1	0		194.4		42
28/2/2023	3.5514	15.4	10	0		64.8		72
1/3/2023	6.6936	16	7.8	0		98.4		64
2/3/2023	7.5336	14.6	9.1	13.4		124.8		69
3/3/2023	14.7906	16.4	7.7	0.6		100.8		60
4/3/2023	14.4102	17.6	9.7	8.6		163.2		59
5/3/2023	11.8722	16.2	6	3.6		108		37
6/3/2023	19.3398	17.7	3.7	0.2		153.6		27
7/3/2023	10.0974	17.6	8.4	0		180		35
8/3/2023	12.8472	18.7	5	0		160.8		35
9/3/2023	17.4462	19.9	4.2	0		204		36
10/3/2023	17.031	22.6	8.1	0		151.2		38
11/3/2023	18.7764	20.2	11.7	4		345.6		34
12/3/2023	13.2474	14.8	7.6	0		288		43
13/3/2023	6.8814	11.7	8.1	0		331.2		40
14/3/2023	21.4644	15.9	3.4	0		170.4		33
15/3/2023	11.8632	17.8	1.9	0.6		105.6		26
16/3/2023	8.7084	12.8	3.5	0		302.4		60
17/3/2023	4.2288	9.2	6.2	10		182.4		70
18/3/2023	12.327	12.8	6.1	0		196.8		51
19/3/2023	17.847	15	4.3	0		194.4		36
20/3/2023	21.1548	20.1	2.2	0		69.6		28
21/3/2023	10.2882	17.4	4.6	0		50.4		41
22/3/2023	12.2448	16.8	5.7	0		144		50
23/3/2023	19.7982	17.7	3.9	0		139.2		40
24/3/2023	22.6896	19.3	4.3	0		124.8		35
25/3/2023	22.4514	22.8	4.2	0		127.2		27
26/3/2023	23.2446	22.2	10.5	0		196.8		23

ΟΙΚΟΝΟΜΟΤΕΧΝΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΑΓΡΟΤΙΚΗΣ ΓΗΣ: ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ ΣΥΓΧΡΟΝΩΝ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΕ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΠΡΑΣΙΝΗΣ ΠΙΠΕΡΙΑΣ

27/3/2023	23.355	23.9	6.6	0		285.6			25
28/3/2023	9.3546	16.8	5.1	18		261.6			33
29/3/2023	23.7	13.5	1.5	0		223.2			14
30/3/2023	24.6012	18.9	0.8	0		122.4			14
31/3/2023	23.676	22.2	6.9	0		261.6			26
1/4/2023	22.2108	22.6	11.3	0		280.8			33
2/4/2023	5.3016	17.7	12.1	3.4		96			36
3/4/2023	5.2728	18.1	11.1	6.2		206.4			64
4/4/2023	9.0924	15.6	9.6	10.6		91.2			66
5/4/2023	22.593	18.2	6.6	0		165.6			29
6/4/2023	14.6322	15.6	6.2	3.4		141.6			48
7/4/2023	16.4982	15.6	3.8	0.2		105.6			44
8/4/2023	17.8224	17.1	4.3	0		148.8			44
9/4/2023	23.5638	17.8	3.9	1.6		120			36
10/4/2023	9.903	13.5	6.7	0.8		177.6			49
11/4/2023	16.122	16.4	7.2	5.6		136.8			39
12/4/2023	24.795	21	6.6	0		158.4			23
13/4/2023	26.4222	22	5.3	0		175.2			29
14/4/2023	24.8778	24.3	7.2	0		259.2			25
15/4/2023	24.615	22.1	11.8	0		180			8
16/4/2023	20.6916	20.5	9.8	0		120			29
17/4/2023	20.4654	21.3	12.2	0.8		146.4			28
18/4/2023	16.0074	18.9	8.3	0		105.6			40
19/4/2023	17.6496	19.9	7.6	4.4		122.4			41
20/4/2023	24.6954	20.7	6.3	0.2		122.4			39
21/4/2023	25.8054	22.2	8.7	0		115.2			31
22/4/2023	14.9106	20.4	9.3	7		100.8			42
23/4/2023	24.7746	20.5	8.6	0.2		112.8			37
24/4/2023	27.2496	22.6	6.6	0		151.2			40
25/4/2023	21.7236	23.2	13.6	0		276			29
26/4/2023	25.7748	23.8	11.4	3.2		242.4			29
27/4/2023	26.4222	18	8.6	0		206.4			29
28/4/2023	27.4458	18.7	5.9	0		187.2			25
29/4/2023	28.8906	20.3	5.4	0		151.2			29
30/4/2023	20.682	21.4	10.7	0		117.6			42
1/5/2023	10.674	19.6	10.7	0		67.2			52
2/5/2023	14.8464	20.4	8.9	1.4		153.6			42
3/5/2023	14.523	22.4	10.3	0		259.2			37
4/5/2023	23.1426	21.7	9.7	0		211.2			47
5/5/2023	4.8582	16.3	13.9	10.8		165.6			65
6/5/2023	17.3226	21.4	13.8	0		283.2			36
7/5/2023	28.08	23.7	10.5	0		148.8			28
8/5/2023	27.0492	24.7	8.5	0		132			31
9/5/2023	6.6846	18.2	13	2		91.2			56
10/5/2023	14.9802	18	11.8	0.6		184.8			51

ΟΙΚΟΝΟΜΟΤΕΧΝΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΑΓΡΟΤΙΚΗΣ ΓΗΣ: ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ ΣΥΓΧΡΟΝΩΝ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΕ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΠΡΑΣΙΝΗΣ ΠΙΠΕΡΙΑΣ

11/5/2023	11.9094	17.3	9.8	0		134.4			44
12/5/2023	19.0014	20.3	9.1	0		127.2			41
13/5/2023	25.8804	21.6	8.8	0		134.4			39
14/5/2023	21.6294	23.8	10.1	0		172.8			31
15/5/2023	16.452	23.8	10.2	0		110.4			40
16/5/2023	14.7324	23.9	12.9	0		110.4			43
17/5/2023	27.9168	26.2	11	0		163.2			21
18/5/2023	24.411	26.1	10.7	2.8		177.6			27
19/5/2023	28.743	24.3	13.6	1.2		184.8			27
20/5/2023	25.1088	25.7	10.2	0		153.6			26
21/5/2023	20.241	23.2	14.4	0		208.8			42
22/5/2023	19.2204	22.4	12.4	0		211.2			45
23/5/2023	23.724	24.3	12.2	0		199.2			34
24/5/2023	27.864	27.2	11.4	0		117.6			28
25/5/2023	29.535	28.4	11.7	0		134.4			26
26/5/2023	26.7258	26.9	12.5	0		194.4			30
27/5/2023	28.9296	25.7	13.3	0		244.8			38
28/5/2023	16.5318	23.7	16.2	0		266.4			39
29/5/2023	19.7232	24.6	15.9	0		208.8			40
30/5/2023	26.907	27.2	14.5	0		156			35
31/5/2023	19.1562	26.3	12.8	0		112.8			41
1/6/2023	30.0222	28.2	14.2	0		180			18
2/6/2023	17.6532	26.4	15.3	0		156			25
3/6/2023	29.0556	29.9	11.8	0		168			17
4/6/2023	24.2268	28.9	12.2	0		132			26
5/6/2023	29.7144	28.3	12.8	0		211.2			27
6/6/2023	30.4482	28	13.3	0		230.4			14
7/6/2023	27.0558	28.3	12.8	0		165.6			21
8/6/2023	25.7556	28.3	16.7	1		144			29
9/6/2023	29.5506	30.2	14.7	0		151.2			26
10/6/2023	23.4144	30.7	15.5	0		112.8			24
11/6/2023	17.1054	29.8	17.7	11.4		81.6			31
12/6/2023	23.1312	29.2	17.8	0		144			27
13/6/2023	24.3294	27.9	17.9	0		160.8			31
14/6/2023	27.5172	29.5	14.1	0		163.2			28
15/6/2023	24.1674	31.1	15.1	0		216			27
16/6/2023	20.5848	29.2	17.3	0		134.4			33
17/6/2023	13.7628	27	16.9	1.4		141.6			43
18/6/2023	14.5056	24.2	17	10		129.6			51
19/6/2023	29.757	30.6	15.7	0		170.4			26
20/6/2023	28.1028	31.9	15.9	0		163.2			17
21/6/2023	29.7138	31.7	15.9	0		156			22
22/6/2023	29.964	33.4	16.1	0		172.8			21
23/6/2023	28.4484	32.8	19.2	0		194.4			24
24/6/2023	30.1542	34.3	16.7	0		146.4			13

ΟΙΚΟΝΟΜΟΤΕΧΝΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΑΓΡΟΤΙΚΗΣ ΓΗΣ: ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ ΣΥΓΧΡΟΝΩΝ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΕ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΠΡΑΣΙΝΗΣ ΠΙΠΕΡΙΑΣ

25/6/2023	27.0354	34.5	17.6	0		158.4			19
26/6/2023	26.8902	32.4	19.9	0		192			28
27/6/2023	29.241	31.3	18.7	0		172.8			28
28/6/2023	29.9136	34.1	16.4	0		158.4			17
29/6/2023	28.6734	31.2	21.8	0		259.2			35
30/6/2023	24.7326	30.8	20.6	0		175.2			26
1/7/2023	28.8042	32.8	18.9	0		196.8			27
2/7/2023	27.3402	35.2	18.8	0		204			23
3/7/2023	28.671	32.8	21.4	0		206.4			29
4/7/2023	29.2242	34.3	18.9	0		132			27
5/7/2023	29.1408	34.2	18.9	0		196.8			24
6/7/2023	29.2452	33.7	21.2	0		232.8			20
7/7/2023	29.5146	35.6	19.5	0		228			20
8/7/2023	29.3232	32.3	22.2	0		271.2			23
9/7/2023	30.3306	32.8	21.1	0		208.8			17
10/7/2023	28.8246	33	17	0		177.6			15
11/7/2023	29.667	34.6	16.8	0		160.8			11
12/7/2023	28.4448	37.5	17.2	0		134.4			14
13/7/2023	29.0832	39.4	20.6	0		139.2			14
14/7/2023	29.1006	41.4	22.3	0		139.2			8
15/7/2023	28.3548	38.9	22.4	0		148.8			20
16/7/2023	28.5162	35.9	22.4	0		232.8			21
17/7/2023	29.3958	35.3	23.9	0		285.6			19
18/7/2023	28.5306	36.4	23.4	0		249.6			20
19/7/2023	28.6914	36.7	22.9	0		259.2			17
20/7/2023	28.5288	39.7	22	0		144			13
21/7/2023	27.8274	38.7	24.6	0		175.2			17
22/7/2023	27.9918	41.9	23.1	0		160.8			8
23/7/2023	28.1352	43.2	25.2	0		184.8			5
24/7/2023	28.4034	36.6	23.7	0		168			23
25/7/2023	27.7782	38.7	20.9	0		180			12
26/7/2023	24.9072	44.7	22.2	0		180			1
27/7/2023	28.8054	34.7	25.9	0		314.4			13
28/7/2023	28.3356	32.1	20.5	0		223.2			22
29/7/2023	28.0638	34.1	19.6	0		136.8			22
30/7/2023	28.2132	35.7	18.3	0		127.2			15
31/7/2023	27.5808	34.9	19.5	0		165.6			17
1/8/2023	27	34.1	20.5	0		187.2			27
2/8/2023	27.6144	36.3	21.3	0		184.8			23
3/8/2023	27.624	37.4	22	0		184.8			19
4/8/2023	27.54	38.2	22.7	0		192			19
5/8/2023	27.3408	38.6	22.4	0		201.6			16
6/8/2023	28.224	34.7	23.8	0		338.4			16
7/8/2023	28.3362	35.3	19.7	0		172.8			13
8/8/2023	27.468	31.7	20.1	0		285.6			28

ΟΙΚΟΝΟΜΟΤΕΧΝΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΑΓΡΟΤΙΚΗΣ ΓΗΣ: ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ ΣΥΓΧΡΟΝΩΝ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΕ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΠΡΑΣΙΝΗΣ ΠΙΠΕΡΙΑΣ

9/8/2023	27.6954	30.1	21.1	0		264			27
10/8/2023	23.2668	32.3	16.3	0.4		192			23
11/8/2023	27.4452	29.7	17.7	0		244.8			29
12/8/2023	27.2148	30.4	19.6	0		309.6			21
13/8/2023	15.2388	29.1	22	0		309.6			32
14/8/2023	21.8736	30.3	23.5	0		276			38
15/8/2023	25.0452	33.6	20.9	0		180			23
16/8/2023	26.4744	35	19.7	0		180			21
17/8/2023	26.5776	32.5	21.2	0		249.6			29
18/8/2023	25.9158	33.9	22.8	0		254.4			27
19/8/2023	26.1156	33.5	22.9	0		271.2			23
20/8/2023	25.1238	32.9	21.7	0		266.4			26
21/8/2023	25.755	36	23.3	0		348			9
22/8/2023	24.7212	35.6	22.9	0		314.4			13
23/8/2023	21.9924	35.1	24.6	0		237.6			19
24/8/2023	24.18	35.7	23.3	0		223.2			17
25/8/2023	24.525	34.5	22.3	0		213.6			22
26/8/2023	6.654	31.8	23.9	0		165.6			21
27/8/2023	24.5748	34.1	21	0		184.8			18
28/8/2023	24.2916	34.3	19.5	0		172.8			23
29/8/2023	23.4816	35.1	19.3	0		187.2			18
30/8/2023	25.0632	35.2	20.4	0		196.8			11
31/8/2023	24.2124	33.7	18.7	0		182.4			13
1/9/2023	11.8698	30.1	18.9	0		129.6			22
2/9/2023	23.2638	31.8	16.9	0		230.4			24
3/9/2023	23.7966	31	18.3	0		261.6			19
4/9/2023	9.8688	29.1	18.2	1.6		175.2			26
5/9/2023	4.9842	20.9	17.4	1.4		127.2			62
6/9/2023	2.8668	23.3	19	71.6		148.8			69
7/9/2023	6.8904	23.4	18.6	9.4		132			67
8/9/2023	21.1272	26.9	19.9	0.4		336			42
9/9/2023	23.445	27.2	18.6	0		312			35
10/9/2023	23.517	27.4	18.9	0		400.8			29
11/9/2023	22.5888	25.4	18.6	0		391.2			35
12/9/2023	23.6046	27.3	16.3	0		204			26
13/9/2023	23.0646	30.3	13.2	0		117.6			24
14/9/2023	21.7566	31.2	14.4	0		108			16
15/9/2023	21.972	31.3	15.7	0		156			18
16/9/2023	21.582	31.2	16.4	0		108			21
17/9/2023	19.497	28.6	16.7	0		216			28
18/9/2023	20.6808	26.1	18.8	0		336			36
19/9/2023	21.9012	26.9	15.3	0		297.6			35
20/9/2023	20.8182	29.5	13.4	0		96			28
21/9/2023	17.6526	29.1	15.8	0		122.4			29
22/9/2023	19.2858	32.4	16.7	0		103.2			30

ΟΙΚΟΝΟΜΟΤΕΧΝΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΑΓΡΟΤΙΚΗΣ ΓΗΣ: ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ ΣΥΓΧΡΟΝΩΝ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΕ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΠΡΑΣΙΝΗΣ ΠΙΠΕΡΙΑΣ

23/9/2023	19.563	34.3	17.8	0		105.6			22
24/9/2023	16.077	32.2	17.1	0		96			25
25/9/2023	15.7854	28.6	19.3	0		129.6			45
26/9/2023	9.6882	26.7	19.2	0		108			49
27/9/2023	5.2218	20.8	15.8	30.4		127.2			64
28/9/2023	13.6086	23.2	17.1	7.8		122.4			57
29/9/2023	15.741	25.9	16.6	0		127.2			33
30/9/2023	15.0354	25.6	15.4	0		120			38
1/10/2023	18.5784	27.2	14.9	0		105.6			27
2/10/2023	14.7678	25.1	15.6	0		170.4			42
3/10/2023	16.3206	23.4	13.7	0		204			37
4/10/2023	18.1296	24.6	11.7	0		98.4			35
5/10/2023	17.6454	25.2	11.5	0		117.6			37
6/10/2023	17.181	26	12.2	0		100.8			32
7/10/2023	17.3778	24.5	15	0		196.8			44
8/10/2023	18.345	26.8	12.3	0		57.6			28
9/10/2023	17.7018	26.1	14.2	0		182.4			38
10/10/2023	17.3472	27.1	12.9	0		88.8			34
11/10/2023	13.9506	22.5	13.3	0		180			36
12/10/2023	18.2274	22.2	10.6	0		283.2			35
13/10/2023	18.0804	25.2	8.7	0		72			30
14/10/2023	15.1662	25.6	12.7	0		76.8			33
15/10/2023	17.0244	25.9	10.9	0		62.4			37
16/10/2023	15.5988	25.2	13.9	0		244.8			36
17/10/2023	15.1734	21.5	15.4	2.2		124.8			47
18/10/2023	5.6334	20.7	15.1	0		129.6			56
19/10/2023	15.0108	22.8	13.2	0		57.6			48
20/10/2023	15.7488	28.3	12.1	0		108			41
21/10/2023	15.4548	28.8	13	0		146.4			30
22/10/2023	14.601	30	16.8	0		139.2			26
23/10/2023	14.8884	27.2	13.5	0		105.6			41
24/10/2023	14.9676	27.2	13.6	0.2		93.6			39
25/10/2023	10.5348	26.4	12.6	0		79.2			40
26/10/2023	6.0096	26.2	16.5	0		79.2			39
27/10/2023	13.2306	26.7	14.4	0		182.4			36
28/10/2023	14.8632	29.1	14.3	0		117.6			29
29/10/2023	13.5366	27.2	14.9	0		103.2			36
30/10/2023	13.4676	25.8	12.8	0		76.8			41
31/10/2023	12.1956	26.2	10.7	0		69.6			36
1/11/2023	10.5846	26.9	13.8	0		88.8			35
2/11/2023	9.582	25.2	15.3	2.6		151.2			37
3/11/2023	11.7672	26.8	13.6	0		177.6			36
4/11/2023	11.7288	29.9	16.9	0		302.4			30
5/11/2023	13.9464	24.5	13.6	0		268.8			32
6/11/2023	13.3458	27.1	17.3	0		218.4			32

ΟΙΚΟΝΟΜΟΤΕΧΝΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΑΓΡΟΤΙΚΗΣ ΓΗΣ: ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ ΣΥΓΧΡΟΝΩΝ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΕ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΠΡΑΣΙΝΗΣ ΠΙΠΕΡΙΑΣ

7/11/2023	13.3602	25.2	12.2	0		67.2			35
8/11/2023	12.8592	26.7	10.1	0		67.2			35
9/11/2023	6.1374	19.8	12.4	0		180			45
10/11/2023	5.724	19.5	10.6	8.6		108			52
11/11/2023	6.5286	23.8	13	0		271.2			32
12/11/2023	10.365	23	15	0		208.8			32
13/11/2023	9.0228	20.4	9.2	3.6		132			44
14/11/2023	12.4962	22.2	7.3	0		76.8			32
15/11/2023	12.618	25	8.8	0		100.8			38
16/11/2023	9.4158	19.1	10.7	0		220.8			40
17/11/2023	12.0018	22.8	9	0		122.4			27
18/11/2023	7.7988	19.1	7.8	2.6		240			30
19/11/2023	12.2388	13.8	2.6	0		165.6			24
20/11/2023	12.1854	19.6	1.9	0		76.8			26
21/11/2023	9.63	18.8	4.4	0		67.2			43
22/11/2023	4.899	20.8	9.3	0		64.8			52
23/11/2023	7.0998	20.8	10.9	0		127.2			69
24/11/2023	7.9878	20.8	9.4	0.4		88.8			64
25/11/2023	9.996	20.3	12.2	7.2		381.6			39
26/11/2023	11.6358	13.1	2	0		343.2			26
27/11/2023	11.3988	13.2	-1.4	0		69.6			19
28/11/2023	3.8544	18.3	3.2	0.2		228			47
29/11/2023	8.4186	22.3	14.8	0		292.8			36
30/11/2023	11.1486	20	6.3	0		112.8			29
1/12/2023	10.506	22.3	8.6	0		201.6			36
2/12/2023	4.719	20.3	12.8	0		177.6			39
3/12/2023	7.4166	21.8	12.9	0		180			42
4/12/2023	3.588	15.6	10.7	0		148.8			59
5/12/2023	5.913	16.1	9.1	9.6		124.8			57
6/12/2023	8.1738	17.4	9.5	3.8		156			54
7/12/2023	6.3648	16.3	7.1	0		60			53
8/12/2023	3.4242	11.1	6.9	1		124.8			56
9/12/2023	1.806	9.9	6.4	1.2		72			63
10/12/2023	10.2756	13.9	2.4	2.2		62.4			55
11/12/2023	4.3734	12.8	3.2	0		86.4			60
12/12/2023	9.9084	17.9	3.3	0.2		69.6			36
13/12/2023	8.8272	18.3	3.2	0		86.4			54
14/12/2023	6.7488	23.2	9.8	0		96			29
15/12/2023	7.2534	20.6	9.3	3.4		184.8			57
16/12/2023	2.0316	12.6	8.7	32		319.2			63
17/12/2023	3.9108	10.7	4.9	0		362.4			54
18/12/2023	10.3356	12.8	2.3	0		103.2			34
19/12/2023	10.2528	16.6	1.8	0		55.2			35
20/12/2023	9.3702	15.6	1.1	0		50.4			45
21/12/2023	2.9556	13.8	3.3	2.8		67.2			60

22/12/2023	5.8098	16.8	2.2	0		230.4			48
23/12/2023	10.3902	18.9	2.9	0		120			30
24/12/2023	3.507	19	5.6	0		72			42
25/12/2023	2.2398	19.1	4.3	0		28.8			45
26/12/2023	6.9366	18.6	3.2	0		96			58
27/12/2023	3.2634	16.9	4.2	0		55.2			53
28/12/2023	9.9288	16.8	4.1	0.2		69.6			55
29/12/2023	9.7962	17.5	2.7	0		43.2			49
30/12/2023	5.6712	14.8	3.3	0		52.8			63
31/12/2023	7.836	15.2	4.5	0.2		40.8			70

Οικονομική Ανάλυση υπό μελέτη περιπτώσεων:

Δεδομένα:

Στρέμματα καλλιέργειας

24

Έξοδα καλλιέργειας χωρίς ΑΦΒ, €/στρέμμα	1.800
Έξοδα καλλιέργειας με ΑΦΒ, €/στρέμμα	≈1.661
Συνολική ενέργεια που χρειάζεται ο γεωργός χωρίς χρήση ΑΦΒ, MWh	72
Συνολική ενέργεια που χρειάζεται ο γεωργός με χρήση ΑΦΒ, MWh	67,5
Τιμή αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας από τον παραγωγό, €/MWh	140
Τιμή πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας από τον παραγωγό, €/MWh	65
Τιμή πώλησης πράσινης πιπεριάς, €/kg	0,70
Επιτόκιο προεξόφλησης	8%
Πληθωρισμός	1,5%

Υπολογισμοί:

Σενάρια	Παραγόμενη ποσότητα πιπεριάς kg/στρ.	Έσοδα από καλλιέργεια (€)	Έξοδα καλλιέργειας (€)
ΣΑΠΠ	2176	36556.8	35381.52
ΣΑΜΠ	3114	52315.2	35255.52
ΣΑΤΠ	3451	57976.8	35080.52
ΚΑΠΠ	523	8786.4	35265.32
ΚΑΜΠ	2254	37867.2	35223.32
ΚΑΠΤ	3133	52634.4	35198.12

Σενάρια	Καθαρή Παρούσα Αξία Καλλιέργειας (€)	Καθαρή Παρούσα Αξία ΑΦΒ συστημάτων (€)	Τελική Καθαρή Παρούσα Αξία (€)	Αρχικό κόστος επένδυσης (€)	Νέος ROI (%)
ΣΑΠΠ	-23079.59	538874.01	515794.42	580608.00	88.84
ΣΑΜΠ	133158.24	251202.86	384361.10	295488.00	130.08
ΣΑΤΠ	190855.14	128137.31	318992.45	147744.00	215.91
ΚΑΠΠ	-294332.12	651239.03	356906.91	590976.00	60.39
ΚΑΜΠ	-8306.03	370664.73	362358.70	295488.00	122.63
ΚΑΠΤ	136984.43	195822.56	332806.99	147744.00	225.26

Βιβλιογραφία

- [1] K. Roxani, Προοπτικές ανάπτυξης αγροβολταϊκών συστημάτων και ανάλυση των αλληλεπιδράσεών τους με το πλέγμα νερού-τροφής-ενέργειας, Διπλωματική Εργασία, Σχολή Μηχανικών Περιβάλλοντος, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, Ελλάδα, Νοέμβριος 2022. [Online]. Διαθέσιμο: https://www.itia.ntua.gr/en/getfile/2255/1/documents/rozani_thesis.pdf
- [2] A. Agostini, M. Colauzzi, and S. Amaducci, “Innovative agrivoltaic systems to produce sustainable energy: An economic and environmental assessment,” *Applied Energy*, vol. 281, p. 116102, Jan. 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.116102>.
- [3] H. Gauffin, *Agrivoltaic Implementation in Greenhouses: A Techno-Economic Analysis of Agrivoltaic Installations for Greenhouses in Sweden*, M.Sc. thesis, School of Industrial Engineering and Management, KTH Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden, 2022. [Online]. Available: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1697403/FULLTEXT01.pdf>
- [4] A. Galleani d’Agliano, *Agrivoltaic Modeling: A Sector Overview*, Master’s thesis, School of Industrial Engineering and Management (ITM), KTH Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden, TRITA-ITM-EX 2024:448, 2024. [Online]. Available: <https://kth.diva-portal.org/smash/get/diva2:1904753/FULLTEXT01.pdf>
- [5] C. Toledo and A. Scognamiglio, “Agrivoltaic Systems Design and Assessment: A Critical Review, and a Descriptive Model towards a Sustainable Landscape Vision (Three-Dimensional Agrivoltaic Patterns),” *Sustainability*, vol. 13, no. 12, p. 6871, Jun. 2021, doi: <https://doi.org/10.3390/su13126871>.
- [6] W. Zhang et al., “Agricultural friendly single-axis dynamic agrivoltaics: Simulations, experiments and a large-scale application for Chinese solar greenhouses,” *Applied Energy*, vol. 374, pp. 123891–123891, Jul. 2024, doi: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2024.123891>.
- [7] J. Widmer, B. Christ, J. Grenz, and L. Norgrove, “Agrivoltaics, a promising new tool for electricity and food production: A systematic review,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 192, p. 114277, Mar. 2024, doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.114277>.
- [8] M. Sojib Ahmed, M. Rezwan Khan, A. Haque, and M. Ryyan Khan, “Agrivoltaics analysis in a techno-economic framework: Understanding why agrivoltaics on rice will always be profitable,” *Applied Energy*, vol. 323, p. 119560, Oct. 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2022.119560>.
- [9] C. Dupraz, H. Marrou, G. Talbot, L. Dufour, A. Nogier, and Y. Ferard, “Combining solar photovoltaic panels and food crops for optimising land use: Towards new agrivoltaic schemes,”

- Renewable Energy, vol. 36, no. 10, pp. 2725–2732, Oct. 2011, doi: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2011.03.005>.
- [10] I. A. Ramos-Fuentes, Y. Elamri, B. Cheviron, C. Dejean, G. Belaud, and D. Fumey, “Effects of shade and deficit irrigation on maize growth and development in fixed and dynamic AgriVoltaic systems,” *Agricultural Water Management*, vol. 280, p. 108187, Apr. 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2023.108187>.
- [11] J. Ko et al., “Simulation of Crop Yields Grown under Agro-Photovoltaic Panels: A Case Study in Chonnam Province, South Korea,” *Energies*, vol. 14, no. 24, pp. 8463–8463, Dec. 2021, doi: <https://doi.org/10.3390/en14248463>.
- [12] K. A. K. Niazi, "Exploring Optimal PV Setup For Agrivoltaics," *Green Dealflow*, Jan. 9, 2023. [Online]. Available: <https://greendealflow.com/exploring-the-optimal-pv-setup-for-agrivoltaics>. [Accessed: Oct. 27, 2025].
- [13] O. K. Buari και K. Kumari, Optimizing Agrivoltaics Electricity Generation in Sweden: A Techno-Economic Analysis of Latitude-Dependent Design Systems, M.Sc. thesis, School of Business, Society and Engineering, Mälardalen University, Västerås, Sweden, 2023. [Online]. Available: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1774070/FULLTEXT01.pdf>
- [14] T. Hickey, Plant Growth Under Photovoltaic Arrays of Varying Transparencies – A Study of Plant Response to Light and Shadow in Agrivoltaic Systems, M.Sc. thesis, Dept. of Horticulture & Landscape Architecture, Colorado State Univ., Fort Collins, CO, USA, 2023. [Online]. Available: <https://mountainscholar.org/items/07335fba-d6d2-46a8-9793-522c3403e10d>
- [15] M. A. Kallioğlu, A. S. Avcı, A. Sharma, R. Khargotra, and T. Singh, “Solar collector tilt angle optimization for agrivoltaic systems,” *Case Studies in Thermal Engineering*, vol. 54, p. 103998, Jan. 2024, doi: <https://doi.org/10.1016/j.csite.2024.103998>.
- [16] U. Jamil, T. Hickey, and J. M. Pearce, “Solar energy modelling and proposed crops for different types of agrivoltaics systems,” *Energy*, vol. 304, p. 132074, Sep. 2024, doi: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2024.132074>.
- [17] S. Thomas, S. Thomas, S. S. Sahoo, Ajith Kumar G, and M. M. Awad, “Solar Parks: A Review on Impacts, Mitigation Mechanism through Agrivoltaics and Techno-Economic Analysis.,” vol. 11, pp. 100220–100220, Sep. 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.nexus.2023.100220>.
- [18] M. A. Zainol Abidin, M. N. Mahyuddin, and M. A. A. Mohd Zainuri, “Solar Photovoltaic Architecture and Agronomic Management in Agrivoltaic System: A Review,” *Sustainability*, vol. 13, no. 14, p. 7846, Jul. 2021, doi: <https://doi.org/10.3390/su13147846>.
- [19] Achyuth Ravilla, G. Shirkey, J. Chen, M. Jarchow, O. Stary, and I. Celik, “Techno-economic and life cycle assessment of agrivoltaic system (AVS) designs,” *Science of The Total*

- Environment, vol. 912, pp. 169274–169274, Feb. 2024, doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.169274>.
- [20] A. R. G. Reddy and K. N. Tiwari, “Assessment of CROPGRO-Bellpepper model under different nitrogen levels through fertigation,” INTERNATIONAL JOURNAL OF AGRICULTURAL ENGINEERING, vol. 11, no. 1, pp. 101–107, Apr. 2018, doi: <https://doi.org/10.15740/has/ijae/11.1/101-107>.
- [21] Ε. Β. Ντούσκας, Αξιολόγηση ποιοτικών και μορφολογικών χαρακτηριστικών σε ποικιλίες πιπεριάς, Διπλωματική Εργασία, Γεωπονική Σχολή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη, Ελλάδα, 2009. [Online]. Available: <http://ikee.lib.auth.gr/handle/11328/155>
- [22] Κ. Β. Πετρίδης, Εκτίμηση παραγωγικού δυναμικού και σταθερότητας της συμπεριφοράς εμπορικών ποικιλιών πιπεριάς σε καλλιέργεια θερμοκηπίου (*Capsicum annuum* L.), M.Sc. thesis, Τμ. Βιολογίας, Σχολή Θετικών Επιστημών, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη, Ελλάδα, 2010. [Online]. Available: <http://hdl.handle.net/11328/000097-123066>
- [23] Τ. Βυτάνου, Επίδραση της αύξησης και της ανάπτυξης στα ποιοτικά χαρακτηριστικά πιπεριάς (Bell pepper ποικιλίας California Wonder), Πτυχιακή εργασία, Τμήμα Φυτικής Παραγωγής, Σχολή Τεχνολογίας Γεωπονίας, Ανώτατο Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Καλαμάτας, Καλαμάτα, 2009. Επιβλ.: Δρ. Ε. Μανωλοπούλου. (Βιβλιοθήκη ΤΕΙ Καλαμάτας, ΣΤΕΓ(ΦΠ) Π.543)
- [24] “Αγροβολταϊκά Συστήματα: Συνδυάζοντας Γεωργία και Ηλιακή Ενέργεια,” Synenergy Advisors, 11 Απρ. 2025. [Online]. Available: <https://www.synenergy-advisors.com/nea/aghrovoltaika-sistimata-sindiazontas-gheorghia-kai-iliaki-energeia>
- [25] “Αγροβολταϊκά συστήματα ή όταν οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας συνάντησαν τη γεωργία,” 2045.gr, 19 Ιουλ. 2024. [Online]. Available: <https://www.2045.gr/thematologia/agrodiatrofikos-tomeas/agrovoltaika-systimata-i-otan-oi-ananeosimes-piges-energeias-synantisan-ti-georgia/>
- [26] E. Lardizabal, “The first European agrivoltaic panel manufacturing plant is inaugurated in Greece,” Strategic Energy Europe, Mar. 10, 2025. [Online]. Available: <https://strategicenergy.eu/brite-solar-plant/>
- [27] “Άρθρο 38 του Νόμου 5184/2025: Εγκατάσταση μονάδων Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας σε αγροτική γη υψηλής παραγωγικότητας,” TaxHeaven, 5 Μαρ. 2025. [Online]. Διαθέσιμο: <https://www.taxheaven.gr/law/5184/2025/article/38/view>
- [28] V. Potopová et al., “Integrating the DSSAT cropping system model and regional climate models to optimize winter oilseed rape, tomato, and bell sweet pepper production in the Czech

- Republic,” Theoretical and Applied Climatology, vol. 156, no. 2, Jan. 2025, doi: <https://doi.org/10.1007/s00704-024-05312-y>.
- [29] S. Sharma, “Crop Modelling and its Types and Softwares Used,” SlideShare, 2025. [Online]. Διαθέσιμο: <https://www.slideshare.net/slideshow/crop-modelling-and-its-types-and-softwares-used/267166741>
- [30] “My Agrivoltaic Farm,” SCAPES Agrivoltaics Project, University of Illinois Urbana-Champaign. [Online]. Διαθέσιμο: <https://scapes.illinois.edu/education/my-agrivoltaics-farm/>
- [31] “HyPERFarm Webtool,” HyPERFarm Project, [Online]. Διαθέσιμο: <https://hyperfarm.eu/webtool/>
- [32] “Spade Agrivoltaics – Agrivoltaic Modelling and Design,” Spade Solar, [Online]. Διαθέσιμο: <https://spadesolar.com/#modelling>
- [33] “Agrivoltaics Webtool,” KU Leuven, [Online]. Διαθέσιμο: <https://iiw.kuleuven.be/apps/agrivoltaics/tool.html>
- [34] “Φωτοβολταϊκά πάνελ,” Eco2day, [Online]. Διαθέσιμο: <https://www.eco2day.gr/%CF%86%CF%89%CF%84%CE%BF%CE%B2%CE%BF%CE%BB%CF%84%CE%B1%CF%8A%CE%BA%CE%AC-%CF%80%CE%AC%CE%BD%CE%B5%CE%BB/>
- [35] “DSSAT – Official Home of the DSSAT Cropping Systems Model,” DSSAT.net, [Online]. Available: <https://dssat.net/>
- [36] “PVsyst | Photovoltaic software, Design and simulate photovoltaic ...,” *PVsyst*, [Online]. Available: <https://www.pvsyst.com/>
- [37] K. Lagouvardos et al., “The automatic weather stations NOANN network of the National Observatory of Athens: operation and database,” Geoscience Data Journal, vol. 4, no. 1, pp. 4–16, Apr. 2017, doi: <https://doi.org/10.1002/gdj3.44>.
- [38] “GeoTerra – Geomechanics Engineering & Quality Control Laboratory,” GeoTerra, [Online]. Available: <https://geoterra.gr/>