



ΔΙΪΔΡΥΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ ΔΙΚΑΙΟ ΚΑΙ
ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ

Διπλωματική Εργασία:

Η συνεισφορά της Ηλιακής Ενέργειας στην οικονομική ανάπτυξη

Του

Τζελέπη Κωνσταντίνου (Α.Μ. ΜΛΕ 23033)

Επιβλέπων Καθηγητής: Παναγιωτίδης Θεόδωρος

*Υποβλήθηκε ως απαιτούμενο για την απόκτηση του Μεταπτυχιακού Διπλώματος
Ειδίκευσης Δίκαιο και Οικονομικά Γενική Κατεύθυνση*

Μάρτιος 2024

Περίληψη

Η διατριβή παρουσιάζει τις πολύπλευρες διαστάσεις της ηλιακής ενέργειας και τον τρόπο με τον οποίο οι εν λόγω πηγές ενέργειας μπορούν να διαδραματίσουν αναπόσπαστο ρόλο στη διαδικασία της αειφορίας, καλύπτοντας τις παγκόσμιες ενεργειακές ανάγκες. Αξιολογεί τις δυνατότητες της ηλιακής ενέργειας ως πιθανή βοήθεια για τη σημαντική μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, ενώ παράλληλα επανεξετάζει την κατάστασή της ως άφθονη και ανανεώσιμη οικονομικά βιώσιμη πηγή βιώσιμης ενέργειας. Η μελέτη συνεχίζει να επισημαίνει τις κοινωνικοοικονομικές επιπτώσεις, αναφερόμενη στη δημιουργία θέσεων εργασίας και την προώθηση της οικονομικής ανάπτυξης, μαζί με τις επιπτώσεις στο περιβάλλον κατά τη διάρκεια ζωής των ηλιακών συστημάτων όσον αφορά τη χρήση γης, τις επιπτώσεις στα οικοσυστήματα και τη διαχείριση των πόρων. Περαιτέρω, η διατριβή κάνει λόγο για τις προκλήσεις και τα στρατηγικά μέτρα που αποτελούν το κλειδί για τη βελτιστοποίηση των οφελών που προκύπτουν από την ηλιακή ενέργεια. Απαιτείται, συνεπώς, μια ολοκληρωμένη προσέγγιση σε επίπεδο πολιτικής στήριξης, τεχνολογικής καινοτομίας και εμπλοκής της κοινότητας. Σε αυτό το πλαίσιο, η διατριβή υποστηρίζει σθεναρά μια ολιστική θεώρηση της αξιοποίησης του δυναμικού της ηλιακής ενέργειας και της εξισορρόπησης της ανάγκης για ενέργεια με παράλληλη διατήρηση της οικολογίας για μια συνολική βιωσιμότητα.

Λέξεις-κλειδιά: Ηλιακή ενέργεια, βιώσιμη ανάπτυξη, περιβαλλοντικές επιπτώσεις, κοινωνικοοικονομικό όφελος, μετάβαση στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

Abstract

The thesis dissertation discusses the multifaceted dimensions of solar energy and how such energy sources can play an integral part in the sustainability process by meeting global energy needs. It evaluates the potential of solar energy as a possible aid to significantly decrease greenhouse gas emissions, while also reviewing its status as an abundant and renewable economically viable source of sustainable energy. The study goes on to point out the socioeconomic impacts, referring to job creation and fostering economic growth, along with the impacts on the environment through the life of solar systems in terms of land use, effects on ecosystems, and management of resources. This speaks of the challenges and strategic measures key to optimizing the benefits arising from solar energy. It calls for an integrated approach across policy support, technological innovation, and community engagement. In this context, the thesis dissertation strongly advocates a holistic view of getting to utilize the potential of solar energy and balancing the need for energy while conserving ecology too for all-embracing sustainability.

Key words: Solar Energy, Sustainable Development, Environment Impact, Socio-economic Benefit, Transition in Renewable Energy.

Πίνακας Περιεχομένων

Κεφάλαιο 1 ^ο . Εισαγωγή.....	1
1.1 Εννοιολογικό πλαίσιο.....	1
1.2 Ερευνητικοί σκοποί και στόχοι.....	3
1.3 Πεδίο εφαρμογής και συνάφεια της μελέτης	5
1.4 Μεθοδολογία βιβλιογραφικής ανασκόπησης	7
Κεφάλαιο 2 ^ο . Ιστορική εξέλιξη της Ηλιακής Ενέργειας.....	8
2.1 Πρώιμες εξελίξεις στην ηλιακή τεχνολογία	8
2.2 Εξέλιξη στη σύγχρονη εποχή	10
2.3 Βασικά ορόσημα στην υιοθέτηση της ηλιακής ενέργειας.....	13
Κεφάλαιο 3 ^ο . Τεχνολογίες και καινοτομίες ηλιακής ενέργειας.....	15
3.1 Φωτοβολταϊκά Συστήματα	15
3.2 Ηλιακή θερμική ενέργεια	19
Κεφάλαιο 4ο. Οικονομικές θεωρίες σχετικά με τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας	23
4.1 Θεωρίες Οικονομικής Μεγέθυνσης και Βιώσιμης Ανάπτυξης	23
4.2 Επιπτώσεις των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στα οικονομικά μοντέλα	25
4.3 Έννοια της πράσινης οικονομίας.....	27
Κεφάλαιο 5 ^ο . Οικονομικές επιπτώσεις της ανάπτυξης της ηλιακής ενέργειας σε ολόκληρο τον κόσμο	28
5.1 Περιπτώσιολογικές μελέτες διαφορετικών χωρών	28
5.2 Συγκριτική ανάλυση μεταξύ ανεπτυγμένων και αναπτυσσόμενων χωρών	30
5.3 Αντίκτυπος στην πολιτική και τα οικονομικά κίνητρα	32
Κεφάλαιο 6 ^ο . Προκλήσεις και εμπόδια που θέτει η υιοθέτηση της ηλιακής ενέργειας ...	33
6.1 Οικονομικές και χρηματοπιστωτικές προκλήσεις	33
6.2 Τεχνολογικοί φραγμοί και φραγμοί που σχετίζονται με τις υποδομές	35
6.3 Πολιτικές και κανονιστικές προκλήσεις	36
Κεφάλαιο 7ο. Οφέλη ηλιακής ενέργειας στο οικονομικό πλαίσιο	38
7.1 Άμεσα και έμμεσα οικονομικά οφέλη	38
7.2 Ευκαιρίες απασχόλησης και δημιουργία θέσεων εργασίας	40
7.3 Συμβολή στο ΑΕΠ και το εμπόριο	42
Κεφάλαιο 8ο. Περιπτώσιολογικές μελέτες και πρακτικά παραδείγματα	47
8.1 Επιτυχημένα παραδείγματα ενσωμάτωσης της ηλιακής ενέργειας	47
8.2 Βέλτιστες πρακτικές και διδάγματα	49
Κεφάλαιο 9 ^ο . Περιβαλλοντικές επιπτώσεις και βιωσιμότητα της ηλιακής ενέργειας	52
9.1 Επισκόπηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων	52
9.2 Αποτύπωμα άνθρακα και ενεργειακή απόσβεση.....	54

9.3 Επιπτώσεις στη γη και τα οικοσυστήματα	56
Κεφάλαιο 10. Συζήτηση και Ανάλυση.....	58
10.1 Σύνθεση βασικών ευρημάτων	58
10.2 Θεωρητικές και πρακτικές επιπτώσεις.....	61
Κεφάλαιο 11°. Συμπεράσματα-Επίλογος.....	63
11.1 Σύνοψη των βασικών πορισμάτων.....	63
11.2 Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα στο μέλλον	65
Βιβλιογραφία.....	68

Κεφάλαιο 1^ο. Εισαγωγή

1.1 Εννοιολογικό πλαίσιο

Το εννοιολογικό πλαίσιο αυτής της μελέτης βασίζεται στην αλληλεπίδραση μεταξύ των τεχνολογιών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, ιδιαίτερα της ηλιακής ενέργειας και των κοινωνικοοικονομικών επιπτώσεών τους. Στο επίκεντρο αυτού του πλαισίου βρίσκεται η αειφορία, όπως ορίζεται από τους Brundtland et al. (1987), η οποία ορίζεται ως η ικανοποίηση των τρεχουσών αναγκών χωρίς να διακυβεύεται η ικανότητα των μελλοντικών γενεών να ικανοποιήσουν τις δικές τους. Αυτή η έννοια της βιωσιμότητας είναι σημαντική για την κατανόηση της υιοθέτησης και των επιπτώσεων των τεχνολογιών ηλιακής ενέργειας.

Η ηλιακή ενέργεια χαρακτηρίζεται από την ανεξάντλητη φύση της και τη δυνατότητα για ελάχιστες περιβαλλοντικές επιπτώσεις σε σύγκριση με τα ορυκτά καύσιμα, έναν ανανεώσιμο πόρο (Kabir et al., 2018). Η διαδικασία αξιοποίησης της ηλιακής ενέργειας περιλαμβάνει κυρίως φωτοβολταϊκά (PV) συστήματα που μετατρέπουν το ηλιακό φως σε ηλεκτρική ενέργεια απευθείας και ηλιακά θερμικά συστήματα κατασκευασμένα για εφαρμογές θέρμανσης (Green, 1982). Τα κύρια σημεία ενδιαφέροντος για την τεχνολογική εξέλιξη σε αυτά τα συστήματα ήταν γύρω από την αποδοτικότητα των φωτοβολταϊκών κυψελών μαζί με την οικονομική αποδοτικότητα, καθώς και άλλες πτυχές της έρευνας και ανάπτυξης στον τομέα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (Καλογήρου, 2013).

Η ενσωμάτωση της ηλιακής ενέργειας στο υπάρχον ενεργειακό μείγμα παρουσιάζει τόσο ευκαιρίες όσο και προκλήσεις που συμπυκνώνονται στην έννοια της Ενεργειακής Μετάβασης. Σύμφωνα με τον Sovacool, *«Η ενεργειακή μετάβαση περιλαμβάνει τη μετάβαση από ένα σύστημα που κυριαρχείται από πεπερασμένες (συχνά ορυκτές) μορφές ενέργειας σε ένα που τροφοδοτείται από ανανεώσιμες πηγές»* (Balachandra, 2015).

Οι οικονομικές θεωρίες που σχετίζονται με αυτή τη μετάβαση, ιδίως εκείνες που σχετίζονται με την οικονομική μεγέθυνση και τη βιώσιμη ανάπτυξη, αποτελούν άλλωστε κεντρική πτυχή αυτού του πλαισίου. Σύμφωνα με τον Stern, οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας μπορούν να θεωρηθούν ως μετριασμοί έναντι των οικονομικών κινδύνων που συνδέονται με τις δυσκολίες της κλιματικής αλλαγής στο έργο του για τα οικονομικά της κλιματικής αλλαγής.

Επιπλέον, η κατανόηση περισσότερων σχετικά με την υιοθέτηση της ηλιακής ενέργειας απαιτεί την εξέταση της έννοιας της πράσινης οικονομίας που περιγράφεται από το Πρόγραμμα των Ηνωμένων Εθνών για το Περιβάλλον ως μια οικονομία που οδηγεί σε βελτιωμένη ανθρώπινη ευημερία και κοινωνική ισότητα, μειώνοντας παράλληλα σημαντικά τους περιβαλλοντικούς κινδύνους (UNEP, 2011). Κατ' αυτόν τον τρόπο, υπονομεύει προηγούμενες προοπτικές που παρουσίαζαν διαρθρωτικές αλλαγές προς τη βιώσιμη ανάπτυξη ως έναν ενοποιημένο τρόπο θεώρησης της περιβαλλοντικής υποβάθμισης και ανάπτυξης (Warner, 2019).

Περαιτέρω, αξίζει να σημειωθεί ότι ο οικονομικός αντίκτυπος της ηλιακής ενέργειας είναι πολύπλευρος, συμπεριλαμβανομένων τόσο άμεσων όσο και έμμεσων οφελών. Σε κάθε περίπτωση, τα άμεσα οικονομικά οφέλη περιλαμβάνουν την εξοικονόμηση κόστους μέσω της μειωμένης εξάρτησης από εισαγόμενα καύσιμα και του χαμηλότερου λειτουργικού κόστους σε σύγκριση με τους παραδοσιακούς σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής. Τα έμμεσα οφέλη, συχνά πλέον δύσκολο να ποσοτικοποιηθούν, περιλαμβάνουν τη δημιουργία θέσεων εργασίας, την τεχνολογική καινοτομία και τις θετικές επιπτώσεις ενός καθαρότερου περιβάλλοντος στη δημόσια υγεία (Wei et al., 2010).

Μια άλλη πτυχή κρίσιμης σημασίας για το πλαίσιο αυτό είναι τα εμπόδια υιοθέτησης, όπως επί παραδείγματι οι τεχνολογικοί περιορισμοί, οικονομικοί περιορισμοί, ζητήματα πολιτικής και κανονιστικά ζητήματα. Οι Sovacool & Drupady υποστηρίζουν περαιτέρω ότι η υπέρβαση αυτών των εμποδίων αφορά όχι μόνο την τεχνολογική καινοτομία, αλλά περιλαμβάνει επίσης παρεμβάσεις πολιτικής καθώς και οικονομικά κίνητρα που καθιστούν την ηλιακή ενέργεια πιο προσιτή και προτιμότερη (Drupady & Sovacool, 2016).

Συμπερασματικά, το εννοιολογικό πλαίσιο αυτής της έρευνας περιστρέφεται γύρω από την κατανόηση της δυναμικής του τρόπου με τον οποίο η ηλιακή ενέργεια υιοθετείται στο πλαίσιο της βιώσιμης ανάπτυξης, των επιπτώσεων στην οικονομία και των προκλήσεων κατά τη μετάβαση σε σύστημα βασισμένο σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Το πλαίσιο αυτό θα χρησιμεύσει ως βάση για την ανάλυση της ιστορικής εξέλιξης της ηλιακής ενέργειας, των σύγχρονων τεχνολογικών εξελίξεων, των οικονομικών της επιπτώσεων καθώς και των μελλοντικών τροχιών της (Power et al., 2016).

1.2 Ερευνητικοί σκοποί και στόχοι

Η έρευνα αυτή στοχεύει στην ανάλυση των διαφόρων πτυχών της ηλιακής ενέργειας σε σύγχρονα κοινωνικοοικονομικά πλαίσια, με ιδιαίτερη έμφαση στην επίδρασή της στη βιώσιμη ανάπτυξη και την οικονομική μεγέθυνση. Ο στόχος αυτής της μελέτης έγκειται στο να γεφυρώσει το κενό μεταξύ θεωρητικής γνώσης και πρακτικής εφαρμογής, παρέχοντας μια λεπτομερή περιγραφή του εννοιολογικού πλαισίου της ηλιακής ενέργειας, των τεχνολογικών εξελίξεων της, των οικονομικών επιπτώσεων και των προκλήσεων και αναδυόμενων ευκαιριών.

Η ιστορική εξέλιξη των τεχνολογιών ηλιακής ενέργειας είναι ένας από τους κρίσιμους στόχους αυτής της έρευνας. Αυτό περιλαμβάνει τον εντοπισμό της προέλευσης και των εξελίξεων στην ηλιακή ενέργεια, από τις πρώτες ανακαλύψεις στα φωτοβολταϊκά εφέ έως τις τελευταίες καινοτομίες στην απόδοση των ηλιακών συλλεκτών και τις δυνατότητες αποθήκευσης. Υπό το πρίσμα αυτό, η μελέτη ερευνητών όπως ο Perlin (1999), ο οποίος τεκμηρίωσε τις εξελίξεις στην ηλιακή τεχνολογία, είναι σημαντική ιδιαίτερα για την κατανόηση των τρεχουσών τάσεων καθώς και των μελλοντικών κατευθύνσεων στη χρήση της ηλιακής ενέργειας.

Ένας άλλος στόχος είναι η ανάδειξη των τεχνολογικών ανησυχιών σχετικά με την ηλιακή ενέργεια. Αυτό περιλαμβάνει μια εντατική εστίαση σε διαφορετικούς τύπους ηλιακής ενέργειας, κυρίως φωτοβολταϊκά και ηλιακά θερμικά συστήματα, με τις αντίστοιχες τεχνολογικές εξελίξεις τους. Το έργο των McEnoy et al. (2012) θα αποτελέσει κρίσιμη αναφορά στην κατανόηση της φυσικής των ηλιακών κυψελών και της ανάπτυξής τους, ενώ ο Kalogirou (2013) παρέχει πληροφορίες σχετικά με εφαρμογές που χρησιμοποιούν ηλιοθερμικές τεχνολογίες.

Περαιτέρω, σημειώνεται ότι και οι οικονομικές θεωρίες που συνυφαίνονται με τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας εστιάζοντας κυρίως στην ηλιακή ενέργεια είναι επίσης ένας άλλος σημαντικός στόχος αυτής της διπλωματικής εργασίας. Η έρευνα αυτή θα διερευνήσει τη σχέση μεταξύ των θεωριών οικονομικής ανάπτυξης και της αειφόρου ανάπτυξης στο πλαίσιο των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Το βασικό κείμενο για την κατανόηση των οικονομικών της ηλιακής ενέργειας αποτελεί η πρωτοποριακή εργασία του Stern (2007) στα οικονομικά της κλιματικής αλλαγής. Επιπλέον, η μελέτη θα διερευνήσει τι σημαίνει «πράσινη οικονομία» όπως ορίζεται από το UNEP (2011), αλλά με ιδιαίτερη έμφαση στο πώς σχετίζεται με την ηλιακή ενέργεια.

Επιπλέον, η ανά χείρας μελέτη αποπειράται να διερευνήσει τις συνέπειες που απορρέουν από την ενσωμάτωση της ηλιακής ενέργειας στις αγορές ως εναλλακτική πηγή ηλεκτρικής ενέργειας σε παγκόσμιο επίπεδο, ωθώντας έτσι προς τα πάνω τις οικονομίες των κρατών. Μάλιστα, μέσα από την ανάλυση περιπτώσιολογικών μελετών από διαφορετικές χώρες αναμένεται να κατανοηθεί πώς η ηλιακή ενέργεια έχει επηρεάσει τις οικονομίες των διαφόρων χωρών μέσω της οικονομικής ανάπτυξης. Αυτή η συγκριτική ανάλυση θα εξετάσει τόσο τις ανεπτυγμένες όσο και τις αναπτυσσόμενες χώρες, υποστηρίζοντας από το REN21 (2020) την πιο ολοκληρωμένη μελέτη της παγκόσμιας κατάστασης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και των οικονομικών επιπτώσεών της.

Υπό το πρίσμα αυτό, βασικός στόχος της έρευνας είναι η αντιμετώπιση των προκλήσεων που εμποδίζουν την υιοθέτηση της ηλιακής ενέργειας. Ορισμένες από τις προκλήσεις περιλαμβάνουν οικονομικές, τεχνολογικές, φυσικές υποδομές, καθώς και πολιτικά και ρυθμιστικά ζητήματα (Balachandra, 2015).

Αυτή η έρευνα στοχεύει επίσης να περιγράψει τα οικονομικά πλεονεκτήματα της χρήσης ηλιακής ενέργειας. Αναλύει έτσι τα άμεσα και έμμεσα οικονομικά οφέλη, τη δημιουργία θέσεων εργασίας, τη συμβολή στο ΑΕγχΠ και το εμπόριο. Η μελέτη των Wei et al. (2010) σχετικά με τις δυνατότητες δημιουργίας θέσεων εργασίας στον τομέα της καθαρής ενέργειας θα αποτελέσει βασικό σημείο αναφοράς για την κατανόηση αυτών των οφελών.

Πρακτικά παραδείγματα ενσωμάτωσης της ηλιακής ενέργειας, μέσω περιπτώσιολογικών μελετών, θα χρησιμοποιηθούν για την άντληση πραγματικών διδαγμάτων από επιτυχημένες ιστορίες στις στρατηγικές υιοθέτησης της ηλιακής ενέργειας. Ο βασικός σκοπός είναι να προσδιοριστούν ορθές πρακτικές που μπορούν να αντιγραφούν ή να προσαρμοστούν για χρήση σε διαφορετικά πλαίσια.

Τέλος, αυτή η μελέτη στοχεύει στη σύνθεση των ευρημάτων για την παροχή θεωρητικών και πρακτικών συνεπειών. Αυτό το στάδιο περιλαμβάνει τη συγκέντρωση όλων των δεδομένων που συγκεντρώθηκαν καθ 'όλη τη διάρκεια της μελέτης, ώστε να παραχθούν συμπεράσματα και συστάσεις για τους υπεύθυνους χάραξης πολιτικής, τους παράγοντες της βιομηχανίας και τους μελλοντικούς ερευνητές.

Ως εκ τούτου, αυτή η έρευνα θα αναδείξει διάφορες πτυχές που σχετίζονται με την ηλιακή ενέργεια, διασφαλίζοντας μία ολιστική προσέγγιση επί του φαινομένου. Ως αποτέλεσμα, η μελέτη αυτή θα έχει συμβάλει σημαντικά στο εύρος των γνώσεων σχετικά με το ρόλο της ηλιακής ενέργειας στη διαμόρφωση βιώσιμων ρυθμών ανάπτυξης.

1.3 Πεδίο εφαρμογής και συνάφεια της μελέτης

Για την ολοκληρωμένη κατανόηση της ηλιακής ενέργειας, συμπεριλαμβανομένης της ιστορικής της εξέλιξης, των τεχνολογικών εξελίξεων, των οικονομικών επιπτώσεων, των προκλήσεων και των ευκαιριών που παρουσιάζει, τα όρια της μελέτης έχουν τεθεί για να παρέχουν μια εις βάθος ανάλυση αυτών των πτυχών, διασφαλίζοντας παράλληλα μια εστιασμένη και συνεκτική εξερεύνηση. Αυτό καθίσταται αναγκαίο λόγω των μεταβαλλόμενων αναγκών για βιώσιμες πηγές ενέργειας λόγω των παγκόσμιων περιβαλλοντικών προβλημάτων και της αυξανόμενης σημασίας των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας όπως η ηλιακή ενέργεια.

Ιστορικά, η μελέτη παρακολουθεί την ανάπτυξη των τεχνολογιών ηλιακής ενέργειας από τα αρχικά τους στάδια μέχρι σήμερα. Με αυτόν τον τρόπο, επικεντρώνεται στις κύριες ανακαλύψεις και ορόσημα στην ηλιακή τεχνολογία σε σχέση με τον Perlin (1999), ο οποίος ήταν πολύ προσεκτικός στον μετασχηματισμό της ηλιακής ενέργειας. Προκειμένου να κατανοήσουμε ποιες είναι οι ηλιακές τεχνολογίες σήμερα και τις δυνατότητές τους για τις μελλοντικές γενιές, αυτή η προοπτική είναι απαραίτητη.

Σε επίπεδο τεχνολογικών εξελίξεων, αυτό εκδηλώνεται μέσω μιας εις βάθος ανάλυσης των φωτοβολταϊκών (PV) συστημάτων καθώς και της ηλιακής θερμικής ενέργειας. Αναλύοντας τις αρχές λειτουργίας και τις εξελίξεις στην ηλιακή τεχνολογία, η μελέτη αυτή βασίστηκε σε τεχνικές και μηχανικές πτυχές διαφορετικών τύπων εγκαταστάσεων ηλιακής ενέργειας που περιγράφονται από τους McEnoy et al. (2012). Αυτή η εστίαση είναι ζωτικής σημασίας για την κατανόηση της αποδοτικότητας, της επεκτασιμότητας και της εφαρμοσιμότητας των λύσεων ηλιακής ενέργειας.

Όσον αφορά το οικονομικό επίπεδο, αυτή η ενότητα συζητά τις θεωρίες γύρω από την οικονομική ανάπτυξη και την αειφόρο ανάπτυξη στο πλαίσιο των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας εν γένει, αλλά ιδιαίτερα επικεντρωμένη στην παραγωγή ηλιακής

ενέργειας. Το σημαντικό έργο του Stern (2007) σχετικά με τα οικονομικά της κλιματικής αλλαγής παρέχει σημαντικές πληροφορίες σχετικά με τις οικονομικές επιπτώσεις που σχετίζονται με τη μετάβαση στην ηλιακή ενέργεια. Ομοίως, με βάση το Πρόγραμμα των Ηνωμένων Εθνών για το Περιβάλλον (2011), αυτή η έρευνα αγγίζει την έννοια της πράσινης οικονομίας δείχνοντας πώς η υιοθέτηση αυτών των τεχνολογιών συμβάλλει στη βιώσιμη οικονομική ανάπτυξη.

Περαιτέρω, όπως σημειώθηκε και ανωτέρω, η μελέτη διερευνά πώς η ηλιακή ενέργεια επηρεάζει την ικανότητα ανάπτυξης των παγκόσμιων οικονομιών. Με αυτόν τον τρόπο, αποπειράται να πραγματοποιήσει μια συγκριτική ανάλυση σχετικά με την υιοθέτηση και τις επιπτώσεις που έχουν βιώσει διάφορες χώρες μετά την υιοθέτηση της ηλιακής ενέργειας, αξιοποιώντας τις παγκόσμιες επισκοπήσεις που παρέχονται από οργανισμούς όπως το REN21 (2020).

Μια άλλη πτυχή της μελέτης είναι να εντοπιστούν οι προκλήσεις και τα εμπόδια που εμποδίζουν την υιοθέτηση της ηλιακής ενέργειας. Είναι σημαντικό, άλλωστε, να γνωρίζουμε αυτούς τους περιορισμούς, ώστε να μπορούν να υπάρξουν στρατηγικές για να διασφαλιστεί ότι η ηλιακή ενέργεια υιοθετείται με πιο αποτελεσματικό τρόπο.

Επιπλέον, η μελέτη διερευνά τα οικονομικά οφέλη που συνδέονται με τη χρήση ηλιακής ενέργειας, όπως η δημιουργία θέσεων εργασίας, η συμβολή του ΑΕΠ και οι επιπτώσεις στο εμπόριο. Τα ευρήματα είναι επίσης σημαντικά όχι μόνο για τη χάραξη πολιτικής, αλλά και για τον επηρεασμό των βιομηχανικών πρακτικών και της μελλοντικής έρευνας για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Βοηθούν στην επέκταση των γνώσεων σχετικά με την αειφόρο ανάπτυξη καθώς και τα οικονομικά για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Επομένως, παρέχονται πολύτιμες γνώσεις, ιδίως για τους υπεύθυνους χάραξης πολιτικής, τους παράγοντες της βιομηχανίας, τους περιβαλλοντολόγους κ.λπ. (Wei et al., 2010).

Μερικά πρακτικά παραδείγματα και μελέτες περιπτώσεων που σχετίζονται με την ενσωμάτωση φωτοβολταϊκών εξετάζονται επίσης σε όλη αυτή την εργασία. Σε αυτό το τμήμα της μελέτης υπάρχουν παραδείγματα πραγματικής ζωής σχετικά με το πώς διαφορετικές μορφές ηλιακής ενέργειας έχουν εφαρμοστεί με επιτυχία και ποια βασικά διδάγματα έχουν αντληθεί.

1.4 Μεθοδολογία βιβλιογραφικής ανασκόπησης

Η προσέγγιση που υιοθετήθηκε για την ανασκόπηση της βιβλιογραφίας σε αυτή τη μελέτη έχει σχεδιαστεί για να παρέχει μια διεξοδική, ολοκληρωμένη και αμερόληπτη εξέταση του τρέχοντος σώματος γνώσεων σχετικά με την ηλιακή ενέργεια. Αυτή η μεθοδολογία είναι σημαντική για τη δημιουργία μιας καλής βάσης για την έρευνα και τη γνώση του πεδίου επί του παρόντος. Η διαδικασία που υιοθετήθηκε για την ανασκόπηση της βιβλιογραφίας ακολουθεί μια σχολαστική και μεθοδική προσέγγιση, που περιλαμβάνει τον εντοπισμό, την αξιολόγηση και τη σύνθεση της σχετικής βιβλιογραφίας.

Πρώτον, ορίστηκε η περιοχή αναζήτησης για αυτή την εργασία ώστε να περιλαμβάνει έργα όπως επιστημονικά άρθρα, βιβλία, πρακτικά συνεδρίων, έγκυρες εκθέσεις για την ηλιακή ενέργεια. Το πρώτο στάδιο περιελάμβανε τη δημιουργία συγκεκριμένων όρων αναζήτησης όπως «ηλιακή ενέργεια», «φωτοβολταϊκά συστήματα», «ηλιακή θερμική ενέργεια», «οικονομικός αντίκτυπος της ηλιακής ενέργειας» και «εξελίξεις της ηλιακής τεχνολογίας». Αυτές οι λέξεις-κλειδιά επιλέχθηκαν σύμφωνα με τους στόχους της έρευνας εξασφαλίζοντας ότι επικεντρώθηκε σε τομείς που αφορούν το θέμα.

Έγινε αναζήτηση σε πολλαπλές βάσεις δεδομένων, συμπεριλαμβανομένων των Web of Science, Scopus και Google Scholar, ώστε να υπάρχει ευρεία κάλυψη της ακαδημαϊκής βιβλιογραφίας. Χρησιμοποιήθηκαν επίσης εξειδικευμένες βάσεις δεδομένων σε ενεργειακές και περιβαλλοντικές μελέτες, όπως αυτές που παρέχονται από την Υπηρεσία Πληροφοριών Ενέργειας (EIA) ή τον Διεθνή Οργανισμό Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (IRENA). Αυτό εξασφάλισε ότι συμπεριλήφθηκε μια ποικιλία πηγών που παρουσίαζαν διαφορετικές προοπτικές σχετικά με την ηλιακή ενέργεια.

Τέθηκαν σε εφαρμογή κριτήρια ένταξης/αποκλεισμού για το αποτελεσματικό φιλτράρισμα της βιβλιογραφίας. Τα κριτήρια συμπερίληψης διευκρίνιζαν ότι η βιβλιογραφία πρέπει να έχει δημοσιευθεί εντός των τελευταίων είκοσι ετών για σκοπούς συνάφειας και επικαιρότητας, να έχει αξιολογηθεί από ομοτίμους ή να έχει δημοσιευθεί από γνωστή αρχή στον τομέα και να έχει ασχοληθεί άμεσα με θέματα που σχετίζονται με την ηλιακή ενέργεια από κοινωνιολογική ή οικονομική άποψη. Τα κριτήρια αποκλεισμού αφορούσαν δημοσιεύσεις που δεν ήταν γραμμένες στην αγγλική ή ελληνική γλώσσα.

Στη συνέχεια, αξιολογήθηκε κριτικά η ποιότητα και η συνάφεια των βιβλιογραφικών ερευνών που επιλέχθηκαν. Υπήρξε κριτική αξιολόγηση με βάση την αξιοπιστία των συγγραφέων, την αυστηρότητα της μεθοδολογίας της έρευνας που χρησιμοποιήθηκε στις μελέτες και τον τρόπο με τον οποίο τα σχετικά ευρήματα αντιμετώπισαν τα ερωτήματα που τέθηκαν από την έρευνα. Αυτή η κριτική αξιολόγηση βασίστηκε στις κατευθυντήριες αρχές που περιγράφηκαν από τους Petticrew και Roberts (2006) στο έργο τους σχετικά με τις συστηματικές ανασκοπήσεις στις κοινωνικές επιστήμες, διασφαλίζοντας έτσι ότι όσο το δυνατόν περισσότερη βιβλιογραφία που επιλέχθηκε ήταν υψηλής ποιότητας και συνάφειας.

Στη συνέχεια, η βιβλιογραφία συντέθηκε μέσω μιας θεματικής ανάλυσης που εξέτασε βασικά θέματα και μοτίβα που εντοπίστηκαν. Η προσέγγιση καθοδηγήθηκε από τους Braun και Clarke (2006) σχετικά με τη θεματική ανάλυση που επέτρεψε την οργανωμένη παρουσίαση διαφόρων έργων σύμφωνα με τους στόχους της μελέτης. Οι βασικοί τομείς που προσδιορίστηκαν κάλυψαν την ιστορική εξέλιξη, την τεχνολογική πρόοδο, τις οικονομικές επιπτώσεις, τις προκλήσεις/εμπόδια, καθώς και θέματα χάραξης πολιτικής όσον αφορά την ηλιακή ενέργεια.

Αυτή η μεθοδολογία περιελάμβανε επίσης συνεχή ενημέρωση της βιβλιογραφίας για την καταγραφή οποιασδήποτε νέας δημοσίευσης ή ανάπτυξης στον τομέα. Αυτή η επαναληπτική διαδικασία εξασφάλισε ότι η ανά χείρας ανασκόπηση παρέμεινε επίκαιρη και ολοκληρωμένη, δεδομένου ότι η ηλιακή ενέργεια είναι ένα δυναμικό πεδίο μελέτης.

Συλλήβδην, η μεθοδολογία βιβλιογραφικής ανασκόπησης που υιοθετήθηκε για αυτή τη μελέτη ήταν συστηματική, διεξοδική και καθοδηγούμενη από σαφώς καθορισμένα κριτήρια και διαδικασίες. Με αυτόν τον τρόπο έχει αντιμετωπιστεί ένα ευρύ σώμα βιβλιογραφίας που χρησιμεύει ως σταθερή βάση για τη διεξαγωγή αυτής της έρευνας. Επιπλέον, μέσω της χρήσης αυτής της μεθοδολογίας, έχουν εντοπιστεί κενά στην υπάρχουσα βιβλιογραφία που ενημερώνουν την κατεύθυνση αυτής της μελέτης συμβάλλοντας στη γενική ακαδημαϊκή συζήτηση για την ηλιακή ενέργεια.

Κεφάλαιο 2^ο. Ιστορική εξέλιξη της Ηλιακής Ενέργειας

2.1 Πρώιμες εξελίξεις στην ηλιακή τεχνολογία

Η ιστορία της ηλιακής ενέργειας είναι ένα ενδιαφέρον ταξίδι που ξεκίνησε στις αρχές του 19ου αιώνα. Ήταν εκείνη την εποχή που τα άτομα άρχισαν για πρώτη φορά να

κατανοούν και να χρησιμοποιούν τη δύναμη του ήλιου. Ωστόσο, η εν λόγω διερεύνηση προσφέρει κρίσιμες πληροφορίες για την εξέλιξη της ηλιακής ενέργειας, διαμορφώνοντας την τρέχουσα κατάσταση και τη μελλοντική τροχιά της.

Μία από τις πρώτες αξιοσημείωτες εξελίξεις στην ηλιακή τεχνολογία συνέβη το 1839, όταν ο Γάλλος φυσικός Edmond Becquerel ανακάλυψε το φωτοβολταϊκό φαινόμενο. Στο εργαστήριο του πατέρα του, ενώ πραγματοποιούσε πειράματα με φως, ο Becquerel συνειδητοποίησε ότι ορισμένα υλικά παρήγαγαν μικρές ποσότητες ηλεκτρικής ενέργειας όταν εκτέθηκαν στο φως. Αυτή η ανακάλυψη σηματοδότησε το αρχικό στάδιο ανάπτυξης των ηλιακών κυψελών (Perlin, 1999). Η σημασία του έργου του Becquerel δεν μπορεί να υποτιμηθεί. Ήταν το πρώτο βήμα για την κατανόηση του τρόπου με τον οποίο το φως θα μπορούσε να μετατραπεί απευθείας σε ηλεκτρική ενέργεια, μια αρχή που στηρίζει τη σύγχρονη φωτοβολταϊκή (PV) τεχνολογία.

Η πρόοδος από την αρχική ανακάλυψη του Becquerel στις πρακτικές εφαρμογές της ηλιακής ενέργειας ήταν σταδιακή. Το σελήνιο αποδείχθηκε ότι παράγει ηλεκτρική ενέργεια από το φως του ήλιου χωρίς θερμότητα ή κινούμενα μέρη από τους χημικούς William Grylls Adams και Richard Evans Day το 1866. Η μελέτη τους κατέδειξε ότι τα στερεά υλικά θα μπορούσαν να χρησιμεύσουν ως πηγές ηλιακής ενέργειας (Smil, 2005). Μάλιστα, ενώ τα ηλιακά κύτταρα με βάση το σελήνιο ήταν αναποτελεσματικά στην καλύτερη περίπτωση, οι ίδιοι ενσωμάτωσαν κάτι από και πραγματικό σχετικά με τη χρήση φωτοβολταϊκών για την παραγωγή ενέργειας.

Αξίζει δε να σημειωθεί ότι οι αρχές του εικοστού αιώνα σηματοδότησαν ένα ορόσημο στη φωτοβολταϊκή τεχνολογία με την εφεύρεση του πρώτου ηλιακού κυττάρου. Στην Αμερική, ο Charles Fritts έγινε διάσημος για την εφεύρεση του πρώτου ηλιακού κυττάρου σεληνίου το 1883. Η συσκευή περιείχε ένα λεπτό στρώμα σεληνίου επικαλυμμένο με χρυσό, καθιστώντας το έτσι ικανό να μετατρέπει το φως σε ηλεκτρική ενέργεια σε πολύ χαμηλή κλίμακα (Perlin, 1999). Παρά το γεγονός ότι ήταν εξαιρετικά αναποτελεσματικό, η συσκευή του Fritts ήταν σημαντική, δεδομένου ότι σηματοδότησε την πρώτη φορά που ένα υλικό θα μπορούσε να δεσμεύσει την ηλιακή ενέργεια για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, σηματοδοτώντας ένα βασικό ορόσημο στην ηλιακή τεχνολογία.

Μολαταύτα, η ανάπτυξη της ηλιακής ενέργειας ήταν σχετικά στάσιμη από τη δεκαετία του 1950 λόγω της πρώιμης αναποτελεσματικότητας των ηλιακών κυψελών

και της κυριαρχίας των ορυκτών καυσίμων. Ωστόσο, ήταν στα μέσα του εικοστού αιώνα όταν τα φωτοβολταϊκά κύτταρα πυριτίου σηματοδότησαν ένα σημείο καμπής. Το 1954 οι Calvin Fuller, Gerald Pearson και Daryl Chapin δημιούργησαν το πρώτο φωτοβολταϊκό κύτταρο πυριτίου, ικανό να μετατρέψει αρκετό ηλιακό φως σε ηλεκτρικό ρεύμα για κανονική οικιακή χρήση (Green, 1982). Αυτή η νέα εξέλιξη ενίσχυσε σημαντικά την απόδοση των ηλιακών κυψελών και άνοιξε το δρόμο για τη σύγχρονη τεχνολογία ηλιακής ενέργειας.

Αυτή η εφεύρεση της Bell Labs ήταν πολύ σημαντική από την άποψη της ηλιακής ενέργειας. Μία από τις πρώτες πρακτικές εφαρμογές του ήρθε κατά τη διάρκεια του διαστημικού αγώνα στα τέλη της δεκαετίας του '50 και στις αρχές της δεκαετίας του '60. Οι κυψέλες ηλιακής ενέργειας χρησιμοποιήθηκαν για την παροχή συνεχούς παροχής ενέργειας στα διαστημόπλοια καθώς εκτοξεύονταν στο διάστημα. Η επιτυχία των διαστημικών αποστολών με ηλιακή ενέργεια απέδειξε τις δυνατότητές της στη γη και ενθάρρυνε περαιτέρω έρευνα και επενδύσεις σε ηλιακές τεχνολογίες (Lewis, 2016).

Η πετρελαϊκή κρίση της δεκαετίας του 1970 επιτάχυνε περαιτέρω το ενδιαφέρον και την ανάπτυξη της ηλιακής ενέργειας. Με την αύξηση των τιμών του πετρελαίου και τις αυξανόμενες ανησυχίες σχετικά με την ενεργειακή ασφάλεια, οι κυβερνήσεις και οι βιομηχανίες παγκοσμίως άρχισαν να επενδύουν σε μεγάλο βαθμό σε εναλλακτικές πηγές, όπως επί παραδείγματι η ηλιακή ενέργεια (Bradford, 2006). Κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου υπήρξαν πολλές βελτιώσεις στην απόδοση των κυψελών καθώς και η θέσπιση πολιτικών με κίνητρα για την προώθηση της ηλιακής ενέργειας.

Σε κάθε περίπτωση, δέον όπως επισημανθεί ότι η πρόμη ιστορία της ηλιακής ενέργειας, από τη βαρυσήμαντη ανακάλυψη του Becquerel έως τις προόδους που έγιναν κατά τη διάρκεια του εικοστού αιώνα, αντιπροσωπεύει τη σταδιακή αν και τρέχουσα επιστημονική περιέργεια, την καινοτομία και την επακόλουθη συνειδητοποίηση των δυνατοτήτων πίσω από την αξιοποίηση της (Bradford., 2006).

2.2 Εξέλιξη στη σύγχρονη εποχή

Ο εικοστός και ο εικοστός πρώτος αιώνας έγιναν μάρτυρες της εξέλιξης της ηλιακής ενέργειας, σηματοδοτώντας μια σημαντική τεχνολογική πρόοδο και αυξανόμενη αναγνώριση της ηλιακής ενέργειας ως σημαντικού συστατικού της παγκόσμιας ενεργειακής στρατηγικής. Αυτή η εποχή χαρακτηρίζεται από τις ταχείες εξελίξεις

στην ηλιακή τεχνολογία, την ενισχυμένη απόδοση καθώς και τη σημαντική μείωση του κόστους, καθιστώντας την μια ιδιαίτερα υιοθετημένη τεχνολογία στο παγκόσμιο ενεργειακό μείγμα.

Τα μέσα του 20ου αιώνα σηματοδότησαν μια νέα αυγή της ηλιακής ενέργειας με την εφεύρεση των φωτοβολταϊκών κυττάρων πυριτίου (PV) από τα εργαστήρια του Bell το 1954. Αυτή η ανακάλυψη περιγράφηκε από τον Green (1982), ο οποίος δήλωσε ότι αυτή η εξέλιξη είχε οδηγήσει σε αποδοτικές ηλιακές κυψέλες με ποσοστό απόδοσης 6%, το οποίο ήταν πολύ καλύτερο από τις προηγούμενες εκδόσεις. Ο Lewis (2016) περιγράφει λεπτομερώς πώς αυτά τα κύτταρα με βάση το πυρίτιο κέντρισαν αμέσως το ερευνητικό ενδιαφέρον αρκετών μελετητών, ιδιαίτερα όταν χρησιμοποιήθηκαν σε διαστημικές εφαρμογές όπου και αποτέλεσαν την κύρια πηγή ενέργειας για δορυφόρους και άλλα διαστημικά σκάφη.

Ως απάντηση στην πετρελαϊκή κρίση, οι κυβερνήσεις σε όλο τον κόσμο άρχισαν να βλέπουν τις δυνατότητες της ηλιακής ενέργειας για την κάλυψη τόσο της ασφάλειας του εφοδιασμού όσο και των περιβαλλοντικών ανησυχιών. Όπως παρατήρησε ο Bradford (2006), αυτή τη φορά σημειώθηκε αύξηση των επενδύσεων στην έρευνα για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, συμπεριλαμβανομένης της ηλιακής τεχνολογίας, οδηγώντας σε βελτιωμένη απόδοση των ηλιακών κυψελών και των νέων υλικών που αναπτύχθηκαν για την παραγωγή τους. Η περίοδος σηματοδότησε το σημείο καμπής από τον περιθωριακό πειραματισμό σε μια πρακτική εναλλακτική λύση μεταξύ των ανανεώσιμων πηγών.

Σύμφωνα με το κείμενο του Kazmerski (1997), τα τέλη του 20ου και οι αρχές του 21ου αιώνα χαρακτηρίζονται από ανακαλύψεις στην τεχνολογία και σημαντική πτώση της τιμής κόστους των φωτοβολταϊκών συστημάτων. Οι καινοτομίες της επιστήμης των υλικών κατέστησαν δυνατή την ανάπτυξη πιο αποτελεσματικών και φθηνότερων ειδών τέτοιων συσκευών, όπως οι ηλιακές κυψέλες λεπτού υμενίου, οι οποίες αντιπροσώπευαν λιγότερο δαπανηρές εναλλακτικές λύσεις στις παραδοσιακές κυψέλες πυριτίου. Προσφέροντας τις υψηλότερες αποδόσεις παραγωγής με τα χαμηλότερα έξοδα ανά watt, η εισαγωγή τους συνέβαλε πολύ στη δραματική μείωση του κόστους των φωτοβολταϊκών.

Οι κυβερνητικές πολιτικές και τα κίνητρα έπαιξαν καθοριστικό ρόλο στην ανάπτυξη της Ηλιακής Ενέργειας κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου. Ένα πρόγραμμα feed-

in-tariff που έδωσε κίνητρα στους παραγωγούς που παρήγαγαν ηλεκτρική ενέργεια από ανανεώσιμες πηγές και την πούλησαν στο δίκτυο εισήχθη για πρώτη φορά από τη Γερμανία. Όπως αναφέρθηκε από το REN21 (2020), αυτές οι πολιτικές, εκτός από τη διευκόλυνση της ανάπτυξης της ηλιακής ενέργειας στα δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας, προώθησαν την καινοτομία και τις επενδύσεις στον τομέα.

Ο 21ος αιώνας έχει σημειώσει επίσης αύξηση στην υιοθέτηση της ηλιακής ενέργειας λόγω της συνεχούς ανάπτυξης της τεχνολογίας, της μείωσης του κόστους και των περιβαλλοντικών ανησυχιών. Η ηλιακή ενέργεια είναι ένας από τους ταχύτερα αναπτυσσόμενους ανανεώσιμους πόρους παγκοσμίως. Σύμφωνα με τον IEA (2019), αυτό είναι ιδιαίτερα εμφανές για τις φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις που γνώρισαν έκρηξη λόγω της πτώσης του κόστους και της αυξανόμενης απόδοσης.

Επίσης, η ανάπτυξη της ηλιακής τεχνολογίας έχει γίνει πιο ποικίλη. Εκτός από τα παραδοσιακά φωτοβολταϊκά συστήματα, έχουν γίνει μεγάλα βήματα στην ηλιοθερμική ενέργεια. Στο πλαίσιο αυτό, οι σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής μεγάλης κλίμακας έχουν αναπτύξει συστήματα συγκεντρωμένης ηλιακής ενέργειας (CSP) που συγκεντρώνουν το ηλιακό φως σε μια τεράστια επιφάνεια σε ένα μικρό μέρος χρησιμοποιώντας καθρέφτες ή φακούς (Arup et al., 2014), χρησιμοποιούμενοι ιδίως σε περιοχές με μεγάλη ηλιοφάνεια. Αυτές οι εξελίξεις ήταν σημαντικές, καθώς απεικόνιζαν κάποιες εναλλακτικές τεράστιες δυνατότητες για εφαρμογές ηλιακής ενέργειας σε κλίμακα χρησιμότητας.

Περαιτέρω δε, η ενσωμάτωση της ηλιακής ενέργειας στο δίκτυο και η αλληλεπίδρασή της με άλλες πηγές ενέργειας έχουν καταστεί βασικά σημεία εστίασης τα τελευταία χρόνια. Κατά την αντιμετώπιση πτυχών όπως η διαλείπουσα ηλιακή ενέργεια και η ενσωμάτωση σε υπάρχοντα ενεργειακά συστήματα, η EPIA (2018) συζητά πώς είναι απαραίτητη η πρόοδος στις τεχνολογίες μπαταριών καθώς και στις τεχνολογίες έξυπνων δικτύων.

Συνοψίζοντας, κατά τη διάρκεια του εικοστού και εικοστού πρώτου αιώνα, με τις τεχνολογικές εξελίξεις που συνοδεύονται από ευνοϊκές πολιτικές σε συνδυασμό με τη μείωση του κόστους, η ηλιακή ενέργεια έχει καταστεί όχι μόνο μια σημαντική ταχέως αναπτυσσόμενη πηγή καθαρών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, αλλά και ένας κρίσιμος παράγοντας που συμβάλλει στην παγκόσμια ενεργειακή ασφάλεια και την περιβαλλοντική βιωσιμότητα με σημαντικές δυνατότητες στο μέλλον.

2.3 Βασικά ορόσημα στην υιοθέτηση της ηλιακής ενέργειας

Η ανάπτυξη της ηλιακής ενέργειας έχει σηματοδοτηθεί από ορισμένα ορόσημα, καθένα από τα οποία αντιπροσωπεύει ένα σημαντικό σημείο καμπής που έχει διαμορφώσει την κατεύθυνση της ηλιακής τεχνολογίας και τον τρόπο με τον οποίο ενσωματώνεται στο παγκόσμιο ενεργειακό τοπίο.

Ένα σημαντικό ορόσημο για την ηλιακή τεχνολογία ήρθε με φθηνότερες τιμές για φωτοβολταϊκές μονάδες. Ο Διεθνής Οργανισμός Ενέργειας (IEA) αποκάλυψε ότι υπήρξε σημαντική πτώση του κόστους των φωτοβολταϊκών κυττάρων μεταξύ του τέλους του 20ου αιώνα και των αρχών του 21ου αιώνα. Αυτό συνέβη μέσω της προόδου στις τεχνικές κατασκευής, των οικονομιών κλίμακας και της βελτιωμένης απόδοσης της λειτουργίας ενός φωτοβολταϊκού κυττάρου. Το μειωμένο κόστος των ηλιακών συλλεκτών κατέστησε την ηλιακή ενέργεια πιο προσιτή και οικονομικά βιώσιμη για ένα ευρύτερο φάσμα εφαρμογών, από οικιακά έως μεγάλης κλίμακας έργα κοινής ωφέλειας.

Η αλλαγή του αιώνα είδε μια αύξηση στην παγκόσμια υιοθέτηση της ηλιακής ενέργειας, οδηγούμενη από τις τεχνολογικές εξελίξεις, την υποστήριξη πολιτικής και την αυξανόμενη περιβαλλοντική συνείδηση. Η εγκατάσταση ηλιακών συστημάτων προωθήθηκε μαζικά από την εισαγωγή τιμολογίων τροφοδοσίας και άλλων προγραμμάτων κινήτρων που δημιουργήθηκαν σε διάφορες χώρες. Αυτές οι πολιτικές διευκόλυναν όχι μόνο την ανάπτυξη της αγοράς ηλιακής ενέργειας, αλλά και προώθησαν την καινοτομία καθώς και τις επενδύσεις σε αυτήν την πτυχή (REN21, 2020).

Περαιτέρω, σημειώνεται ότι η ενσωμάτωση της ηλιακής ενέργειας στα εθνικά δίκτυα ήταν το κλειδί για την ευρεία υιοθέτησή της, εκτός από την πρόοδο στα ηλιακά συστήματα που συνδέονται με το δίκτυο. Στο πλαίσιο αυτού του ορόσημου, η EPIA (2018) υποστηρίζει ότι διαμορφώνονται τεχνολογίες μαζί με πολιτικές που διευκολύνουν την αποτελεσματική ενσωμάτωση της ηλιακής ενέργειας σε ήδη υπάρχοντα ενεργειακά συστήματα, εκτός από την αντιμετώπιση της διαλείπουσας φύσης της ηλιακής τροφοδοσίας μέσω βελτιωμένων συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας, όπως οι μπαταρίες.

Πιο πρόσφατα, ένα σημαντικό ορόσημο είναι η αυξανόμενη προσοχή προς τη βιώσιμη ανάπτυξη, αναγνωρίζοντας ότι ο ήλιος είναι ζωτικής σημασίας για την

αντιμετώπιση της μετάβασης σε χαμηλές εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα. Αναμφίβολα, οι ανανεώσιμες πηγές, συμπεριλαμβανομένου του νερού και του ηλιακού φωτός, έχουν πλέον μεγάλη σημασία λόγω της συμφωνίας του Παρισιού που υπογράφηκε κατά τη διάρκεια της συνόδου κορυφής της σύμβασης-πλαισίου των Ηνωμένων Εθνών για την κλιματική αλλαγή (UNFCCC) που πραγματοποιήθηκε το 2015.

Εν κατακλείδι, υπήρξε μεγάλος αριθμός ανακαλύψεων ή ορόσημων που τη βοήθησαν να εξελιχθεί από μια περιφερειακή τεχνολογία σε έναν από τους ακρογωνιαίους λίθους για την παραγωγή πράσινης ενέργειας καθ' όλη τη διάρκεια της ιστορίας υιοθέτησής της. Αυτά τα ορόσημα πιστοποιούν τον δυναμικό χαρακτήρα που συνδέεται με την αγορά και τη σημασία της για την προώθηση ενός βιώσιμου ενεργειακού μέλλοντος.

Πίνακας 1. Βασικά Ορόσημα στην υιοθέτηση της ηλιακής ενέργειας

Ορόσημο	Περιγραφή	Ημερομηνία/Περίοδος
Μείωση του κόστους των φωτοβολταϊκών στοιχείων	Σημαντική πτώση λόγω της προόδου στην κατασκευή, των οικονομιών κλίμακας και της βελτιωμένης απόδοσης. Έκανε την ηλιακή ενέργεια πιο προσιτή για ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών.	Τέλη 20ου αιώνα έως αρχές 21ου αιώνα
Αύξηση της παγκόσμιας υιοθέτησης λόγω των τεχνολογικών εξελίξεων και της υποστήριξης πολιτικής	Εισαγωγή τιμολογίων τροφοδοσίας και άλλων προγραμμάτων κινήτρων σε διάφορες χώρες, τα οποία διευκόλυναν την ανάπτυξη της αγοράς, την καινοτομία και τις επενδύσεις.	Στροφή του 21ου αιώνα
Ενσωμάτωση της Ηλιακής Ενέργειας στα Εθνικά Δίκτυα	Εξελίξεις στα συνδεδεμένα με το δίκτυο ηλιακά συστήματα και πολιτικές για αποτελεσματική ενσωμάτωση, αντιμετώπιση της διαλείπουσας	Αναφέρθηκε από την ΕΡΙΑ το 2018

Ορόσημο	Περιγραφή	Ημερομηνία/Περίοδος
	λειτουργίας με βελτιωμένα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας.	
Αυξανόμενη προσοχή προς την αειφόρο ανάπτυξη και τη σημασία των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας	Η συμφωνία του Παρισιού υπογράμμισε τον ρόλο των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, συμπεριλαμβανομένης της ηλιακής, στη μετάβαση σε χαμηλές ανθρακούχες εκπομπές, τονίζοντας τη σημασία τους για τη βιώσιμη ανάπτυξη.	Σύνοδος κορυφής της UNFCCC, 2015

Κεφάλαιο 3°.Τεχνολογίες και καινοτομίες ηλιακής ενέργειας

3.1 Φωτοβολταϊκά Συστήματα

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα (PV), τα οποία μετατρέπουν άμεσα το ηλιακό φως σε ηλεκτρική ενέργεια, αποτελούν τον στυλοβάτη της τεχνολογίας ηλιακής ενέργειας. Η ανάπτυξή τους έχει χαρακτηριστεί με την πάροδο του χρόνου από σημαντικές καινοτομίες και διαφοροποιήσεις που έχουν οδηγήσει σε διάφορους τύπους φωτοβολταϊκών συστημάτων σχεδιασμένων για διαφορετικές χρήσεις και αποδόσεις. Η κατανόηση της εξέλιξης και των τύπων των φωτοβολταϊκών συστημάτων είναι ζωτικής σημασίας για την εκτίμηση του ρόλου τους στο σημερινό και μελλοντικό ενεργειακό τοπίο.

Τα σύγχρονα φωτοβολταϊκά συστήματα χρονολογούνται από τα μέσα του 20ου αιώνα. Ήταν το 1954 στα εργαστήρια Bell που δημιουργήθηκε για πρώτη φορά το πρακτικό ηλιακό κύτταρο πυριτίου, όπως αναφέρθηκε στην υποενότητα 2.1 (Green, 1982). Αυτή η κυψέλη, με απόδοση περίπου 6%, ήταν μια σημαντική βελτίωση σε σχέση με τις προηγούμενες ηλιακές τεχνολογίες και έθεσε τις βάσεις για τις εξελίξεις στα επόμενα φωτοβολταϊκά συστήματα.

Μετά από αυτή την ανακάλυψη, πραγματοποιήθηκαν βελτιώσεις με βάση διαστημικά προγράμματα που επενδύθηκαν σε μεγάλο βαθμό στην ηλιακή τεχνολογία ως τέλεια λύση για την παροχή ενέργειας στο διάστημα. Η αποτελεσματικότητα αυτών των πρώιμων κυττάρων αυξήθηκε σταδιακά, δημιουργώντας κύτταρα με

αποτελεσματικότητα άνω του 10% για εμπορικές εφαρμογές στα τέλη της δεκαετίας του 1970 (Perlin, 1999). Η πρόοδος έφερε επίσης την έναρξη της διαφοροποίησης της φωτοβολταϊκής τεχνολογίας σε διαφορετικές μορφές και εφαρμογές.

Η εξέλιξη των φωτοβολταϊκών συστημάτων ανέδειξε την εισαγωγή των ηλιακών κυψελών λεπτού υμενίου κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 1980 ως μία από τις κρίσιμες εξελίξεις της. Τα κύτταρα λεπτού υμενίου διαφέρουν από τα παραδοσιακά κρυσταλλικού πυριτίου επειδή εναποθέτουν ένα ή μερικά λεπτά στρώματα φωτοβολταϊκού υλικού σε ένα υπόστρωμα. Αυτά τα κύτταρα όχι μόνο απαιτούν λιγότερο υλικό, αλλά παρέχουν επίσης καλύτερη ευελιξία εφαρμογής. Οι τεχνολογίες λεπτού υμενίου περιλαμβάνουν άμορφο πυρίτιο, τελλουριούχο κάδμιο (CdTe) και σεληνιούχο άλλιο ιδίου χαλκού (CIGS), καθένα από τα οποία έχει μοναδικές ιδιότητες και αποτελεσματικότητα (Kazmerski, 1997).

Στις αρχές του εικοστού πρώτου αιώνα, σημειώθηκε σημαντική αύξηση της απόδοσης και μείωση του κόστους των φωτοβολταϊκών συστημάτων. Ως εκ τούτου, τα πολυκρυσταλλικά ηλιακά κύτταρα πυριτίου άρχισαν να κυριαρχούν και να επικρατούν στην αγορά ενέργειας λόγω της σχέσης κόστους-αποδοτικότητάς τους. Σύμφωνα με τον Διεθνή Οργανισμό Ενέργειας (IEA, 2019), το κόστος των ηλιακών φωτοβολταϊκών πλαισίων μειώθηκε κατά σχεδόν 99% μεταξύ 1976 και 2019, καθιστώντας έτσι την ηλιακή ενέργεια πιο ανταγωνιστική με τις παραδοσιακές πηγές.

Οι καινοτομίες στις διαμορφώσεις συστημάτων και τις εφαρμογές συνόδευσαν αυτές τις εξελίξεις. Τα φωτοβολταϊκά συστήματα ομαδοποιούνται σε τρεις κύριους τύπους με βάση τις εφαρμογές και τη συνδεσιμότητά τους: αυτόνομα συστήματα, διασυνδεδεμένα συστήματα και υβριδικά συστήματα. Αυτόνομα ή εκτός δικτύου είναι εκείνα που λειτουργούν ανεξάρτητα παρέχοντας ενέργεια σε απομακρυσμένες περιοχές, όπου το δίκτυο δεν είναι προσβάσιμο. Τα συνδεδεμένα με το δίκτυο συστήματα είναι τα πλέον συνηθισμένα στο αστικό περιβάλλον, όπου μπορούν να παρέχουν πλεονάζουσα ηλεκτρική ενέργεια πίσω στο δίκτυο, ενώ τα υβριδικά συστήματα που συνδυάζουν φωτοβολταϊκά με άλλες μορφές παραγωγής ενέργειας, όπως ανεμογεννήτριες ή γεννήτριες ντίζελ, διαθέτουν συνήθως μπαταρίες ως μονάδες αποθήκευσης ενέργειας (EPIA, 2018).

Μάλιστα, η πρόοδος στη φωτοβολταϊκή τεχνολογία οδήγησε επίσης στην ανάπτυξη ολοκληρωμένων φωτοβολταϊκών κτιρίων (BIPV). Οι ηλιακές κυψέλες ή μονάδες

ενσωματώνονται σε δομικά υλικά όπως βότσαλα στέγης, παράθυρα ή προσόψεις σε σύστημα BIPV, εξυπηρετώντας λειτουργικά τόσο την παραγωγή ενέργειας όσο και τα δομικά υλικά. Αυτή η ενσωμάτωση σηματοδοτεί ένα σημαντικό βήμα προς την κατεύθυνση της διείσδυσης της ηλιακής ενέργειας σε αστικά περιβάλλοντα (Kalogirou, 2013).

Τα τελευταία χρόνια, η τεχνολογική καινοτομία στα φωτοβολταϊκά έχει ως στόχο την αύξηση της απόδοσης με παράλληλη μείωση του κόστους. Αυτό περιλαμβάνει ηλιακές κυψέλες πολλαπλών συνδέσμων που χρησιμοποιούν διάφορα στρώματα διαφορετικών υλικών ημιαγωγών, έτσι ώστε να συλλάβουν ένα ευρύτερο φάσμα του ηλιακού φάσματος, οδηγώντας έτσι στην επίτευξη υψηλότερων αποδόσεων. Από την άλλη, οι ηλιακές κυψέλες περοβσκίτη, που είναι μια άλλη αναδυόμενη τεχνολογία, υπόσχονται υψηλή απόδοση με χαμηλό κόστος παραγωγής, αν και τα ζητήματα που σχετίζονται με τη σταθερότητα και την επεκτασιμότητα εξακολουθούν να χρειάζονται προσοχή από τους μετόχους (Green et al., 2016).

Συνοψίζοντας, η ανάπτυξη των φωτοβολταϊκών συστημάτων χαρακτηρίζεται από συνεχή καινοτομία και διαφοροποίηση όλα αυτά τα χρόνια. Από τις πρώιμες κυψέλες κρυσταλλικού πυριτίου μέσω λεπτού υμενίου έως προηγμένες κυψέλες πολλαπλών συνδέσμων, η φωτοβολταϊκή τεχνολογία εξελίσσεται προς ένα πιο αναπόσπαστο μέρος της παγκόσμιας ενεργειακής μήτρας. Αυτές οι εξελίξεις βελτιώνουν την αποδοτικότητα και την εφαρμοσιμότητα της ηλιακής ενέργειας, καθώς και συμβάλλουν σημαντικά στις παγκόσμιες προσπάθειες για βιώσιμη και ανανεώσιμη ενέργεια.

Πίνακας 2. Φωτοβολταϊκά Συστήματα

Περίοδος	Καινοτομία	Περιγραφή
Μέσα 20ου αιώνα	Πρακτικό ηλιακό κύτταρο πυριτίου	Δημιουργήθηκε στα εργαστήρια Bell το 1954 με απόδοση περίπου 6%, θέτοντας τις βάσεις για μελλοντικές εξελίξεις στα φωτοβολταϊκά συστήματα.
Τέλη δεκαετίας 1970	Εμπορικές κυψέλες πάνω από 10%	Οι βελτιώσεις οδήγησαν σε κύτταρα με αποτελεσματικότητα άνω του 10% για εμπορικές

Περίοδος	Καινοτομία	Περιγραφή
	απόδοση	εφαρμογές, ωθούμενα από επενδύσεις από διαστημικά προγράμματα.
Δεκαετία 1980	Εισαγωγή ηλιακών κυψελών λεπτού υμενίου	Ανάπτυξη ηλιακών κυψελών λεπτού υμενίου, συμπεριλαμβανομένου του άμορφου πυριτίου, του CdTe και του CIGS, προσφέροντας λιγότερη χρήση υλικών και καλύτερη ευελιξία εφαρμογής.
1976 – 2019	Μείωση του κόστους και αύξηση της αποδοτικότητας	Το κόστος των ηλιακών φωτοβολταϊκών συλλεκτών μειώθηκε κατά σχεδόν 99%, σύμφωνα με τον IEA, καθιστώντας την ηλιακή ενέργεια πιο ανταγωνιστική. Τα πολυκρυσταλλικά κύτταρα πυριτίου έγιναν διαδεδομένα λόγω της σχέσης κόστους-αποτελεσματικότητας.
Τύποι Φωτοβολταϊκών Συστημάτων	Αυτόνομα, Διασυνδεδεμένα και Υβριδικά Συστήματα	Ταξινόμηση με βάση τις εφαρμογές και τη συνδεσιμότητα, που κυμαίνονται από αυτόνομα συστήματα εκτός δικτύου έως διασυνδεδεμένα και υβριδικά συστήματα που συνδυάζουν φωτοβολταϊκά με άλλες μορφές παραγωγής ενέργειας.
Αρχές 21ου αιώνα	Κτιριακά Ολοκληρωμένα Φωτοβολταϊκά (BIPVs)	Ενσωμάτωση ηλιακών κυψελών ή πλαισίων σε δομικά υλικά, σηματοδοτώντας ένα σημαντικό βήμα προς τη διείσδυση της ηλιακής ενέργειας σε αστικά περιβάλλοντα.
Τα τελευταία χρόνια	Ηλιακές κυψέλες πολλαπλών συνδέσεων και περοβσκίτη	Τεχνολογική καινοτομία με στόχο την αύξηση της αποτελεσματικότητας και τη μείωση του κόστους. Οι κυψέλες πολλαπλών συνδέσεων δεσμεύουν ένα ευρύτερο φάσμα για υψηλότερες αποδόσεις, ενώ οι κυψέλες περοβσκίτη προσφέρουν υψηλή απόδοση και χαμηλότερο κόστος παραγωγής.

3.2 Ηλιακή θερμική ενέργεια

Η ηλιακή θερμική ενέργεια, ένα από τα κύρια συστατικά του ηλιακού τοπίου γενικά, συλλαμβάνει μόνο θερμότητα από τον ήλιο και όχι από το φως του. Περιλαμβάνει διαφορετικές τεχνολογίες που προορίζονται για τη συλλογή, συσσώρευση και εφαρμογή ηλιακής ακτινοβολίας για θέρμανση και παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Για το θέμα αυτό, η κατανόηση των αρχών, των εξελίξεων και των εφαρμογών της ηλιακής θερμικής τεχνολογίας είναι ζωτικής σημασίας στην παγκόσμια αναζήτηση βιώσιμης ανανεώσιμης ενέργειας.

Στον πυρήνα της, η ηλιακή θερμική τεχνολογία περιλαμβάνει τη μετατροπή του ηλιακού φωτός σε θερμική ενέργεια (θερμότητα), η οποία μπορεί στη συνέχεια να χρησιμοποιηθεί για διάφορες εφαρμογές, συμπεριλαμβανομένης της θέρμανσης νερού στα σπίτια ή της παραγωγής ενέργειας στις βιομηχανίες. Η ηλιακή θερμική ενέργεια λειτουργεί βασικά με βάση την αρχή της σύλληψης της ηλιακής ακτινοβολίας και της μετατροπής της σε θερμότητα πριν από τη μεταφορά της σε ένα υγρό φορέα, συνήθως αέρα ή νερό. Αυτή η βασική ιδέα χρησιμοποιείται σε διάφορα επίπεδα πολυπλοκότητας, εφαρμογής και κλίμακας χρησιμοποιώντας διαφορετικούς τύπους ηλιακών θερμικών τεχνολογιών.

Ο απλούστερος καθώς και ευρέως χρησιμοποιούμενος τύπος μεταξύ όλων ονομάζεται ηλιακός θερμοσίφωνας. Όπως επισημαίνει ο Kalogirou (2013), τα συστήματα αυτά περιέχουν γενικά ηλιακούς συλλέκτες που περιέχουν ηλιακή ακτινοβολία και δεξαμενή αποθήκευσης ζεστού νερού. Τα ενεργά συστήματα χρησιμοποιούν αντλίες για την κυκλοφορία του νερού, ενώ τα παθητικά συστήματα βασίζονται στη φυσική μεταφορά. Αυτό έχει βελτιώσει σημαντικά την αξιοποίηση της ενέργειας που προέρχεται από το ηλιακό φως από σχεδόν όλα τα νοικοκυριά μέσω της υιοθέτησης οικιακών ηλιακών θερμοσιφώνων.

Η ηλιοθερμική τεχνολογία επεκτείνεται επίσης σε συστήματα θέρμανσης/ψύξης χώρων εκτός της θέρμανσης ζεστού νερού οικιακής χρήσης. Ο αέρας στο σπίτι θερμαίνεται χρησιμοποιώντας ηλιακούς θερμοσίφωνες με τους οποίους περνά μέσα από τους συλλέκτες των οποίων η θερμοκρασία έχει αυξηθεί από τις ακτίνες του ήλιου. Εναλλακτικά, ψύκτες απορρόφησης ή προσρόφησης που τροφοδοτούνται από συμπυκνωμένο ηλιακό φως μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως πηγή φιλικής προς το περιβάλλον ψύξης (IEA 2019).

Μία από τις πιο προηγμένες εφαρμογές της ηλιακής θερμικής τεχνολογίας αφορά τις μονάδες συγκεντρωμένης ηλιακής ενέργειας (CSP). Οι μονάδες συγκεντρωμένης ηλιακής ενέργειας (CSP) το επιτυγχάνουν αυτό με την αντανάκλαση καθρεφτών ή φακών σε ένα μικρό τμήμα με μια μεγάλη περιοχή που καλύπτεται όταν ο ήλιος λάμπει πάνω του. Το εστιασμένο φως χρησιμεύει στη συνέχεια ως πηγή θερμότητας για μια συμβατική μονάδα παραγωγής ενέργειας. Υπάρχουν τέσσερις κύριοι τύποι τεχνολογιών CSP: παραβολικές γούρνες, γραμμικοί ανακλαστήρες Fresnel, συστήματα πιάτων Stirling και συστήματα κεντρικού δέκτη (πύργος). Οι Lovegrove και Stein (2020) έχουν καταγράψει μοναδικά χαρακτηριστικά καθεμιάς από αυτές τις τεχνολογίες, επιτρέποντας έτσι τη χρήση τους σε διάφορες κλίμακες και εφαρμογές.

Η πιο ώριμη τεχνολογία CSP είναι τα παραβολικά συστήματα γούρνας που χρησιμοποιούν καμπύλα κάτοπτρα προκειμένου να εστιάσουν το φως του ήλιου σε ένα σωλήνα που μεταφέρει υγρό μεταφοράς θερμότητας. Το θερμαινόμενο υγρό χρησιμοποιείται στη συνέχεια για την παραγωγή ατμού που κινεί μια τουρμπίνα που παράγει ηλεκτρική ενέργεια. Οι γραμμικοί ανακλαστήρες Fresnel λειτουργούν με την ίδια αρχή, αλλά αποτελούνται από επίπεδα ή ελαφρώς καμπύλα κάτοπτρα. Σε αντίθεση με αυτό, τα συστήματα Dish Stirling αποτελούνται από καθρέφτη σε σχήμα πιάτου που συγκεντρώνει το φως του ήλιου σε έναν δέκτη τοποθετημένο στο εστιακό σημείο όπου μετατρέπεται σε μηχανική ενέργεια από έναν κινητήρα stirling και στη συνέχεια ηλεκτρική ενέργεια. Ενώ, τα συστήματα κεντρικού δέκτη είναι επίσης γνωστά ως ηλιακοί πύργοι, χρησιμοποιούν ένα πεδίο κατόπτρων εστιασμένων για να συγκεντρώσουν το ηλιακό φως στην κορυφή ενός πύργου όπου παράγει θερμότητα που χρησιμοποιείται στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Η τεχνολογία CSP έχει γνωρίσει σημαντικές εξελίξεις, ιδίως όσον αφορά τη θερμική αποθήκευση. Όχι μόνο η αποθήκευση θερμικής ενέργειας με τηγμένα άλατα επιτρέπει στις μονάδες CSP να χρησιμοποιούν υπερβολική θερμότητα ακόμη και όταν δεν υπάρχει ηλιοφάνεια, αλλά ενισχύει επίσης την αξιοπιστία τους, καθιστώντας τις πιο κατάλληλες για την αποτελεσματικότερη κάλυψη των προτύπων ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτό το χαρακτηριστικό ξεχωρίζει την CSP από άλλες πηγές ανανεώσιμης ενέργειας, αντιμετωπίζοντας έτσι το διαλείπον πρόβλημα που είναι τυπικό για αυτόν τον τύπο παραγωγής ενέργειας (Zhang et al., 2013).

Επιπλέον, η ολοκλήρωση βιομηχανικών διεργασιών αναδύεται ως ένας άλλος τομέας όπου εφαρμόζονται ηλιακά θερμικά συστήματα. Αυτά τα συστήματα μπορούν να παρέχουν θερμότητα διεργασίας για διαφορετικές βιομηχανίες, ελαχιστοποιώντας έτσι την εξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα, προωθώντας παράλληλα τη βιομηχανική ενεργειακή απόδοση καθώς και τους στόχους βιωσιμότητας (IRENA, 2020).

Συμπερασματικά, η ηλιοθερμική τεχνολογία που περιλαμβάνει διάφορες εφαρμογές, όπως η οικιακή θέρμανση νερού ή η μεγάλης κλίμακας παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, αποτελεί ουσιαστικό μέρος της χρήσης της ηλιακής ενέργειας. Άλλωστε, η εξέλιξη αυτής της τεχνολογίας, που χαρακτηρίζεται από καινοτομίες στο σχεδιασμό, την αποδοτικότητα και την αποθήκευση συστημάτων, υπογραμμίζει τις δυνατότητές της να συμβάλει στην παγκόσμια μετάβαση προς βιώσιμες και ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

Πίνακας 3. Ηλιακή Ενέργεια

Άποψη	Περιγραφή
Βασική αρχή	Μετατροπή του ηλιακού φωτός σε θερμική ενέργεια (θερμότητα) για διάφορες εφαρμογές, χρησιμοποιώντας την αρχή της σύλληψης της ηλιακής ακτινοβολίας και της μετατροπής της σε θερμότητα πριν τη μεταφορά της σε υγρό φορέα (αέρα ή νερό).
Ηλιακοί Θερμοσίφωνες	Απλά και ευρέως χρησιμοποιούμενα συστήματα θέρμανσης νερού σε σπίτια. Μπορούν να είναι ενεργητικά (χρησιμοποιώντας αντλίες για την κυκλοφορία του νερού) ή παθητικά (βασισμένα στη φυσική μεταφορά).
Συστήματα Θέρμανσης/Ψύξης Χώρων	Αξιοποίηση ηλιοθερμικής τεχνολογίας για θέρμανση αέρα σε κατοικίες ή χρήση ψυκτών απορρόφησης/προσρόφησης για ψύξη φιλική προς το περιβάλλον.
Συγκεντρωμένοι σταθμοί ηλιακής ενέργειας (CSP)	Προηγμένη εφαρμογή που περιλαμβάνει καθρέφτες ή φακούς για την εστίαση του ηλιακού φωτός σε μια μικρή περιοχή για την παραγωγή θερμότητας για μια συμβατική μονάδα παραγωγής ενέργειας. Περιλαμβάνει τέσσερις κύριους τύπους: παραβολικές

Αποψη	Περιγραφή
	γούρνες, γραμμικούς ανακλαστήρες Fresnel, συστήματα πιάτων Stirling και συστήματα κεντρικού δέκτη (πύργου), το καθένα με μοναδικά χαρακτηριστικά για διάφορες κλίμακες και εφαρμογές.
Παραβολικά Συστήματα Γούρνας	Ωριμη τεχνολογία CSP που χρησιμοποιεί καμπύλους καθρέφτες για να εστιάζει το φως του ήλιου σε ένα σωλήνα που μεταφέρει υγρό μεταφοράς θερμότητας, το οποίο στη συνέχεια χρησιμοποιείται για την παραγωγή ατμού για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.
Γραμμικοί ανακλαστήρες Fresnel	Χρησιμοποιήστε επίπεδους ή ελαφρώς καμπύλους καθρέφτες για να εστιάζετε το φως του ήλιου σε ένα σωλήνα, παρόμοιο με τις παραβολικές γούρνες, αλλά δυνητικά λιγότερο δαπανηρό λόγω του απλούστερου σχεδιασμού.
Συστήματα πιάτων Stirling	Αποτελείται από έναν καθρέφτη σε σχήμα πιάτου που συγκεντρώνει το φως του ήλιου σε έναν δέκτη στο εστιακό σημείο, όπου μετατρέπεται σε μηχανική ενέργεια από έναν κινητήρα Stirling και στη συνέχεια σε ηλεκτρική ενέργεια.
Συστήματα Κεντρικών Δεκτών (Ηλιακοί Πύργοι)	Χρησιμοποιήστε ένα πεδίο καθρεφτών για να συγκεντρώσετε το φως του ήλιου στην κορυφή ενός πύργου, παράγοντας θερμότητα για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Γνωστή για την υψηλή απόδοση και τις δυνατότητες παραγωγής ενέργειας μεγάλης κλίμακας.
Πρόοδος θερμικής αποθήκευσης	Σημαντικές βελτιώσεις στην τεχνολογία CSP, ιδιαίτερα στη θερμική αποθήκευση τηγμένου αλατιού, επιτρέποντας στους CSP να παρέχουν ενέργεια ακόμη και όταν ο ήλιος δεν λάμπει, ενισχύοντας την αξιοπιστία και αντιστοιχίζοντας αποτελεσματικότερα τα πρότυπα ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας.

Αποψη	Περιγραφή
Ενσωμάτωση θερμότητας βιομηχανικών διεργασιών	Αναδυόμενη εφαρμογή ηλιακών θερμικών συστημάτων που παρέχουν θερμότητα διεργασίας στις βιομηχανίες, μειώνοντας την εξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα και προωθώντας τη βιωσιμότητα.

Κεφάλαιο 4ο. Οικονομικές θεωρίες σχετικά με τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας

4.1 Θεωρίες Οικονομικής Μεγέθυνσης και Βιώσιμης Ανάπτυξης

Στην περίπτωση της Ελλάδας, στο πλαίσιο των οικονομικών θεωριών που αναπτύχθηκαν σχετικά με τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, μπορούμε να προσπαθήσουμε να διερευνήσουμε πώς οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας επηρεάζουν τις θεωρίες της οικονομικής μεγέθυνσης και της αιεφόρου ανάπτυξης. Η προσπάθεια βασίζεται στα αποτελέσματα που έχουν καταγραφεί με αναφορά σε μια σειρά σημαντικών μελετών που ανέπτυξαν Έλληνες συγγραφείς.

Η σύνδεση μεταξύ της κατανάλωσης ανανεώσιμης και μη ανανεώσιμης ενέργειας με την οικονομική ανάπτυξη στην Ελλάδα εμφανίζει αρκετά μεγάλη θετική επίδραση και από τους δύο τύπους ενέργειας κατά την περίοδο αύξησης του ρυθμού οικονομικής ανάπτυξης. Αυτό υπογραμμίστηκε στη μελέτη του κ. Pegka (2020), ο οποίος επεσήμανε την αναγκαιότητα ενός στρατηγικού σχεδίου που θα αναπτύξει την κατανάλωση ανανεώσιμης ενέργειας προωθώντας τόσο τη βιώσιμη όσο και τη μακροπρόθεσμη ανάπτυξη. Η μελέτη δίνει έμφαση στη σημαντική θέση της ενεργειακής πολιτικής, κινούμενη προς καθαρότερα ενεργειακά καύσιμα από τα παραδοσιακά και προώθηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (Pegkas, 2020).

Ο Petrakis (2020) αναλύει την πολιτική οικονομία της ανάπτυξης και της μεγέθυνσης ρίχνοντας φως στην ελληνική οικονομία. Καλύτερη κατανόηση της ανάπτυξης και της μεγέθυνσης, εστιάζοντας στη βιώσιμη ανάπτυξη και τη βιώσιμη διακυβέρνηση προς την ανάπτυξη χωρίς αποκλεισμούς. Η προσέγγιση αντιπροσωπεύει την ανάγκη για βιώσιμη και φιλική προς το περιβάλλον διαχείριση της οικονομικής ανάπτυξης, όπως η Ελλάδα είναι σε θέση να αναλάβει (Petrakis, 2020).

Οι Polemis & Dagoumas (2013) πραγματοποίησαν μελέτη σχετικά με τη σχέση μεταξύ κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας και οικονομικής ανάπτυξης στην Ελλάδα, υποστηρίζοντας ότι για την αποτελεσματική διασφάλιση του ελληνικού ενεργειακού συστήματος παράλληλα με την επαρκή ασφάλεια εφοδιασμού, οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας θα πρέπει να διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο. Τα ευρήματά τους υποστηρίζουν την πεποίθηση ότι οι σωστά στοχευμένες πολιτικές για την εξοικονόμηση ενέργειας μπορούν να ενισχύσουν την οικονομική ανάπτυξη και χρήσιμα αποτελέσματα θα προκύψουν από την υποκατάσταση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στα απόβλητα (Polemis & Dagoumas, 2013).

Μια άλλη έρευνα των Schrader, Benček και Laaser (2016) αναφέρει την ανάγκη ανάπτυξης ενός νέου επιχειρηματικού μοντέλου στην Ελλάδα που θα πρέπει να δείξει πώς η αναδιάρθρωση και η διαχείριση της εθνικής οικονομίας μπορεί να γίνει με τις λιγότερες απώλειες από την άποψη της βιωσιμότητας του βάρους του ελληνικού χρέους. Οι ερευνητές υποστηρίζουν ότι στο πλαίσιο της βιώσιμης ανάπτυξης της ελληνικής οικονομίας, θα πρέπει να διεξαχθεί μια μεταρρυθμιστική διαδικασία που θα επιταχύνει την οικονομική ανασυγκρότηση και θα προωθήσει τις ιδιωτικές επενδύσεις. Αυτό περιλαμβάνει επίσης τη διαβούλευση σχετικά με τις εν λόγω επενδύσεις σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας στο πλαίσιο της στρατηγικής τους για την οικονομική ανάκαμψη και την ανάπτυξη (Schrader, Benček, & Laaser, 2016).

Από τις παραπάνω μετρήσεις, θα μπορούσε να συναχθεί το συμπέρασμα ότι οι παραπάνω μελέτες αναδεικνύουν συλλογικά τις απαραίτητες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας για τη διευκόλυνση της οικονομικής και βιώσιμης ανάπτυξης των Ελλήνων. Τονίζουν ότι υπάρχει μεγάλη ανάγκη για στρατηγικό σχεδιασμό, μεταρρυθμίσεις πολιτικής, επενδύσεις σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας για τη διατήρηση μακροπρόθεσμης οικονομικής σταθερότητας σε όλο τον κόσμο μαζί με την ανάπτυξη, αλλά και επίλυση περιβαλλοντικών ζητημάτων. Η μεθοδολογία που ενσωματώνεται εδώ αποκτά σημασία για να ευθυγραμμιστεί η οικονομική ανάπτυξη της Ελλάδας με τους στόχους βιωσιμότητας, καθώς και να ληφθεί υπόψη η ισορροπημένη πορεία ανάπτυξης, αλλά λαμβάνοντας υπόψη την θεωρούμενη περιβαλλοντική μαζί με την οικονομική.

4.2 Επιπτώσεις των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στα οικονομικά μοντέλα

Η επίδραση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στα οικονομικά μοντέλα, ειδικά στην Ελλάδα, είναι ένα από τα όλο και πιο σημαντικά θέματα που αφορούν όλους τους ανθρώπους αλλά ταυτόχρονα ιδιαίτερα τους Έλληνες, καθώς οι βιώσιμες πηγές ενέργειας γίνονται πλέον δημοφιλείς σε όλο τον κόσμο. Στην παρούσα υποενότητα, επιλέγεται να παρουσιαστεί η επίδραση των επενδύσεων σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας στα ελληνικά οικονομικά μοντέλα χρησιμοποιώντας ερευνητικά ευρήματα από διαφορετικές μελέτες που υλοποιήθηκαν και εκπονήθηκαν από Έλληνες συγγραφείς.

Οι Loizou et al. (2015) χρησιμοποίησαν αντίστοιχα ένα μοντέλο γενικής ισορροπίας για να αναλύσουν τη δυναμική στον ενεργειακό τομέα και τη σύνδεσή τους με άλλους τομείς της οικονομίας και της απασχόλησης. Από την έρευνά τους, ήρθε στο φως πόσο σημαντικά συμβάλλει ο τομέας της ενέργειας στην εθνική οικονομία με την τόνωση της εθνικής παραγωγής και της απασχόλησης. Τα αποτελέσματα της μελέτης έδειξαν ότι οι τομείς των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, αν και δεν ήταν κορυφαίοι, φαίνεται να έχουν ισχυρή σύνδεση με άλλους τομείς των οικονομιών, γεγονός που υποδηλώνει την ικανότητά τους να επεκτείνουν τη συνολική παραγωγή της χώρας, την απασχόληση και το εισόδημα των νοικοκυριών (Loizou et al., 2015).

Οι Markaki et al. (2013) χρησιμοποίησαν μια ανάλυση εισροών-εκροών, προκειμένου να εκτιμήσουν τις μακροοικονομικές επιπτώσεις που θα μπορούσαν να έχουν οι επενδύσεις στην πράσινη ενέργεια στην Ελλάδα. Η μελέτη εκτιμά ότι κατά την περίοδο 2010-2020 θα πρέπει να προσελκυστούν επενδύσεις σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας ύψους περίπου 47,9 δισ. ευρώ, γεγονός που θα προκαλέσει αύξηση του εθνικού προϊόντος με μέσο ετήσιο ρυθμό αύξησης κατά 9,4 δισ. ευρώ και τη δημιουργία 108 χιλιάδων ισοδύναμων θέσεων εργασίας πλήρους απασχόλησης κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου. Η παρούσα έρευνα καταδεικνύει τον σημαντικό ρόλο που διαδραματίζουν οι παρεμβάσεις με τη μορφή επενδύσεων σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας όσον αφορά την ενίσχυση της οικονομικής ανάπτυξης και της απασχόλησης των ανθρώπων στην Ελλάδα.

Οι Stamopoulos et al. (2021) προέβλεψαν τις οικονομικές επιπτώσεις των επενδύσεων στην Ελλάδα, που δίνονται σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, λαμβάνοντας υπόψη το χρονοδιάγραμμα σταδιακής κατάργησής των μη

ανανεώσιμων πηγών ενέργειας έως το 2028. Στη συνέχεια με συστηματική εξέταση αυτής της επίδρασης με μεθοδολογία βασισμένη στην ανάλυση εισροών-εκροών διαπιστώθηκε ότι παρά τα μεγάλα οφέλη της παραγωγής λινών από τον λιγνίτη στην ελληνική οικονομία, οι επενδύσεις στον τομέα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας δίνουν πολλές ευκαιρίες για θέσεις εργασίας αλλά και δημιουργία αξίας. Από την άλλη, αυτή η μελέτη διατριβής δίνει έμφαση στις διαρθρωτικές επιπτώσεις των επενδύσεων σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας σε διάφορους κοινωνικοοικονομικούς δείκτες όπως το ΑΕΠ, η απασχόληση, οι μισθοί και το εισόδημα των κυβερνήσεων (Stamopoulos et al., 2021).

Οι Mourelatos et al. (1998) εξετάζουν τον στρατηγικό σχεδιασμό στον ελληνικό ενεργειακό τομέα με έμφαση στην ενσωμάτωση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας υπό την επίδραση πολιτικών που στοχεύουν στη μείωση του CO₂. Τα αποτελέσματα της μελέτης ήταν ενδεικτικά ότι μια μεγάλη ενσωμάτωση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο ενεργειακό σύστημα θα επέτρεπε σημαντική μείωση των εκπομπών CO₂. Η μελέτη παρείχε ουσιαστική γνώση σχετικά με το πραγματικό κόστος για την οικονομία πολλών διαφορετικών μορφών εναλλακτικής χρήσης ενέργειας υπό διάφορους περιβαλλοντικούς περιορισμούς (Mourelatos et al., 1998).

Συλλήβδην, οι μελέτες αυτές αποτύπωσαν ότι οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας έχουν σημαντικές επιπτώσεις στην ελληνική οικονομία. Με άλλα λόγια, οι επενδύσεις σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας συμβάλλουν όχι μόνο στην οικονομική ανάπτυξη και τη δημιουργία θέσεων εργασίας, αλλά είναι επίσης απαραίτητες για τη μετάβαση σε ένα νέο και βιώσιμο ενεργειακό σύστημα. Ως εκ τούτου, η ενσωμάτωση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο ελληνικό οικονομικό μοντέλο αποτελεί αναγκαιότητα για τη μακροπρόθεσμη οικονομική βιωσιμότητα και ανάπτυξη παράλληλα με την ενσωμάτωση περιβαλλοντικών πτυχών. Κατά συνέπεια, ο στρατηγικός σχεδιασμός μαζί με την εφαρμογή πολιτικών για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι πολύ σημαντικός για την ευθυγράμμιση των προσπαθειών της Ελλάδας στην οικονομική ανάπτυξη με την επίτευξη των στόχων βιωσιμότητας που διασφαλίζουν μια ισορροπημένη πορεία ανάπτυξης, λαμβάνοντας υπόψη πτυχές τόσο από την οικονομική όσο και από την περιβαλλοντική πλευρά.

4.3 Έννοια της πράσινης οικονομίας

Η έννοια της πράσινης οικονομίας είναι ένα από τα πιο βασικά συστατικά της σύγχρονης οικονομικής συζήτησης τόσο εν μέσω παγκόσμιων περιβαλλοντικών προκλήσεων όσο και επικεντρωμένη στις έννοιες της βιώσιμης ανάπτυξης.

Η Bakratsa (2020) συζήτησε τις αρχές της βιο-οικονομίας, της πράσινης ανάπτυξης και της γαλάζιας οικονομίας, με ιδιαίτερη έμφαση στη συνάφειά τους με την ελληνική οικονομία. Η μελέτη διερεύνησε τον τρόπο με τον οποίο αυτές οι έννοιες συνδέονται μεταξύ τους και τις επιπτώσεις τους στον στρατηγικό σχεδιασμό σε εθνικό επίπεδο στην Ελλάδα. Οι δυνατότητες των κλάδων αυτών να βελτιώσουν τις επενδύσεις και το κατά κεφαλήν εισόδημα στην Ελλάδα επισημάνθηκαν από τη μελέτη, με μεγάλη σημασία που δίνεται στα πλαίσια στήριξης που παρέχει η Ευρωπαϊκή Ένωση ως μέσο προώθησης αυτών των οικονομικών μετατροπών.

Η παρούσα εργασία σχετίζεται με την ποιοτική μελέτη του Siamanta (2017) για την ελληνική εμπειρία μετά την κρίση με φωτοβολταϊκά έργα στο πλαίσιο της πράσινης οικονομίας. Ο σκοπός αυτής της έρευνας ήταν να διερευνήσει πώς χτίστηκαν οι πράσινες οικονομίες και ποιες είναι οι πιθανές έννοιες της «πράσινης αραπαγής», όπου οι νεοφιλελεύθερες περιβαλλοντικές ιδέες καθορίζουν τις δραστηριότητες που αναλαμβάνουν οι επιχειρηματίες που εργάζονται στο πλαίσιο των διαδικασιών της πράσινης οικονομίας. Η έρευνα παρείχε πληροφορίες σχετικά με τον τρόπο με τον οποίο οι οικονομικοί πόροι τόσο στον δημόσιο όσο και στον ιδιωτικό τομέα κατανέμονται σε έργα πράσινης ενέργειας και αντιμετωπίζουν ζητήματα τόσο των μεγάλων εταιρειών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας όσο και των μικρών επενδυτών (Siamanta, 2017, σελ. 11).

Στη συνέχεια, οι Markaki et al. (2013) χρησιμοποίησαν την ανάλυση εισροών-εκροών προκειμένου να εξετάσουν τις επιπτώσεις των επενδύσεων καθαρής ενέργειας στην ελληνική οικονομία. Η μελέτη έδωσε έμφαση στις μακροοικονομικές επιπτώσεις των πράσινων επενδύσεων, εστιάζοντας στον ενισχυτικό τους ρόλο για την εθνική παραγωγή καθώς και για τα ποσοστά απασχόλησης. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι απαιτούμενες πράσινες επενδύσεις θα βελτιώσουν σημαντικά την ελληνική οικονομία, αποκαλύπτοντας τη βιωσιμότητα των πράσινων οικονομικών στρατηγικών για την υλοποίηση της πράσινης ανάπτυξης (Markaki et al., 2013).

Περαιτέρω, η έρευνα των Abeliotis et al. (2010) επηρέασε το πράσινο καταναλωτικό προφίλ στην Ελλάδα με την ανάλυσή τους για τη βιώσιμη κατανάλωση ως αναπόσπαστο μέρος της βιώσιμης ανάπτυξης. Μέσω της μελέτης, διαπιστώθηκε περαιτέρω ότι τα κοινωνικοδημογραφικά χαρακτηριστικά καθορίζουν σημαντικά την εμπλοκή σε φιλικές προς το περιβάλλον δραστηριότητες, και ως εκ τούτου, τη συμπεριφορά του κοινού σε σχέση με τη μετάβαση στην πράσινη οικονομία (Abeliotis et al., 2010).

Συμπερασματικά, οι μελέτες αυτές συμβάλλουν στη διαλεύκανση των διαφόρων διαστάσεων της έννοιας της πράσινης οικονομίας, συμπεριλαμβανομένης της βιοοικονομίας, της πράσινης ανάπτυξης και της βιώσιμης ανάπτυξης. Υπογραμμίζει τον προγραμματισμό. πώς γίνεται αντιληπτή από το κοινό, εκτός από τις επενδύσεις σε πράσινες τεχνολογίες στη διαδικασία διαμόρφωσης της πράσινης οικονομίας ειδικά στην ελληνική περίπτωση. Η μετάβαση σε μια πράσινη οικονομία στην Ελλάδα αποτελεί παράδειγμα της συνολικής παγκόσμιας στροφής προς βιώσιμες οικονομικές πρακτικές και υπογραμμίζει το γεγονός ότι υπάρχει ανάγκη για μια ολοκληρωμένη προσέγγιση όπου ο οικονομικός δυναμισμός αντισταθμίζεται με την περιβαλλοντική βιωσιμότητα.

Κεφάλαιο 5^ο. Οικονομικές επιπτώσεις της ανάπτυξης της ηλιακής ενέργειας σε ολόκληρο τον κόσμο

5.1 Περιπτώσιολογικές μελέτες διαφορετικών χωρών

Μέσω περιπτώσιολογικών μελετών, διερευνώνται οι διαφοροποιημένοι τρόποι με τους οποίους η ηλιακή ενέργεια ωφελεί την οικονομική ανάπτυξη σε όλο τον κόσμο, από οικονομική, περιβαλλοντική και γεωγραφική άποψη.

Στη Ρουμανία, οι Moldovan et al. (2016) διερεύνησαν τη χρήση της ηλιακής ενέργειας σε κτίρια σχεδόν μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας. Η έρευνα κατέδειξε τον σχετικό ρόλο της ηλιακής ενέργειας για τον περιορισμό της κατανάλωσης ενέργειας και των σχετικών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου από το δομημένο περιβάλλον που προϋποθέτουν σημαντική ποσότητα χρήσης ενέργειας από τις ανεπτυγμένες χώρες. Αυτό με τη σειρά του όχι μόνο θα οδηγήσει στην περιβαλλοντική βιωσιμότητα, αλλά θα αποτελέσει κίνητρο για την οικονομική ανάπτυξη μέσω της μείωσης του επιπέδου του ενεργειακού κόστους σε διασυνοριακό

επίπεδο και ταυτόχρονα της προώθησης των πρακτικών πράσινης δόμησης (Moldovan et al., 2016)

Στη Νιγηρία, οι Akinyele και Rayudu (2016) διεξήγαγαν τεχνοοικονομική και περιβαλλοντική ανάλυση του ηλιακού φωτοβολταϊκού συστήματος μικροδικτύων. Η έρευνα εξέφρασε τις δυνατότητες της ηλιακής ενέργειας προς την παροχή αξιόπιστης και βιώσιμης ηλεκτρικής ενέργειας προς περιθωριοποιημένες κοινότητες, προωθώντας έτσι την οικονομική ανάπτυξη, βελτιώνοντας έτσι τη συνολική ποιότητα ζωής. Η ανάλυση έδειξε ότι η χρήση της ηλιακής ενέργειας είναι οικονομικά εφικτή όχι μόνο λόγω του γεγονότος ότι μειώνει σημαντικά τις εκπομπές άνθρακα κατά τεράστια ποσά σε σύγκριση με τα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας ντίζελ, αλλά και επαναπροσδιορίζει τα περιβαλλοντικά οφέλη από την υιοθέτηση της ηλιακής ενέργειας (Akinyele & Rayudu, 2016).

Στο Σουδάν, οι Elkadeem et al. (2019) εξέτασαν τις δυνατότητες ενός υβριδικού συστήματος ανανεώσιμων πηγών ενέργειας απομονωμένου από το γεωργικό δίκτυο άρδευσης στη Dongola. Η μελέτη έδειξε ότι η ηλιακή ενέργεια που διαβαθμίζεται στο μείγμα ενέργειας όχι μόνο μειώνει δραστικά το σταθμισμένο κόστος της ενέργειας, αλλά μειώνει επίσης την ποσότητα άνθρακα και καυσίμου που καταναλώνεται. Αυτή η στρατηγική εναρμονίζει την οικονομική και περιβαλλοντική βιωσιμότητα της εισαγωγής τεχνολογίας ηλιακής ενέργειας για την ενίσχυση της αύξησης της γεωργικής παραγωγικότητας στις αναπτυσσόμενες οικονομίες (Elkadeem et al., 2019).

Οι Sewchurran και Davidson (2021) πραγματοποίησαν μια τεχνική, οικονομική ανάλυση ηλιακών φωτοβολταϊκών συστημάτων κοινής ωφέλειας στον Δήμο eThekweni της Νότιας Αφρικής. Η οικονομική βιωσιμότητα των ηλιακών φωτοβολταϊκών συστημάτων για την κάλυψη των απαιτήσεων των οικιακών, επιχειρηματικών και καταναλωτών εξετάστηκε επίσης στο πλαίσιο της μεταβαλλόμενης ρυθμιστικής και τιμολογιακής δομής στη μελέτη. Από την άποψη αυτή, η έρευνα των Sewchurran και Davidson (2021) κατέληξε στις περιόδους απόσβεσης από τις επενδύσεις που πραγματοποιούνται σε ηλιακά φωτοβολταϊκά να είναι ιδιαίτερα ελκυστικές και μπορούν να επιτρέψουν σε μεγάλο αριθμό χωρών να επιτύχουν βιώσιμη οικονομική ανάπτυξη μειώνοντας την εξάρτηση από συμβατικές πηγές ηλεκτρικής ενέργειας.

Εν ολίγοις, οι περιπτώσιολογικές μελέτες καταδεικνύουν έντονα πόσο κρίσιμη είναι η ηλιακή ενέργεια για την επίτευξη οικονομικής ανάπτυξης. Δείχνουν πώς η ηλιακή ενέργεια όχι μόνο συμβάλλει στην περιβαλλοντική βιωσιμότητα μαζί, αλλά παρέχει επίσης τις πρακτικές και οικονομικά βιώσιμες λύσεις για τις διάφορες ενεργειακές ανάγκες σε διαφορετικές περιοχές. Η υιοθέτηση της ηλιακής ενέργειας, επομένως, αποτελεί βασική στρατηγική για τις χώρες που επιθυμούν να ενισχύσουν την οικονομική ανάπτυξη αφενός και να μετριάσουν τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις αφετέρου.

5.2 Συγκριτική ανάλυση μεταξύ ανεπτυγμένων και αναπτυσσόμενων χωρών

Η συγκριτική ανάλυση των επιπτώσεων της ηλιακής ενέργειας στην οικονομική ανάπτυξη των ανεπτυγμένων και αναπτυσσόμενων χωρών αποκαλύπτει ποικίλες τάσεις, προκλήσεις και ευκαιρίες. Οι διαφορές στις οικονομικές δομές, τα πλαίσια πολιτικής και τις τεχνολογικές εξελίξεις μεταξύ αυτής της ομάδας χωρών δίνουν πλούτο πλαισίου για να εκτιμηθεί ο ρόλος που διαδραματίζει η ηλιακή ενέργεια στην παγκόσμια οικονομική ανάπτυξη.

Οι Acaroğlu και Baykul (2020) διεξήγαγαν μια συγκριτική παγκόσμια ποσοτική ανάλυση των ηλιακών θερμικών τεχνολογικών συστημάτων στις χώρες G-7 και G-20, συμπεριλαμβανομένων των ανεπτυγμένων καθώς και των αναπτυσσόμενων εθνών. Ουσιαστικά, η μελέτη στόχευε σε επίπεδους ηλιακούς συλλέκτες (FPSC) σε μια προσπάθεια να αναδείξει τις διαφορές που επικρατούν μεταξύ των δομών της αγοράς και των κυβερνητικών πολιτικών σε αυτά τα έθνη. Οι αναπτυσσόμενες χώρες φαίνεται να συγκλίνουν προς τη γεφύρωση του χάσματος με τις ανεπτυγμένες στην ανάπτυξη της ηλιακής ενέργειας, τονίζοντας έτσι τη σημασία των στρατηγικών πολιτικών και των μηχανισμών της αγοράς για την προώθηση συστημάτων ηλιακής ενέργειας (Acaroğlu & Baykul, 2020).

Ο Elavarasan (2019) διεξήγαγε μια ολοκληρωμένη ανασκόπηση της ανανεώσιμης ενέργειας, αναφέροντας στενή αναφορά στις άλλες πηγές σε σύγκριση με την ηλιακή ενέργεια. Η ανασκόπηση τόνισε τον κρίσιμο ρόλο της ηλιακής ενέργειας στις μελλοντικές ανάγκες, ιδίως στις χώρες που εξακολουθούν να παραμένουν σε ενεργειακό έλλειμμα, κυρίως στις αναπτυσσόμενες χώρες. Είναι μέσω της συγκριτικής ανάλυσης που πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο της μελέτης που επεξεργάστηκε την απαίτηση υιοθέτησης καινοτόμων τεχνικών και πλαισίων για τον

μετριασμό των ενεργειακών κρίσεων και την πλήρη αξιοποίηση των άφθονων ηλιακών πόρων (Elavarasan, 2019).

Επιπλέον, οι Ren, Nie και Yan (2016) εφάρμοσαν τεχνικές ανάλυσης ζευγών συνόλων χρησιμοποιώντας τη μέθοδο βάρους διαστήματος για να δημιουργήσουν ένα ολοκληρωμένο μοντέλο σύγκρισης που υπήρχε μεταξύ της παραγωγής φωτοβολταϊκής ενέργειας και της παραγωγής θερμικής ενέργειας στην Κίνα. Η μελέτη αυτή δίνει σημαντικές προοπτικές σχετικά με τις προτιμήσεις και τις στρατηγικές στις επενδύσεις ηλιακής ενέργειας μιας αναπτυσσόμενης χώρας. Υπογράμμισε τη στρατηγική λήψη αποφάσεων για τεχνολογίες ηλιακής ενέργειας προς την ελαχιστοποίηση του κινδύνου και τη βιώσιμη ανάπτυξη (Ren, Nie & Yan, 2016).

Οι Ahmad και Zhang (2020) παρουσίασαν μια κριτική συνδυασμένη ενεργειακή ανάλυση της ζήτησης σε ανεπτυγμένες και αναπτυσσόμενες χώρες. Η έρευνα που συζητήθηκε νωρίτερα σε αυτή τη μελέτη εξέτασε τον ενεργειακό εφοδιασμό και το εμπόριο πολλαπλών μορφών ενέργειας, καθώς και τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα, γεγονός που εξηγεί τις διαφορές μεταξύ των παγκόσμιων τάσεων στη ζήτηση ενέργειας και εκείνων που παρέχονται από το 1990 έως το 2040. Η μελέτη κατέγραψε επίσης αύξηση της χρήσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, όπως οι πηγές ηλιακής ενέργειας, η οποία προμήνυε καλά με τις ανεπτυγμένες καθώς και τις αναπτυσσόμενες χώρες στο ταξίδι τους προς το μέλλον.

Συνολικά, αυτές οι μελέτες θα απεικονίζουν διαφορετικές προσεγγίσεις και προκλήσεις των ανεπτυγμένων και αναπτυσσόμενων χωρών να υιοθετήσουν την ηλιακή ενέργεια. Οι ανεπτυγμένες χώρες διαθέτουν προηγμένες υποδομές και μηχανισμούς πολιτικής που υποστηρίζουν την ηλιακή ενέργεια και τις θέτουν σε θέση να αποκομίσουν τα οφέλη της μαζικής παραγωγής ηλιακής ενέργειας, ενώ οι αναπτυσσόμενες χώρες πλησιάζουν γρήγορα τη διαφορά, αξιοποιώντας τους άφθονους ηλιακούς πόρους τους και τις καινοτόμες πολιτικές τους, ανοίγοντας το δρόμο τους για την αντιμετώπιση των ελλείψεων ενέργειας και την προώθηση της οικονομικής ανάπτυξης. Αυτό υπογραμμίζει το γεγονός ότι η ηλιακή ενέργεια, για να συμπεριληφθεί στον κατάλογο των βιώσιμων πηγών ενέργειας, πρέπει να διαδραματίσει κρίσιμο ρόλο στη διαμόρφωση των μελλοντικών οικονομικών και περιβαλλοντικών τοπίων.

5.3 Αντίκτυπος στην πολιτική και τα οικονομικά κίνητρα

Η κατανόηση της παγκόσμιας μετάβασης στη χρήση βιώσιμων πηγών ενέργειας βασίζεται στον τρόπο με τον οποίο τα μέτρα πολιτικής και τα οικονομικά κίνητρα επηρεάζουν την υιοθέτηση της ηλιακής ενέργειας. Αυτή η ανάλυση εξετάζει τον τρόπο με τον οποίο κάθε ένα από τα διαφορετικά μέσα πολιτικής και τα οικονομικά κίνητρα έχουν επηρεάσει την ανάπτυξη της ηλιακής ενέργειας στις διάφορες περιοχές, συμπεριλαμβανομένης της αποτελεσματικότητάς τους, καθώς και τις επιπτώσεις.

Οι Lee, Hong και Koo (2016) μελέτησαν τον οικονομικό αντίκτυπο των κρατικών ηλιακών κινήτρων στις ΗΠΑ για υψηλότερες οικονομικές αποδόσεις που σχετίζονται με την παραγωγή οικιακών ηλιακών φωτοβολταϊκών συστημάτων. Η έρευνά τους καθιέρωσε τα κρατικά ηλιακά κίνητρα για ενίσχυση μέσω της δημιουργίας σεναρίων και της ποσοτικοποίησης των ποσοστών κινήτρων μετρητών για κάθε σενάριο για την ικανοποίηση των επιπέδων απόδοσης κατωφλίου σε όλες τις ΗΠΑ. Τα αποτελέσματα αντικατοπτρίζουν την ανάγκη για καλύτερα και κατάλληλα φορολογικά κίνητρα, καθώς και κατάλληλα ποσοστά χρηματικών κινήτρων για την επίτευξη οικονομικής βιωσιμότητας των οικιακών ηλιακών φωτοβολταϊκών συστημάτων σε όλες τις στοχευμένες πόλεις, σηματοδοτώντας έτσι τον κύριο ρόλο που εξυπηρετείται από τα προσαρμοσμένα κίνητρα που βασίζονται στο κράτος υπέρ της υιοθέτησης της ηλιακής ενέργειας (Lee, Hong & Koo, 2016).

Οι Khadilkar et al. (2015) συνέστησαν τη χρήση μιας στρατηγικής οικονομικών κινήτρων για να παρακινήσουν τους κατοίκους του Μπρουνέι σχετικά με την εγκατάσταση ηλιακών φωτοβολταϊκών κυττάρων. Η μελέτη υπογράμμισε την επίδραση κοινωνικών μεταβλητών όπως η επιρροή και η οικονομική κατάσταση των γειτόνων στην επίδραση του ρυθμού πρόσληψης ηλιακής ενέργειας (Khadilkar et al., 2015).

Στο πλαίσιο αυτό, οι Cucchiella, D'Adamo και Koh (2015) εξέτασαν την ανάλυση των περιβαλλοντικών και οικονομικών επιδόσεων των ολοκληρωμένων φωτοβολταϊκών συστημάτων κτιρίων στις ιταλικές περιφέρειες. Μεταξύ αυτών που ελήφθησαν υπόψη στη σειρά μελετών ήταν η μέση ετήσια ακτινοβολία, η κατανάλωση των καταναλωτών και τα ποικίλα σε περιφερειακό επίπεδο συστήματα κινήτρων του Feed-in Tariff, με έμφαση, όπου ήταν δυνατόν, αυτών των περιφερειακών διακυμάνσεων της κερδοφορίας της ηλιακής ενέργειας καθώς και των

περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Περιέγραψε τις συνθήκες, οι οποίες είναι πιο οικονομικά υγιείς και περιβαλλοντικά επωφελείς για τα συστήματα ηλιακής ενέργειας που παρουσιάζουν έναν τρόπο αλληλεπίδρασης μεταξύ των περιφερειακών χαρακτηριστικών έναντι των πολιτικών ηλιακής ενέργειας (Cucchiella, D'Adamo & Koh, 2015).

Αυτό που ο Hirshberg (1976) έλεγξε ήταν τα εμπόδια στη γενική αποδοχή και χρήση των ηλιακών συστημάτων κλιματισμού χώρων. Τέλος, η μελέτη ανέλυσε διεξοδικά την επίδραση των οικονομικών κινήτρων, όπως τα φορολογικά κίνητρα και μετρά πώς αυτές οι πτυχές θα μπορούσαν να είναι χρήσιμες για την επιτάχυνση της υιοθέτησης της ηλιακής ενέργειας σε παγκόσμιο επίπεδο. Για παράδειγμα, προκειμένου να συμπεριληφθεί μια καλά μελετημένη ιστορική προοπτική, πολλές προηγούμενες παρεμβάσεις πολιτικής έχουν επηρεάσει το τρέχον σενάριο υιοθέτησης της ηλιακής ενέργειας (Hirshberg, 1976).

Κατά συνέπεια, το αποτέλεσμα αυτών των μελετών αποτελεί σαφή ένδειξη των ποικίλων προσεγγίσεων και προκλήσεων στις πολιτικές ηλιακής ενέργειας και στις εφαρμογές οικονομικών κινήτρων. Μαζί, σηματοδοτούν την ανάγκη για αποτελεσματικές στρατηγικές προώθησης της ηλιακής ενέργειας ανά περιοχή, λαμβάνοντας υπόψη τους τοπικούς οικονομικούς, κοινωνικούς και περιβαλλοντικούς παράγοντες. Εκεί έγκειται η επιτυχία των προσπαθειών για την προώθηση της ηλιακής ενέργειας σε πολιτικές και κίνητρα για το πώς ανταποκρίνονται σε αυτά τα ποικίλα χαρακτηριστικά και ανάγκες των περιφερειών, προσπαθώντας να συνδυάσουν τοπικές καινοτομίες και πρωτοβουλίες ως προσπάθεια μετάβασης από τα ορυκτά καύσιμα στη βιώσιμη ενέργεια αργά αλλά σταθερά.

Κεφάλαιο 6^ο. Προκλήσεις και εμπόδια που θέτει η υιοθέτηση της ηλιακής ενέργειας

6.1 Οικονομικές και χρηματοπιστωτικές προκλήσεις

Οι οικονομικές και χρηματοπιστωτικές προκλήσεις που συναντώνται στην υιοθέτηση της ηλιακής ενέργειας είναι πολυδιάστατες και αποτελούνται από ζητήματα που αφορούν το κόστος επένδυσης, τα κίνητρα της αγοράς, καθώς και το ευρύτερο πλαίσιο της οικονομίας. Η ανά χείρας ενότητα πραγματεύεται εκτενώς αυτές τις προκλήσεις, με μεγάλη έμφαση σε αυτές που ισχύουν στην Ελλάδα, με βάση

διάφορες μελέτες και εκθέσεις, με στόχο να παρουσιάσει τα εμπόδια που έχουν βιωθεί προς την ανάπτυξη της ηλιακής ενέργειας με ισορροπημένο τρόπο.

Ο Knight (2014) πραγματοποίησε μια κριτική προσέγγιση της νεωτερικότητας και της οικονομίας στη σύγχρονη Ελλάδα μέσα από το πρίσμα της πρακτικής στην ενέργεια, περισσότερο όταν εμφανίστηκε η ελληνική οικονομική κρίση. Το επίκεντρο της προσοχής του ως αναλυτής ήταν στην πρωτοβουλία ηλιακής ενέργειας που χρηματοδοτείται εν μέρει από την Ευρωπαϊκή Ένωση και τις επιπτώσεις της στις οικονομικές παραμέτρους της Ελλάδας. Η μελέτη επεσήμανε μια εξαιρετικά περίπλοκη αλληλεπίδραση μεταξύ της οικονομικής κρίσης, των ενεργειακών πρακτικών και των κοινωνικών αντιλήψεων, ιδίως όσον αφορά τις τεχνολογίες ηλιακής ενέργειας (Knight, 2014).

Οι Kaldellis et al. (2005) εκπόνησαν μελέτη σκοπιμότητας για τη δημιουργία ηλιακών θερμοσιφώνων οικιακής χρήσης στην Ελλάδα. Παρατήρησαν την υποτονική συμπεριφορά της αγοράς συλλεκτών ηλιακής ενέργειας στην Ελλάδα, ακόμη και όταν η χώρα κατακλύζεται από ηλιακό φως. Η μελέτη αυτή παρέχει μια συνολική ολοκληρωμένη ανάλυση κόστους-οφέλους που προκύπτει από εκτιμήσεις διαφόρων τεχνικών και οικονομικών παραμέτρων που επηρεάζουν το κόστος παραγωγής ηλιακής θερμικής ενέργειας, σε σύγκριση με άλλες τεχνικές παραγωγής ζεστού νερού. Η ανάλυση αυτή έφερε στο φως τα οικονομικά εμπόδια της υιοθέτησης της ηλιακής ενέργειας στην Ελλάδα (Kaldellis et al., 2005).

Η Siamanta (2017) περιγράφει την ελληνική εμπειρία μετά την κρίση με τα φωτοβολταϊκά και την οικονομική «πράσινη αρπαγή». Η έρευνα αναπτύχθηκε γύρω από τη συζήτηση για τις πράσινες μορφές ενέργειας, εξέτασε την ανάπτυξη φωτοβολταϊκών έργων στην Ελλάδα και έριξε φως στο πώς χτίζονται οι πράσινες οικονομίες και τις νέες πιστώσεις που προκαλούν (Siamanta, 2017).

Από την άλλη, οι Sidiras & Koukios (2004) διεξήγαγαν μια μελέτη σχετικά με τις κινητήριες δυνάμεις και τα ποικίλα εμπόδια στη διάδοση της χρήσης ηλιακής ενέργειας για οικιακή παραγωγή ζεστού νερού χρήσης στην Ελλάδα. Έτσι ανακάλυψαν κάποιους κυρίαρχους οικονομικούς, τεχνικούς, πολιτικούς και κοινωνικοπολιτιστικούς παράγοντες που επηρεάζουν τη διάδοση του ηλιακού συλλέκτη. Οι μελέτες που πραγματοποιήθηκαν αποκαλύπτουν ότι, παρά το γεγονός ότι καθοδηγείται από τον μηχανισμό που καθοδηγείται από την αγορά, η διάχυση του

ηλιακού συλλέκτη ήταν ένα πολύ-παραγοντικό, πολυδιάστατο και πολύ-παραμετρικό φαινόμενο που περιοριζόταν κυρίως στο ποσοστό του διαθέσιμου οικογενειακού εισοδήματος και σε παράγοντες που σχετίζονται με την τεχνολογία (Sidiras & Koukios, 2004).

Σε κάθε περίπτωση, σημειώνεται ότι οι έρευνες αυτές υπογραμμίζουν την ανάγκη στρατηγικού σχεδιασμού και παρεμβάσεων πολιτικής που μπορούν να βοηθήσουν στην υπέρβαση αυτών των παραγόντων αποκλεισμού και στην υιοθέτηση της ηλιακής ενέργειας στο ελληνικό πλαίσιο.

6.2 Τεχνολογικοί φραγμοί και φραγμοί που σχετίζονται με τις υποδομές

Τα κύρια εμπόδια που εντόπισαν οι Eleftheriadis & Anagnostopoulou (2015) στη διάχυση της αιολικής ενέργειας καθώς και στη φωτοβολταϊκή ηλιακή ενέργεια στον ελληνικό τομέα ηλεκτρικής ενέργειας ποικίλουν. Η μελέτη εντόπισε από τη βιβλιογραφία σχετικά με αυτά τα συστήματα τεχνολογικής καινοτομίας δύο βασικά εμπόδια - χαμηλή χωρητικότητα δικτύου καθώς και καθυστέρηση στην έκδοση αδειών και ανεπαρκείς οικονομικούς πόρους. Επιπλέον, ανέφεραν επίσης τη θεσμική αστάθεια καθώς και την αντίσταση των τοπικών κοινωνιών σχετικά με τη δημιουργία αιολικών πάρκων, επισημαίνοντας έτσι ότι αυτά τα εμπόδια πρέπει επίσης να μετριαστούν μέσω πολιτικής παρέμβασης (Eleftheriadis & Anagnostopoulou, 2015).

Οι Sidiras & Koukios (2004) αναφέρθηκαν στις κινητήριες δυνάμεις και τα εμπόδια στη διάχυση της χρήσης ηλιακής ενέργειας για την παραγωγή ζεστού νερού χρήσης στην Ελλάδα. Κινητήριες δυνάμεις ήταν οι νέες τεχνολογίες, ενώ με την ανάλυση φραγμών, υπήρξε κυρίως αλληλεπίδραση με μακροοικονομικούς παράγοντες.

Οι Nikas et al. (2020) μελέτησαν τα εμπόδια και εντόπισαν μια κατασκευή κοινωνικής αξίας στο πλαίσιο μιας ηλιακής ενεργειακής μετάβασης στην Ελλάδα, λαμβάνοντας υπόψη πιθανές αβεβαιότητες που σχετίζονται με τον τεχνολογικό εγκλωβισμό και τη σταθερότητα στο επιλεγμένο ρυθμιστικό πλαίσιο. Χρησιμοποιώντας ένα σύνολο μοντελοποίησης, ποσοτικοποίησαν και αξιολόγησαν τις επιπτώσεις των εντοπισμένων κινδύνων, σημειώνοντας την πολυπλοκότητα που εμπλέκεται στη μετάβαση από ένα σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας που βασίζεται σε ορυκτά καύσιμα σε ένα σύστημα που σχετίζεται με την ηλιακή ενέργεια (Nikas et al., 2020).

Οι Martinopoulos & Tsalikis (2018) μελέτησαν τη διάδοση και υιοθέτηση συστημάτων μετατροπής ηλιακής ενέργειας στην Ελλάδα τα τελευταία σαράντα έτη. Εξέτασαν την πολιτική που ακολουθήθηκε κατά την περίοδο αυτή για να διαπιστώσουν τα αποτελέσματά τους και αξιολόγησαν τη συμβολή που έχει δημιουργηθεί στην ενεργειακή ασφάλεια και τη μείωση των αερίων θερμοκηπίου μέσω συστημάτων μετατροπής ηλιακής ενέργειας. Η μελέτη επεσήμανε τη διεύρυνση στην αγορά και τις δυσκολίες που συνδέονται με τις τεχνολογικές αλλαγές των ηλιακών συστημάτων, απεικονίζοντας ότι οι υποστηρικτικές πολιτικές ήταν απαραίτητες για την αύξηση της υιοθέτησης συστημάτων ηλιακής ενέργειας (Martinopoulos & Tsalikis, 2018).

Τέλος, οι μελέτες αυτές συγκεντρώνουν τα ζητήματα και αναδεικνύουν τον τρόπο με τον οποίο οι πολλαπλές διαστάσεις των τεχνολογικών εμποδίων και των εμποδίων υποδομής περιορίζουν την ευρύτερη υιοθέτηση της ηλιακής ενέργειας στην Ελλάδα. Υπογραμμίζουν τον τρόπο με τον οποίο τα εμπόδια αυτά πρέπει να ξεπεραστούν με αποτελεσματική πολιτική παρέμβαση και τεχνολογικές καινοτομίες για τη μετάβαση προς την ηλιακή ενέργεια.

6.3 Πολιτικές και κανονιστικές προκλήσεις

Η ηλιακή ενέργεια και η υποκείμενη πολιτική και ρυθμιστική ρύθμιση, ειδικά στην Ελλάδα, παρουσιάζει ένα μοναδικό σύνολο προκλήσεων και πολυπλοκοτήτων. Αυτό το δοκίμιο βασίζεται στον προσδιορισμό τέτοιων ζητημάτων χρησιμοποιώντας ιδέες από Έλληνες συγγραφείς με μελέτες για την κατανόηση των πολιτικών και ρυθμιστικών εμποδίων που επηρεάζουν την υιοθέτηση της ηλιακής ενέργειας.

Για παράδειγμα, οι Martinopoulos & Tsalikis (2018) έχουν ερευνήσει τη διάδοση και την προσκόλληση των συστημάτων μετατροπής της ηλιακής ενέργειας στην Ελλάδα για μια περίοδο τεσσάρων δεκαετιών. Η έρευνα εξέτασε αυτή την ικανότητα λόγω των αποφάσεων που έλαβαν οι υπεύθυνοι χάραξης πολιτικής σε διάφορα ιστορικά σημεία που είχε η εγκατεστημένη ηλιακή θερμική και ηλιακή ηλεκτρική ενέργεια. Αξιολόγησαν τον τρόπο με τον οποίο τέτοιες πολιτικές βελτίωσαν την ενεργειακή ασφάλεια και παρείχαν οδούς για τη μείωση των αερίων του θερμοκηπίου, συνδέοντας έτσι τις κυβερνητικές πολιτικές ως τους σημαντικότερους παράγοντες για την υιοθέτηση της ηλιακής τεχνολογίας (Martinopoulos & Tsalikis, 2018).

Σε αυτό το σημείο, οι Nikas et al. (2020) εξέτασαν τα εμπόδια και τα αποτελέσματα μιας μετάβασης με βάση την ηλιακή ενέργεια στην Ελλάδα, υπογραμμίζοντας τις αβεβαιότητες που σχετίζονται με τις συνεχιζόμενες οικονομικές υφέσεις, τον τεχνολογικό εγκλωβισμό και τη σταθερότητα του ρυθμιστικού πλαισίου. Στο πλαίσιο της μετάβασης σε ένα σύστημα ηλιακής ενέργειας, εντοπίστηκαν κίνδυνοι που επικεντρώνονται στη δυναμική τους και υπογραμμίστηκε ο ρόλος που διαδραματίζει ένα σταθερό και υποστηρικτικό ρυθμιστικό περιβάλλον σε αυτούς τους κινδύνους (Nikas et al., 2020).

Σύμφωνα με τον Argiriou (1997), οι κεντρικές ηλιακές μονάδες θέρμανσης με εποχιακή αποθήκευση μπορούν να είναι τεχνικά και οικονομικά βιώσιμες στην Ελλάδα. Η μελέτη σημείωσε ότι η έλλειψη εμπειρίας στην ενεργή ηλιακή θέρμανση χώρων ήταν ένας λόγος για τη χρήση τους. Τόνισε την ανάγκη επαγγελματικής κατάρτισης παράλληλα με ρυθμιστική υποστήριξη που θα μπορούσε να επιτρέψει τον έλεγχο πιο εκλεπτυσμένων τεχνολογιών σε αυτόν τον ηλιακό τομέα (Argiriou, 1997).

Ο Paramanolis (2016) σκιαγράφησε μια γενική άποψη σχετικά με τις διαφορετικές εφαρμογές της ηλιακής ενέργειας στα κτίρια στην Ελλάδα και υπογράμμισε επίσης μια σειρά σχετικών ζητημάτων, μεταξύ των οποίων υπήρχε ένα που αφορούσε τα αρχιτεκτονικά και κατασκευαστικά χαρακτηριστικά για την κεφαλαιοποίηση της ηλιακής ενέργειας. Τα ευρήματα υπογράμμισαν την αναγκαιότητα ενσωμάτωσης της ηλιακής ενέργειας στους οικοδομικούς κώδικες και τους αντίστοιχους κανονισμούς, καθώς και σε πολιτικές που αυξάνουν την αποδοτικότητα και διευρύνουν το πεδίο αξιοποίησης της ηλιακής ενέργειας στο δομημένο περιβάλλον στην Ελλάδα (Paramanolis, 2016).

Συνολικά, οι μελέτες αυτές έχουν φέρει στο προσκήνιο την πολύπλευρη ισορροπία μεταξύ πολιτικής, ρύθμισης και υιοθέτησης της ηλιακής ενέργειας στην Ελλάδα. Δηλαδή, έχουν τονίσει ότι πρέπει να υπάρχει ένα ιδιαίτερα ολοκληρωμένο, σταθερό και υποστηρικτικό πλαίσιο πολιτικής που να αντιμετωπίζει τόσο τις ρεαλιστικές προκλήσεις που σχετίζονται με την επιτόπια πραγματικότητα όσο και να αποτυπώνει τις ξεχωριστές προοπτικές της ελληνικής περίπτωσης για την υιοθέτηση της ηλιακής ενέργειας.

Κεφάλαιο 7ο. Οφέλη ηλιακής ενέργειας στο οικονομικό πλαίσιο

7.1 Άμεσα και έμμεσα οικονομικά οφέλη

Τα οφέλη της ηλιακής ενέργειας με την οικονομική έννοια δεν αφορούν απλώς στη μείωση των λογαριασμών ηλεκτρικού ρεύματος ενός καταναλωτή. Τα ηλιακά συστήματα φέρνουν μαζί τους τα πολύπλευρα οφέλη που φτάνουν σε διάφορους τομείς της οικονομίας: άμεσα και έμμεσα. Όταν πρόκειται για την ανάλυση των οικονομικών επιπτώσεων της ηλιακής ενέργειας, προκύπτει η ανάγκη σαφούς διαφοροποίησης αυτών των δύο τύπων πλεονεκτημάτων για την αποτύπωση της συνολικής αξίας που φέρνει στο τραπέζι η ηλιακή τεχνολογία.

Μάλιστα, τα άμεσα οικονομικά οφέλη της ηλιακής ενέργειας είναι εύκολο να παρατηρηθούν και μπορούν ακόμη και να ποσοτικοποιηθούν. Κατά κύριο λόγο, προέρχονται από τη μείωση του κόστους ηλεκτρικής ενέργειας τόσο για τους οικιακούς όσο και για τους εμπορικούς χρήστες. Η ηλιακή ενέργεια επιτρέπει στους καταναλωτές να παράγουν τη δική τους ηλεκτρική ενέργεια, με συνέπεια μεγάλη μείωση της εξάρτησης από τους παρόχους υπηρεσιών κοινής ωφέλειας και την προστασία τους από τις αλλαγές στις τιμές της ενέργειας (Kabir et al., 2018). Αυτή η ενεργειακή ανεξαρτησία μειώνει τους λογαριασμούς κοινής ωφέλειας και προστατεύει τις οικονομίες από τις διαταραχές των τιμών και τις διαταραχές του εφοδιασμού που σχετίζονται με τις αγορές ορυκτών καυσίμων. Σε αυτό προστίθεται το γεγονός ότι οι ηλιακές εγκαταστάσεις είναι κλιμακούμενες, από μικρές εγκαταστάσεις οικιακού μεγέθους έως ηλιακά πάρκα μεγάλης κλίμακας, πράγμα που σημαίνει ότι τα δυνητικά πλεονεκτήματα θα μπορούσαν να υλοποιηθούν σε περιβάλλοντα πολύ διαφορετικών οικονομικών διαστάσεων, από ένα μόνο νοικοκυριό έως έναν βιομηχανικό καταναλωτή.

Ένα άλλο σημαντικό όφελος αφορά στην ανανέωση της ηλιακής ενέργειας, η οποία συνεπάγεται επίσης ότι το λειτουργικό κόστος μειώνεται σημαντικά. Η ηλιακή εγκατάσταση δεν χρησιμοποιεί καμία μορφή καυσίμου και, ως εκ τούτου, έχει χαμηλότερο λειτουργικό κόστος και, συνάμα, φθηνές μορφές ενέργειας μακροπρόθεσμα. Πράγματι, αυτό έχει αναγνωριστεί ότι είναι όλο και πιο οικονομικά αποδοτικό, ιδίως με το σταθμισμένο κόστος ενέργειας (LCOE) για την τεχνολογία ηλιακών φωτοβολταϊκών (PV) να έχει πάρει μια πολύ χαμηλότερη τάση και ως εκ τούτου γίνεται ανταγωνιστική, αν όχι φθηνότερη στις περισσότερες περιπτώσεις, από τις συνήθεις παραδοσιακές πηγές ενέργειας.

Ελαφρώς λιγότερο άμεσα εμφανή είναι τα έμμεσα οικονομικά οφέλη. Ιδιαίτερα αξιοσημείωτο είναι το όφελος για τη δημιουργία θέσεων εργασίας που παρέχεται από την ηλιακή βιομηχανία. Η εγκατάσταση, η συντήρηση και η κατασκευή ηλιακών συλλεκτών και συναφών συστημάτων απαιτούν ποικίλες δεξιότητες που απασχολούν πολλούς ανθρώπους, αυξάνοντας έτσι την απασχόληση τόσο στον τομέα της μεταποίησης όσο και στον τομέα των υπηρεσιών (Wei et al., 2010). Αυτό το αποτέλεσμα δημιουργίας θέσεων εργασίας εκτείνεται σε ολόκληρη την αλυσίδα αξίας της ηλιακής βιομηχανίας, από την έρευνα και ανάπτυξη (E&A) έως τις υπηρεσίες λιανικής πώλησης και εγκατάστασης, προωθώντας κατά συνέπεια την οικονομική ανάπτυξη και σταθερότητα σε διάφορες περιοχές.

Οι επενδύσεις στην ηλιακή ενέργεια προωθούν επίσης την καινοτομία και την τεχνολογία. Αυτό είναι πιθανό να ωθήσει τις ανταγωνιστικές δραστηριότητες έρευνας και ανάπτυξης για την παροχή αποδοτικότερων και χαμηλού κόστους ηλιακών λύσεων και, ως εκ τούτου, μπορεί ενδεχομένως να οδηγήσει σε τεχνολογικές ανακαλύψεις όχι μόνο στον τομέα των φωτοβολταϊκών αλλά και σε σχέση με την αποθήκευση μπαταριών και τις τεχνολογίες έξυπνων δικτύων. Αυτά τα βήματα ενισχύουν σημαντικά την αποδοτικότητα και την ενσωμάτωση των ηλιακών συστημάτων και έτσι συμβάλλουν στη συνολική οικονομική ανθεκτικότητα και τεχνολογική ανταγωνιστικότητα των εθνών (Green et al., 2016). Επίσης, η ηλιακή ενέργεια καταλαμβάνει μια πολύ σημαντική θέση με την οικονομική έννοια της περιβαλλοντικής βιωσιμότητας. Με αυτόν τον τρόπο, οι ηλιακές εγκαταστάσεις μπορούν να συμβάλουν στη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, τα οποία μπορούν να συμβάλουν στο κόστος για την υγεία και το περιβάλλον που σχετίζεται με την καύση ορυκτών καυσίμων. Ο μετριασμός των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής αποτρέπει δαπανηρές ζημίες στις υποδομές και τη γεωργία. Η μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης μπορεί να οδηγήσει σε μειωμένο κόστος υγειονομικής περίθαλψης και υγιέστερο εργατικό δυναμικό (Tsoutsos et al., 2005).

Περαιτέρω, η κατανάλωση ηλιακής ενέργειας ενισχύει την πτυχή της ενεργειακής ασφάλειας - μια βασική οικονομική πτυχή. Η διαφοροποίηση του ενεργειακού μείγματος και η μείωση του επιπέδου εξάρτησης από τα ορυκτά καύσιμα μειώνουν την έκθεση στην αστάθεια της αγοράς και στις γεωπολιτικές εντάσεις που οφείλονται σε διαταραχές στις αλυσίδες εφοδιασμού ορυκτών καυσίμων. Αυτό το είδος

ενεργειακής διαφοροποίησης θα συμβάλει στην περαιτέρω οικονομική σταθερότητα και στη μείωση της ευπάθειας των εθνικών οικονομιών σε εξωτερικούς κλυδωνισμούς (Bradford, 2006).

Συμπερασματικά, τα άμεσα οικονομικά οφέλη περιλαμβάνουν την εξοικονόμηση κόστους και τη λειτουργική αποτελεσματικότητα, ενώ τα έμμεσα οικονομικά οφέλη αφορούν τη δημιουργία θέσεων εργασίας, τις τεχνολογικές καινοτομίες και τις περιβαλλοντικές βελτιώσεις. Τα οφέλη αυτά υπογραμμίζουν τον σημαντικό ρόλο της ηλιακής ενέργειας όχι μόνο στη μετάβαση προς ένα βιώσιμο μελλοντικό ενεργειακό σύστημα, αλλά και στην προώθηση της οικονομικής ανάπτυξης και ανθεκτικότητας. Η επέκταση της ηλιακής βιομηχανίας υπόσχεται να αυξήσει το μερίδιό της στην παγκόσμια οικονομία, παρέχοντας κατ' αυτόν τον τρόπο θέσεις εργασίας και ενθαρρύνοντας υποστηρικτικές πολιτικές και επενδύσεις στην πλήρη εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας στο έπακρο.

7.2 Ευκαιρίες απασχόλησης και δημιουργία θέσεων εργασίας

Η βιομηχανία ηλιακής ενέργειας έχει αναδειχθεί σε πολύ σημαντική κινητήρια δύναμη για τη δημιουργία θέσεων εργασίας, συμβάλλοντας σημαντικά στη γενική αύξηση της απασχόλησης σε διάφορους τομείς της οικονομίας. Η επέκταση της ηλιακής ενέργειας επίσης δεν ασχολείται μόνο με το περιβάλλον αλλά και με τις ανησυχίες για την ενεργειακή ασφάλεια, ενώ παράλληλα παρέχει επίσης ευκαιρίες απασχόλησης στην κατασκευή, εγκατάσταση, συντήρηση, μέχρι την έρευνα και την ανάπτυξη. Η αύξηση της απασχόλησης δείχνει την αυξανόμενη παγκόσμια ζήτηση για λύσεις καθαρής ενέργειας και το γεγονός ότι η ηλιακή ενέργεια γίνεται αποδεκτή ως βιώσιμη και βιώσιμη οικονομική πηγή ενέργειας.

Μάλιστα, η δημιουργία θέσεων εργασίας στην ηλιακή βιομηχανία έχει διάφορες διαστάσεις, αντανακλώντας την ποικίλη φύση των δραστηριοτήτων και των υπηρεσιών που καλύπτονται από την αλυσίδα αξίας της ηλιακής ενέργειας. Ο χώρος παραγωγής παίρνει ώθηση με την παραγωγή φωτοβολταϊκών (PV) πάνελ, μετατροπέων, συστημάτων στήριξης και άλλων σχετικών εξαρτημάτων. Εν τω μεταξύ, οι δραστηριότητες σε αυτές τις βιομηχανίες περιλαμβάνουν υψηλό ποσοστό εξειδικευμένου εργατικού δυναμικού που προέρχεται από εκείνους που ειδικεύονται στο χειρισμό της διαδικασίας μηχανικής, συναρμολόγησης και ποιοτικού ελέγχου,

εισάγοντας πολλές συνεισφορές στις τοπικές και εθνικές οικονομίες (Wei et al., 2019).

Η ανάπτυξη και εγκατάσταση ηλιακών συστημάτων τροφοδοτεί επίσης τη δημιουργία θέσεων εργασίας. Αυτός ο τομέας αποτελείται από το σχεδιασμό, την υλοποίηση και τη θέση σε λειτουργία οικιακών, εμπορικών και βοηθητικών ηλιακών έργων. Εκπαιδευμένοι τεχνικοί, ηλεκτρολόγοι και μηχανικοί έχουν μεγάλη ζήτηση για να διασφαλίσουν ότι η εγκατάσταση της ηλιακής ενέργειας γίνεται σωστά, λαμβάνοντας υπόψη τα ρυθμιστικά πρότυπα. Άλλωστε, η συνεχιζόμενη πτώση του κόστους των ηλιακών τεχνολογιών και η επακόλουθη αύξηση των εγκαταστάσεων έχουν οδηγήσει σε ισχυρή αύξηση του αριθμού των θέσεων εργασίας που δημιουργούνται σε αυτόν τον τομέα, ο οποίος αποτελεί πλέον μία από τις ταχύτερα αναπτυσσόμενες αγορές εργασίας στον τομέα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (IRENA, 2020).

Επίσης, οι δραστηριότητες λειτουργίας και συντήρησης (O&M) στις ηλιακές εγκαταστάσεις αυξάνουν τη δημιουργία θέσεων εργασίας. Ως αποτέλεσμα, δημιουργούνται θέσεις εργασίας με τη μορφή τακτικής συντήρησης, παρακολούθησης της απόδοσης και υπηρεσιών επισκευής που χρησιμοποιούνται καθ' όλη τη διάρκεια ζωής ενός ηλιακού έργου. Αυτό απαιτεί ένα εργατικό δυναμικό που είναι αποτελεσματικό με τη διάγνωση του συστήματος, τη βελτιστοποίηση της απόδοσης και την ανάληψη τακτικών εργασιών συντήρησης. Η διάρκεια ζωής των ηλιακών εγκαταστάσεων - συχνά πάνω από 25 χρόνια - συνεπάγεται παρατεταμένη απασχόληση για επαγγελματίες που σχετίζονται με το τμήμα O & M.

Ένας άλλος βασικός τομέας που αποτελεί την ουσία για τη δημιουργία θέσεων εργασίας είναι η ανάπτυξη και η εφεύρεση της τεχνολογίας (E&A) στην ηλιακή ενέργεια. Στην αναζήτηση βελτίωσης της απόδοσης, μείωσης του κόστους και μεγάλης ενσωμάτωσης της ηλιακής ενέργειας με τα ενεργειακά συστήματα που ήδη υπάρχουν, επιστήμονες, μηχανικοί και τεχνικοί της βιομηχανίας συνεργάζονται για την εφεύρεση και τη βελτίωση της τεχνολογίας. Υπό την έννοια ότι η εργασία E&A είναι απαραίτητη για να διασφαλιστεί ότι η βιομηχανία παραμένει στην καμπύλη ανάπτυξης, εκτός από τη συνεχή ανταγωνιστικότητα, μεταφράζεται πραγματικά σε δημιουργία θέσεων εργασίας υψηλής αξίας μέσω ερευνητικών ιδρυμάτων, πανεπιστημίων και εταιρειών του ιδιωτικού τομέα (Green et al., 2016).

Η βιομηχανία ηλιακής ενέργειας παράγει επίσης οικονομικά οφέλη έμμεσου χαρακτήρα, οδηγώντας στη δημιουργία θέσεων εργασίας. Η ανάπτυξη συστημάτων ηλιακής ενέργειας αυξάνει επίσης τη ζήτηση για υποστηρικτικές υπηρεσίες, όπως χρηματοδότηση έργων, νομικές υπηρεσίες, σχεδιασμό συστημάτων και παροχή συμβουλών. Επιπλέον, τα κέρδη των εργαζομένων στην ηλιακή βιομηχανία θα κυκλοφορήσουν στην οικονομία και θα αυξήσουν τις καταναλωτικές δαπάνες στην οικονομία, συμβάλλοντας έτσι στη δημιουργία θέσεων εργασίας στις συναφείς βιομηχανίες. Το μέγεθος της δημιουργίας θέσεων εργασίας στην ηλιακή βιομηχανία, ωστόσο, θα εξαρτηθεί από το πόσο ευνοϊκές είναι οι πολιτικές και το επενδυτικό κλίμα. Βασικοί τρόποι για την τόνωση της περαιτέρω ανάπτυξης της βιομηχανίας και, ως εκ τούτου, των θέσεων εργασίας, είναι μέσω κυβερνητικών κινήτρων, στόχων ανανεώσιμης ενέργειας και ευνοϊκών ρυθμιστικών πλαισίων. Για παράδειγμα, τα τιμολόγια τροφοδοσίας, οι πιστώσεις φόρου και τα πρότυπα χαρτοφυλακίου ανανεώσιμων πηγών ενέργειας έχουν αποδειχθεί επιτυχημένες πολιτικές που τονώνουν την ανάπτυξη της ηλιακής βιομηχανίας και τη δημιουργία θέσεων εργασίας σε διάφορες χώρες (IRENA, 2020).

Συμπερασματικά, μπορεί να λεχθεί ότι η ηλιακή βιομηχανία είναι μια σημαντική ταχέως αναπτυσσόμενη πηγή απασχόλησης που προσθέτει στην οικονομική μεγέθυνση και τη βιώσιμη ανάπτυξη. Η ικανότητά της να δημιουργεί θέσεις εργασίας από τη μεταποίηση έως την λειτουργία και τη λειτουργία στην αλυσίδα αξίας της ηλιακής βιομηχανίας, σε συνδυασμό με τις έμμεσες επιπτώσεις στην απασχόληση σε υποστηρικτικούς τομείς, καθιστά την ηλιακή ενέργεια κρίσιμο καταλύτη για τη δημιουργία θέσεων εργασίας.

7.3 Συμβολή στο ΑΕΠ και το εμπόριο

Η άνοδος της ηλιακής ενέργειας ως νέου αναδυόμενου σημαντικού παράγοντα στον παγκόσμιο ενεργειακό χώρο ήταν καθοριστική για τη σηματοδότηση των οικονομιών προς τη βιώσιμη ανάπτυξη και διαδραμάτισε σημαντικό ρόλο συμβάλλοντας σημαντικά στο Ακαθάριστο Εγχώριο Προϊόν (ΑΕΠ) και στο εμπόριο ταυτόχρονα. Η συμβολή του τομέα της ηλιακής ενέργειας στην οικονομία έρχεται με πολλές μορφές, όπως οι επενδύσεις, οι ευκαιρίες απασχόλησης, η τεχνολογική καινοτομία, καθώς και η διατήρηση του περιβάλλοντος. Αυτό συμβάλλει συλλογικά στην αύξηση του ΑΕΠ, καθώς και των εμπορικών ευκαιριών στη μεταποίηση και την παροχή υπηρεσιών στην ηλιακή βιομηχανία.

Οι επενδύσεις σε υποδομές ηλιακής ενέργειας συμβάλλουν πρωτίστως στο ΑΕγγΠ. Η ανάπτυξη ηλιακών φωτοβολταϊκών συστημάτων (PV) και μεγάλων ηλιακών πάρκων με σχετικές υποδομές απαιτεί τεράστιες επενδύσεις κεφαλαίου. Αυτή η εισροή κεφαλαίων προορίζεται συνήθως για την απόκτηση εξοπλισμού και συναφών υπηρεσιών εγκατάστασης και υποστηρικτικής υποδομής και, ως εκ τούτου, συμβάλλει άμεσα στην οικονομική δραστηριότητα. Η έκθεση Global Market Outlook της SolarPower Europe δείχνει ότι οι επενδύσεις στην ηλιακή ενέργεια βρίσκονται σε ανοδική τροχιά σε όλο τον κόσμο, μια ένδειξη ότι η οικονομική βιωσιμότητα και η κερδοφορία από τις επενδύσεις στην ηλιακή ενέργεια αυξάνονται. Η κατασκευή, η λειτουργία και η συντήρηση των ηλιακών εγκαταστάσεων συμβάλλουν στην οικονομική δραστηριότητα που λαμβάνει χώρα στις χώρες υποδοχής, επομένως διαδραματίζουν ρόλο στο εθνικό ΑΕΠ.

Όπως είδαμε παραπάνω, το δυναμικό δημιουργίας θέσεων εργασίας στην ηλιακή βιομηχανία δεν σταματά μόνο στην προσφορά άμεσης απασχόλησης στα τμήματα κατασκευής και εγκατάστασης. Πρώτον, η βιομηχανία βλέπει τα εισοδήματα να πηγαίνουν στους εργαζόμενους στη βιομηχανία, ένα μέρος των οποίων δαπανούν σε άλλους τομείς της οικονομίας στην κατανάλωση. Ως εκ τούτου, το εισόδημα οδηγεί στη συνέχεια σε μεγαλύτερη κατανάλωση, ακολουθούμενη από καταναλωτικές δαπάνες που παράγουν πολλαπλασιαστικά αποτελέσματα. Οι αυξημένες οικονομικές δραστηριότητες συμβάλλουν περισσότερο στο ΑΕΠ, ενισχύοντας τα έμμεσα οικονομικά οφέλη που προέρχονται από την ηλιακή βιομηχανία. Στην πραγματικότητα, σύμφωνα με τους Wei, Patadia, & Kammen (2010), είναι πιθανό ότι ο τομέας της καθαρής ενέργειας θα μπορούσε να έχει ακόμη μεγαλύτερες δυνατότητες για τη δημιουργία θέσεων εργασίας, υπογραμμίζοντας την ηλιακή ενέργεια ειδικότερα ως μεγάλη κινητήρια δύναμη της οικονομικής ανάπτυξης.

Η τεχνολογική καινοτομία, σήμα κατατεθέν της ηλιακής βιομηχανίας, διαδραματίζει επίσης κρίσιμο ρόλο στη συμβολή του ΑΕΠ. Οι δραστηριότητες έρευνας και ανάπτυξης (E&A) μπορούν να ενισχύσουν την τεχνολογική βελτίωση όχι μόνο στην αποδοτικότητα της ηλιακής ενέργειας, αλλά και να ενεργοποιήσουν την ανάπτυξη άλλων συμμαχικών τομέων, όπως η αποθήκευση μπαταριών και οι τεχνολογίες έξυπνων δικτύων. Οι δευτερογενείς επιπτώσεις αυτών των καινοτομιών συμβάλλουν στη συνολική οικονομική παραγωγικότητα, ενισχύοντας έτσι το ΑΕΠ. Η πτώση του κόστους κεφαλαίου και η συνεχής βελτίωση της απόδοσης των πάνελ έχουν

καταστήσει την ηλιακή ενέργεια όλο και πιο ανταγωνιστική με τις παραδοσιακές πηγές ενέργειας, αντλώντας περαιτέρω επενδύσεις και οικονομική δραστηριότητα (IRENA, 2020).

Από εμπορική άποψη, η ηλιακή βιομηχανία έχει επηρεάσει τις διεθνείς σχέσεις για το εμπόριο. Μεταξύ των χωρών που έχουν αναπτύξει ισχυρές μεταποιητικές βιομηχανίες για τα εξαρτήματα του ηλιακού συστήματος, η Κίνα αναδεικνύεται ως ένας από τους μεγάλους εξαγωγείς στην παγκόσμια αγορά. Η εξαγωγή ηλιακών συλλεκτών, μετατροπέων και άλλων εξαρτημάτων αποτελεί επομένως σημαντική προσθήκη στο εμπορικό ισοζύγιο αυτών των χωρών. Αντίθετα, οι χώρες που επενδύουν σε μεγάλο βαθμό εισάγουν όλα αυτά τα εξαρτήματα - και με αυτόν τον τρόπο, συμβάλλουν στο παγκόσμιο εμπόριο ηλιακής τεχνολογίας.

Τα περιβαλλοντικά οφέλη της ηλιακής ενέργειας προσθέτουν επίσης έμμεσα στο ΑΕΠ. Το μετριασμένο οικονομικό κόστος μέσω της υποβάθμισης του περιβάλλοντος, της υγειονομικής περίθαλψης ή των γεγονότων που συνδέονται με την κλιματική αλλαγή λόγω της μειωμένης εξάρτησης από τα ορυκτά καύσιμα από την ηλιακή ενέργεια είναι υψηλό. Σημαντικές εξοικονομήσεις από τέτοιες δραστηριότητες μπορούν έτσι να υλοποιηθούν, συμβάλλοντας έτσι στην οικονομική σταθερότητα και ανάπτυξη, εκτρέποντας πόρους από τη ρύπανση και το κόστος που σχετίζεται με την υγεία σε πιο παραγωγικές χρήσεις (Tsoutsos et al., 2005).

Ωστόσο, η οικονομική συμβολή της ηλιακής ενέργειας στο ΑΕΠ και το εμπόριο εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τα πλαίσια πολιτικής και τις υφιστάμενες συνθήκες της αγοράς. Οι υποστηρικτικές πολιτικές μιας δεδομένης οικονομίας, όπως οι επιδοτήσεις, τα φορολογικά οφέλη και τα τιμολόγια τροφοδοσίας, αποτελούν τις βασικές στρατηγικές για την προώθηση της ηλιακής ενέργειας και, ως εκ τούτου, της οικονομικής συμβολής της. Επιπλέον, η δυναμική της αγοράς, στην οποία οι εξελίξεις της παγκόσμιας αλυσίδας εφοδιασμού και οι εμπορικές πολιτικές διαδραματίζουν θεμελιώδη ρόλο, διαμορφώνουν το εμπορικό ισοζύγιο της ηλιακής τεχνολογίας.

Συμπερασματικά, η συμβολή της βιομηχανίας ηλιακής ενέργειας στο ΑΕΠ και το εμπόριο έρχεται καθοριστικά μέσω των επενδύσεων, της δημιουργίας θέσεων εργασίας, της τεχνολογικής καινοτομίας και του περιβάλλοντος. Η βιομηχανία όχι μόνο τονώνει την οικονομική δραστηριότητα άμεσα μέσω επενδύσεων, αλλά και έμμεσα βοηθά στην οικονομική ανάπτυξη μέσω του δυναμικού απασχόλησης και των

τεχνολογικών εξελίξεων. Λαμβάνοντας υπόψη το γεγονός ότι η βιώσιμη ενέργεια ριζώνει καθώς ο κόσμος γίνεται πράσινος, η ηλιακή βιομηχανία αναμένεται να παραμείνει στον πυρήνα της τύχης των οικονομιών και του διεθνούς εμπορίου, τονίζοντας τη σημασία των ανταποκρινόμενων πολιτικών και των δομών στήριξης της αγοράς για την πλήρη αξιοποίηση του δυναμικού.

Πίνακας 4. Οφέλη ηλιακής ενέργειας στο οικονομικό πλαίσιο

Τμήμα	Οφέλη	Περιγραφή
Άμεσα και έμμεσα οικονομικά οφέλη	Άμεσα οφέλη	<ul style="list-style-type: none"> - Μείωση του κόστους ηλεκτρικής ενέργειας για οικιακούς και εμπορικούς χρήστες. - Επεκτασιμότητα από εγκαταστάσεις μικρής κλίμακας σε ηλιακά πάρκα μεγάλης κλίμακας. - Χαμηλότερο λειτουργικό κόστος και μακροπρόθεσμη οικονομική προσιτότητα λόγω μηδενικής χρήσης καυσίμων. - Ανταγωνιστικό σταθμισμένο κόστος ενέργειας (LCOE) καθιστώντας την ηλιακή φωτοβολταϊκή τεχνολογία όλο και πιο οικονομικά αποδοτική.
	Έμμεσα οφέλη	<ul style="list-style-type: none"> - Δημιουργία θέσεων εργασίας σε ολόκληρη την αλυσίδα αξίας της ηλιακής ενέργειας (κατασκευή, εγκατάσταση, συντήρηση). - Καινοτομία και τεχνολογικές εξελίξεις στην ηλιακή φωτοβολταϊκή ενέργεια, την αποθήκευση μπαταριών και τις τεχνολογίες έξυπνων δικτύων. - Περιβαλλοντική βιωσιμότητα μέσω μειωμένων εκπομπών αερίων θερμοκηπίου και ατμοσφαιρικής ρύπανσης. - Ενισχυμένη ενεργειακή ασφάλεια μέσω της διαφοροποίησης του ενεργειακού μείγματος και της μείωσης της εξάρτησης από τα ορυκτά

Τμήμα	Οφέλη	Περιγραφή
		καύσιμα.
Ευκαιρίες απασχόλησης και δημιουργία θέσεων εργασίας	Αύξηση της απασχόλησης	<ul style="list-style-type: none"> - Η κατασκευή φωτο-βολταϊκών πάνελ, μετατροπέων και άλλων εξαρτημάτων ενισχύει την απασχόληση ειδικευμένου εργατικού δυναμικού. - Ο σχεδιασμός, η υλοποίηση και η θέση σε λειτουργία ηλιακών έργων δημιουργούν υψηλή ζήτηση για εκπαιδευμένους τεχνικούς, ηλεκτρολόγους και μηχανικούς. - Οι δραστηριότητες λειτουργίας και συντήρησης εξασφαλίζουν εκτεταμένες ευκαιρίες απασχόλησης. - Η έρευνα και ανάπτυξη (R&D) στην ηλιακή ενέργεια συμβάλλει στη δημιουργία θέσεων εργασίας υψηλής αξίας.
- Έμμεση δημιουργία θέσεων εργασίας μέσω αυξημένης ζήτησης για στήριξη υπηρεσίες (χρηματοδότηση, νομική, συμβουλευτική) και καταναλωτικές δαπάνες από εργαζόμενους στην ηλιακή βιομηχανία.
Συμβολή στο ΑΕΠ και το εμπόριο	Οικονομική Δραστηριότητα και Διεθνές Εμπόριο	<ul style="list-style-type: none"> - Οι επενδύσεις σε ηλιακές υποδομές συμβάλλουν άμεσα στο ΑΕΠ. - Η δημιουργία θέσεων εργασίας οδηγεί σε αύξηση της κατανάλωσης και των οικονομικών δραστηριοτήτων, συμβάλλοντας περαιτέρω στο ΑΕΠ. - Η τεχνολογική καινοτομία ενισχύει την οικονομική παραγωγικότητα και ανταγωνιστικότητα. - Η ηλιακή βιομηχανία επηρεάζει το διεθνές

Τμήμα	Οφέλη	Περιγραφή
		<p>εμπόριο, με χώρες όπως η Κίνα να είναι σημαντικοί εξαγωγείς ηλιακών εξαρτημάτων.</p> <p>- Τα περιβαλλοντικά οφέλη προσθέτουν έμμεσα στο ΑΕΠ εξοικονομώντας κόστος που σχετίζεται με τη ρύπανση και την υγεία.</p> <p>- Τα πλαίσια πολιτικής και οι συνθήκες της αγοράς διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο στη διαμόρφωση της οικονομικής συμβολής της ηλιακής ενέργειας στο ΑΕΠ και το εμπόριο.</p>

Κεφάλαιο 8ο. Περιπτώσιολογικές μελέτες και πρακτικά παραδείγματα

8.1 Επιτυχημένα παραδείγματα ενσωμάτωσης της ηλιακής ενέργειας

Στην ενσωμάτωση της ηλιακής ενέργειας, υπάρχουν πολλά επιτυχημένα παραδείγματα παγκοσμίως για να εμπνεύσουν και να αποδείξουν ότι η καινοτομία, η πολιτική και οι επενδύσεις μπορούν να συνδυαστούν για να τοποθετήσουν την ανανεώσιμη πηγή ενέργειας ως κεντρική πηγή ενέργειας στις εθνικές και περιφερειακές στρατηγικές. Αυτές οι περιπτώσιολογικές μελέτες ενσωματώνουν τις διάφορες χρήσεις της ηλιακής ενέργειας, από τη μικρή κλίμακα έως την κλίμακα χρησιμότητας, και τεκμηριώνουν τις δυνατότητες που έχει η ηλιακή ενέργεια για την αειφόρο ανάπτυξη. Μία από τις πιο γνωστές ιστορίες επιτυχίας ηλιακής ολοκλήρωσης είναι η γερμανική *Energiewende* («Ενεργειακή Μετάβαση»). Μια επιθετική και συνεχής επένδυση της Γερμανίας σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, ειδικά ηλιακά φωτοβολταϊκά, οδήγησε τη χώρα να αναδειχθεί ως πρωτοπόρος στον κόσμο στη διάδοση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Η γερμανική κυβέρνηση είχε έτσι δημιουργήσει το σύστημα τιμολόγησης τροφοδοσίας (FiT) ως μέρος της νομοθεσίας για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, το οποίο επιτάχυνε πραγματικά την υιοθέτηση της ηλιακής ενέργειας εξασφαλίζοντας σταθερές, πάνω από τις τιμές της αγοράς για τους παραγωγούς ηλιακής ενέργειας. Το αποτέλεσμα ήταν η αξιοσημείωτη αύξηση της ηλιακής ισχύος στη Γερμανία,

αντισταθμίζοντας το μεγαλύτερο μέρος της παροχής ηλεκτρικής ενέργειας μέσω ηλιακών φωτοβολταϊκών. Η επιτυχία της Energiewende δεν είναι μόνο ένα μέτρο της εγκατεστημένης χωρητικότητας, αλλά και το πόσο έχει συμβάλει στη μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα, στη δημιουργία θέσεων εργασίας και στην υποστήριξη της τεχνολογικής καινοτομίας (Morris & Pehnt, 2014).

Η Κίνα αποτελεί αξιοσημείωτο παράδειγμα μιας χώρας στην περιοχή Ασίας-Ειρηνικού που ενσωματώνει την ηλιακή ενέργεια σε μαζική κλίμακα. Έχει αναδειχθεί ως η μεγαλύτερη χώρα παραγωγής ηλιακής ενέργειας στον κόσμο μέσω συντονισμένων στρατηγικών επενδύσεων ηλιακής ενέργειας και υποστηρικτικών κυβερνητικών πολιτικών. Ως εκ τούτου, η προσέγγιση προς την Κίνα δεν περιορίζεται μόνο στα μεγάλα ηλιακά πάρκα, αλλά και στα μέσα ενσωμάτωσης της ηλιακής ενέργειας σε αστικά περιβάλλοντα. Το «Πρόγραμμα Ηλιακών Στεγών», για παράδειγμα, ενθαρρύνει την ηλιακή εγκατάσταση συλλεκτών σε όλες τις στέγες της πόλης, καθιστώντας την ενεργειακά αυτόνομη και επιτρέποντας τη μείωση του αποτυπώματος άνθρακα. Η υπόσχεση της Κίνας για αύξηση της ηλιακής χωρητικότητας αντικατοπτρίζει τη συνολική στρατηγική μείωσης της ρύπανσης και υιοθέτησης καθαρότερης ενέργειας (REN21, 2020).

Ένα άλλο παράδειγμα προέρχεται από ένα μικρό χωριό στο Μπαγκλαντές. Τα ηλιακά οικιακά συστήματα (SHSs) έχουν αλλάξει το παιχνίδι στις χώρες με χαμηλό ποσοστό του πληθυσμού τους που έχει πρόσβαση στο εθνικό δίκτυο. Το πρόγραμμα, που υποστηρίζεται από την Infrastructure Development Company Limited (IDCOL), επέτρεψε την εγκατάσταση ενός εκατομμυρίου μονάδων SHS στις αγροτικές περιοχές, ενεργοποιώντας την ενέργεια σε περιοχές που μέχρι τώρα ήταν εκτός δικτύου. Το πρόγραμμα αυτό όχι μόνο ανέβασε το βιοτικό επίπεδο παρέχοντας πρόσβαση στην ηλεκτρική ενέργεια, αλλά δημιούργησε επίσης θέσεις εργασίας και ενθάρρυνε την τοπική επιχειρηματικότητα. Η επιτυχία του προγράμματος SHS στο Μπαγκλαντές αποτελεί μαρτυρία ότι η ηλιακή ενέργεια μπορεί να είναι μια ρεαλιστική, βιώσιμη λύση στις ενεργειακές προκλήσεις των απομακρυσμένων και υπο-εξυπηρετούμενων κοινοτήτων (Khandker et al., 2012).

Περαιτέρω, η αμερικανική πολιτεία της Καλιφόρνια αντιπροσωπεύει την καινοτομία της ηλιακής ενέργειας ως παράδειγμα του τι μπορεί να επιφέρει η πολιτική και η καινοτομία όσον αφορά την προώθηση της υιοθέτησης της ηλιακής ενέργειας. Η

California Solar Initiative (CSI) ήταν ζωτικής σημασίας για τη συμβολή στην ικανότητα ηλιακής ενέργειας της πολιτείας μέσω ενός προγράμματος που περιλαμβάνει κίνητρα για ηλιακές εγκαταστάσεις, net metering και πρότυπα διασύνδεσης. Η Καλιφόρνια έχει δεσμευτεί να μειώσει τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και να πραγματοποιήσει τη μετάβαση σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, θέτοντας το κράτος στην πρώτη γραμμή της ηλιακής ενέργειας στις Ηνωμένες Πολιτείες. Και η επιτυχία του κράτους δεν οφείλεται μόνο στις ευνοϊκές πολιτικές που εφαρμόζονται, αλλά και στις συμπράξεις δημόσιου-ιδιωτικού τομέα, στις τεχνολογικές εξελίξεις και στη συμμετοχή της κοινότητας σε πρωτοβουλίες για την προώθηση βιώσιμων πρακτικών στην ενέργεια (Barbose et al., 2016).

Συμπερασματικά, οι ιστορίες επιτευγμάτων στη Γερμανία, την Κίνα και το Μπαγκλαντές και στην πολιτεία της Καλιφόρνια δείχνουν πόσο ελπιδοφόρες μπορεί να είναι οι δυνατότητες μετασχηματισμού της ολοκλήρωσης με την ηλιακή ενέργεια. Τέλος, οι δυνατότητες ολοκλήρωσης που συνδέονται με την ηλιακή ενέργεια μπορούν κάλλιστα να απεικονιστούν είτε από ολοκληρωμένα πλαίσια πολιτικής, καινοτόμα προγράμματα ή πρωτοβουλίες σε επίπεδο κοινότητας. Τόνισαν ότι η ηλιακή ενέργεια είναι το μεγαλύτερο διακύβευμα για την επίτευξη όλων των στόχων της βιωσιμότητας με την ενίσχυση της ενεργειακής ασφάλειας αυτής της χώρας και της οικονομικής ανάπτυξης. Ως εκ τούτου, υποστήριξαν περισσότερες επενδύσεις, στήριξη πολιτικής και καινοτομία στον τομέα της ηλιακής ενέργειας.

8.2 Βέλτιστες πρακτικές και διδάγματα

Η ευρεία ενσωμάτωση της ηλιακής ενέργειας σε ποικίλα παγκόσμια πλαίσια έχει προσφέρει μαθήματα μεγάλης αξίας και βέλτιστων πρακτικών, το κλειδί για την επιτυχή υιοθέτηση και διάδοση της ανανεώσιμης πηγής ενέργειας. Αυτές οι γνώσεις, επομένως, παρέχουν χρήσιμη καθοδήγηση στη διαμόρφωση πολιτικής, στρατηγικής και επιχειρησιακών πλαισίων με στόχο τη βελτιστοποίηση των οφελών της ηλιακής ενέργειας, διασφαλίζοντας τη βιώσιμη και αποτελεσματική εφαρμογή της. Ένα σημαντικό δίδαγμα που αντλήθηκε είναι η σημασία της υποστήριξης σταθερών περιβαλλόντων πολιτικής. Έχει αποδειχθεί ότι μέσω των προτύπων χαρτοφυλακίου ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, των συνεπών κυβερνητικών πολιτικών, όπως τα τιμολόγια τροφοδοσίας (FiTs) και των φορολογικών κινήτρων, κράτη όπως η Γερμανία και η Κίνα είναι σε θέση να ενισχύσουν την υιοθέτηση της ηλιακής ενέργειας (Morris & Pehnt, 2014). Έτσι, παρέχουν ασφάλεια και ασφάλεια στους

επενδυτές και τους παραγωγούς, μειώνοντας έτσι τους κινδύνους και ενθαρρύνοντας τις επενδύσεις σε ηλιακές τεχνολογίες. Ένας αποτελεσματικός τρόπος για να επιτευχθεί ταχεία αύξηση της διείσδυσης των ηλιακών συστημάτων είναι μέσω της απλούστευσης των διαδικασιών αδειοδότησης και διασύνδεσης, χωρίς την οποία υπάρχει πιθανότητα οι επαχθείς γραφειοκρατικές διαδικασίες να επιβραδύνουν δραστικά τον ρυθμό των εγκαταστάσεων.

Τα οικονομικά κίνητρα και οι μηχανισμοί χρηματοδότησης αποτέλεσαν επίσης σημαντική ώθηση για την ηλιακή ενέργεια. Πρωτοβουλίες όπως τα FiTs, οι επιχορηγήσεις και οι επιδοτήσεις βοήθησαν να μειωθούν τα κεφαλαιακά εμπόδια στην αρχή, καθιστώντας έτσι την ηλιακή εγκατάσταση προσιτή σε πολύ μεγαλύτερο πληθυσμό. Επιπλέον, νέοι μηχανισμοί χρηματοδότησης, όπως οι συμφωνίες αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας (PPA) και τα προγράμματα ηλιακής μίσθωσης, επέτρεψαν στους καταναλωτές να εγκαταστήσουν συστήματα ηλιακής ενέργειας χωρίς αρχικό κόστος, αλλά αντ' αυτού να πληρώνουν μόνο για την ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται με την πάροδο του χρόνου (Barbose, Darghouth, & Wiser, 2016).

Ένας άλλος κρίσιμος τομέας εστίασης είναι η τεχνολογική καινοτομία και η διασφάλιση της ποιότητας. Μέσω της συνεχούς έρευνας και ανάπτυξης, έχουν επιτευχθεί σημαντικές εξελίξεις στην ηλιακή τεχνολογία που μεταφράζονται σε βελτιώσεις στην απόδοση, μείωση του κόστους και καλύτερη ενσωμάτωση των ηλιακών συστημάτων με τα υπάρχοντα ενεργειακά δίκτυα. Επομένως, η τυποποίηση και η πιστοποίηση της ποιότητας πρέπει να γίνονται στα μεμονωμένα ηλιακά εξαρτήματα πριν από την πλημμύρα της αγοράς με κατώτερα προϊόντα, γεγονός που μπορεί να μειώσει περαιτέρω την εμπιστοσύνη των καταναλωτών και ως εκ τούτου να επιβραδύνει την ανάπτυξη της ηλιακής ενέργειας (Green et al., 2016).

Η συμμετοχή της κοινότητας είναι, επομένως, ο απαιτούμενος μηχανισμός για να περάσει η ευαισθητοποίηση για τη συμμετοχή του κοινού και την υιοθέτηση της ηλιακής ενέργειας. Τα προγράμματα που ξεκίνησαν από την τοπική κοινότητα - όπως αυτά που ασχολούνται με τα κοινοτικά ηλιακά προγράμματα - παρείχαν συγκεντρωτικά οφέλη για την επιτυχή ενίσχυση της χρήσης της ηλιακής ενέργειας και αντιμετώπισαν διαστημικούς ή οικονομικούς περιορισμούς. Εκτός αυτού, οι εκστρατείες δημόσιας εκπαίδευσης σχετικά με την ηλιακή ενέργεια μπορούν επίσης να αυξήσουν την αποδοχή και να βοηθήσουν στην ανάπτυξη θετικής στάσης απέναντι

στην ανανεώσιμη πηγή όσον αφορά την οικονομία, το περιβάλλον και τα κοινωνικά οφέλη (REN21, 2020). Η ενσωμάτωση του δικτύου και η αποθήκευση ενέργειας είναι ζωτικής σημασίας για τη σταθερότητα και την αξιοπιστία της ηλιακής ενέργειας. Δεδομένου ότι η παραγωγή ηλιακής ενέργειας είναι μια διαλείπουσα πηγή ενέργειας, η καλή ενσωμάτωση λύσεων αποθήκευσης ενέργειας, όπως οι μπαταρίες, και η ανάπτυξη τεχνολογιών έξυπνων δικτύων, θα εγγυηθούν συνεχή και αξιόπιστο ενεργειακό εφοδιασμό. Οι τεχνολογίες παρέχουν επίσης καλύτερη διαχείριση ενέργειας, επιτρέποντας την κυμαινόμενη παραγωγή ηλιακής ενέργειας, συλλαμβάνοντας έτσι την υψηλότερη διαθέσιμη ποσότητα κατά τις ώρες αιχμής της ζήτησης (IRENA, 2020).

Περαιτέρω, σημειώνεται ότι τα περιβαλλοντικά και κοινωνικά ζητήματα βρίσκονται στο επίκεντρο των έργων που σχετίζονται με την ηλιακή ενέργεια. Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις των ηλιακών πάρκων αποτελούν βασική πτυχή της αξιολόγησης της βιωσιμότητας όσον αφορά τη χρήση γης και τα τοπικά οικοσυστήματα. Η συμμετοχή των τοπικών κοινωνιών και των ενδιαφερόμενων μερών στις διαδικασίες σχεδιασμού και λήψης αποφάσεων δημιουργεί κοινωνική αποδοχή και διασφαλίζει ότι η κατανομή των παραγόμενων οφελών είναι δίκαιη (Tsoutsos, 2005).

Συνοψίζοντας, τα διδάγματα και οι καλές πρακτικές από τη διεθνή εμπειρία της ενσωμάτωσης της ηλιακής ενέργειας δείχνουν τη σημασία των υποστηρικτικών πολιτικών, των οικονομικών κινήτρων, της τεχνολογικής καινοτομίας, της συμμετοχής της κοινότητας, της ενσωμάτωσης στο δίκτυο και των περιβαλλοντικών και κοινωνικών επιπτώσεων. Αυτό είναι το κλειδί για την ανάπτυξη της βιομηχανίας ηλιακής ενέργειας και χρησιμεύει ως προώθηση της βιώσιμης ανάπτυξης για την επίτευξη των στόχων ενεργειακής μετάβασης. Καθώς ο τομέας συνεχίζει να αναπτύσσεται, η συνεχής ανταλλαγή γνώσεων και εμπειριών θα είναι το κλειδί για το έργο της αντιμετώπισης νέων προκλήσεων και της πλήρους αξιοποίησης του δυναμικού της ηλιακής ενέργειας.

Κεφάλαιο 9°. Περιβαλλοντικές επιπτώσεις και βιωσιμότητα της ηλιακής ενέργειας

9.1 Επισκόπηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων

Ενώ η ηλιακή ενέργεια είναι πράγματι μια καθαρότερη και πιο βιώσιμη εναλλακτική λύση, δεν στερείται περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Σε αυτή την περίπτωση, η πλήρης κατανόηση αυτών των επιπτώσεων θα αποτελέσει προϋπόθεση για τη βελτιστοποίηση των βιώσιμων συστημάτων ηλιακής ενέργειας με την ανάπτυξή τους σύμφωνα με τους στόχους διατήρησης του περιβάλλοντος.

Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις της ηλιακής ενέργειας μπορούν να αναλυθούν από την κατασκευή έως τον παροπλισμό των ηλιακών τεχνολογιών, οι οποίες περιλαμβάνουν ολόκληρο τον κύκλο ζωής της διαδικασίας, ξεκινώντας από τη φάση κατασκευής έως τη φάση εγκατάστασης, καθώς και κατά τη λειτουργία και τον παροπλισμό. Η διαδικασία κατασκευής της πιο κοινής μορφής τεχνολογίας ηλιακής ενέργειας, του φωτοβολταϊκού (PV) πάνελ, περιλαμβάνει την εξόρυξη και επεξεργασία πολλών πρώτων υλών, όπως χαλαζία, ασήμι και αλουμίνιο. Η διαδικασία αυτή είναι ενεργοβόρα και θα μπορούσε να οδηγήσει σε εκπομπές αερίων θερμοκηπίου και άλλων ρύπων. Είναι, ωστόσο, αξιοσημείωτο ότι το αποτύπωμα άνθρακα των ηλιακών φωτοβολταϊκών είναι πολύ χαμηλότερο σε σύγκριση με τις παραδοσιακές πηγές ενέργειας. Μάλιστα, αναφέρεται ότι ο χρόνος απόσβεσης της ενέργειας, δηλαδή ο χρόνος που χρειάζεται ένας ηλιακός συλλέκτης για να παράγει την ποσότητα ενέργειας που χρησιμοποιείται στην παραγωγή του, ποικίλλει και κυμαίνεται μεταξύ 1 και 4 ετών ανάλογα με την τεχνολογία και την τοποθεσία, γεγονός που αποτελεί σημαντική μείωση της διάρκειας ζωής των φωτοβολταϊκών πλαισίων κατά περίπου 25-30 χρόνια.

Η άλλη πτυχή είναι η περιβαλλοντική ανησυχία, δεδομένου ότι χρησιμοποιούνται επικίνδυνα υλικά στην κατασκευή ηλιακών συλλεκτών. Ορισμένα από τα φωτοβολταϊκά πάνελ λεπτής μεμβράνης θα περιέχουν υλικά όπως κάδμιο ή μόλυβδο, τα οποία θα μπορούσαν πραγματικά να θέσουν σε κίνδυνο το περιβάλλον εάν δεν αντιμετωπιστούν σωστά στο τέλος του κύκλου ζωής του πάνελ. Προς το τέλος της ωφέλιμης ζωής των ηλιακών συλλεκτών, η ανακύκλωση και η απόρριψή τους καθίσταται ένα μεγάλο ζήτημα που πρέπει να αντιμετωπιστεί αποτελεσματικά ώστε να ανακτηθούν πολύτιμα υλικά αλλά και να αποφευχθεί η μόλυνση του περιβάλλοντος.

Ένας σημαντικός περιβαλλοντικός αντίκτυπος που συνδέεται με τα ηλιακά πάρκα είναι ο αντίκτυπος στη χρήση γης, κυρίως για μεγάλες εγκαταστάσεις. Μεγάλες εκτάσεις απαιτούνται από τα ηλιακά πάρκα για την παραγωγή μεγάλων ποσοτήτων ηλεκτρικής ενέργειας, γεγονός που μπορεί να οδηγήσει σε απώλεια οικοτόπων, συμπίεση του εδάφους, αλλαγή των προτύπων αποστράγγισης και επιπτώσεις που σχετίζονται με τη χρήση γης. Ωστόσο, οι επιπτώσεις αυτών των εξελίξεων μπορούν να μετριαστούν μέσω κατάλληλης επιλογής τοποθεσίας ή μέσω της συμβατότητας των ηλιακών εγκαταστάσεων με τη γεωργική χρήση (αγροβολταικά). Ένας άλλος τρόπος θα μπορούσε να είναι η τοποθέτηση των ηλιακών πάρκων σε ήδη διαταραγμένες εκτάσεις, όπως χωματερές ή βιομηχανικές ζώνες (Turney & Fthenakis, 2011).

Άλλες περιβαλλοντικές πτυχές της χρήσης νερού προέρχονται κυρίως από την κατασκευή ηλιακών συλλεκτών και τις εργασίες συγκέντρωσης εγκαταστάσεων ηλιακής ενέργειας (CSP). Ενώ τα ηλιακά φωτοβολταϊκά συστήματα απαιτούν ως επί το πλείστον ελάχιστο νερό για τη λειτουργία τους, οι εγκαταστάσεις CSP, οι οποίες χρησιμοποιούν καθρέφτες ή φακούς για να εστιάσουν το ηλιακό φως προκειμένου να παράγουν ατμό για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, μπορεί συχνά να απαιτούν υψηλές ποσότητες νερού. Αυτό μπορεί να δημιουργήσει προκλήσεις, ειδικά σε ξηρές περιοχές όπου το νερό είναι περιορισμένο. Από την άλλη, οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις, μεταξύ άλλων παραγόντων, έχουν επηρεάσει την ανάπτυξη και εφαρμογή τεχνολογιών ξηρής ψύξης και μεθόδων ανακύκλωσης νερού, οι οποίες βοηθούν στην εξοικονόμηση νερού σε μονάδες CSP (Macknick et al., 2012).

Ταυτόχρονα, οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις που αναφέρονται παραπάνω πρέπει να τεθούν σε ένα ευρύτερο πλαίσιο. Τα ηλιακά συστήματα συλλέγουν ηλιακή ενέργεια και, όταν λειτουργούν, δεν παράγουν ατμοσφαιρικούς ρύπους, ρύπους των υδάτων και αέρια θερμοκηπίου. Ως εκ τούτου, τα συστήματα ηλιακής ενέργειας είναι καθαρά σε σύγκριση με τα ορυκτά καύσιμα. Εκτός αυτού, οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου κύκλου ζωής της ηλιακής ενέργειας είναι πολύ μικρότερες από εκείνες που σχετίζονται με τον άνθρακα ή το φυσικό αέριο. Αυτή η μείωση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου είναι σημαντική για τον μετριασμό των κλιματικών αλλαγών και των σχετικών επιπτώσεων στο περιβάλλον και την υγεία.

Συμπερασματικά, ενώ η ηλιακή ενέργεια έχει τις εν λόγω περιβαλλοντικές επιπτώσεις όσον αφορά την κατασκευή, τη χρήση γης και τη χρήση νερού, εξακολουθεί να είναι σημαντικά καθαρότερη και πιο βιώσιμη επιλογή από τις παραδοσιακές πηγές ενέργειας. Εκτός από τα παραπάνω, οι επιπτώσεις μειώνονται πάντα μέσω της βελτίωσης των εξελίξεων στην τεχνολογία της ηλιακής ενέργειας, των μεθόδων ανακύκλωσης και της ανάπτυξης διαδικασιών παραγωγής που είναι πιο αποτελεσματικές και χρησιμοποιούν λιγότερους πόρους. Ως εκ τούτου, η ηλιακή ενέργεια θα πρέπει να είναι σε θέση να διαδραματίσει κρίσιμο ρόλο ικανοποιώντας τις περιβαλλοντικές εκτιμήσεις στη σταδιακή μετάβαση σε ένα ακόμα πιο βιώσιμο και περιβαλλοντικό παγκόσμιο ενεργειακό σύστημα μέσω πολιτικής, έρευνας και τεχνολογίας.

9.2 Αποτύπωμα άνθρακα και ενεργειακή απόσβεση

Το αποτύπωμα άνθρακα και ο χρόνος απόσβεσης ενέργειας είναι σημαντικές παράμετροι για αυτή την κατηγορία συστημάτων, καθώς δίνουν μια ιδέα για τη δυνητική οικολογική απόδοση των φωτοβολταϊκών ηλιακών συλλεκτών και τον τρόπο με τον οποίο θα μπορούσαν να συμβάλουν στη μείωση του άνθρακα.

Το αποτύπωμα άνθρακα των συστημάτων ηλιακής ενέργειας περιλαμβάνει κυρίως τις εκπομπές κύκλου ζωής των αερίων του θερμοκηπίου (GHG) που απελευθερώνονται κατά την κατασκευή, τη μεταφορά, την εγκατάσταση, τη συντήρηση και τον παροπλισμό. Για παράδειγμα, ενώ οι ηλιακοί συλλέκτες παράγουν ηλεκτρική ενέργεια χωρίς την εκπομπή αερίων του θερμοκηπίου κατά τη χρήση, η ενέργεια που χρησιμοποιείται για την παραγωγή των ηλιακών συλλεκτών, η οποία συχνά προέρχεται από μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, συμβάλλει στο αποτύπωμα άνθρακα. Πρέπει, ωστόσο, να ληφθεί υπόψη ότι το αποτύπωμα άνθρακα της ηλιακής ενέργειας είναι αρκετά ελάχιστο σε σύγκριση με αυτό άλλων συμβατικών πηγών ενέργειας. Σύμφωνα με έρευνες, οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου κατά τον κύκλο ζωής των ηλιακών φωτοβολταϊκών συστημάτων κυμαίνονται από 30-50 γραμμάρια ισοδυνάμου CO₂ ανά κιλοβατώρα (gCO₂eq/kWh) – μια τιμή πολύ μικρότερη από τους κύκλους ζωής των σταθμών ηλεκτροπαραγωγής με άνθρακα και φυσικό αέριο.

Ένας από τους μεγάλους καθοριστικούς παράγοντες της περιβαλλοντικής βιωσιμότητας στους ηλιακούς συλλέκτες έγκειται στον χρόνο απόσβεσης ενέργειας

(EPBT) ενός ηλιακού συλλέκτη, ο οποίος είναι ο χρόνος που χρειάζεται ένας ηλιακός συλλέκτης για να παράγει ισοδύναμη ποσότητα ενέργειας που θα είχε χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή του. Το EPBT είναι ένα από τα σημαντικά μέτρα, καθώς καθορίζει τη διάρκεια κατά την οποία ο ηλιακός συλλέκτης καθίσταται καθαρός παραγωγός ενέργειας και, ως εκ τούτου, διευκολύνει την αντιστάθμιση της εισροής ενέργειας κατά τη διαδικασία παραγωγής του. Το EPBT ενός ηλιακού φωτοβολταϊκού συστήματος έχει μειωθεί με την πάροδο των ετών, συμβάλλοντας στις τεχνολογικές εξελίξεις και τη βελτιωμένη απόδοση κατασκευής, καθώς και στην κατανάλωση πιο βιώσιμης ενέργειας κατά την παραγωγή. Πρόσφατες μελέτες δείχνουν ότι η EPBT των ηλιακών συλλεκτών είναι συνήθως μεταξύ 1 και 4 ετών, ανάλογα με την τεχνολογία, τη διαδικασία κατασκευής και τη γεωγραφική θέση της εγκατάστασης (Raugei et al., 2017).

Οι συνεχείς εξελίξεις στις διαδικασίες παραγωγής και η αποδοτικότητα των ηλιακών κυψελών έχουν ως αποτέλεσμα μειωμένο αποτύπωμα άνθρακα και EPBT των ηλιακών συλλεκτών. Οι ηλιακοί συλλέκτες σχεδιάζονται έτσι για υψηλότερη απόδοση μετατροπής. Ως εκ τούτου, παράγουν περισσότερη ηλεκτρική ενέργεια από την ποσότητα του ηλιακού φωτός που τους χτυπά. Αυτό, με τη σειρά του, όχι μόνο μειώνει το χρόνο απόσβεσης της ενέργειας, αλλά και ενισχύει το συνολικό δυναμικό αντιστάθμισης άνθρακα των ηλιακών συλλεκτών στη διάρκεια ζωής τους από 25 έως 30 χρόνια.

Άλλοι παράγοντες που συμβάλλουν στη μείωση του αποτυπώματος άνθρακα και του EPBT περιλαμβάνουν τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στη διαδικασία παραγωγής του ηλιακού συλλέκτη. Ο τομέας των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας αυξάνεται και η ποσότητα των κατασκευαστών ηλιακών συλλεκτών που χρησιμοποιούν καθαρές πηγές ενέργειας στην παραγωγή μειώνει συνεχώς τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου που συνδέονται με τα προϊόντα τους.

Όμως, παρά αυτές τις εξελίξεις, η βιομηχανία σήμερα εξακολουθεί να αντιμετωπίζει προκλήσεις στην ελαχιστοποίηση του αποτυπώματος άνθρακα καθώς και του EPBT των ηλιακών συλλεκτών. Ορισμένες από αυτές τις προκλήσεις είναι η βελτίωση της ικανότητας ανακύκλωσης των ηλιακών συλλεκτών στο τέλος του κύκλου ζωής τους, εκτός από την εξεύρεση βιώσιμων λύσεων αναφορικά με τη χρήση σπάνιων και ενεργοβόρων υλικών στην κατασκευή. Η αντιμετώπιση αυτών των προκλήσεων είναι

απαραίτητη για τη διασφάλιση της μακροπρόθεσμης βιωσιμότητας της ηλιακής βιομηχανίας στη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου ως μέρος των παγκόσμιων προσπαθειών μείωσης του άνθρακα.

Συμπερασματικά, τα συστήματα ηλιακής ενέργειας υπόσχονται να παρέχουν έναν τρόπο μείωσης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και ένα βιώσιμο ενεργειακό μέλλον. Το σχετικά χαμηλό αποτύπωμα άνθρακα των ηλιακών συλλεκτών και η μείωση του EPBT υπογραμμίζουν τις δυνατότητές του ως περιβαλλοντική ενεργειακή λύση. Η συνεχής τεχνολογική καινοτομία, με την ενσωμάτωση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην πραγματική διαδικασία κατασκευής, είναι κρίσιμη για την προώθηση του προφίλ βιωσιμότητας της ηλιακής ενέργειας. Στο μέλλον, υπάρχει η υπόσχεση ότι με την περαιτέρω ανάπτυξη της ηλιακής τεχνολογίας, ο κόσμος θα είναι σε θέση να συμβάλει στις παγκόσμιες προσπάθειες που καταβάλλονται στον κοινό αγώνα κατά της κλιματικής αλλαγής και στην κίνηση προς μια οικονομία χαμηλών εκπομπών άνθρακα.

9.3 Επιπτώσεις στη γη και τα οικοσυστήματα

Ο πολλαπλασιασμός της ηλιακής ενέργειας ως βιώσιμης πηγής ενέργειας εγείρει όχι μόνο ενεργειακές λύσεις αλλά και περιβαλλοντικές ανησυχίες, κυρίως όσον αφορά τη χρήση γης και τις επιπτώσεις στα οικοσυστήματα. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι οι ηλιακές εγκαταστάσεις τείνουν να καταλαμβάνουν μεγάλες εκτάσεις γης, ειδικά σε ηλιακά πάρκα μεγάλης κλίμακας, και έτσι η κατανόηση και ο έλεγχος του περιβαλλοντικού αποτυπώματος γίνεται ένας από τους στόχους για την εξισορρόπηση της ανάπτυξης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας με τη διατήρηση του οικοσυστήματος.

Τα ηλιακά πάρκα που χρησιμοποιούν τη γη μπορεί να σημαίνουν απώλεια ή αλλοιώσεις του οικοτόπου και θα μπορούσαν να έχουν επιπτώσεις στους πληθυσμούς χλωρίδας και πανίδας που ζουν σε αυτήν την περιοχή. Οι ηλιακές εγκαταστάσεις μεγάλης κλίμακας, τις περισσότερες φορές, ενδέχεται να απαιτούν εκκαθάριση της γης, διαταράσσοντας έτσι τον φυσικό οικοτόπο και τη βιοποικιλότητα της περιοχής. Για παράδειγμα, μεγάλα ηλιακά έργα μπορούν να καταλαμβάνουν τεράστιες εκτάσεις γης, εκτοπίζοντας έτσι τη βλάστηση και την άγρια ζωή, μεταβάλλοντας τα πρότυπα αποστράγγισης και τελικά ενδεχομένως οδηγώντας σε διάβρωση του εδάφους ή κατακερματισμό των οικοτόπων (Hernandez et al., 2014). Οι επιπτώσεις εξαρτώνται

κυρίως από την τοποθέτηση και το μέγεθος της ηλιακής εγκατάστασης, καθώς και από την ευαισθησία του τοπικού οικοσυστήματος.

Ως εκ τούτου, η επιλογή τοποθεσίας είναι ζωτικής σημασίας για τον αντίκτυπο αυτών των επιπτώσεων. Η προτεραιότητα θα πρέπει επίσης να περιλαμβάνει την ανάπτυξη σε προηγουμένως διαταραγμένες ή υποβαθμισμένες εκτάσεις, όπως εγκαταλελειμμένες εκτάσεις ή εγκαταλελειμμένες γεωργικές εκτάσεις, γεγονός που θα μπορούσε να μειώσει τη διατάραξη των οικοτόπων. Επιπλέον, οι ηλιακές εγκαταστάσεις έχουν τη δυνατότητα να συνδυαστούν με πρακτικές χρήσης γης σε οποιαδήποτε περιοχή, εξ ου και η πρακτική που ονομάζεται *agrivoltaics* ή ηλιακή διπλής χρήσης, όπου οι δραστηριότητες της γεωργίας συνυπάρχουν με ηλιακούς συλλέκτες, ελαχιστοποιώντας έτσι τις συγκρούσεις χρήσης γης και παρέχοντας συνοδευτικά οφέλη, συμπεριλαμβανομένης της αυξημένης απόδοσης των καλλιεργειών και της μειωμένης εξάτμισης του νερού από το έδαφος (Dupraz et al., 2011).

Οι ηλιακές εγκαταστάσεις μπορούν επίσης να έχουν άμεσες επιπτώσεις στα τοπικά μικροκλίματα. Η παρουσία τεράστιων μπλοκ ηλιακών συλλεκτών μπορεί δυνητικά να επηρεάσει την τοπική λευκαύγεια και, επομένως, τις τοπικές θερμοκρασίες και ίσως τα τοπικά μικροκλίματα. Ωστόσο, δεν υπάρχουν πολλές μελέτες στον τομέα και το πραγματικό πεδίο εφαρμογής και η σημασία αυτών των επιπτώσεων δεν είναι ακόμη γνωστά. Ωστόσο, η κατανόησή τους είναι ζωτικής σημασίας για μια ολοκληρωμένη αξιολόγηση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος της ηλιακής ενέργειας (Barron-Gafford et al. 2019).

Ένας άλλος σχετικός περιβαλλοντικός παράγοντας για τις μονάδες συγκέντρωσης ηλιακής ενέργειας (CSP) είναι η κατανάλωση νερού που απαιτείται από αυτές τις εγκαταστάσεις για ψύξη. Η λειψυδρία μπορεί να είναι ένα μεγάλο πρόβλημα σε ξηρές περιοχές, οι οποίες τυχαίνει να είναι περιοχές όπου οι περισσότερες ηλιακές εγκαταστάσεις τοποθετούνται ως απάντηση στην υψηλή ηλιακή ακτινοβολία. Τελικά, η υιοθέτηση τεχνολογιών ξηρής ψύξης ή η υιοθέτηση τεχνολογιών ψύξης που χρησιμοποιούν λίγο νερό μπορεί να ελαχιστοποιήσει αυτά τα ζητήματα που σχετίζονται με το νερό και στη συνέχεια να διασφαλίσει ότι η ηλιακή ενέργεια παραμένει βιώσιμη σε περιοχές που έχουν περιορισμένο νερό (Macknick et al., 2012).

Ένα άλλο περιβαλλοντικό ζήτημα αφορά τη διαχείριση του τέλους του κύκλου ζωής των ηλιακών συλλεκτών. Μακροπρόθεσμα, η προβλεπόμενη αύξηση της ανάπτυξης ηλιακών συλλεκτών θα έχει ως αποτέλεσμα μεγάλο όγκο αποβλήτων πάνελ, που χρειάζονται κατάλληλη ανακύκλωση και διάθεση στρατηγικών. Ο ίδιος ο ηλιακός συλλέκτης έχει υλικά που μπορεί να είναι, αν δεν απορρίπτονται καλά, επιβλαβή για το περιβάλλον. Οι αποτελεσματικές διαδικασίες ανακύκλωσης αυτών των υλικών για ανάκτηση είναι, επομένως, θεμελιώδεις για την πρόληψη πιθανής μόλυνσης του εδάφους και του νερού (Fthenakis, 2009).

Παρά τις ανησυχίες αυτές, είναι σημαντικό να τεθούν οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις της ηλιακής ενέργειας σε προοπτική στο πλαίσιο της παραγωγής ενέργειας. Η ηλιακή ενέργεια επιφέρει τεράστια μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, της χρήσης νερού και των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου σε σύγκριση με το είδος της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που βασίζεται στα ορυκτά καύσιμα. Επιπλέον, το αποτύπωμα χρήσης γης για τα ηλιακά πάρκα ανά μονάδα της παραγόμενης ενέργειας είναι γενικά χαμηλότερο από αυτό των ανθρακωρυχείων ή των πηγαδιών πετρελαίου και φυσικού αερίου καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής παραγωγής ενέργειας της εξόρυξης, μεταφοράς και μετατροπής καυσίμων (Hernandez et al., 2014).

Εν ολίγοις, αν και η ηλιακή ενέργεια παρέχει μία από τις λύσεις για ένα βιώσιμο ενεργειακό μέλλον χαμηλών εκπομπών άνθρακα, έρχεται με τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις της. Η ορθή διαχείριση αυτών των επιπτώσεων στη χρήση γης και στα οικοσυστήματα παραμένει πολύ κρίσιμη για τη διασφάλιση της βιωσιμότητας της ηλιακής ενέργειας μακροπρόθεσμα. Τέτοιες περιβαλλοντικές επιπτώσεις μπορούν να διαμεσολαβηθούν από την ηλιακή βιομηχανία μέσω της συνετής χωροθέτησης, της καινοτόμου χρήσης γης, των τεχνολογιών αποδοτικής χρήσης του νερού και της αποτελεσματικής διαχείρισης του τέλους του κύκλου ζωής των ηλιακών συλλεκτών. Ως εκ τούτου, αποτελεί σημαντικό παράγοντα για την εξισορρόπηση των ενεργειακών αναγκών και της οικολογικής διατήρησης για ολιστική βιωσιμότητα.

Κεφάλαιο 10. Συζήτηση και Ανάλυση

10.1 Σύνθεση βασικών ευρημάτων

Η ηλιακή ενέργεια χρησιμεύει ως βασικό στοιχείο στη διαδικασία μετάβασης σε ανανεώσιμες μορφές ενέργειας, φέρνοντας μαζί της ευρείες ευκαιρίες και σημαντικές προκλήσεις, δικαιολογώντας συνολικό προβληματισμό και στρατηγική δράση.

Πρώτον, είναι αδιαμφισβήτητο γεγονός ότι η ηλιακή ενέργεια συμβάλλει στη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα και στη μείωση των σχετικών επιπτώσεων με την αλλαγή του κλίματος. Η ηλιακή ενέργεια αποτελεί καθαρή πηγή ενέργειας, μειώνοντας έτσι σημαντικά το αποτύπωμα άνθρακα που σχετίζεται με την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και, ως εκ τούτου, έχει περιγραφεί ως αποτελεσματική επιλογή έναντι των ορυκτών καυσίμων. Οι σχετικά χαμηλές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου των ηλιακών φωτοβολταϊκών συστημάτων, που κυμαίνονται μεταξύ 30-50 gCO₂eq/kWh, υπογραμμίζουν τις δυνατότητες που έχουν για τον περιορισμό των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που σχετίζονται με την παραγωγή ενέργειας (Fthenakis and Kim, 2011). Επιπλέον, η ενισχυμένη ηλιακή τεχνολογία και το συνεχώς μειούμενο κόστος των ηλιακών εγκαταστάσεων έχουν οδηγήσει την κίνηση της ηλιακής ανάπτυξης προς την οικονομική βιωσιμότητα και ανταγωνιστικότητα.

Από την άλλη, οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις της ηλιακής ενέργειας δεν περιορίζονται μόνο στη φάση λειτουργίας. Οι διαδικασίες κατασκευής, εγκατάστασης και παροπλισμού των ηλιακών συστημάτων έχουν ως αποτέλεσμα τη χρήση γης, τις επιπτώσεις στα οικοσυστήματα, τους υδάτινους πόρους και τη διαχείριση των αποβλήτων. Οι απαιτήσεις γης που σχετίζονται με ηλιακές εγκαταστάσεις μεγάλης κλίμακας ενδέχεται να προκαλέσουν καταστροφή οικοτόπων και διατάραξη της βιοποικιλότητας και, ως εκ τούτου, απαιτούν προσεκτική επιλογή τοποθεσιών και κατάλληλο χωροταξικό σχεδιασμό. Ωστόσο, πρέπει οπωσδήποτε να υπάρξει μια ισορροπημένη προσέγγιση σε σχέση με τις δυνατότητες τροποποίησης των μικροκλιμάτων σε τοπικό επίπεδο και της χρήσης νερού που σχετίζεται με τις μονάδες CSP. Η ενσωμάτωση της διατήρησης του περιβάλλοντος στις ενεργειακές στρατηγικές είναι σίγουρα ένας τρόπος για να προχωρήσουμε (Hernandez et al., 2014).

Μια ακόμη σημαντική πρόκληση σχετίζεται με τη διαχείριση στο τέλος του κύκλου ζωής των ηλιακών συλλεκτών. Με την πιθανή αύξηση των αποβλήτων ηλιακών συλλεκτών που προβλέπεται λόγω της αυξανόμενης υιοθέτησης της ηλιακής ενέργειας, απαιτούνται κατάλληλες διαδικασίες ανακύκλωσης και κανονισμοί για την ίδια. Η ανακύκλωση ηλιακών συλλεκτών προστατεύει το περιβάλλον από τη ρύπανση και, με την ανάκτηση, αυτό ενισχύει την αποδοτικότητα στη χρήση των πόρων μέσω μιας κυκλικής οικονομίας. Ωστόσο, τα οικονομικά και τεχνολογικά εμπόδια στην

ανακύκλωση υπογραμμίζουν την ανάγκη για καινοτομία και υποστηρικτικές πολιτικές που θα ενισχύσουν περαιτέρω τη βιωσιμότητα της βιομηχανίας στην ηλιακή ενέργεια (IRENA, 2016).

Ο κοινωνικοοικονομικός της ρόλος στην απασχόληση και την οικονομική ανάπτυξη είναι τεράστιος. Από τις μυριάδες ευκαιρίες απασχόλησης που προσφέρει ο κλάδος, από την κατασκευή έως τις θέσεις εργασίας εγκατάστασης και συντήρησης που δημιουργεί, έως την υποστήριξη που παρέχει στις τοπικές κοινότητες, αυτό αποτελεί αναμφίβολα βασικό παράγοντα στην οικονομική ανάπτυξη. Επιπλέον, το μειωμένο κόστος ηλεκτρικής ενέργειας σε συνδυασμό με την ενεργειακή ανεξαρτησία συμβάλλουν στην εξοικονόμηση και τη διασφάλιση των χρημάτων των πολιτών και των επιχειρήσεων.

Ενώ η ηλιακή ενέργεια προσφέρει ένα βιώσιμο μέλλον χαμηλών εκπομπών άνθρακα, το πραγματικό δυναμικό της μπορεί να υλοποιηθεί μόνο με την επίλυση των προκλήσεων που σχετίζονται με την περιβαλλοντική, οικονομική και κοινωνική δυναμική. Αυτό θα απαιτούσε μια ολοκληρωμένη προσέγγιση καινοτόμου τεχνολογίας, υποστηρικτικών πολιτικών και συμμετοχής των ενδιαφερόμενων μερών για να είναι επιτυχής.

Οι εξελίξεις στην τεχνολογία της αποδοτικότητας των ηλιακών συλλεκτών, οι τεχνικές ανακύκλωσης και οι μέθοδοι εξοικονόμησης νερού των συστημάτων ψύξης των εγκαταστάσεων CSP είναι πολύ σημαντικές για την περιβαλλοντική βιωσιμότητα μέσω της ηλιακής ενέργειας. Ταυτόχρονα, υποστηρικτικές πολιτικές και κανονισμοί για τη χρήση οικονομικών κινήτρων στην ανακύκλωση και τη χρήση γης, μεταξύ άλλων, θα πρέπει να ενθαρρύνουν την ανάπτυξη του ηλιακού τομέα, εξασφαλίζοντας θετικές περιβαλλοντικές και κοινωνικοοικονομικές επιπτώσεις. Ως εκ τούτου, οι τοπικές κοινότητες, οι ενδιαφερόμενοι φορείς της βιομηχανίας, καθώς και οι υπεύθυνοι χάραξης πολιτικής συμμετέχουν στις διαδικασίες λήψης αποφάσεων για να διασφαλίσουν ότι η ανάπτυξη της ηλιακής ενέργειας είναι σύμφωνη με τους ευρύτερους στόχους βιωσιμότητας και αναδεικνύει τις ανάγκες και τις ανησυχίες των επηρεαζόμενων κοινοτήτων.

Εν κατακλείδι, όσο σημαντική και αν είναι η συμβολή της στη μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα και στην οικονομική ανάπτυξη, η ηλιακή ενέργεια οδηγεί ταυτόχρονα σε ορισμένες καλά διατεθειμένες περιβαλλοντικές και κοινωνικές

επιπτώσεις που πρέπει να διαχειριστούν με λεπτότητα και να αντιδράσουν στρατηγικά. Η υποστήριξη των προσπαθειών για την υιοθέτηση της καινοτομίας, η προώθηση υποστηρικτικών πολιτικών και η συμμετοχή των ενδιαφερόμενων μερών είναι όλα σημαντικά για τη μεγιστοποίηση της ηλιακής ενέργειας και για τη μετάβαση προς ένα βιώσιμο, ανθεκτικό και χωρίς αποκλεισμούς ενεργειακό μέλλον.

10.2 Θεωρητικές και πρακτικές επιπτώσεις

Αυτή η μελέτη για την ηλιακή ενέργεια - που καλύπτει τις πτυχές της ολοκλήρωσης, των περιβαλλοντικών επιπτώσεων και της βιωσιμότητας - έχει σημαντικές θεωρητικές και πρακτικές επιπτώσεις. Τέτοιες επιπτώσεις είναι σημαντικές όχι μόνο για την κατανόηση της δυναμικής της υιοθέτησης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, αλλά και για την καθοδήγηση της πολιτικής, των επενδύσεων και της πρακτικής στον τομέα της ενέργειας. Τα βασικά ευρήματα συντίθενται προκειμένου να αναδειχθεί ότι η ηλιακή ενέργεια είναι πολύπλευρη και αποκτώνται κρίσιμες γνώσεις σχετικά με το ρόλο που διαδραματίζει η ενέργεια στη μετάβαση προς συστήματα που είναι βιώσιμα και ανθεκτικά.

Θεωρητικά, η ενίσχυση της ηλιακής ενέργειας υπογραμμίζει την έννοια της ενεργειακής μετάβασης, μια παραδειγματική μετατόπιση των συστημάτων από την εξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Η μετάβαση γίνεται αντιληπτή με βάση τις θεωρίες των συστημάτων βιώσιμης ανάπτυξης και καινοτομίας, οι οποίες δίνουν έμφαση στην αλληλεπίδραση της τεχνολογίας, της πολιτικής και των δυνάμεων της αγοράς στην προώθηση της κοινωνικής αλλαγής. Η ηλιακή ενέργεια αντιπροσωπεύει μια φιλική προς το περιβάλλον και σχετικά φθηνή λύση που είναι θεμελιώδης για τη βιωσιμότητα, με αυξημένες ευκαιρίες για τον μετριασμό των αλλαγών στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, ανοίγοντας περαιτέρω το δρόμο για τον μετριασμό των αλλαγών στο κλίμα και την προώθηση της ανάπτυξης μιας οικονομίας (Fthenakis and Kim, 2011).

Στην πράξη, η υιοθέτηση της ηλιακής ενέργειας έχει πολλές εκτεταμένες επιπτώσεις. Αυτό που δείχνουν τα ευρήματα είναι η ανάγκη για υγιή πλαίσια πολιτικής που θα εγγυώνται την ανάπτυξη της ηλιακής βιομηχανίας. Πολιτικές όπως τα τιμολόγια τροφοδοσίας, τα φορολογικά κίνητρα και τα πρότυπα χαρτοφυλακίου ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι κρίσιμες για τη διασφάλιση ενός ευνοϊκού περιβάλλοντος για επενδύσεις στην ηλιακή ενέργεια.

Περαιτέρω, οι υπεύθυνοι χάραξης πολιτικής θα πρέπει να εξισορροπήσουν την προώθηση της ηλιακής ενέργειας με τη διατήρηση του περιβάλλοντος, διασφαλίζοντας την ανάπτυξη ηλιακών συστημάτων σύμφωνα με ευρύτερους στόχους βιωσιμότητας (Hernandez et al., 2014).

Η περιβαλλοντική βιωσιμότητα όσον αφορά την καινοτομία για τη μείωση του κόστους και τη βελτίωση των επιδόσεων είναι επιτακτική, όπου αυτό μπορεί να παρασχεθεί από τεχνολογικές βελτιώσεις στην απόδοση, τεχνολογίες ανακύκλωσης για ανακύκλωση ηλιακών συλλεκτών και συστήματα ψύξης με λιγότερη χρήση νερού. Η βιομηχανία πρέπει να επενδύσει στην έρευνα και την ανάπτυξη για να προωθήσει την καινοτομία και να μειώσει το κόστος στο πλαίσιο της βελτίωσης της απόδοσης του συστήματος. Εκτός αυτού, θα πρέπει να υιοθετηθούν βιώσιμες πρακτικές, συμπεριλαμβανομένης της υπεύθυνης προμήθειας υλικών, της αποδοτικής χρήσης του νερού στις λειτουργίες και της ανακύκλωσης στο τέλος του κύκλου ζωής τους, ώστε να ελαχιστοποιηθούν οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις των ηλιακών εγκαταστάσεων (IRENA, 2016).

Από την πλευρά των επενδυτών, οι συνέπειες για την πρακτική βασίζονται στην κατανόηση των κινδύνων και των ευκαιριών των έργων ηλιακής ενέργειας. Το κόστος τέτοιων εγκαταστάσεων μειώνεται, όπως και ο αριθμός των υποστηρικτικών πολιτικών και η αυξανόμενη ζήτηση της αγοράς. Ωστόσο, πρέπει να ληφθούν υπόψη οι περιβαλλοντικές και κοινωνικές παράμετροι για τα ηλιακά έργα, με τις επενδυτικές στρατηγικές να ευθυγραμμίζονται με τις αρχές της βιωσιμότητας για μακροπρόθεσμη βιωσιμότητα και αποδοχή.

Τέλος, υφίστανται επιπτώσεις για τις κοινότητες τόσο στην ενδυνάμωση όσο και στη δέσμευση. Τα έργα ηλιακής ενέργειας παρέχουν την ευκαιρία να ενισχυθεί η τοπική οικονομική ανάπτυξη, να δημιουργηθούν θέσεις εργασίας και να παρασχεθεί πρόσβαση στην ενέργεια στην περιοχή. Η συμμετοχή των κοινοτήτων στο σχεδιασμό και την υλοποίηση των ηλιακών έργων έχει συχνά το ευεργετικό αποτέλεσμα ότι οι κοινότητες εμπλέκονται πιο ουσιαστικά σε αυτές τις εξελίξεις και οι ανησυχίες τους θα αποτελέσουν μέρος της εξίσωσης. Πράγματι, η συμμετοχή των κοινοτήτων σε έργα ηλιακής ενέργειας θα καθιστούσε δυνατή την επίτευξη κοινωνικής αποδοχής και, ως εκ τούτου, την επιτυχία στην υιοθέτηση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Κεφάλαιο 11°. Συμπεράσματα-Επίλογος

11.1 Σύνοψη των βασικών πορισμάτων

Η ηλιακή ενέργεια είναι ένας από τους ακρογωνιαίους λίθους της αιεφόρου ανάπτυξης και παρέχει πολύ ελπιδοφόρες λύσεις για τις παγκόσμιες ενεργειακές ανάγκες. Ταυτόχρονα, η ηλιακή ενέργεια προσφέρει μοναδικές προκλήσεις που πρέπει να αντιμετωπιστούν προσεκτικά και στρατηγικά. Ένας από τους ακρογωνιαίους λίθους της αιεφόρου ανάπτυξης είναι η ενέργεια. Αυτό σημαίνει ότι η ηλιακή ενέργεια είναι μια βιώσιμη, ανανεώσιμη και καθαρή πηγή ενέργειας που μειώνει δραστικά το αποτύπωμα άνθρακα από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας - ως εκ τούτου, μια βιώσιμη αντικατάσταση των ορυκτών καυσίμων. Οι σχετικά χαμηλές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου κατά τον κύκλο ζωής των ηλιακών φωτοβολταϊκών συστημάτων, σε συνδυασμό με τη μείωση του κόστους και τις τεχνολογικές εξελίξεις στην ηλιακή ενέργεια, έχουν αναπτύξει πολύ γρήγορα την ηλιακή βιομηχανία ώστε να είναι ανταγωνιστική και οικονομικά βιώσιμη ως πηγή ενέργειας (Fthenakis & Kim, 2011).

Ωστόσο, οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις της ηλιακής ενέργειας υπερβαίνουν τη φάση λειτουργίας. Τα ευρήματα υπογραμμίζουν ότι η διαχείριση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που σχετίζονται με τον κύκλο ζωής των ηλιακών συστημάτων απαιτεί μια ολιστική προσέγγιση. Αυτές οι ανησυχίες περιλαμβάνουν τη χρήση της γης, τη διατάραξη των οικοσυστημάτων και τη χρήση νερού που εμπλέκονται στις μονάδες CSP, σε συνδυασμό με τη διαχείριση των αποβλήτων στο τέλος του κύκλου ζωής. Τα βασικά συστατικά της αποτελεσματικής περιβαλλοντικής βιωσιμότητας των ηλιακών εγκαταστάσεων περιλαμβάνουν την κατάλληλη επιλογή τοποθεσίας, τα αγροβολταικά, τη χρήση τεχνολογιών ψύξης με ελάχιστη χρήση νερού και την αποτελεσματική διαδικασία ανακύκλωσης (Hernandez et al., 2014; IPENA, 2016).

Από κοινωνικοοικονομική άποψη, η ηλιακή ενέργεια συμβάλλει σημαντικά στη δημιουργία θέσεων εργασίας και στη γενική οικονομική ανάπτυξη. Εξυπηρετεί επίσης τις τοπικές οικονομίες στη λειτουργία του σε μια ποικιλία ευκαιριών απασχόλησης εντός της ηλιακής αλυσίδας αξίας, ενισχύοντας παράλληλα την ανάπτυξη της κοινότητας. Επιπλέον, η μείωση του κόστους ηλεκτρικής ενέργειας καθώς και η ανεξαρτησία από τις ενεργειακές εγκαταστάσεις θα παράσχουν οδούς εξοικονόμησης και σταθεροποίησης των οικονομικών, τόσο σε ατομικό όσο και σε εθνικό επίπεδο.

Με αυτά τα βασικά ευρήματα, προτείνονται οι ακόλουθες συστάσεις προς διάφορους ενδιαφερόμενους φορείς που αποτελούν μέρος του τομέα της ηλιακής ενέργειας.

Για τους υπεύθυνους χάραξης πολιτικής:

- i. Ανάπτυξη και επιβολή ολοκληρωμένων πλαισίων πολιτικής με οικονομικά κίνητρα για τη στήριξη της ανάπτυξης της ηλιακής βιομηχανίας, ρυθμιστικών προτύπων ανακύκλωσης και σχεδιασμού χρήσης γης.
- ii. Διασφάλιση ότι, όταν προωθείται η ηλιακή ενέργεια, η έμφαση θα πρέπει να εξισορροπείται με τη διατήρηση του περιβάλλοντος με την εγγύηση τόσο των ηλιακών εγκαταστάσεων που ακολουθούν μια τάση όσο και των πρακτικών διαχείρισης της γης.
- iii. Προώθηση των επενδύσεων σε ηλιακές τεχνολογίες, ανακύκλωση, κατασκευή και χρήση συστημάτων αποδοτικής χρήσης νερού μέσω καινοτομιών στην έρευνα και την ανάπτυξη.

2. *Για την ηλιακή βιομηχανία:*

- i. Συμβολή σε τεχνολογικές καινοτομίες που θα επιτρέψουν βελτιώσεις της αποδοτικότητας και της βιωσιμότητας στα ηλιακά συστήματα, συμπεριλαμβανομένης της βελτίωσης της αποδοτικότητας των πάνελ, των τεχνολογιών ανακύκλωσης και της διαχείρισης των υδάτων.
- ii. Βιωσιμότητα στις πρακτικές της ηλιακής ενέργειας, από την αποδοτικότητα του νερού στις λειτουργίες έως τα υλικά που προέρχονται προσεκτικά και την καλά σχεδιασμένη διαχείριση στο τέλος του κύκλου ζωής.

3. *Για την Κοινότητα:*

- i. Συμμετοχή στον τοπικό σχεδιασμό ηλιακών έργων και στη λήψη αποφάσεων με στόχο τη διασφάλιση της αντιμετώπισης των αναγκών της κοινότητας.

Ως εκ τούτου, το έργο προσφέρει την ευκαιρία να αξιοποιηθούν τα οφέλη που προκύπτουν για την τοπική οικονομική ανάπτυξη και τη δημιουργία θέσεων εργασίας από έργα που αναπτύσσονται στο πλαίσιο της ηλιακής ενέργειας. Ωστόσο, το δυναμικό της ηλιακής ενέργειας είναι τεράστιο, αλλά η επίτευξή του συνεπάγεται την αντιμετώπιση των περιβαλλοντικών, οικονομικών και κοινωνικών προκλήσεων που δημιουργεί. Βέβαια, με τη συνεργασία των υπευθύνων χάραξης πολιτικής, των ενδιαφερόμενων μερών της βιομηχανίας, των επενδυτών και των κοινοτήτων και την

ενσωμάτωση της καινοτομίας, των υποστηριζόμενων πολιτικών και πρακτικών για τη βιωσιμότητα, η ηλιακή βιομηχανία μπορεί να βελτιώσει αυτές τις προκλήσεις και να επωφεληθεί από το πλήρες δυναμικό της ηλιακής ενέργειας.

11.2 Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα στο μέλλον

Οι μελλοντικές ερευνητικές ευκαιρίες είναι απαραίτητες για τις εξελίξεις και την ανάπτυξη της ηλιακής βιομηχανίας, γεγονός που θα συμβάλει στη γεφύρωση των σημερινών ερευνητικών κενών και θα ανοίξει νέους δρόμους για μελλοντική πρόοδο. Αυτές οι ερευνητικές προσπάθειες είναι ζωτικής σημασίας για την ενίσχυση της αποδοτικότητας, της βιωσιμότητας και της ενσωμάτωσης των συστημάτων ηλιακής ενέργειας στο συνολικό παγκόσμιο ενεργειακό μείγμα. Οι βασικές κατευθύνσεις για την προώθηση της έρευνας που αντιπροσωπεύουν τους ακόλουθους τομείς είναι οι εξής, υποδεικνύοντας σημαντική πρόοδο με τον μελλοντικό ορίζοντα στην ηλιακή ενέργεια.

- i. Προηγμένα υλικά και τεχνολογίες για ηλιακές κυψέλες. Οι προηγμένες μελέτες σχετικά με την ανάπτυξη νέων υλικών και τεχνολογιών για ηλιακές κυψέλες αποτελούν ουσιαστικό παράγοντα για την αύξηση της απόδοσης και τη μείωση του κόστους των ηλιακών συλλεκτών. Οι ηλιακές κυψέλες περοβσκίτη, για παράδειγμα, έχουν δείξει δυνατότητες για υψηλές αποδόσεις και χαμηλό κόστος παραγωγής, αν και πρέπει να αντιμετωπιστούν ζητήματα που σχετίζονται με τη σταθερότητα και την επεκτασιμότητα (Green et al., 2016). Επιπλέον, η εξερεύνηση των οργανικών και υβριδικών ηλιακών κυψελών μπορεί να ανοίξει δρόμους για ευέλικτες, ελαφριές και περιβαλλοντικές ηλιακές εφαρμογές.
- ii. Λύσεις για την αποθήκευση ηλιακής ενέργειας: Η ενσωμάτωση της ηλιακής ενέργειας με το σύστημα δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας πρέπει να παρέχει μια αξιόπιστη λύση αποθήκευσης ενέργειας, επειδή η πηγή της ενέργειας είναι πάντα διαλείπουσας φύσης. Η μελλοντική έρευνα στον τομέα της ενέργειας πρέπει να επικεντρωθεί στη βελτίωση της ικανότητας και της αποδοτικότητας των συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας, γεγονός που θα συμβάλει επίσης στην αύξηση της διάρκειας ζωής τους. Τέτοιες καινοτομίες στις μπαταρίες στερεάς κατάστασης, στις μπαταρίες ροής και σε άλλες αναδυόμενες τεχνολογίες αποθήκευσης μπορεί να φέρουν επανάσταση στον τρόπο

αποθήκευσης και χρήσης της ηλιακής ενέργειας, με αποτέλεσμα την καλύτερη αξιοπιστία και σταθερότητα των συστημάτων ηλιακής ενέργειας.

- iii. Εκτίμηση και μετριασμός των περιβαλλοντικών επιπτώσεων: Απαιτείται διεξοδική και πλήρης μελέτη αξιολόγησης της οικολογικής βιωσιμότητας των ηλιακών εγκαταστάσεων με επιπτώσεις που ενδέχεται να έχουν οι ηλιακές εγκαταστάσεις σε σχέση με τη χρήση γης, τα οικοσυστήματα και τους υδάτινους πόρους σε διάφορες περιοχές. Στο μέλλον, περισσότερη έρευνα θα πρέπει να επικεντρωθεί στην ανάπτυξη και βελτίωση μεθοδολογιών εκτίμησης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων, στον εντοπισμό βέλτιστων πρακτικών κατά την επιλογή τόπων και στην περαιτέρω έρευνα σχετικά με τις πρακτικές μετριασμού.
- iv. Ενσωμάτωση της ηλιακής ενέργειας σε τεχνολογίες έξυπνων δικτύων: Η αποτελεσματική αφομοίωση της ηλιακής ενέργειας στα σημερινά δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας απαιτεί προηγμένες τεχνολογίες διαχείρισης δικτύου και καινοτομία στις προσεγγίσεις διανομής ενέργειας. Οι τεχνολογίες έξυπνων δικτύων, οι λύσεις σταθερότητας δικτύου και οι στρατηγικές απόκρισης ζήτησης σε τέτοιες μεταβλητές ροές ισχύος για ηλιακή ενέργεια θα προσφέρουν τεράστιους τομείς ευκαιριών για ανάπτυξη στο μέλλον. Θα απαιτήσει επίσης έρευνα σε αποκεντρωμένα, κοινοτικά ηλιακά συστήματα που μπορούν να υποστηρίξουν τον εκδημοκρατισμό της ενέργειας και την ενίσχυση της ανθεκτικότητας.
- v. Πολιτική, Οικονομική και Κοινωνική Ανάλυση: Κατανόηση της πολιτικής, της οικονομίας και των κοινωνικών ζητημάτων που σχετίζονται με την υιοθέτηση της ηλιακής ενέργειας και πώς να οικοδομήσουμε ευνοϊκά περιβάλλοντα για ανάπτυξη. Συνίσταται η συνεχής έρευνα αναφορικά με την αποτελεσματικότητα μέσω μέσων πολιτικής, εκτίμησης κοινωνικών και οικονομικών επιπτώσεων των έργων ηλιακής ενέργειας και τρόπων με τους οποίους το κοινό εμπλέκεται και εξουσιοδοτείται να αναλάβει την ευθύνη της δικής του κοινότητας.

Συμπερασματικά, η μελλοντική έρευνα στον τομέα της ηλιακής ενέργειας θα πρέπει να είναι ολιστική, αντιμετωπίζοντας όχι μόνο τις τεχνικές και περιβαλλοντικές αλλά και τις οικονομικές και κοινωνικές προοπτικές. Οι εξελίξεις στις τεχνολογίες των ηλιακών κυψελών, οι λύσεις αποθήκευσης ενέργειας, οι διαδικασίες κατασκευής και

ανακύκλωσης, η εκτίμηση περιβαλλοντικών επιπτώσεων, η ολοκλήρωση του δικτύου και η ανάλυση πολιτικής αποτελούν παράγοντα διευκόλυνσης για την απελευθέρωση του πλήρους δυναμικού της ηλιακής ενέργειας.

Βιβλιογραφία

- Abeliotis, K., Koniari, C., & Sardianou, E. (2010). The profile of the green consumer in Greece. *International Journal of Consumer Studies*, 34, 153-160. <https://doi.org/10.1111/J.1470-6431.2009.00833.X>.
- Acaroğlu, H., & Baykul, M.C. (2020). *A Comparative Global Overview for Flat-Plate Solar Collectors (FPSCS) in G-7 and G-20 Countries*. https://doi.org/10.1007/978-3-030-35040-6_6.
- Ahmad, T., & Zhang, D. (2020). A critical review of comparative global historical energy consumption and future demand: The story told so far. *Energy Reports*, 6, 1973-1991. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2020.07.020>.
- Akinyele, D., & Rayudu, R. (2016). Techno-economic and life cycle environmental performance analyses of a solar photovoltaic microgrid system for developing countries. *Energy*, 109, 160-179. <https://doi.org/10.1016/J.ENERGY.2016.04.061>.
- Argiriou, A. (1997). CSH PSS systems in Greece : Test of simulation software and analysis of typical systems. *Solar Energy*, 60, 159-170. [https://doi.org/10.1016/S0038-092X\(96\)00154-5](https://doi.org/10.1016/S0038-092X(96)00154-5).
- Balachandra, P. (2015). [Review of *Energy Access, Poverty, and Development: The Governance of Small-Scale Renewable Energy in Developing Asia*, by B. K. Sovacool & I. M. Drupady]. *The Energy Journal*, 36(4), 360–362. <http://www.jstor.org/stable/24696063>.
- Barron-Gafford, G., Pavao-Zuckerman, M., Minor, R. L., Sutter, L., Barnett-Moreno, I., Blackett, D. T., Thompson, M., Dimond, K., Gerlak, A., Nabhan, G. P., & Macknick, J. E. (2019). Agrivoltaics provide mutual benefits across the food–energy–water nexus in drylands. *Nature Sustainability*, 2(9). <https://doi.org/10.1038/s41893-019-0364-5>.
- Barbose, G., Darghouth, N., Millstein, D., Cates, S., DiSanti, N., & Widiss, R. (2016). *Tracking the Sun IX: The Installed Price of Residential and Non-Residential*

Photovoltaic Systems in the United States. Lawrence Berkeley National Laboratory.

Bradford, T. (2006). *Solar revolution: The economic transformation of the global energy industry*. MIT Press. <https://doi.org/10.7551/mitpress/6331.001.0001>.

Braun, V., & Clarke, V. (2006). Using thematic analysis in psychology. *Qualitative Research in Psychology*, 3(2), 77-101. <https://psycnet.apa.org/doi/10.1191/1478088706qp063oa>.

Brundtland, G. H., Khalid, M., Agnelli, S., Al-Athel, S., Chidzero, B., Fadika, L., ... & Singh, M. (1987). *Our common future ('Brundtland report')*. [Our Common Future: Report of the World Commission on Environment and Development \(un.org\)](https://www.un.org/en/development/desa/policy/our-common-future-report-of-the-world-commission-on-environment-and-development/).

Cucchiella, F., D'Adamo, I., & Koh, S. (2015). Environmental and economic analysis of building integrated photovoltaic systems in Italian regions. *Journal of Cleaner Production*, 98, 241-252. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2013.10.043>.

Dupraz, C., Marrou, H., Talbot, G., Dufour, L., Nogier, A., & Ferard, Y. (2011). Combining solar photovoltaic panels and food crops for optimising land use: Towards new agrivoltaic schemes. *Renewable Energy*, 36, 2725-2732. <https://doi.org/10.1016/J.RENENE.2011.03.005>.

Elavarasan, R. (2019). The Motivation for Renewable Energy and its Comparison with Other Energy Sources: A Review. *European Journal of Sustainable Development Research*. <https://doi.org/10.20897/EJOSDR/4005>.

Eleftheriadis, I., & Anagnostopoulou, E. (2015). Identifying barriers in the diffusion of renewable energy sources. *Energy Policy*, 80, 153-164. <https://doi.org/10.1016/J.ENPOL.2015.01.039>.

Elkadeem, M., Wang, S., Sharshir, S., & Atia, E. (2019). Feasibility analysis and techno-economic design of grid-isolated hybrid renewable energy system for electrification of agriculture and irrigation area: A case study in Dongola, Sudan. *Energy Conversion and Management*. <https://doi.org/10.1016/J.ENCONMAN.2019.06.085>.

- EPIA (European Photovoltaic Industry Association). (2018). *Global Market Outlook for Solar Power / 2018-2022*. EPIA.
- Fthenakis, V. M., & Kim, H. C. (2011). Photovoltaics: Life-cycle analyses. *Solar Energy*, 85(8), 1609-1628. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2009.10.002>
- Green, M.A. (1982) *Solar Cells: Operating Principles Technology and System Applications*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs.
- Green, M. A., Emery, K., Hishikawa, Y., Warta, W., Dunlop, E. D., Levi, D. H., & Ho-Baillie, A. W. Y. (2016). Solar cell efficiency tables (version 49). *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, 25(1), 3–13. <https://doi.org/10.1002/pip.2855>.
- International Renewable Energy Agency (IRENA). (2016). End-of-Life Management: Solar Photovoltaic Panels. IRENA.
- International Energy Agency (IEA). (2019). *Renewables 2019*. IEA.
- International Energy Agency (IEA). (2019). *Solar Heat Worldwide: Global Market Development and Trends in 2019*. IEA.
- International Renewable Energy Agency (IRENA). (2020). *Renewable Energy Statistics 2020*. IRENA.
- Hernandez, R. R., Easter, S. B., Murphy-Mariscal, M. L., Maestre, F. T., Tavassoli, M., Allen, E. B., Barrows, C. W., Belnap, J., Ochoa-Hueso, R., Ravi, S., & Allen, M. F. (2014). Environmental impacts of utility-scale solar energy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 29, 766-779. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.08.041>.
- Hirshberg, A. (1976). Public policy for solar heating and cooling. *Bulletin of The Atomic Scientists*, 32, 37-45. <https://doi.org/10.1080/00963402.1976.11455644>.
- Kabir, E., Kumar, P., Kumar, S., Adelodun, A. A., & Kim, K. H. (2018). Solar energy: Potential and future prospects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82, 894-900. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.09.094>.

- Kaldellis, J., El-Samani, K., & Koronakis, P. (2005). Feasibility analysis of domestic solar water heating systems in Greece. *Renewable Energy*, 30, 659-682. <https://doi.org/10.1016/J.RENENE.2004.07.004>.
- Kalogirou, S. A. (2013). *Solar Energy Engineering: Processes and Systems*. Academic Press.
- Kazmerski, L. L. (1997). Photovoltaics: A review of cell and module technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 1(1-2), 71-170. [https://doi.org/10.1016/S1364-0321\(97\)00002-6](https://doi.org/10.1016/S1364-0321(97)00002-6).
- Khadilkar, H., Kumar, P., Rongali, S., Dechu, S., & Petra, M. (2015). A socially aware incentive strategy for encouraging residential solar uptake in Brunei. *2015 IEEE International Conference on Smart Grid Communications (SmartGridComm)*, 545-550. <https://doi.org/10.1109/SmartGridComm.2015.7436357>.
- Khandker, S. R., Samad, H. A., Ali, R., & Barnes, D. F. (2012). Who benefits most from rural electrification? Evidence in India (World Bank Policy Research Working Paper No. 6095). SSRN. <https://ssrn.com/abstract=2087320>.
- Knight, D. (2014). A critical perspective on economy, modernity and temporality in contemporary Greece through the prism of energy practice. *LSE Research Online Documents on Economics*.
- Lee, M., Hong, T., & Koo, C. (2016). An economic impact analysis of state solar incentives for improving financial performance of residential solar photovoltaic systems in the United States. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 58, 590-607. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2015.12.297>.
- Lewis, N. S. (2016). Research opportunities to advance solar energy utilization. *Science*, 351(6271), aad1920. <https://doi.org/10.1126/science.aad1920>.
- Loizou, E., Chatzitheodoridis, F., Michailidis, A., Tsakiri, M., & Theodossiou, G. (2015). Linkages of the energy sector in the Greek economy: an input-output approach. *International Journal of Energy Sector Management*, 9, 393-411. <https://doi.org/10.1108/IJESM-06-2013-0004>.

- Lovegrove, K., & Stein, W. (2020). *Concentrating solar power technology: Principles, developments, and applications*. Elsevier Science.
- Macknick, J., Newmark, R., Heath, G., & Hallett, K. C. (2012). Operational water consumption and withdrawal factors for electricity generating technologies: A review of existing literature. *Environmental Research Letters*, 7(4), 045802. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/7/4/045802>.
- Markaki, M., Belegri-Roboli, A., Michaelides, P., Mirasgedis, S., & Lalas, D. P. (2013). The impact of clean energy investments on the Greek economy: An input–output analysis (2010–2020). *Energy Policy*, 57, 263-275. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.01.047>.
- Martinopoulos, G., & Tsalikis, G. (2018). Diffusion and adoption of solar energy conversion systems – The case of Greece. *Energy*, 144, 800-807. <https://doi.org/10.1016/J.ENERGY.2017.12.093>.
- McEvoy, A., Castaner, L., & Markvart, T. (2012). *Solar cells: Materials, manufacture and operation*. Newnes.
- Moldovan, M., Visa, I., & Duță, A. (2016). Future trends for solar energy use in nearly zero energy buildings. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100301-5.00020-5>.
- Morris, C., & Pehnt, M. (2014). *Energy Transition: The German Energiewende*. Heinrich Böll Foundation. <https://www.energytransition.de>
- Mourelatos, A., Diakoulaki, D., & Papagiannakis, L. (1998). Impact of CO2 reduction policies on the development of renewable energy sources. *International Journal of Hydrogen Energy*, 23, 139-149. [https://doi.org/10.1016/S0360-3199\(97\)00033-5](https://doi.org/10.1016/S0360-3199(97)00033-5).
- Μπακρατσά, Α. (2020). *Επενδύσεις στη βιο-οικονομία, με εφαρμογή σε θέματα ενέργειας και τα χρηματοδοτικά εργαλεία [Investments in bioeconomy applied in the field of energy efficiency and financial tools]* (Master's thesis, National and Kapodistrian University of Athens, Department of Economics). <https://dione.lib.unipi.gr/xmlui/handle/unipi/12650>.

- Nikas, A., Stavrakas, V., Arsenopoulos, A., Doukas, H., Antosiewicz, M., Witajewski-Baltvilks, J., & Flamos, A. (2020). Barriers to and consequences of a solar-based energy transition in Greece. *Environmental innovation and societal transitions*, 35, 383-399. <https://doi.org/10.1016/J.EIST.2018.12.004>.
- Papamanolis, N. (2016). An overview of solar energy applications in buildings in Greece. *International Journal of Sustainable Energy*, 35, 814 - 823. <https://doi.org/10.1080/14786451.2014.950965>.
- Pegkas, P. (2020). The impact of renewable and non-renewable energy consumption on economic growth: the case of Greece. *International Journal of Sustainable Energy*, 39, 380 - 395. <https://doi.org/10.1080/14786451.2019.1700261>.
- Perlin, J. (1999). *From Space to Earth: The Story of Solar Electricity*. Harvard University Press.
- Petrakis, P. (2020). Political Economy of Integrated Growth and Development for the Greek Economy. *The New Political Economy of Greece up to 2030*, 73 - 91. https://doi.org/10.1007/978-3-030-47075-3_4.
- Petticrew, M., & Roberts, H. (2006). *Systematic reviews in the social sciences: A practical guide*. Blackwell Publishing.
- Polemis, M., & Dagoumas, A. (2013). The electricity consumption and economic growth nexus: Evidence from Greece. *Energy Policy*, 62, 798-808. <https://doi.org/10.1016/J.ENPOL.2013.06.086>.
- Power, M., Newell, P., Baker, L., Bulkeley, H., Kirshner, J., & Smith, A. (2016). The political economy of energy transitions in Mozambique and South Africa: The role of the Rising Powers. *Energy Research & Social Science*, 17, 10-19. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2016.03.007>.
- Raugei, M., Fullana-i-Palmer, P., & Fthenakis, V. (2012). The energy return on energy investment (EROI) of photovoltaics: Methodology and comparisons with fossil fuel life cycles. *Energy Policy*, 45, 576-582. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.03.008>.

- Ren, Y., Nie, D., & Yan, W. (2016). Research on the Comparison of Solar Power Generation with Different Technology Paths. , 75, 09011. <https://doi.org/10.1051/MATECCONF/20167509011>.
- REN21. (2020). *Renewables 2020 Global Status Report*. REN21 Secretariat.
- Schrader, K., Benček, D., & Laaser, C. (2016). *Requirements for a New Business Model in Greece*. https://doi.org/10.1057/978-1-137-58944-6_7.
- Sewchurran, S., & Davidson, I. (2021). Technical and financial analysis of large-scale solar-PV in eThekweni Municipality : residential, business and bulk customers. *Energy Reports*, 7, 4961-4976. <https://doi.org/10.1016/J.EGYR.2021.07.134>.
- Siamanta, Z. (2017). Building a green economy of low carbon: the Greek post-crisis experience of photovoltaics and financial 'green grabbing'. *Journal of Political Ecology*, 24, 258-276. <https://doi.org/10.2458/V24I1.20806>.
- Sidiras, D., & Koukios, E. (2004). Solar systems diffusion in local markets. *Energy Policy*, 32, 2007-2018. [https://doi.org/10.1016/S0301-4215\(03\)00173-3](https://doi.org/10.1016/S0301-4215(03)00173-3).
- Smil, V. (2005). *Energy at the crossroads: Global perspectives and uncertainties*. MIT Press.
- SolarPower Europe. (2020). *Global Market Outlook for Solar Power / 2020-2024*. SolarPower Europe. [SolarPower Europe's EU Market Outlook for Solar Power 2020 2024 - SolarPower Europe](https://www.solarpower.eu/solarpower-europe-eu-market-outlook-for-solar-power-2020-2024).
- Sovacool, B. K., & Drupady, I. M. (2016). *Energy access, poverty, and development: The governance of small-scale renewable energy in developing Asia*. Routledge.
- Stamopoulos, D., Dimas, P., Sebos, I., & Tsakanikas, A. (2021). Does Investing in Renewable Energy Sources Contribute to Growth? A Preliminary Study on Greece's National Energy and Climate Plan. *Energies*. <https://doi.org/10.3390/en14248537>.
- Stern, N. (2007). *The economics of climate change: the Stern Review*. Cambridge University Press.

- Tsoutsos, T., Frantzeskaki, N., & Gekas, V. (2005). Environmental impacts from the solar energy technologies. *Energy Policy*, 33(3), 289-296. [https://doi.org/10.1016/S0301-4215\(03\)00241-6](https://doi.org/10.1016/S0301-4215(03)00241-6).
- Turney, D., & Fthenakis, V. (2011). Environmental impacts from the installation and operation of large-scale solar power plants. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(6), 3261-3270. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.04.023>.
- UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change). (2015). *Paris Agreement*. UNFCCC.
- United Nations Environment Programme. (2011). *Towards a green economy: Pathways to sustainable development and poverty eradication*. [UNEP \(2011\) Towards a Green Economy: Pathways to Sustainable Development and Poverty Eradication | Department of Economic and Social Affairs](#).
- Warner, J. (2019). Prosperity without growth: Foundations for the economy of tomorrow by Tim Jackson, Second Edition, London, Routledge, 2017, xl + 310 pp., £83.99/\$130 (cloth), £13.99/\$22.95 (paper). *The European Legacy*, 25(2), 231-233. <https://doi.org/10.1080/10848770.2019.1598147>.
- Wei, M., Patadia, S., & Kammen, D. M. (2010). Putting renewables and energy efficiency to work: How many jobs can the clean energy industry generate in the US? *Energy Policy*, 38(2), 919-931. [Putting renewables and energy efficiency to work How many jobs can the clean energy industry generate in the US? \(berkeley.edu\)](#).
- Zhang, H. L., Baeyens, J., Degève, J., & Cacères, G. (2013). Concentrated solar power plants: Review and design methodology. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 22, 466-481. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.01.032>.